

Temperaturabhängige Leistungsfähigkeit der Muskulatur  
bei älteren Frauen

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von  
Godbersen, Julia

2015

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth  
1. Berichterstatter: Professor Dr. C. Becker  
2. Berichterstatter: Professor Dr. W. Mätzler

Für meine Familie



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
	1.1. Altern in Deutschland.....	1
	1.1.1. Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland.....	1
	1.1.2. Die wirtschaftliche Situation älterer Menschen .....	2
	1.1.3. Gesundheit und Umgebung.....	3
	1.2. Menschliche Temperaturregulation.....	5
	1.2.1. Wärmebildung durch Muskelkontraktion und Thermogenese.....	5
	1.2.2. Wärmeerhaltung: Die Rolle der Thermorezeption und der Blutzirkulation .....	6
	1.2.3. Mechanismen der Kälteadaption .....	8
	1.2.4. Einflussfaktoren auf die Wärmeregulation und Veränderungen im Alter .....	8
	1.3. Altersbedingte Veränderungen der Muskulatur .....	10
	1.4. Einfluss der Temperatur auf die Muskelleistung .....	11
	1.5. Mögliche Folgen und Risiken verminderter Muskelleistung .....	12
	1.6. Altersbedingte Veränderungen der Kognition .....	13
	1.7. Einfluss der Temperatur auf die Kognition.....	14
	1.8. Zielsetzung und Fragestellung der Arbeit .....	15
2	Methoden und Probandinnen .....	17
	2.1. Studienaufbau und Versuchsablauf.....	17
	2.2. Probandenkollektiv .....	17
	2.3. Ein-und Ausschlusskriterien .....	18
	2.4. Untersuchungsablauf.....	18
	2.4.1. Hauttemperatur .....	19
	2.4.2. Leistung (1): „Nottingham Power Rig“ .....	19
	2.4.2. Leistung (2): „Power Chair“ .....	21
	2.4.3. Ganganalyse/Gehgeschwindigkeit .....	21
	2.4.4. Maximale Kraft .....	22
	2.4.5. Kognition .....	24
	2.4.5.1. Exekutivfunktion.....	24
	2.4.5.2. Orientierung und Kurzzeitgedächtnis .....	25
	2.5. Psycho-soziale Untersuchung .....	25
	2.5.1. Eigenangaben zum Gesundheitszustand.....	25
	2.5.2. Temperaturabhängiges Wohlbefinden.....	25
	2.5.3. Depressive Symptome .....	26
	2.6. Statistische Auswertung .....	26

3	Ergebnisse.....	27
3.1.	Merkmale der Probandinnen .....	27
3.2.	Hauttemperatur.....	28
3.3.	Leistung .....	28
3.4.	Gehgeschwindigkeit.....	30
3.5.	Maximale Kraft.....	32
3.6.	Kognition: Exekutivfunktion.....	35
3.7.	Korrelation der Leistungsdifferenz bei 15°C und 25°C mit anthropometrischen Merkmalen am Beispiel des Nottingham Power Rig . .....	39
4	Diskussion .....	41
4.1.	Diskussion von Methoden und Probandinnen .....	41
4.1.1.	Probandinnen .....	41
4.1.2.	Kühlungsmethode und Umgebungstemperatur .....	42
4.1.3.	Messung der Schnellkraft .....	43
4.1.4.	Messung der maximalen Bein- und Handkraft.....	44
4.1.5.	Kognition: Exekutivfunktion .....	45
4.2.	Diskussion der Ergebnisse .....	46
4.2.1.	Hauttemperatur .....	46
4.2.2.	Leistung 1: Nottingham Power Rig .....	48
4.2.3.	Leistung 2: Power Chair .....	50
4.3.	Gehgeschwindigkeit.....	51
4.4.	Maximale Kraft.....	52
4.5.	Kognition: Exekutivfunktion.....	54
4.6.	Korrelation der Leistungsdifferenz mit anthropometrischen Merkmalen der Probandinnen .....	55
4.7.	Schlussfolgerung und Ausblick.....	56
5	Zusammenfassung .....	58
6	Addendum .....	60
	Literaturverzeichnis:.....	62
	Abbildungsverzeichnis .....	71
	Tabellenverzeichnis .....	72
	Danksagung.....	73

## **1 Einleitung**

### *1.1. Altern in Deutschland*

#### *1.1.1. Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland*

Bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts unterliegt Deutschlands Bevölkerung einem steigenden Alterungsprozess. In den nächsten zwei Jahrzehnten wird sich der Prozess beschleunigen und der Anteil der älteren Bevölkerung wird sich weiter ausdehnen (Abb. 1). Vor allem der Anteil der Hochbetagten über 80 Jahre ist die Altersgruppe, die am stärksten anwachsen wird. Wie bisher wird sich vor allem die Lebenserwartung der Frauen erhöhen, so dass das Verhältnis zwischen Männern und Frauen in höheren Altersgruppen sehr unausgeglichener sein wird. Laut dem Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung werden es im Jahr 2050 bei den 85- bis 89-Jährigen 70 und bei den ab 90-Jährigen nur noch 57 Männer je 100 Frauen sein (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung). Aufgrund dieses kontinuierlichen Anstiegs der Lebenserwartung beschäftigen sich auch wissenschaftliche Untersuchungen vermehrt mit der Frage, welche Faktoren für ein „gesundes Altern“ eine Rolle spielen (Oswald et al 2004; Chakravarty et al 2012).

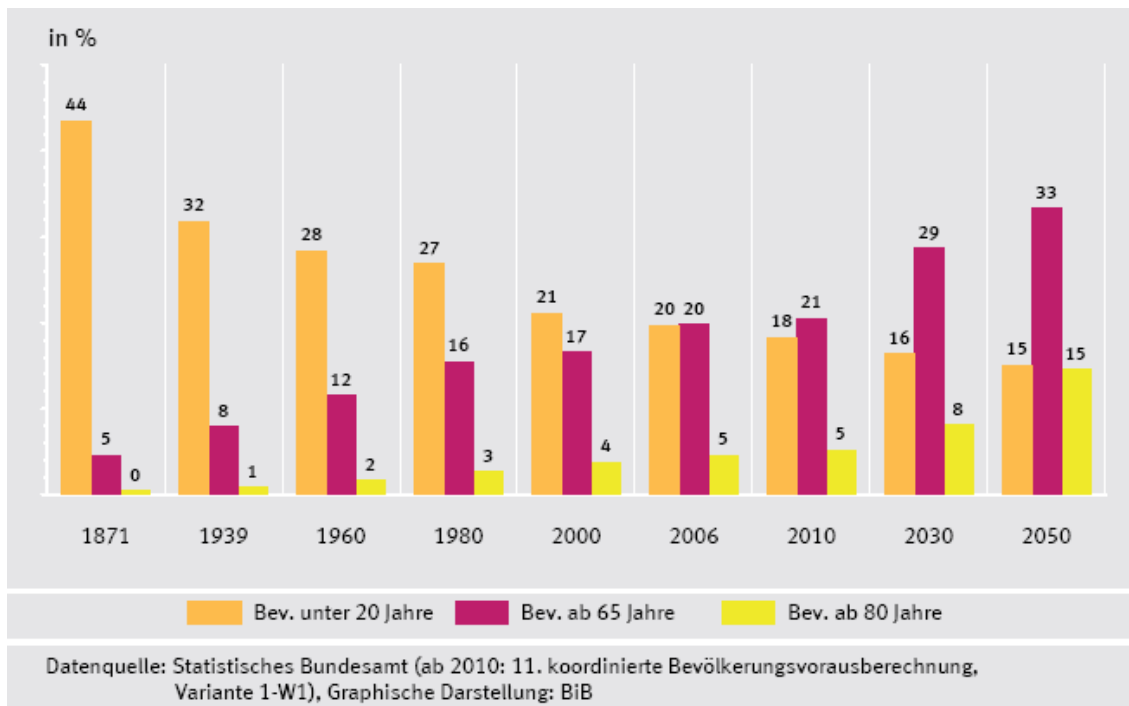


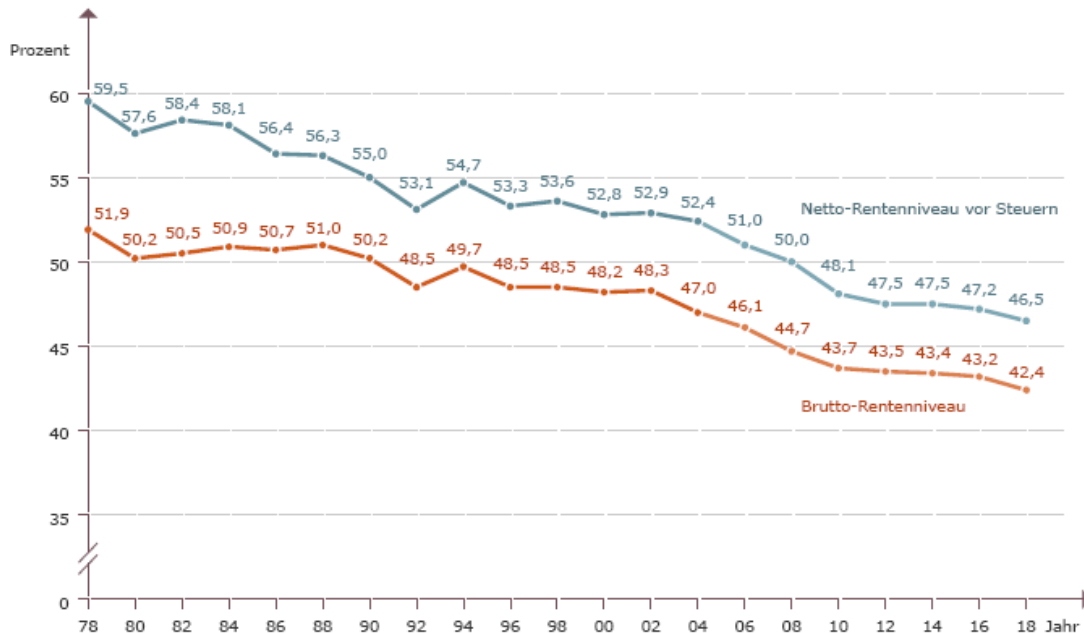
Abbildung 1: Entwicklung der Bevölkerung in Deutschland unter 20, ab 65 und ab 80 Jahren, 1887 – 2050 (in%)

### 1.1.2. Die wirtschaftliche Situation älterer Menschen

Die oben beschriebene demographische Entwicklung hat zur Folge, dass auch auf politischer Ebene Maßnahmen zur Finanzierung des prozentual wachsenden Anteils an alten Menschen in der Bevölkerung getroffen werden mussten. Die mehrfachen Rentenreformgesetze haben bewirkt, dass sich das allgemeine Rentenniveau verschlechtert hat (Abb. 2). Eine Rentenanpassung an die Einkommensentwicklung der Verdienenden erfolgt nur noch begrenzt, um die Renten überhaupt finanzierbar zu halten. Aus den Veränderungen der Rentenanpassung folgt, dass der während des Arbeitslebens erworbene Lebensstandard nicht mehr allein durch die Rente aufrechterhalten werden kann. Es entstehen Versorgungslücken im Alter, die nur durch private und/oder betriebliche Altersvorsorge geschlossen werden können (Verband Deutscher Rentenversicherungsträger 2004). Mit der höheren Lebenserwartung verlängert sich jedoch gleichzeitig der Zeitraum, für den das zusätzlich einbezahlte und angesparte



Geld ausreichen muss. Hinzu kommt, dass im Gegensatz dazu, die Lebenshaltungskosten (Heizung, Gesundheit, Lebensmittel) kontinuierlich angestiegen sind.



Quelle: Verband Deutscher Rentenversicherungsträger  
Stand: 11.2004

© 2005 Bundeszentrale für politische Bildung

Abbildung 2: Entwicklung des Rentenniveaus in Prozent des Durchschnittsverdieners Deutschland 1978-2018

### 1.1.3. Gesundheit und Umgebung

Wissenschaftliche Untersuchungen haben bestätigt, dass ein Zusammenhang zwischen Einkommen und Gesundheit besteht (Grünheid 2004). Personen mit niedrigeren Einkommen haben weniger Zugang zu teuren gesundheitlichen Lebensweisen, greifen eher auf billigere Lebensmittel zurück, leben häufiger unter schlechteren Wohnbedingungen und weisen daher eine schlechtere Gesundheit auf (Grünheid 2004). Die unter 1.1. beschriebenen sozio-ökonomischen Veränderungen werden jedoch hauptsächlich den Gesundheitszustand älterer Menschen beeinflussen, da besonders älteren Menschen die Anpassung an geänderte Umweltverhältnisse schwerfällt (Grünheid 2004). Studien aus Eng-

land zeigten sogar, dass ärmere ältere Menschen ihre Gesundheit aufs Spiel setzten, indem sie weniger heizten, um Kosten zu sparen (Macey 1989, WHO 2004). Andere Untersuchungen konnten eine höhere Mortalität bei älteren Menschen in kälteren Wohnungen zeigen (Rudge & Gilchrist 2005, Wilkinson et al. 2001). Oben genannte Studien aus England konnten außerdem aufzeigen, dass oftmals die Wohnsituation älterer Menschen eine Rolle beim Auftreten von Krankheiten spielt. Denn häufig sind es gerade die älteren Menschen, die noch in Häusern mit schlechter Isolierung leben. Ähnlich ist die Situation auch in Deutschland. Projekte zur Isolierung und Renovierung älterer Häuser kommen nur schleppend voran (EEWärmeG 2009). Aufgrund dieser Situation und der stetig ansteigenden Heizkosten, laut statistischem Bundesamt etwa 5-10% pro Jahr in den letzten 10 Jahren (Statistisches Bundesamt 2012), erhärtet sich die Annahme, dass auch in Deutschland ältere Menschen in schlechter wirtschaftlicher Situation gezwungen sein könnten, Heizenergie einzusparen und damit ihre Gesundheit zu riskieren. Die meisten epidemiologischen Studien befassen sich mit Gesundheitsrisiken während extremer Wetterperioden wie Hitze- oder Kältewellen (Klenk et al. 2010, Macey & Schneider 1993). Meist stehen respiratorische und kardiovaskuläre Probleme bei den Untersuchungen im Vordergrund. Seit einigen Jahren beschäftigen sich Wissenschaftler aus Finnland mit dem Einfluss von Kälte auf den menschlichen Körper (Mäkinen et al. 2009, Rintamäki 2007). Sie zeigen die Folgen und Risiken auf, die beispielsweise ein Arbeitsplatz mit extremer Kältebelastung (Straßenarbeit im Winter, Arbeit in Kühlhäusern) mit sich bringen kann. Desweiteren gibt es Studien, die gezielt den Effekt der Temperatur auf bestimmte Muskelfunktionen untersucht haben (Davies et al. 1983, Sargeant 1987, Oksa et al 1997, Dewhurst et al. 2010). Meist nutzten diese lokale Kühlmethoden wie Eisbeutel oder Wasserimmersion und wählten ein junges gesundes Probandenkollektiv. Es gibt jedoch keine Studien, die die Wärmeregulation älterer Menschen bei kühler Umgebungstemperatur untersucht haben und gezielt auf den Einfluss kühler Raumtemperatur auf die Muskelkraft und Leistungsfähigkeit älterer Menschen eingehen.

## 1.2. Menschliche Temperaturregulation

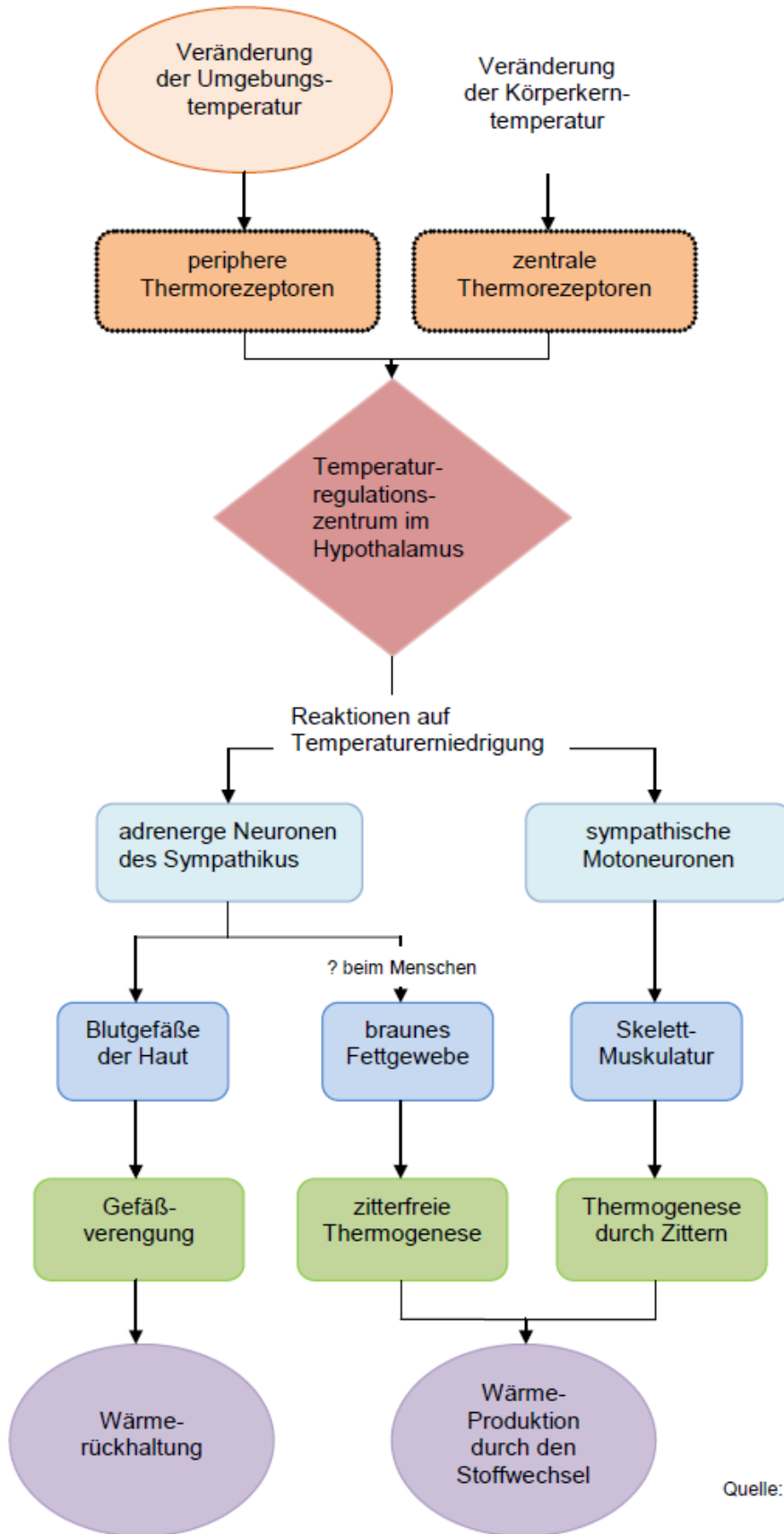
### 1.2.1. Wärmebildung durch Muskelkontraktion und Thermogenese

Der menschliche Körper produziert Wärme durch Bewegung und Stoffwechsel (Silverthorn 2009). Dabei wird zwischen unregulierter Wärmeproduktion durch freiwillige Muskelkontraktion bei normalen Stoffwechselfvorgängen und regulierter Wärmeproduktion unterschieden. Die regulierte Wärmeproduktion dient der Aufrechterhaltung der Temperaturhomöostase bei niedriger Umgebungstemperatur und unterteilt sich in die Wärmebildung durch Zittern und die zitterfreie Wärmebildung (Thermogenese). Beim Zittern generiert der Körper Wärme durch Kontraktion der Skelettmuskulatur, welche durch Signale aus dem „Temperaturzentrum“ im Hypothalamus initiiert werden (Silverthorn 2009). Muskelzittern kann den Grundumsatz maximal auf 300-500 W erhöhen (Normaler Grundumsatz ca. 110 W) (Rintamäki 2007). Bei intensiviertem Muskelzittern verbrennt der Körper Kohlenhydrate, während bei mäßigem Muskelzittern Fette verbrannt werden. Falls eines der beiden Energiesubstrate aufgebraucht ist, kann die Muskulatur flexibel auf die andere zurückgreifen (Haman 2006). Bei der zitterfreien Thermogenese erfolgt die Wärmeproduktion über eine Veränderung des Energieumsatzes. Ebenfalls gesteuert über den Hypothalamus erhöhen Adrenalin und Noradrenalin im braunen Fettgewebe die Wärmeproduktion, dadurch dass sie akut die Lipolyse und UCP-1 (Uncoupling Protein, Typ 1 = Thermogenin) aktivieren. Durch die Aktivierung von UCP-1 wird die Atmungskette in den Mitochondrien von der ATP-Produktion entkoppelt (mitochondrial uncoupling), woraufhin die Energie, die durch das Elektronentransportsystem fließt, nicht in ATP gespeichert wird, sondern als Wärme freigegeben wird (Florez-Duquet et al. 1998, Cannon et al. 2004, Silverthorn 2009). Vor allem bei Neugeborenen, die noch einen großen Anteil an braunem Fettgewebe besitzen, welches sich vor allem in der Gegend zwischen den Schulterblättern findet, spielt die zitterfreie Thermogenese eine wichtige Rolle bei der Erhöhung und Aufrechterhaltung der Körpertemperatur. Mit zunehmendem Alter und zunehmender Körpermasse, nimmt der Anteil an braunem Fettgewebe ab (Silverthorn 2009). Studien befassen sich jedoch mit der Fragestellung, inwieweit das brau-

ne Fettgewebe auch noch im Erwachsenenalter an der Thermogenese beteiligt sein könnte (Astrup 1986, Morrison et al 2012, Ouellet et al 2012). Zudem nehmen Wissenschaftler an, dass bestehendes braunes Fettgewebe an der Regulierung des Energiehaushalts oder an der Entwicklung von Adipositas beteiligt sein könnte (Silverthorn 2009, Richard et al. 2012, Silverthorn 2009).

### *1.2.2. Wärmeerhaltung: Die Rolle der Thermorezeption und der Blutzirkulation*

In einer kalten Umgebung versucht der Körper Wärmeverlust zu reduzieren, indem er Wärme konserviert und Wärmebildung anregt (Silverthorn 2009). Sensorische Thermorezeptoren in der Haut und im anterioren Hypothalamus überwachen Hauttemperatur und Körperkerntemperatur und senden ihre Signale an den Hypothalamus. Dieser vergleicht eingehende Signale mit dem gewünschten Sollwert der Temperatur und koordiniert eine angemessene physiologische Reaktion (Silverthorn 2009). Eine Wärmeerhaltung wird durch Verengung der Blutgefäße der Haut, ein Wärmezuwachs durch Zittern und eventuell zitterfreie Thermogenese erreicht (Morrison et al. 2011). Der wichtigste bestimmende Faktor für die Beeinflussung der Durchblutung der Blutgefäße ist die neuronale Regulation. Arteriolen im Körper stehen unter tonischer sympathischer Kontrolle (Pergola et al. 1996). Die durch Kälte hervorgerufene sympathische Stimulation über adrenerge Alpha-Rezeptoren, verursacht eine Vasokonstriktion in Haut, Armen und Beinen (Rintamäki 2007, Kellogg 2006). Der Gefäßwiderstand erhöht sich und das Blut wird vermehrt in Blutgefäße im Körperinneren gedrängt, die einen geringeren Widerstand leisten. Das wärmere Blut im Körperinneren wird durch diese Reaktion von der kälteren Hautoberfläche abgehalten und der Wärmeverlust reduziert (Silverthorn 2009). Die Verminderung der Haut- und Extremitätendurchblutung erhöht den Isolationsschutz des oberflächlichen Gewebes um mehr als 300% (Rintamäki 2007). Abb. 3 verdeutlicht schematisch die Reflexe der Thermoregulation.



Quelle: Dee U. Silvertho  
Physiologie

Abbildung 3: Reflexe der Thermoregulation

### *1.2.3. Mechanismen der Kälteadaptation*

Wird der menschliche Organismus wiederholt veränderten Umweltbedingungen ausgesetzt, wie zum Beispiel Kälte, findet eine physiologische Anpassung an diese Bedingungen statt und der Körper gewöhnt sich bis zu einem gewissen Grad an die Veränderung (LeBlanc 1992, Rintamäki 2007). Auf einen neuartigen „Kältestress“ antwortet der Organismus normalerweise mit erhöhter Alarmbereitschaft. Das sympathische Nervensystem wird aktiviert und stimuliert die Prozesse zur Wärmeerhaltung. Nach einiger Zeit jedoch realisiert der Körper, dass die normalen Körperfunktionen nicht gefährdet sind und die Antwort auf den Kältereiz erfolgt nur noch abgeschwächt. Die Kälteempfindung ist herabgesetzt, der Körper hat sich adaptiert (LeBlanc 1992). Die physiologischen Zeichen für eine Kälteadaptation des Körpers finden sich in einer niedrigeren Körperkerntemperatur, einer Zunahme der „Isolation“ durch eine dickere subkutane Fettschicht und/oder einer erhöhten Vasokonstriktion, sowie einem erhöhten Grundumsatz (Mäkinen 2010, Rintamäki 2007, Silbernagl 2005). Die hier beschriebene physiologische Adaptation an Kälte wird natürlich stark durch menschliche Verhaltensweisen bei Kälte beeinflusst. Durch das Tragen warmer Kleidung, Heizung in Wohnungen, Läden, öffentlichen Gebäuden und Fahrzeugen vor allem im Winter, sind wir der Kälte in der Regel nur kurzzeitig ausgesetzt, so dass eine physiologische Kälteadaptation gar nicht stattfindet (Mäkinen 2010, Rintamäki 2007).

### *1.2.4. Einflussfaktoren auf die Wärmeregulation und Veränderungen im Alter*

Das Temperaturempfinden ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich. Körpergröße, Alter, Geschlecht, Anteil an subkutanem Fett, körperliche Fitness, Gesundheit und schon stattgefundene Gewöhnung beeinflussen die Reaktionen des Körpers auf kalte Temperaturen. Art der Einwirkung (Wind, Wasser) und Grad der Kälte spielen zusätzlich eine Rolle (Mäkinen 2010). Viele Studien haben sich mit Frage beschäftigt, inwieweit sich die Temperaturregulation im Alter

verändert (Kenney et al. 1996, Young et al. 1997, Florez-Duquet et al. 1998, Kenney et al. 2003), vor allem auch vor dem Hintergrund einer steigenden Altersmortalität in der kalten Jahreszeit (The Eurowintergroup 1997). Die Ergebnisse waren zum Teil kontrovers was den direkten Vergleich der physiologischen Reaktionen auf Kältereiz zwischen Jung und Alt betrifft (Smolander 2002). Desweiteren blieb unklar, ob die Ergebnisse direkt auf tatsächlich altersabhängige physiologische Veränderungen zurückzuführen waren, oder Faktoren wie Körperbau (Gewicht, Muskel-, Fettmasse), körperliche Fitness, chronische Krankheiten und Studiendesign vornehmlich für eine Veränderung in der Thermoregulation verantwortlich waren (Kenney et al. 2003, DeGroot et al. 2006). Es gibt Hinweise dahingehend, dass altersbedingte Veränderungen sowohl zentrale, als auch periphere Regelkreise betreffen (Smolander 2002). So ist zum Beispiel bei älteren Menschen die Thermosensitivität der Hautrezeptoren erniedrigt und das subjektive Kälteempfinden in kalter Umgebung herabgesetzt (Florez-Duquet et al. 1998). Der Reiz, der für eine angemessene Schutzreaktion des Körpers auf Kälte notwendig ist, müsste eventuell deutlich höher sein (Taylor et al. 1995). Eine verminderte Vasokonstriktion in den Extremitäten ist sehr wahrscheinlich auf eine abgeschwächte Sensitivität neuronaler und/oder hormonelle Stimuli, sowie auf eine zunehmende Versteifung der Gefäßwände zurückzuführen (Richardson et al. 1992, Kenney et al. 1996, Florez-Duquet et al. 1998). Außerdem wurde festgestellt, dass sich der Grundumsatz, der sich normalerweise bei Kältereiz erhöht, bei älteren Menschen nur schwach anpasst. Dieses Ergebnis ist wiederum für hier vorliegende Studie interessant, da man diese Tatsache mit einem altersbedingten veränderten Muskelstoffwechsel, einer veränderten Regelung des Kältezitterns und vor allem mit der Abnahme der Muskelmasse im Alter in Zusammenhang bringt (Smolander 2002).

### 1.3. Altersbedingte Veränderungen der Muskulatur

Mit zunehmendem Alter sind häufig Veränderungen des Körpergewichts und der Körperzusammensetzung zu beobachten. Ursächlich sind entweder der physiologische Alterungsprozess oder Krankheiten, ungünstige Lebensstilfaktoren sowie Bewegungsmangel (Bauer et al. 2008, Baumgartner et al. 1999). Eine gewichtige Veränderung im Zusammenhang mit dem menschlichen Alterungsprozess ist die als Sarkopenie bezeichnete voranschreitende Abnahme der Skelettmuskelmasse, die zu einer verminderten Muskelkraft und Muskelfunktion führen kann (Fielding et al. 2011, Trappe 2009). Doch nicht nur der quantitative Verlust an Muskelmasse, begründet durch eine Reduktion der Anzahl und Größe von Muskelfasern und Einwanderung von Fettgewebe, spielt bei der Abnahme der Muskelkraft und –funktion eine Rolle. Der Alterungsprozess wirkt sich ebenso auf physiologische Prozesse und das neuromuskuläre System aus (Frontera et al. 2008). Aufgrund einer reduzierten Anzahl Motorischer Einheiten (Motoneuron plus dazugehörige innervierte Muskelfasern), einer selektiven Atrophie von schnellen Typ II Fasern und einem daraufhin folgenden „Remodelling“ zugunsten der Motorischen Einheiten vom langsamen Typ I, kommt es zum Kraftverlust (Macaluso et al. 2003, Larsson et al. 1997). Weiterhin werden altersbedingte Veränderungen in der Erregbarkeit und Erregungsleitung diskutiert (Hicks et al. 1992). Diese beinhalten sowohl Veränderungen in der willkürlichen zentralen Steuerung (Bsp. kortikale Atrophie, reduzierte Erregbarkeit des Motokortex), der elektromechanischen Kopplung, als auch veränderte Membraneigenschaften des Sarkoplastischen Retikulums (Russ et al. 2012). Die Abnahme der Muskelmasse kann desweiteren durch einen Abfall des Wachstumshormons Somatotropin (GH) erklärt werden. Der Abfall bewirkt eine Abnahme der Muskelmasse und eine Zunahme von Fettgewebe (Bauer et al. 2008). Bei älteren Männern konnte der Abfall von freiem Testosteron im Serum mit Muskelatrophie und Muskelschwäche in Verbindung gebracht werden. Eine Abnahme des Östrogenspiegels bei Frauen wirkt sich jedoch nicht auf deren Muskelkraft aus (Baumgartner et al. 1999).



Von besonderer Bedeutung ist die altersbedingte Abnahme der Schnellkraftproduktion der unteren Extremitäten, da sie eine übergeordnete Rolle bei der Gleichgewichtskontrolle, zum Beispiel beim Treppensteigen oder Aufstehen von einem Stuhl einnimmt. Es konnte gezeigt werden, dass die Fähigkeit zur Schnellkraftproduktion schneller abnimmt, als die Muskelkraft an sich und starke Aussagekraft bezüglich funktioneller Einschränkungen besitzt. Frauen sind davon eher betroffen als Männer (Bassey et al. 1990, Skelton et al. 1994). Die Ursachen für die Abnahme der Schnellkraftproduktion sind dieselben wie bei der Abnahme der Muskelkraft. Alle Faktoren, die die Erzeugung von Kraft und Schnelligkeit bei der Muskelverkürzung einschränken, kommen als Ursache in Frage, vor allem jedoch die beschriebene Atrophie der Muskelfasern vom Typ II, da diese das Potential zu einer größeren Kraft- und Schnelligkeitsproduktion besitzen (Larsson et al. 1997). Als spekulativ gelten zentrale Veränderungen in den Basalganglien, wie z.B. der Verlust dopaminerger Neurone in der Substantia nigra oder periphere Veränderungen wie z.B. eine verlangsamte Nervenleitgeschwindigkeit (Morgan et al. 1994, Metter et al. 1997).

#### *1.4. Einfluss der Temperatur auf die Muskelleistung*

Die Muskeltemperatur ist sehr variabel und hängt von den eigenen StoffwechsellLeistungen, Kleidung und Umgebungsbedingungen ab (Bell et al. 2009, Faulkner et al. 1990). Letztere sind vor allem für ältere Menschen von Bedeutung, da diese aufgrund schon beschriebener altersbedingter physiologischer Veränderungen, wie ein verminderter Grundumsatz und eine beeinträchtigte periphere Durchblutung, niedrigere Körpertemperaturen und damit auch niedrige Muskeltemperaturen aufweisen (Bell et al. 2009). Die Temperatur ist ein wichtiger bestimmender Faktor für die Funktion der Skelettmuskulatur (Bell et al. 2009). Eine Veränderung der Temperatur der Extremitätenmuskulatur wirkt sich maßgeblich auf die Muskelleistung aus. Sie beeinflusst das neuromuskuläre System bei jungen Menschen. Über die Effekte bei älteren Menschen ist noch wenig bekannt (Dewhurst et al. 2009). Bei jungen gesunden Erwachsenen

verstärkt eine Muskelerwärmung die maximale Arbeitsleistung der Muskulatur, eine Abkühlung beeinträchtigt diese (Sargeant 1987, Cheung et al. 2004). Die Temperatur wirkt sich sowohl auf die kontraktilen Eigenschaften, als auch auf die Membraneigenschaften der Muskelfaser aus. Für eine Erhöhung der Schnellkraft bei erhöhter Temperatur werden eine erhöhte Leitgeschwindigkeit der Muskelfasermembran und eine erhöhter ATP-Durchsatz verantwortlich gemacht, welche die Rate an Querbrückenzyklen erhöhen (Gray et al. 2006). Desweiteren wird die gesteigerte Schnellkraft durch eine veränderte Rekrutierung der Muskelfasertypen erklärt. Bei höheren Temperaturen werden eher die schnellen Typ II-Fasern angesprochen, bei niedrigeren Temperaturen die langsameren Typ I-Fasern (Ranatunga et al. 1987). Ebenfalls wird eine erhöhte Relaxationszeit aufgrund verspäteter Lösung der festen Querbrücken zwischen Aktin und Myosin diskutiert, wodurch eine Abnahme der Schnellkraft erklärt werden könnte.

Aufgrund der unterschiedlichen Studiendesigns, z.B. Auswahl unterschiedlicher Studienpopulationen und Muskelgruppen (untersucht in situ oder in vitro), Auswahl verschiedener Kontraktionsformen und Bewegungsabläufe, sowohl nicht einheitlicher Methodik der Muskelkühlung, ist eine Vergleichbarkeit der Studien schwierig. Es ist jedoch sicher, dass die Temperatur die Muskelleistung beeinflusst und sich Veränderungen bei jüngeren und älteren Menschen unterschiedlich auswirken. Ältere Menschen laufen jedoch eher Gefahr, aufgrund temperaturbedingter veränderter Muskelleistungen in ihrem alltäglichen Leben beeinträchtigt zu werden (Skelton et al. 1994).

### *1.5. Mögliche Folgen und Risiken verminderter Muskelleistung*

Das als Sarkopenie bezeichnete Alterssyndrom und ihre Folgen gewinnen in der geriatrischen Forschung zunehmend an Interesse. Eine Abnahme der Muskelmasse und Muskelkraft führt zu Bewegungseinschränkungen, verminderter Ausdauer und körperlicher Aktivität und damit zum Unvermögen, dass alltägliche Leben zu meistern (Baumgartner et al. 1999, Bauer et al. 2008, Russ et al. 2012). In fortgeschrittenen Stadien wurde eine erhöhte Rate an Stürzen und

Frakturen festgestellt, die eine Hospitalisierung, den anschließenden Einsatz von ambulanten Hilfsdiensten oder sogar eine Unterbringung im Alten- oder Pflegeheim notwendig machten (Bauer et al. 2008). Bereits eine Studie zur Epidemiologie der Sarkopenie aus dem Jahre 1998 äußerte die Vermutung, dass bei 40% unter den über 80-jährigen eine Sarkopenie vorliegt und diese damit dem Risiko einer Behinderung und erhöhter Mortalität ausgesetzt sind (Baumgartner et al. 1999). Um ihren Alltag zu meistern, müssen ältere Menschen die Fähigkeit behalten, ausreichend Kraft zu entwickeln, um weiterhin Bewegungen wie das Aufstehen von einem Stuhl, Treppensteigen und Tragen von Gegenständen ausführen zu können. Studien belegen, dass sich ältere Menschen täglich weniger bewegen als jüngere (Davis et al. 2007). Daher ist es wahrscheinlich, dass die Skelettmuskulatur älterer Menschen aufgrund einer geringeren Wärmeproduktion stärker von Umgebungstemperaturen beeinflusst wird. Eine niedrigere Muskeltemperatur bei Kälte, könnte über die Beeinträchtigung des neuromuskulären Systems zu zusätzlichen funktionellen Einschränkungen führen (Dewhurst et al. 2010) und somit auch das Sturzrisiko erhöhen.

#### *1.6. Altersbedingte Veränderungen der Kognition*

Ebenso wie die Muskelfunktionen unterliegen auch kognitive Funktionen dem Alterungsprozess (Waldstein 2000, Glisky 2007, Roberson et al. 2012). Vor allem wesentliche kognitive Funktionen wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis sind betroffen (Glisky 2007). Es gibt Hinweise dahingehend, dass im Alter die Fähigkeit, mehrere Informationen auf einmal zu verarbeiten, abnimmt und das Filtern ablenkender Faktoren sowie das Erinnern vergangener Begebenheiten oder noch zu erledigender Aufgaben schwerfällt (Cabeza et al. 2004). Neben den Verhaltensstudien haben die Neurowissenschaftler heutzutage dank neuartiger bildgebender Verfahren wie beispielsweise der Funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) die Möglichkeit, Hirnleistungen auch strukturell und funktionell zu untersuchen. Es kann dank dieser Verfahren gezeigt werden, welche Hirnareale bei bestimmten Hirnleistungen mehr oder weniger aktiv sind und es

können Vergleiche zu jüngeren Probanden gezogen werden (National Research Council 2000, Cabeza et al. 2004, Grady 2012). Unklarheit herrscht in der Neurowissenschaft noch über die zugrundeliegenden Mechanismen, die die kognitive Leistung während des Alterungsprozesses verändern. Diskutiert werden neben Neuronenverlusten auch neurochemische und morphologische Veränderungen, sowie veränderte Genexpression (National Research Council 2000). Einig ist man sich in der Literatur, dass altersbedingte Veränderungen in der Hirnstruktur und -funktion nicht alle Hirnareale betreffen und definitiv nicht bei allen alten Menschen gleich ausgeprägt, sondern sehr variabel sind (National Research Council 2000, Cabeza et al. 2004, Glisky 2007). So behalten manche ältere Menschen eine exzellente kognitive Leistung bis zum Alter von 70 oder 80 Jahren, während andere schon ab 60 einen Leistungsverlust bemerken. Mögliche Gründe für die hohe Variabilität werden nicht nur im Bereich der begleitenden Erkrankungen wie zum Beispiel Hypertension und Diabetes gesucht, sondern es rücken auch äußere Faktoren wie Fitness, Ernährung und allgemeine Lebensbedingungen als mögliche Ursachen in den Fokus der Forschung (Waldstein 2000).

### *1.7. Einfluss der Temperatur auf die Kognition*

Eine gute geistige Leistungsfähigkeit spielt vor allem in Bereichen der Wahrnehmung, Orientierung, Sicherheit, Entscheidungsbildung, Produktivität und Reaktionsfähigkeit in gefährlichen Situationen eine bedeutende Rolle (Mäkinen et al. 2006). Es gibt Hinweise dahingehend, dass sowohl heiße als auch kalte Umgebungstemperaturen die Kognition beeinträchtigen können (Pilcher et al. 2002). Nicht nur extreme Kälteeinflüsse, die eine deutliche Abkühlung der Körpertemperatur bzw. eine Hypothermie verursachen, beeinflussen die Kognition, sondern auch der Aufenthalt in moderater Kälte kann zu einer Abnahme kognitiver Fähigkeiten und zu gesundheitlichen Problemen führen (Mäkinen et al. 2006). Während extreme Körperauskühlung mit einer Körperkerntemperatur unterhalb von 35°C bekanntermaßen zu Verwirrung, Amnesie, verminderter

Wachsamkeit sowie vermindertem Bewusstsein führt (Mäkinen et al. 2006), so sind die Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen zu den Auswirkungen moderater Kälte, die nicht zu einer Hypothermie führen, inkonsistent. Einige Studien belegen, dass moderate Kälte die Reaktionszeiten bei kognitiven Aufgaben verlängert und das Kurzzeitgedächtnis beeinträchtigt (Coleshaw et al. 1983, Mäkinen et al. 2006). Diese Studien arbeiten mit der Hypothese, dass ein durch Kälte verursachtes Unbehagen als ablenkender Faktor auf die Aufmerksamkeit wirkt. Andere Studien kommen zu dem Ergebnis, dass der Kälteeinfluss zu einer erhöhten Wachsamkeit und damit zu schnelleren Reaktionszeiten führt (Van Orden et al. 1990, Mäkinen et al. 2006). Meist waren simple kognitive Aufgaben negativ beeinträchtigt, während komplexere Aufgaben unter moderatem Kälteeinfluss besser ausgeführt werden konnten (Mäkinen 2007).

### *1.8. Zielsetzung und Fragestellung der Arbeit*

Bislang gibt es keine Studien, die ältere Menschen auf ihre funktionelle Leistungsfähigkeit der Schnellkraftproduktion bei kalter Umgebungstemperatur hin untersucht haben. Die meisten Studien fanden an jungen Probanden statt. Die Muskelleistung wurde nicht an Alltagsbewegungen erprobt, sondern bei Sprungbewegungen und auf Fahrradergometern. Die zu untersuchenden Muskeln wurden lokal anhand von Eisbeuteln oder Kaltwasserbädern abgekühlt. Ziel dieser Studie war, den Effekt von kühler Raumtemperatur auf die körperliche Leistungsfähigkeit älterer Frauen im Labor zu untersuchen. Gleichzeitig sollten kognitive Veränderungen erfasst werden. Ein relevanter Parameter körperlicher Leistungsfähigkeit ist die Schnellkraftfähigkeit, die nicht zuletzt ein wichtiger Risikofaktor für Stürze ist. Ebenso spielt die Kognition für komplexe Bewegungsabläufe eine Rolle. Eine möglicherweise verminderte Leistungsfähigkeit bei kühler Raumtemperatur würde die Notwendigkeit zur Kompensation der Risikofaktoren und zur Optimierung des physischen Zustands der Zielperson unterstreichen. Folgende Haupt- und Nebenhypothese wurde formuliert:

Haupthypothese:

- Bei älteren Frauen ist die körperliche Leistungsfähigkeit (Schnellkraftfähigkeit) unter Laborbedingungen bei kühler Raumtemperatur (15°C) geringer als bei höherer Raumtemperatur (25°C).

Nebenhypothese:

- Bei älteren Frauen ist die kognitive Leistung unter Laborbedingungen bei kühler Raumtemperatur (15°C) gegenüber höherer Raumtemperatur (25°C) vermindert.

Aufgrund ihres Charakters einer Pilotstudie bestand das weitere Ziel der vorliegenden Studie in der Überprüfung der ausgewählten Methoden zur Messung der Leistungsfähigkeit bei unterschiedlichen Raumtemperaturen. Folgende Fragestellungen sollten dabei noch diskutiert werden:

- Ist ein einziger Versuch auf dem „Nottingham Power Rig“ der richtige Ansatz?
- Ist eine 15-minütige Adaptationszeit in kühler Umgebung ausreichend?

## **2 Methoden und Probandinnen**

### *2.1. Studienaufbau und Versuchsablauf*

Für diese Arbeit wurden im querschnittlichen Design ältere gesunde Frauen (>70 Jahre) in einem Messlabor im Robert-Bosch-Krankenhaus untersucht. Im Sinne einer Pilotstudie sollten die hierfür ausgesuchten Untersuchungsmethoden und –mittel Aufschluss über Sicherheit und Anwendbarkeit für eine darauf folgend größer angelegte Studie geben. Darüber hinaus sollten die Ergebnisse Grundlage einer Fallzahlberechnung für die Hauptstudie sein. Für die Durchführung der Studie gab es ein positives Votum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen.

Die Studie fand vom 15.06. bis 08.09.2011 statt. Die Teilnehmerinnen wurden zu zwei Terminen im Abstand von einer Woche einbestellt. Der Transport der Teilnehmerinnen erfolgte grundsätzlich per Taxi, um eine Ermüdung und zu starke Aufwärmung der Muskulatur schon vorab der Messungen zu verhindern. In einem Bewegungslabor mit Klimakammer des Robert-Bosch-Krankenhauses wurden die Probandinnen auf ihre motorische Leistungsfähigkeit, Kraft und kognitive Exekutivfunktion hin bei 15°C und 25°C untersucht. Deskriptive Parameter wie Komorbiditäten, Lebensqualität, depressive Symptome, Kognition und Ernährungsstatus wurden durch Fragebögen ermittelt. Die Reihenfolge der Temperaturbedingungen wurde zufällig gewählt. Zu den Untersuchungsterminen trugen die Teilnehmerinnen standardisierte Kleidung: Unterwäsche, langärmelige Bluse/Shirt, lange Hose, Socken und Schuhe. Die Messungen begannen nach einer ca. 15-minütigen Akklimatisierungszeit und endeten nach etwa 60 bis 90 Minuten.

### *2.2. Probandenkollektiv*

In die Studie wurden 18 gesunde Frauen im Alter über 70 Jahre eingeschlossen. Die Rekrutierung der Teilnehmerinnen erfolgte über Teilnehmerlisten aus

zwei vorherigen Studien, die thematisch mit dieser nicht in Verbindung standen und abgeschlossen waren. Es wurden nur Frauen zur Untersuchung aufgenommen, da in der weiterführenden Studie speziell nur Frauen mit Sarkopenie untersucht werden sollen und Einflussvariablen wie beispielsweise das Geschlecht oder andere Komorbiditäten vermieden werden sollen.

### 2.3. Ein-und Ausschlusskriterien

Es wurden 34 Frauen telefonisch angesprochen. Durch Befragung wurden folgende Kriterien vorab ausgeschlossen:

<b>Ausschlusskriterien:</b>
Hinweis auf eine mögliche Demenz
Instabile Herzkrankheiten
Neurologische und/oder orthopädische Krankheiten mit funktionellen Einschränkungen, auswirkend auf Gangleistung und Kognition
Eine terminale Erkrankung

Letztendlich wurde 1 Frau wegen terminlichen Problemen ausgeschlossen, 7 Frauen hatten kein Interesse und 8 Frauen mussten ausgeschlossen werden wegen Kniebeschwerden (4), Rückenbeschwerden (2), Schlaganfall (1) und starker Depression (1).

### 2.4. Untersuchungsablauf

Nach einer 15-minütigen Akklimatisierungszeit im Labor wurden die Probandinnen auf verschiedene Aspekte der physischen Leistungsfähigkeit und der Kraft hin untersucht. Ebenso wurde ein kognitiver Test durchgeführt.



### 2.4.1. Hauttemperatur

Nach ungefähr 15 Minuten Aufenthaltszeit im Labor wurde die Hauttemperatur der Probandinnen gemessen. Der Messpunkt befand sich am Unterschenkel, lateral des Schienbeins. Es wurde ein digitales Präzisionsthermometer, mit einem in ein Edelstahlrohr (3mm Durchmesser, 100mm Länge) eingebetteten Sensor (GTH 175/Pt, Greisinger, Regenstauf, Germany; Abb. 4), verwendet.



Abbildung 4: Präzisionsthermometer

### 2.4.2. Leistung (1): „Nottingham Power Rig“

Zur Messung der Schnellkraftfähigkeit der unteren Extremität wurde das „Nottingham Power Rig“ (Medical Engineering Unit, Nottingham, UK; Abb. 5) verwendet.

Das „Nottingham Power Rig“ ist ein Gerät zur Messung der Schnellkraft (ausgedrückt als Leistung [W]) bei der Beinstreckung. Bei dieser Messmethode ähnelt der Bewegungsablauf und der Krafteinsatz (Hüft- und Knieextension, Plantarflexion) funktionellen Aktivitäten wie zum Beispiel der des Treppensteigens (Bassey et al. 1990). Da die Messung im Sitzen stattfindet, spielen Störgrößen wie Gleichgewichtsprobleme keine Rolle und auch sturzgefährdete ge-

brechlichere Probanden können getestet werden. Aus diesem Grund ist das „Nottingham Power Rig“ der Goldstandard zur Messung der Schnellkraftfähigkeit.

Für die Messung saßen die Probandinnen auf dem ihrer Beinlänge angepassten Gerätesitz und drückten auf Anweisung zuerst mit dem einen, danach mit dem anderen Bein gegen eine Platte über eine Distanz von 16,5 cm. Am Ende der Bewegung sollte das Bein fast vollständig gestreckt sein. Die Platte beschleunigt über eine Kette ein Schwungrad. Die Umdrehungen des Schwungrads werden mittels eines „Opto-Switches“ in digitale Impulse umgewandelt und zur Verarbeitung an einen mit dem „Nottingham Power Rig“ verbundenen Computer weitergeleitet. Die dazugehörige Software errechnet aus den überlieferten Daten und dem vorher eingegebenen Gewicht [kg] der Probandin die Schnellkraftleistung des jeweiligen Beines. Um eine Aufwärmung der Muskulatur zu vermeiden, war nach einem submaximalen Probedurchlauf nur ein Versuch pro Bein erlaubt.



Abbildung 5: Nottingham Power Rig

#### 2.4.2. Leistung (2): „Power Chair“

Als zweite Schnellkraftmessung wurde als Alternative zur Messung mit dem „Nottingham Power Rig“ der Transfer vom Sitzen zum Stehen untersucht. Dieser stellt eine Methode dar, die Muskelleistung während der Ausübung einer komplexen Alltagsbewegung zu messen. Die Probandin saß hierbei auf einem Stuhl mit Standardhöhe (46 cm), wobei jeder Fuß vollständigen Kontakt zu einer Kraftmessplatte (Lindemann et al 2003) hatte. Nachdem die Probandin angewiesen wurde, von diesem Stuhl so schnell wie möglich aufzustehen und danach kurze Zeit ruhig stehen zu bleiben, errechnete die Software eines mit den Kraftplatten verbundenen Computers eine Kraftkurve in Abhängigkeit von der Zeit. Die Berechnung der erbrachten Leistung erfolgte aus der vertikalen Bodenreaktionskraft des Körpergewichts, des Größenunterschieds in sitzender und stehender Position und der Zeit, die zum Aufstehen benötigt wurde (Lindemann et al. 2003). Für die statistische Auswertung wurde auch hier nur ein Aufstehmanöver zugrunde gelegt.

#### 2.4.3. Ganganalyse/Gehgeschwindigkeit

Die Ganganalyse ist eine Methode, neurologisch oder orthopädisch bedingte Gangprobleme oder Gangunsicherheiten biomechanisch zu beurteilen. Für unsere Ganganalyse wurde ein instrumentalisiertes Laufmattensystem (GAITRite®, CIR Systems, Haverton, USA) genutzt. Das System besteht aus einer mit Drucksensoren versehenen Laufmatte, die mit einem Computer verbunden ist. Über die dazugehörige Anwendungssoftware können räumlich-zeitliche Parameter kalkuliert werden.

Die Probandinnen gingen über eine Distanz von 8 Metern über die Laufmatte. Der Anlauf und der Auslauf betragen zusätzlich jeweils 3 Meter (Lindemann et al. 2008). Die einzelnen Fußkontakte wurden über die Mattensensoren detektiert und so die Schrittlänge mit Hilfe der dazugehörigen Computersoftware als Funktion in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Das Benutzen von Gehhilfen

war erlaubt. Die Teilnehmerinnen wurden immer vom Untersucher, der nebenher ging, gesichert. Die Anweisung lautete einmal „normal“ gehen, einmal „langsam“ gehen und einmal „so schnell wie möglich aber trotzdem noch sicher“ gehen.

Endpunkt waren die normale und die maximale Gehgeschwindigkeit.

#### 2.4.4. Maximale Kraft

Die maximale Kraft bzw. das maximale Drehmoment des Kniestreckermuskels wurde durch einen vom Untersucher in der Hand gehaltenen Dynamometer (microFET2, Biometrics, Almere, The Netherlands; Abb. 6) gemessen. Der Dynamometer besteht aus einem Kraftaufnehmer und einem Display. Zur Ermittlung der Kraftentwicklung einer Muskelgruppe positioniert der Untersucher den Druckmesser an einem vordefinierten Referenzmesspunkt und baut eine Gegenkraft auf. Dementsprechend wurden unsere Probandinnen aus einer sitzenden Position, Hüft- und Kniegelenk in 90° Flexion (Standardposition) (Bohannon 1997), angewiesen und zusätzlich verbal motiviert, ihr Knie so stark wie möglich zu strecken. Der Untersucher hielt dabei mit dem Dynamometer gegen das Bein (Dynamometerposition am Schienbein ca. 5cm oberhalb des oberen Sprunggelenks). Das maximale Drehmoment in Newtonmeter [Nm] wurde aus der auf dem Dynamometer angezeigten Kraft und der mit einem Maßband gemessenen Distanz zwischen Dynamometerposition und Condylus medialis beider Beine berechnet. Es wurde ein Versuch mit jedem Bein durchgeführt und als Endpunkt die Summe beider Beine berechnet.

Die Messung der Maximalkraft mit einem von einem Untersucher in der Hand gehaltenen Dynamometer ist eine reliable und valide Methode (Stark et al. 2011). Die Anwendbarkeit dieser Messtechnik wurde unter anderem auch an Patienten mit eingeschränkter Muskelkraft erprobt (Sisto et al. 2007).



Abbildung 6: Dynamometer microFET2

Für die Messung der maximalen Handkraft wurde ein von den Probandinnen in der Hand gehaltener Dynamometer (Jamar, MSD, Londerzeel, Belgium; Abb. 7) verwendet. Die Wahl der Messposition erfolgte nach den üblichen Standards (Anderews et al. 1996, Sisto et al. 2007): Die Probandinnen saßen aufrecht auf einem Stuhl, die Füße flach auf dem Boden. Der Oberarm war an den Körper adduziert, das Ellenbogengelenk in 90° Flexion gebeugt und der Unterarm in neutraler Position, wobei keinerlei Unterstützung des Arms durch beispielsweise die Stuhllehne erlaubt war. Die Griffgröße des Dynamometers konnte je nach Handgröße variiert werden. Die Probandinnen bekamen die Anweisung, zuerst mit der linken und dann mit der rechten Hand so stark wie möglich zu drücken. Währenddessen wurden sie zusätzlich verbal motiviert. Zur Analyse wurde die Summe beider Kraftwerte [kg] jeweils eines Versuchs verwendet.

Die Messung der willkürlichen Handkraft mit einem Dynamometer ermöglicht eine praktikable Erfassung der Muskelfunktion und wird im klinischen Alltag zur Beurteilung und Verlaufskontrolle krankheits-oder ernährungsbedingter Funktionseinschränkungen eingesetzt (Norman et al. 2011).

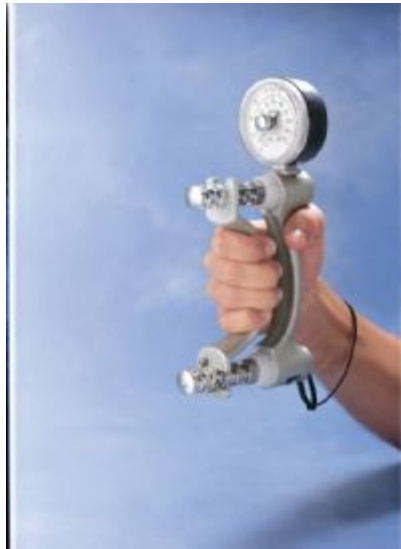


Abbildung 7: Handdynamometer

#### 2.4.5. Kognition

##### 2.4.5.1. Exekutivfunktion

Die Aufmerksamkeit und die Exekutivfunktion wurde zu beiden Terminen durch den „Trail Making Test“ (Reitan 1958) untersucht. Hierbei mussten die Teilnehmerinnen eingekreiste Zahlen, die über ein Blatt verteilt waren, in der richtigen Reihenfolge miteinander verbinden (Teil A; 1-2-3). Im Teil B wurde die Aufgabe um eine Arbeitsgedächtniskomponente erweitert. Die Probandinnen mussten abwechselnd Zahlen und Buchstaben in der natürlichen Reihenfolge (von 1 nach A, nach 2, nach B, usw. bis zur Zahl 13) miteinander verbinden. Zielparameter war die jeweils benötigte Zeit. Fehler in der Durchführung wurden bei weiterlaufender Zeit korrigiert.

#### 2.4.5.2. *Orientierung und Kurzzeitgedächtnis*

Zur Beschreibung des Kollektivs wurden während der Untersuchung einmalig bei 25°C das Kurzzeitgedächtnis und die Orientierung mit Hilfe des „Short Orientation Memory Concentration“ Test (SOMC) untersucht. Der Test prüft, mit einer Bewertung von 0 (am besten) bis 28 Punkten (am schlechtesten), die zeitliche Orientierung, das Rückwärtszählen, das Rückwärtsaufzählen der Monate und das Merken einer Adresse. Eine Punktzahl von 11 oder höher deutet auf eine mögliche Demenz hin (Katzman et al. 1983).

### 2.5. *Psycho-soziale Untersuchung*

#### 2.5.1. *Eigenangaben zum Gesundheitszustand*

Zur Beschreibung des Gesundheitszustands des Kollektivs wurden in einer standardisierten Befragung relevante ärztliche Diagnosen über einen Morbiditätsindex (Groll et al. 2005) erfragt und der Ernährungszustand über das Mini Nutritional Assessment bestimmt (Guigoz 2006; siehe Anhang).

#### 2.5.2. *Temperaturabhängiges Wohlbefinden*

Das temperaturabhängige Wohlbefinden wurde durch den „ASHRAE 7-point comfort scale“ (ASHRAE 2001: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers), in 2 Skalen (heiß bis kalt; angenehm bis sehr unangenehm) mit einer Skalierung von +3 bis -3 bewertet.

### 2.5.3. *Depressive Symptome*

Depressive Symptome wurden in einem standardisierten Interview durch den ADS Fragebogen (Hautzinger 1993) erhoben. Die Allgemeine Depressionskala ist ein Selbstbeurteilungsinstrument, welches das Vorhandensein und die Dauer der Beeinträchtigung durch depressive Symptome erfragt. Der Fragebogen besteht aus 15 Fragen mit einer 4er Skalierung (0-3) und einem Maximalscore (schlechtester Wert) von 45. Ein Wert von >23 deutet auf eine bestehende Depression hin.

### 2.6. *Statistische Auswertung*

Wegen der geringen Fallzahl der Pilotuntersuchung wurden für die Deskription der Merkmale Median, Interquartilsabstand sowie Minimum und Maximum berechnet. Da eine Normalverteilung der Endpunkt-Parameter nicht erwartet werden kann, wurde der nicht-parametrische „Wilcoxon signed rank Test“ verwendet, um die Unterschiede zwischen den Temperaturbedingungen (15°C versus 25°C Umgebungstemperatur) zu analysieren. Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 5\%$  (zweiseitig) gesetzt. Alle Analysen wurden mit SPSS Version 16 berechnet (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).



### 3 Ergebnisse

#### 3.1. Merkmale der Probandinnen

Der Pilotcharakter der Studie wurde durch die Frage der Machbarkeit und Sicherheit geprägt. Hierzu konnten folgende Ergebnisse festgehalten werden: alle Messungen wurden gut toleriert, keine Probandin wurde zu stark belastet und es musste daher auch kein Versuch abgebrochen werden. Eine Teilnehmerin konnte wegen starker Depression nicht in die Studie eingeschlossen werden. Der Ausschluss erfolgte somit nicht aufgrund zu starker körperlicher Belastung, sondern aus emotionalen Gründen.

Die antropometrischen Werte und Ergebnisse der Fragebögen zu den übrigen Probandinnen zeigten ein altersgemäßes Kollektiv (mittleres Alter 77,5 Jahre) mit durchweg guten Werten für Komorbidität, Lebensqualität, Kognition, Depression und Ernährungszustand.

Eine Übersicht über die wichtigsten Merkmale der Teilnehmerinnen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Alter und antropometrische Merkmale aller Teilnehmerinnen (n = 18)

	Median	1.-3. Quartile	Minimum	Maximum
Alter [Jahre]	77,5	72,8-84,6	71	88
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	29,6	24,0-32,4	19,1	41,8
Größe [m]	1,57	1,52-1,61	1,48	1,68
Gewicht [kg]	70,0	58,9-77,3	50,0	118,0
Komorbidität ( <u>0</u> -18)	3	1,8-4,0	0	8
WHO-BREF ( <u>26</u> -130)	109	104,0-112,8	99	125
ADS/CES-D ( <u>0</u> -45)	3	2,0-4,3	1	8
SOMC ( <u>0</u> -18)	2	0,0-4,0	0	8
MNA ( <u>0</u> -30)	27	26,1-28,5	24	30

BMI = Body Mass Index; WHO-BREF = Ermittlung der Lebensqualität durch den World Health Organisation Field Trail Version Fragebogen; ADS/CES-D = Center of Epidemiological Studies Depression Scale; SMOC = Ermittlung der Kognition durch den Short Orientation Memory Concentration Test; MNA = Mini Nutritional Assessment (Ernährungszustand); Bessere Werte sind unterstrichen.

### 3.2. Hauttemperatur

Nach 15-minütiger Akklimatisierungszeit betrug die Hauttemperatur der Probandinnen bei 15°C Raumtemperatur im Median 30,4°C (27,6°C bis 32,4°C) und bei 25°C Raumtemperatur 32,9°C (30,9°C bis 34,2°C).

### 3.3. Leistung

Bei der Messung der Schnellkraftfähigkeit der unteren Extremität mit Hilfe des „Nottingham Power Rig“ zeigte sich bei den Probandinnen zwischen 15°C Raumtemperatur (Median 108,9 W) und 25°C Raumtemperatur (Median 115,8 W) kein statistisch signifikanter Unterschied ( $p = 0,948$ ).

Die zweite Schnellkraftmessung („Power Chair“), bei der die Leistung beim Transfer vom Sitzen zum Stehen gemessen wurde, zeigte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied bei den verschiedenen Raumtemperaturen. Allerdings ließ sich eine Tendenz der Leistungsminderung bei kälterer Temperatur mit  $p = 0,102$  erkennen, wobei 13 von 18 Werten bei 15°C Raumtemperatur niedriger waren als bei 25°C.

Tabellen 2 und 3 zeigen die erzielte Leistung der Probandinnen im „Nottingham Power Rig“ und beim Transfer vom Sitzen zum Stehen („Power Chair“). In den Abbildungen 8 und 9 werden die beiden Leistungen im Vergleich bei 15°C und 25°C dargestellt.

Tabelle 2: Leistung im „Nottingham Power Rig“

Umgebungstemperatur	Nottingham Power Rig [W]		
	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	108,9	94,2-126,6	64,0-179,9
25°C	115,8	93,6-142,7	64,3-179,0

$n = 18$ ;  $p = 0,948$

Tabelle 3: Leistung im „Power Chair“

	Power Chair [W]		
Umgebungstemperatur	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	564,2	470,0-593,6	273,1-636,9
25°C	553,3	488,1-664,0	285,8-808,6

n = 18; p = 0,102

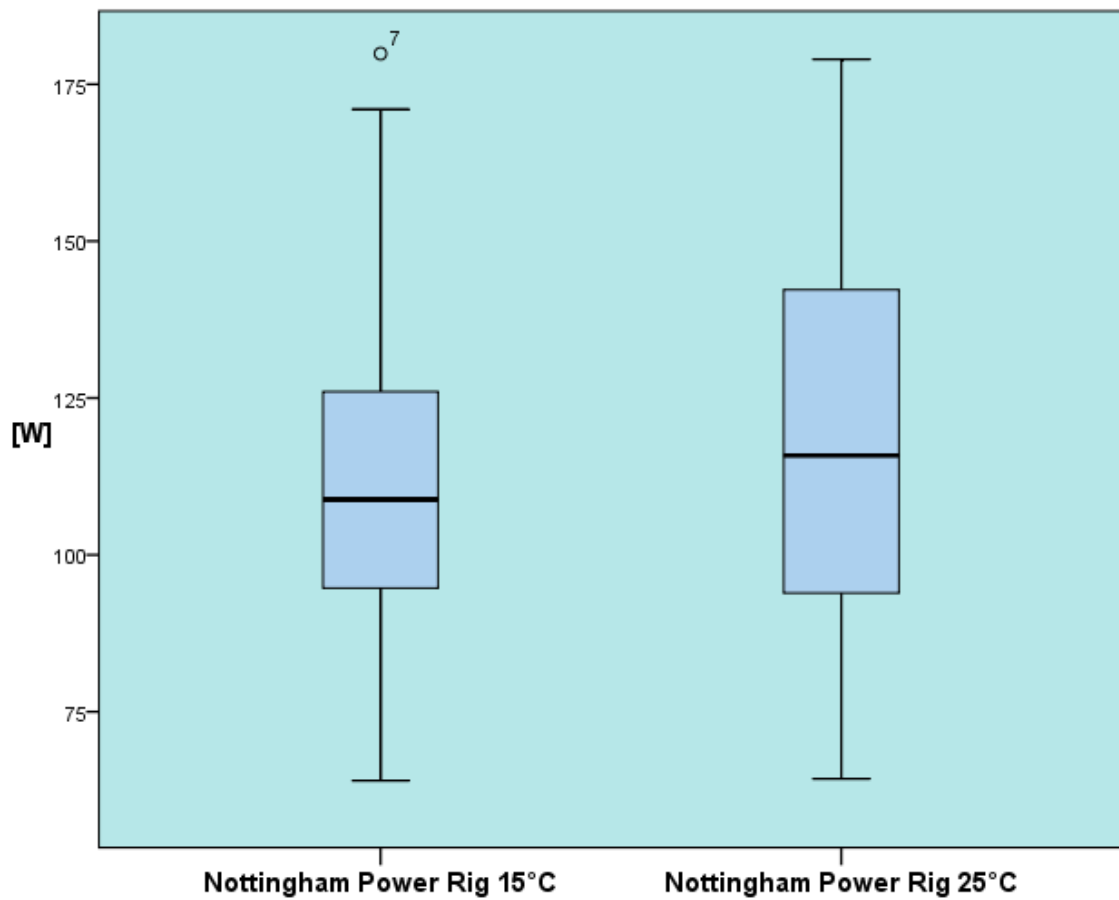


Abbildung 8: Vergleich Leistung „Nottingham Power Rig“ bei 15°C und 25°C

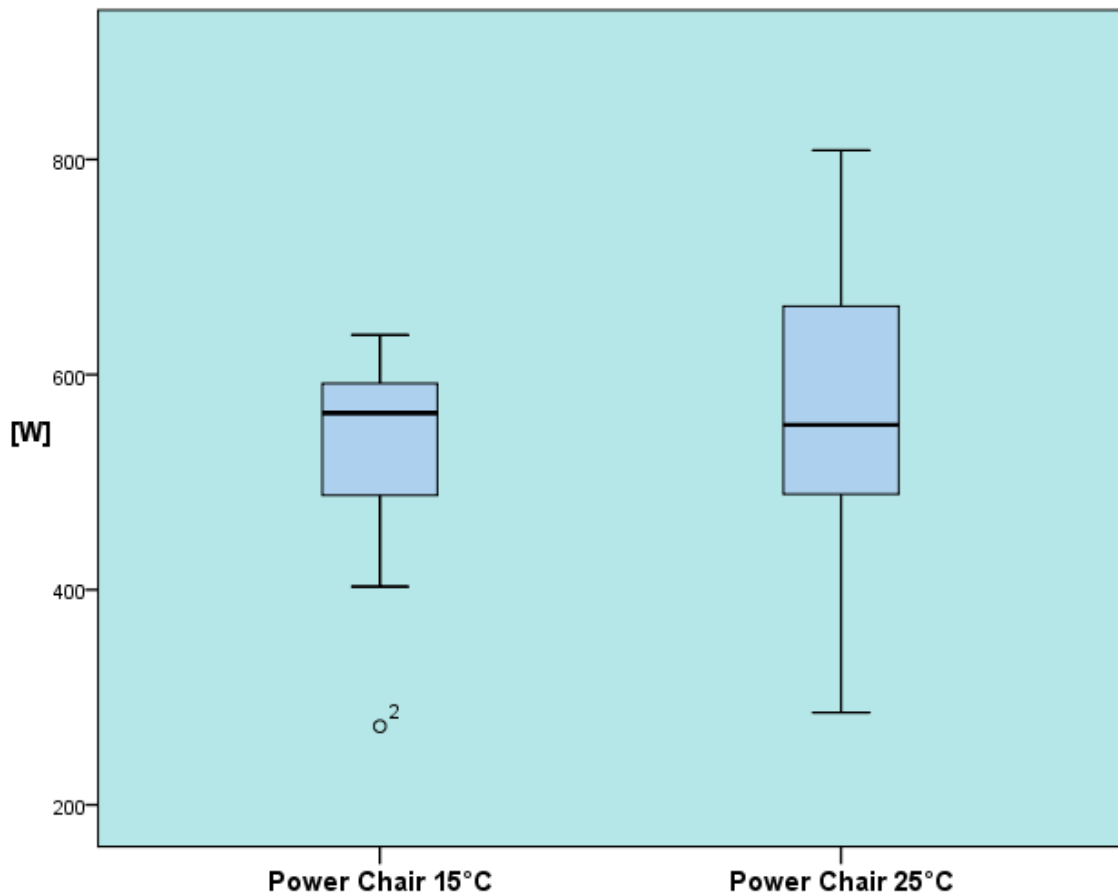


Abbildung 9: Vergleich Leistung „Power Chair“ bei 15°C und 25°C

### 3.4. Gehgeschwindigkeit

Die Messung der normalen Gehgeschwindigkeit bei 15°C und 25°C Raumtemperatur ergab keine signifikante Differenz ( $p=0,246$ ). Ebenfalls zeigte sich bei dem Vergleich der maximalen Gehgeschwindigkeit unter den unterschiedlichen Raumtemperaturen zwar ein höherer Wert bei 25°C (Median 1,75 m/s), welcher jedoch nicht signifikant von der medianen maximalen Gehgeschwindigkeit bei 15°C (1,67 m/s) abwich ( $p=0,231$ ).

Tabellen 4 und 5 zeigen die erreichte normale und maximale Gehgeschwindigkeit. In den Abbildungen 10 und 11 werden die Gehgeschwindigkeiten im Vergleich bei 15°C und 25°C dargestellt.

Tabelle 4: Normale Gehgeschwindigkeit

	Normale Gehgeschwindigkeit [m/s]		
Umgebungstemperatur	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	1,13	0,99-1,26	0,70-1,49
25°C	1,11	1,01-1,33	0,82-1,51

n = 18; p = 0,246

Tabelle 5: Maximale Gehgeschwindigkeit

	Maximale Gehgeschwindigkeit [m/s]		
Umgebungstemperatur	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	1,67	1,56-1,88	1,13-2,29
25°C	1,75	1,48-1,89	1,25-2,47

n = 18; p = 0,231

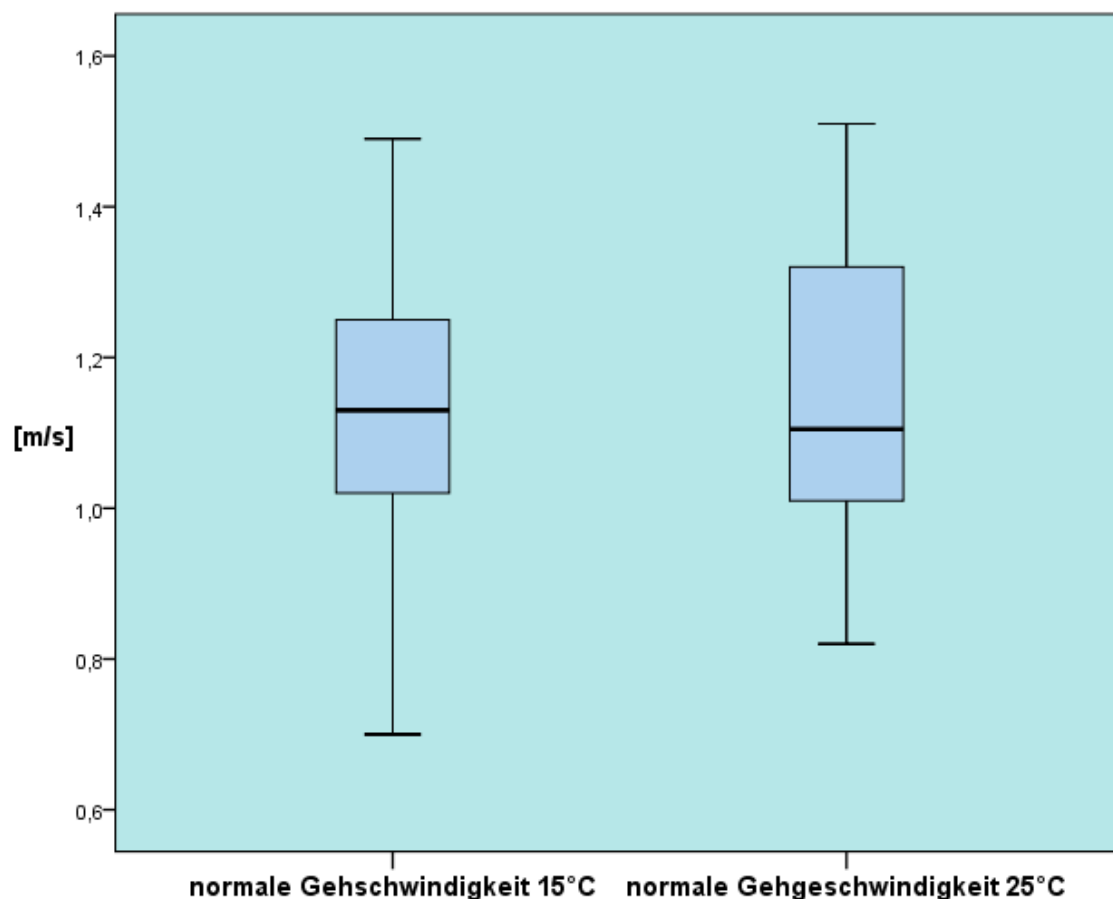


Abbildung 10: Vergleich der normalen Gehgeschwindigkeit bei 15°C und 25°C

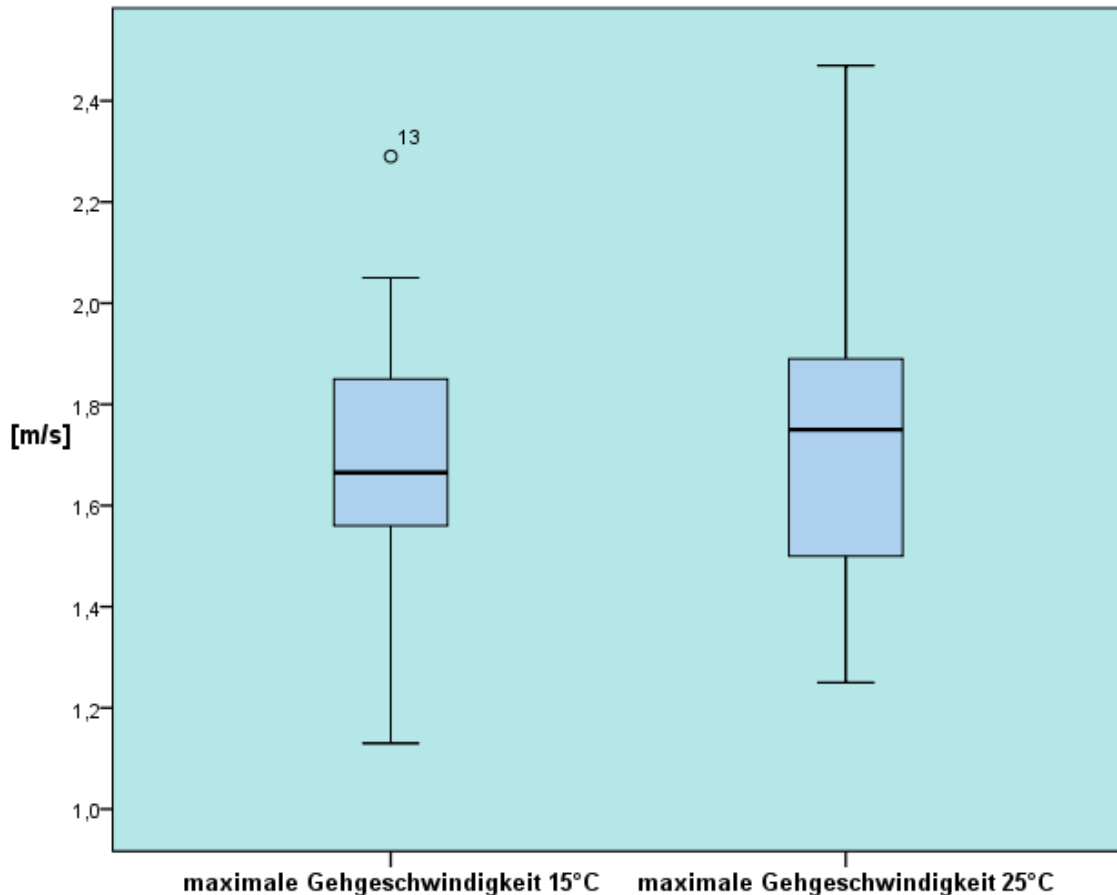


Abbildung 11: Vergleich der maximalen Gehgeschwindigkeit bei 15°C und 25°C

### 3.5. Maximale Kraft

Bei der Messung der maximalen Kraft des Kniestreckmuskels konnte eine Messung nicht verwertet werden, da die Probandin über Schmerzen bei der Ausführung klagte. Bei 25°C Raumtemperatur betrug die maximale Kraft bei der Kniestreckung im Median 140,61 Nm, bei 15°C Raumtemperatur nur 134,30 Nm. Die erreichte Kraft unterschied sich jedoch nicht statistisch signifikant ( $p = 0,136$ ).

Bei der Handkraft deutet der Median von 43,5 Nm bei 25°C gegenüber 42,8 Nm bei 15°C zwar eine Tendenz in Richtung bessere Handkraft in wärmerer Umgebung an, jedoch zeigte der statistische Test einen signifikanten Unterschied genau entgegengesetzt. 12 Werte waren bei 15°C besser als bei 25°C. 3 Werte waren gleich. Die Handkraft war somit bei 15°C signifikant größer als bei 25°C

( $p = 0,008$ ). Die Quartilswerte und die Werte für Minimum und Maximum zeigten dies deutlicher als der Median.

Tabellen 6 und 7 zeigen die maximal erreichte Hand- und Beinkraft. In den Abbildungen 12 und 13 werden die maximal erreichten Kräfte im Vergleich bei 15°C und 25°C dargestellt.

Tabelle 6: Maximale Handkraft

	Maximale Handkraft [Nm]		
Umgebungstemperatur	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	42,8	39,2-53,0	30,0-64,0
25°C	43,5	37,0-48,3	24,0-57,0

$n = 18$ ;  $p = 0,008$

Tabelle 7: Maximale Beinkraft

	Maximale Beinkraft [Nm]		
Umgebungstemperatur	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	134,3	120,2-143,4	65,5-166,9
25°C	140,6	111,48-153,0	71,23-194,1

$n = 18$ ;  $p = 0,136$

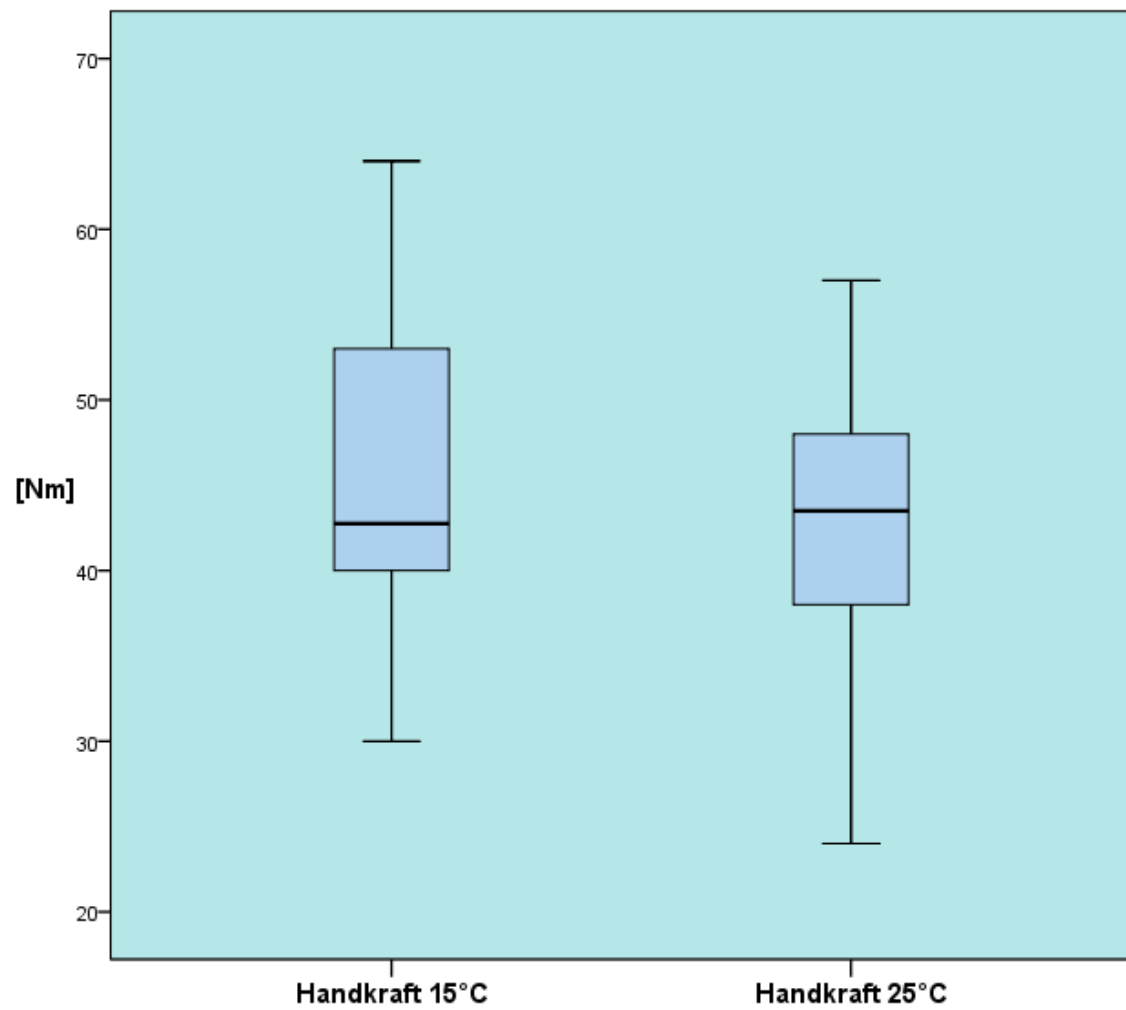


Abbildung 12: Vergleich der Handkraft bei 15°C und 25°C



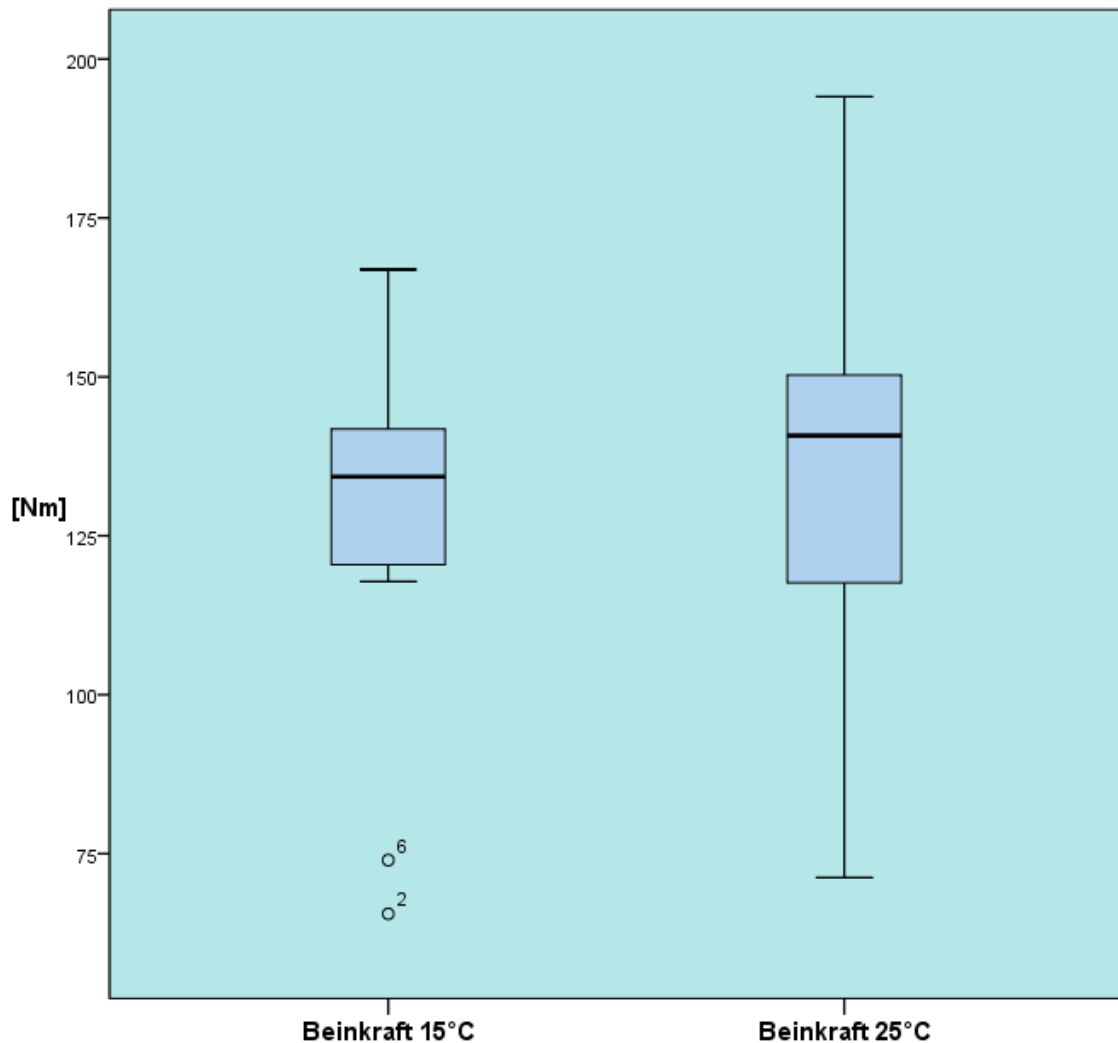


Abbildung 13: Vergleich der Beinkraft bei 15°C und 25°C

### 3.6. Kognition: Exekutivfunktion

Das deutlichste Ergebnis ergab sich im kognitiven Bereich. Es konnte gezeigt werden, dass sich unter den verschiedenen Temperaturverhältnissen besonders komplexe kognitive Funktionen, bewertet anhand des Trail Making Test B, signifikant veränderten. Bei 15°C verbanden die Probandinnen Zahlen und Buchstaben in Kombination signifikant langsamer als unter der Raumtemperatur von 25°C ( $p = 0,031$ ). Im Gegensatz dazu waren im Trail Making Test A, der einfache kognitive Funktionen beurteilt, keine signifikanten Unterschiede erkennbar ( $p = 0,647$ ).

Tabellen 8 und 9 zeigen die Ergebnisse des Trail Making Test A und B. In den Abbildungen 14 und 15 werden die Ergebnisse der Trail Making Tests im Vergleich bei 15°C und 25°C dargestellt.

Tabelle 8: Trail Making Test Teil A

	Trail Making Test Teil A [s]		
Umgebungstemperatur	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	37,8	31,4-47,9	22,3-87,4
25°C	34,7	29,5-54,2	21,8-79,0

n = 18; p = 0,136

Tabelle 9: Trail Making Test Teil B

	Trail Making Test Teil B [s]		
Umgebungstemperatur	Median	1.-3. Quartile	Min-Max
15°C	96,8	71,9-130,3	48,3-383,5
25°C	92,2	61,8-111,2	46,8-257,0

n = 18; p = 0,031

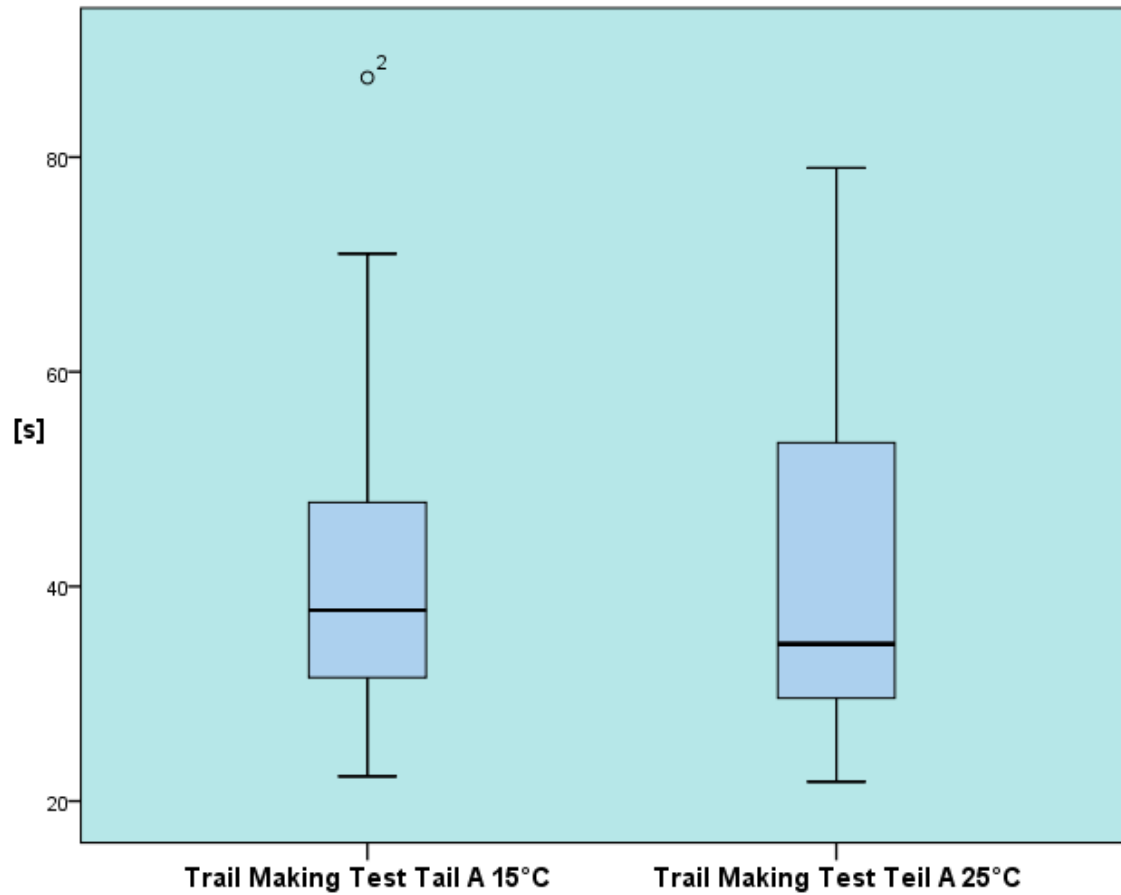


Abbildung 14: Vergleich Trail Making Test Teil A bei 15°C und 25°C

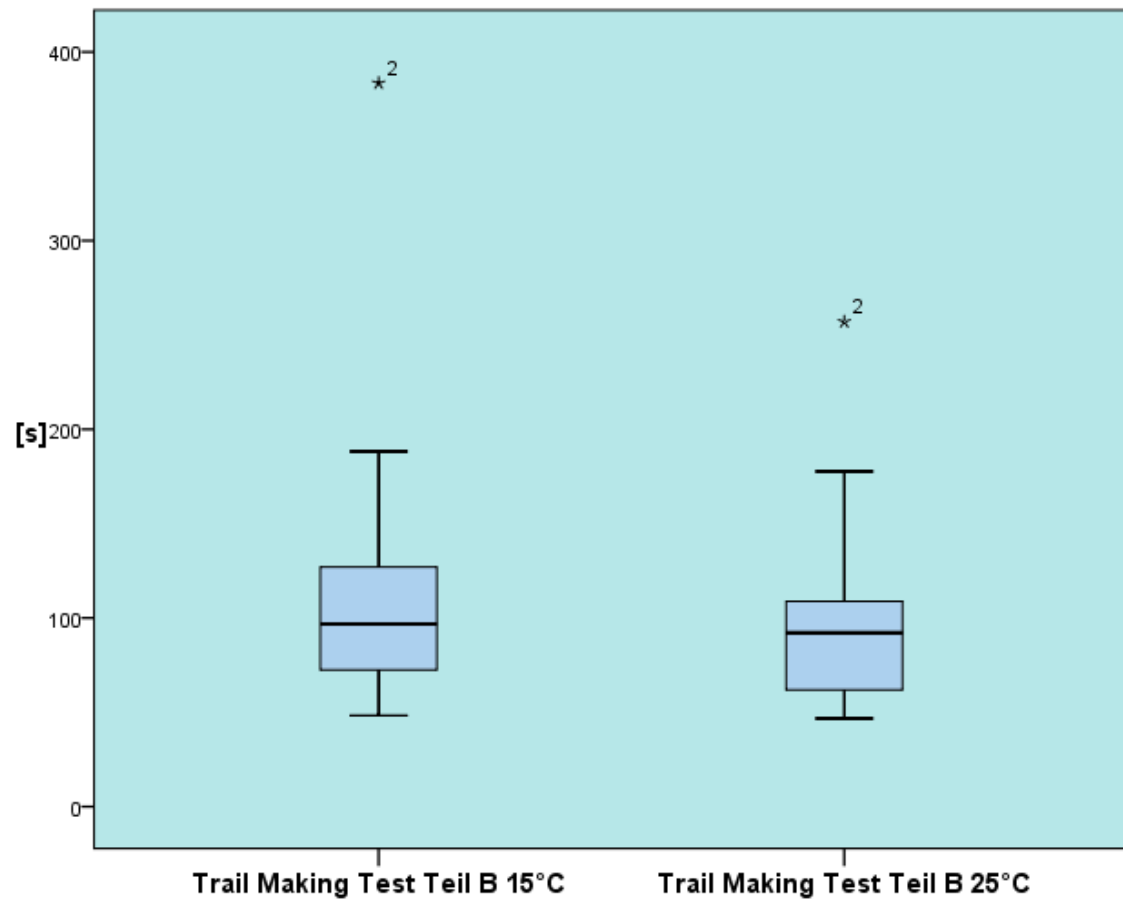


Abbildung 15: Vergleich Trail Making Test Teil B bei 15°C und 25°C

3.7. Korrelation der Leistungsdifferenz bei 15°C und 25°C mit anthropometrischen Merkmalen am Beispiel des „Nottingham Power Rig“

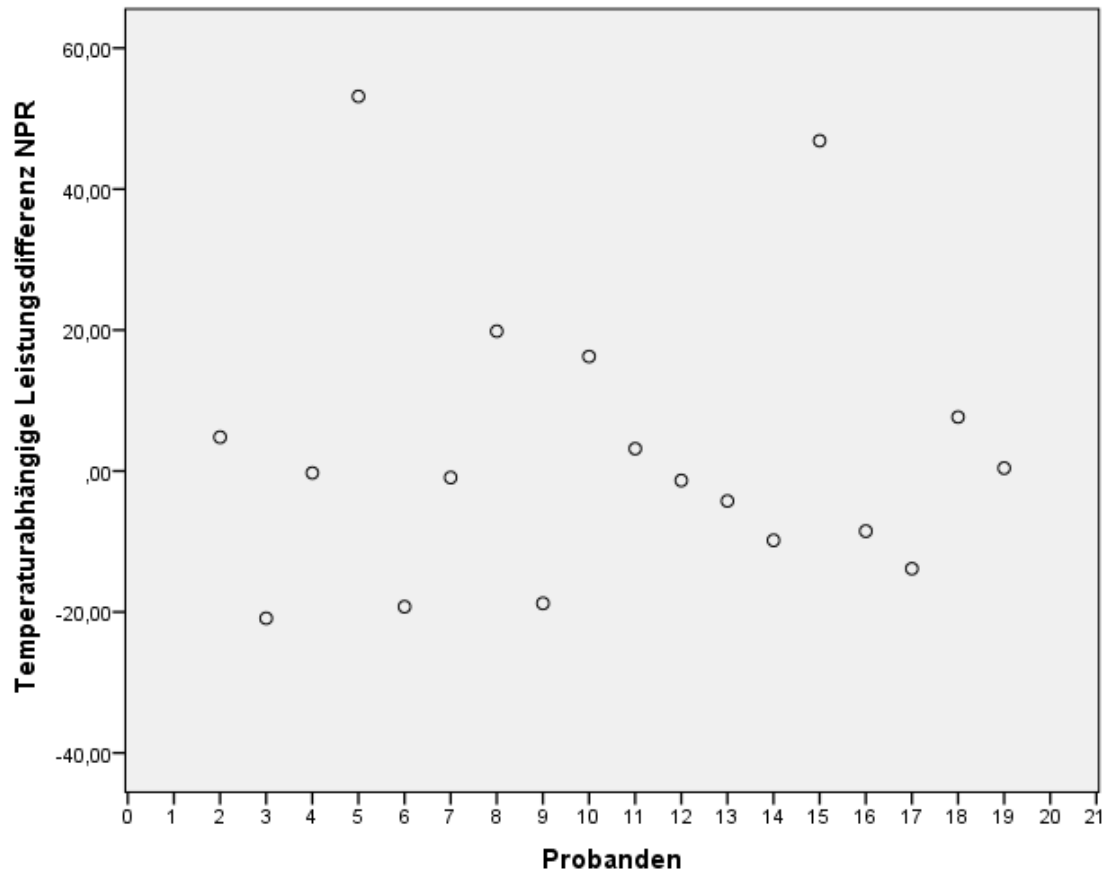


Abbildung 16: Variabilität der Leistungen am „Nottingham Power Rig“

Abbildung 16 zeigt die hohe Variabilität der Leistungen am „Nottingham Power Rig“ der einzelnen Probandinnen bei Wärme und bei Kälte. Um die Ursache für diese hohe Variabilität herauszufinden, wurde eine Korrelation zu einzelnen ausgewählten anthropometrischen Merkmalen untersucht (s. Tabelle 10).

Tabelle 10: Korrelationen ausgewählter Parameter untereinander (nach Spearman mit Fallzahl n = 18)

	BMI	Beinkraft	MNA
NPR_effektiv	0,044	-0,079	<b>-0,477</b>
BMI	1,0	0,441	0,248
Beinkraft		1,0	-0,017
MNA			1,0

NPR\_effektiv = Temperaturabhängige Leistungsdifferenz im „Nottingham Power Rig“  
MNA = Mini Nutritional Assessment (Ernährungszustand); BMI = Body Mass Index;

Tabelle 10 zeigt die Korrelationen einzelner ausgewählter Parameter untereinander. Mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,477 und einem daraus ermittelten Bestimmtheitsmaß von 22,75% war hierbei der Ernährungszustand (MNA) der einzige herausragende Parameter in Korrelation mit der Leistungsdifferenz im Nottingham Power Rig ( $p = 0,045$ ).

## **4 Diskussion**

### *4.1. Diskussion von Methoden und Probandinnen*

#### *4.1.1. Probandinnen*

In die vorliegende Studie wurden 18 Probandinnen aufgenommen. Da es sich um eine Pilotstudie handelte, reichte die relativ kleine Stichprobe aus, um die Sicherheit und Anwendbarkeit der ausgewählten Untersuchungsmethoden für eine darauffolgend geplante, größer angelegte Hauptstudie zu prüfen. Ferner gaben die Ergebnisse Aufschluss darüber, welche Fallzahlen und Kriterien bei einem größeren Stichprobenumfang zugrunde gelegt werden sollten.

Die Studie wurde ausschließlich an Frauen durchgeführt. Einerseits, um geschlechtsspezifische Unterschiede als Einflussvariable von vornherein auszuschließen, andererseits, um die unter Abschnitt 1.1.1. beschriebene Altersentwicklung zu berücksichtigen. Laut demographischer Untersuchungen wird sich vor allem die Lebenserwartung der Frauen erhöhen und ihr Anteil in höheren Altersgruppen im Vergleich zu den Männern überwiegen (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung 2009). Demzufolge werden sie einen größeren Anteil der Betroffenen stellen, die an Alterssyndromen wie beispielsweise Sarkopenie leiden und daher eher Gefahr laufen, zu stürzen und sich ernsthafte Verletzungen zuzuziehen. Letzteres auch dadurch, dass Frauen vorrangig von einer Abnahme der Fähigkeit der Schnellkraftproduktion betroffen sind als Männer (Bassey et al. 1990, Skelton et al. 1994). Desweiteren besteht zwischen Männern und Frauen ein Unterschied bei der Kältetoleranz (Mäkinen 2010).

Aufgrund des Charakters der Studie als Pilotstudie, wurden Probandinnen ausgewählt, die gesund, körperlich fit und aktiv waren. Dies sind Voraussetzungen, die die physiologischen Reaktionen des Körpers auf Kältereiz allerdings positiv beeinflussen, da fitte Personen mehr Wärme produzieren und somit besser in der Lage sind, ein Temperaturgleichgewicht aufrechtzuerhalten. Daher könnte

dies die Ursache dafür sein, dass die Probandinnen auch bei 15°C teilweise gute Leistungs- und Kraftergebnisse erzielten.

#### *4.1.2. Kühlungsmethode und Umgebungstemperatur*

In der vorliegenden Studie sollte eine Ganzkörperkühlung erreicht werden. Dafür wurde der gesamte Untersuchungsbereich auf eine Raumtemperatur von 15°C abgekühlt. In Anlehnung an eine Studie von Maetzler et al., die sich mit Zusammenhängen zwischen Muskelfunktionsparametern und Hauttemperatur bei Exposition in kühler Umgebungstemperatur befasst (Maetzler et al. 2012), und aufgrund des Charakters der Studie als Pilotstudie wurde eine Akklimatisierungszeit von 15 Minuten festgelegt. Nach Ablauf dieser Zeit wurde vorausgesetzt, dass eine Wirkung der Raumtemperatur auf die Muskulatur eingesetzt hatte. Inwieweit sich diese Voraussetzung als korrekt erweist, soll bei der Diskussion der Ergebnisse im Abschnitt „Hauttemperatur“ erörtert werden.

In den Studien von Oksa et al. (1997; 2006), Davies et al. (1983), Bergh et al. (1979) oder Blomstrand et al. (1984) wurden ganz verschiedene Methoden angewandt, um eine Abkühlung des Körpers oder von Körperteilen für die Untersuchungen zu erreichen. Sie unterscheiden sich anhand der Dauer der Kälteexposition, des Mediums (Wasser, Luft) und des Expositionsgebietes (Ganzkörper- oder lokale Kühlung). Alle Kühlungsmethoden bewirkten eine Abnahme der Muskeltemperatur, welche bestimmend für die muskuläre Funktion ist (Oksa 2002). Um jedoch realistische häusliche Bedingungen zu simulieren, wie sie sich eventuell in Zukunft in kälteren Wintermonaten für ältere Menschen einstellen könnten, wurde in hier vorliegender Studie die Methode der Ganzkörperkühlung bei kalter Raumtemperatur gewählt.

Die Tatsache, dass die Untersuchungen in den warmen Sommermonaten von Juni bis September stattfanden und an den Messtagen des Öfteren sehr heiße Außenbedingungen herrschten, könnte dazu beigetragen haben, dass unsere Probandinnen eine kühle Raumtemperatur als eher angenehm empfanden und



daher auch sehr gute Leistungen erbrachten. Dieser Überlegung liegen die Beobachtungen von Mäkinen et al. zugrunde, wonach Kälte auf zwei Arten auf den Menschen wirken kann. Zum einen wirkt der Kälteeinfluss „ablenkend“, da sich die Konzentration auf das Gefühl des Frierens und Zitterns verlagert. Zum anderen führt er zu erhöhter Wachsamkeit (Mäkinen et al. 2006). Empfanden die Teilnehmerinnen die Raumtemperatur als angenehm, wurde ihre Konzentration und Leistung folglich nicht durch frieren und zittern beeinträchtigt.

#### *4.1.3. Messung der Schnellkraft*

Wie im Abschnitt 1.3. beschrieben, lässt mit voranschreitendem Alter vor allem die Fähigkeit der Schnellkraftproduktion in den unteren Extremitäten nach. Die Schnellkraft, als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit, ist für Alltagsbewegungen wie Gehen, Treppensteigen und Aufstehen von einem Stuhl wichtiger, als die Kraft allein (Bassey et al. 1990, Skelton et al. 1994). Desweiteren spielt sie eine bedeutende Rolle bei der Gleichgewichtskontrolle. Eine zusätzliche Verminderung der Schnellkraftproduktion durch Kälteeinflüsse würde die Risiken für Bewegungseinschränkungen und Stürze erhöhen.

Für die Messung der Schnellkraftproduktion eines älteren Probandenkollektivs, ist das „Nottingham Power Rig“ eine geeignete und vor allem auch sichere Methode (Bassey et al. 1990). Der Bewegungsablauf und Krafteinsatz (Hüft- und Knieextension, sowie die Plantarflexion im Fußgelenk) ähneln alltäglichen Aktivitäten, wie zum Beispiel der des Treppensteigens, so dass Aussagen zu möglichen Einschränkungen bei diesen Aktivitäten getroffen werden können. Dadurch dass die Messung im Sitzen erfolgt, können ebenso sicher gebrechlichere Probandinnen getestet werden.

Eine weitere Methode der Schnellkraftmessung stellt der Transfer vom Sitzen zum Stehen dar („Power Chair“). Er ist ebenfalls ein sicheres Testverfahren für ein älteres Probandenkollektiv. Abgesehen von der Beinstreckbewegung beim „Nottingham Power Rig“ wird hierbei eine komplexere Alltagsbewegung getes-

tet. Das Aufstehmanöver beinhaltet zusätzlich eine Bewegung des Oberkörpers. Außerdem wird das Körpergewicht in die Kraftberechnung mit einbezogen (Lindemann et al. 2007). Dies erklärt die weit höheren Wattzahlen, die bei den Tests mit dem „Power Chair“ im Vergleich zum „Nottingham Power Rig“ in dieser Studie erzielt wurden (s. Tabelle 3). Desweiteren spielt neben Kraft und Schnelligkeit auch die Balance und somit die Koordination beim Aufstehmanöver eine Rolle. Denn um nach dem Erheben aus dem Stuhl eine stabile Standposition zu erreichen, müssen Kraft und Geschwindigkeit gleichgeordnet eingesetzt werden (Lindemann et al. 2007). Durch beide Verfahren im Vergleich konnte in der vorliegenden Studie herausgefunden werden, dass Bewegungsabläufe mit koordinativer Komponente, wie der Transfer vom Sitzen zum Stehen, eher durch kühle Umgebungstemperaturen beeinflusst werden als einfache motorische Aufgaben.

#### *4.1.4. Messung der maximalen Bein- und Handkraft*

Als reliable und valide Messgröße zur Beurteilung der maximalen Krafftähigkeit hat sich die bei isometrischer Kontraktion erzielte maximale Kraft bzw. das maximale Drehmoment [Nm] bewährt (Sportmedizin für Ärzte 2010). Beurteilt wird beim Drehmoment das Produkt der maximalen willkürlichen Kraft und des Hebelarms. Wird die „isometrische“ Maximalkraft gemessen, so bedeutet dies, dass ein Muskel oder eine Muskelgruppe willentlich gegen einen relativ zu hohen Widerstand Kraft entwickelt, ohne dass sich dabei die Muskellänge sichtbar ändert (Jansen 2011). Bei der Messung des maximalen Drehmoments sollte das Längen-Spannungsverhältnis (Vordehnung) des betreffenden Muskels berücksichtigt werden, um eine optimale Kraftentwicklung zu gewährleisten. Für die Messung des maximalen Drehmoments bei der Kniestreckung wurden die Probandinnen daher in einer sitzenden Position gemessen, Hüft- und Kniegelenk in 90° Flexion. Auch die übrigen Testvorgaben, wie Dynamometerposition und Stabilisierung der Probanden wurden anhand von Empfehlungen aus der Literatur (Andrews et al.1996, Bohannon 1997) gewählt. Es muss jedoch einge-

räumt werden, dass die Ergebnisse dieser Kraftmessung und deren Vergleichbarkeit zum Teil vom Untersucher abhängig sind. Kommt es durch ungenügende Fixation des Dynamometers zu einer Änderung der Stellung des Gelenkwinkels, ergeben sich nicht vergleichbare Messsituationen. Da es sich bei der Messung der Kniestreckung um eine kräftige Muskelgruppe handelt, ist es nicht auszuschließen, dass der Untersucher nicht in der Lage ist, der Kraft entgegenzuwirken und die Position zu halten (Goebel 2002). Um vergleichbare Messwerte zu erhalten, sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass der Untersucher ausreichend Gegendruck ausüben kann. Bei den Probandinnen mit Muskelschwäche, die in nachfolgender Hauptstudie untersucht werden sollen, wird diese Problematik eventuell vermeidbar sein.

Die Messung der maximalen Kraft wurde in die Methodik aufgenommen, da die Beurteilung der Kraft ein wichtiger Aspekt in der klinischen Praxis ist (Norman et al. 2011). Die Erfassung des Ausmaßes und der Verteilung von Muskelschwäche liefert wichtige Aussagen über die Fähigkeit von Patienten, verschiedenste Alltagsaktivitäten bewältigen zu können (Cruz-Jentoft et al. 2010). Eine Einschätzung der Sturzgefahr ist dadurch ebenfalls möglich (Bauer et al. 2008). In Bezug auf die Handkraft, könnte eine Kraftminderung Einschränkungen bei der Benutzung von Gerätschaften, dem Öffnen von Flaschen und Dosen oder auch beim Festhalten an einem Geländer beim Treppensteigen mit sich bringen (Skelton et al. 1994). Die Messung der Maximalkraft mit einem Handdynamometer ist eine daher reliable und valide Methode, um Kraftdefizite festzustellen (Stark et al. 2011) und kommt im Klinikalltag häufig zur Anwendung (Norma et al. 2011).

#### *4.1.5. Kognition: Exekutivfunktion*

Um zu überprüfen, inwiefern bzw. inwieweit sich der Aufenthalt der Probandinnen im Labor unter unterschiedlichen Raumtemperaturen auf ihre kognitiven Fähigkeiten ausgewirkt haben könnte, wurde der Trail Making Test durchgeführt. Dieser Test ist im klinischen Alltag ein häufig angewandtes Testverfahren,

um Leistungsdefizite von Hirnfunktionen zu erkennen. Er ist in zwei Teile aufgeteilt: Teil A überprüft überwiegend Verarbeitungsgeschwindigkeiten, während Teil B höhere kognitive Leistungen bzw. Exekutivfunktionen wie beispielsweise Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeit, Multitasking oder kognitive Flexibilität testet. Ein schlechtes Abschneiden in diesem Test könnte ein Hinweis auf Einschränkungen verschiedenster Bereiche der Hirnfunktion sein.

## 4.2. *Diskussion der Ergebnisse*

### 4.2.1. *Hauttemperatur*

Nach einer Akklimatisierungszeit von 15 Minuten zeigte sich eine kühlere Hauttemperatur. Im Vergleich zu anderen Studien, die den Effekt der Temperatur auf die Muskelfunktion überprüften, war diese jedoch noch relativ hoch. Allerdings wurden in diesen Studien auch lokale Kühlmethoden wie Eisbeutel oder Wasserimmersion verwendet, wodurch eine stärkere Abkühlung der Haut- und Muskeltemperatur erreicht wurde (Davies et al. 1983, Ranatunga et al. 1987, Skelton et al. 1992, Dewhurst et al. 2007; 2010). Um jedoch den gesellschaftlichen und ökologischen Aspekt der vorliegenden Studie zu verdeutlichen, sollte die Methodik alltagsrelevante Bedingungen simulieren.

Für die Auswahl der Methode, nach der eine Abkühlung der Muskeltemperatur anhand der Absenkung der Hauttemperatur angenommen wurde, waren die Erkenntnisse aus einer Studie von Ranatunga et al. entscheidend (Ranatunga et al. 1987). Ranatunga et al. kommen darin zu dem Schluss, dass die Hauttemperatur eine geeignete Größe zur Abschätzung der Muskeltemperatur ist. Im Gegensatz dazu gibt es in der Literatur jedoch Hinweise dahingehend, dass kalte Umgebungstemperaturen eine stärkere Absenkung der Hauttemperatur als der Muskeltemperatur bewirken (Dewhurst et al. 2007; 2010). In diesen Studien fiel im Falle des M. tibialis anterior die Hauttemperatur, gemessen am Bauch des Muskels, nach Abkühlung von durchschnittlich 29,2°C auf 20,7°C ab (Abkühlung um 29%), während die mit einer intramuskulären Elektrode gemessene Muskeltemperatur nur von 34,3°C auf 30,4°C absank (Abkühlung um

11%) (Dewhurst et al. 2007). Bei der Messung der Hauttemperatur des Quadrizeps verminderte sich diese nach Abkühlung von 32,8°C auf 26,1°C (Abkühlung um 20%) und die intramuskuläre Temperatur von 33,9 auf 29,1°C (Abkühlung um 14%) (Dewhurst et al. 2007). Daraus lässt sich schließen, dass eine alleinige Messung der Hauttemperatur eventuell nicht ausreichen könnte, um eine exakte Aussage zur Muskeltemperatur zu treffen. Auch Maetzler et al. kommen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass die Hauttemperatur zwar Rückschlüsse auf eine gleichzeitige Veränderung der Muskeltemperatur andeutet, jedoch ist das Verhältnis Hauttemperatur/Muskelfunktion nicht linear (Maetzler et al. 2012). Für eine genauere Bestimmung der Muskeltemperatur lässt sich folglich eine invasive Messmethode nicht vermeiden, jedoch ist diese bei gleichzeitiger Muskelfunktionstestung nicht durchführbar bzw. zumutbar. Durch die Elektrode würde es zu Verletzungen der Muskelfaser kommen und damit zu einer Verfälschung der Testergebnisse. Außerdem wäre diese Vorgehensweise für die Probandinnen unangenehm bis schmerzhaft.

Bezüglich der Ermittlung der Expositionszeit in kühler Umgebungstemperatur ist eine Studie von Oksa et al. richtungweisend (Oksa et al. 1997). Er zeigte, dass nach 60 Minuten Exposition in 15°C Raumtemperatur eine Hauttemperatur von 27,1°C vorlag und eine Muskeltemperatur von 31°C. Die Hauttemperatur in hier vorliegender Studie lag nach nur 15 Minuten mit 30,4°C noch deutlich höher. Daher muss davon ausgegangen werden, dass die Muskeltemperatur noch nicht ausreichend weit reduziert war, um die Muskelfunktion signifikant einzuschränken und folglich eine Expositionszeit von 15 Minuten zu keiner ausreichenden Abkühlung führte. Oksa resümiert in seiner Studie, dass schon moderat kühle Temperaturen ausreichen, um eine aussagekräftige Abnahme der Muskelleistung zu erreichen. Jedoch ist die Abnahme dosisabhängig und steigert sich mit zunehmender Kälteexposition (Oksa et al. 1997). Zu diesem Ergebnis kommen auch Maetzler et al. (Maetzler et al. 2012). In ihrer Studie konnten sie zeigen, dass sich neurophysiologische Parameter, die Einfluss auf die Muskelfunktion haben, bei einer Exposition über einen Zeitraum von 45 Minuten bei kühlen Raumtemperaturen verändern. Erste Veränderungen waren bei den Probandinnen nach einer Expositionszeit von 15 Minuten messbar, weshalb für

die Pilotstudie eine Akklimatisierungszeit von 15 Minuten gewählt wurde. Jedoch erreichten die Werte nach 15 Minuten kein Plateau, sondern veränderten sich fortlaufend. Mit Zunahme der Expositionszeit zeigten sich die Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit und die Erhöhung der Latenzzeit der distalen Extremitätenmuskulatur in einer linearen Kurve, während sich die Dauer des Motoraktionspotentials und die Abnahme der Hauttemperatur auf einer exponentiellen Kurve bewegten. Diese Tatsache und die o.g. Aussage Oksas führen zu der Überlegung, dass eine Akklimatisierungszeit von nur 15 Minuten eventuell nicht ausreichend ist. Um in der geplanten Hauptstudie aussagekräftigere Ergebnisse zu erzielen, wäre es daher sinnvoll, die Expositionszeit der Probandinnen innerhalb des Labors vor Beginn der Messungen von 15 Minuten auf ca. 45 bis 60 Minuten zu verlängern.

#### 4.2.2. Leistung 1: „Nottingham Power Rig“

Die Tests mit dem „Nottingham Power Rig“ konnten zeigen, dass die Probandinnen die Bewegung (Hüft- und Knieextension) ohne Probleme ausführen konnten. Auf diese Weise war eine sichere und verlässliche Messung der Schnellkraftproduktion gewährleistet. Ein signifikanter Unterschied in der Kraftentwicklung bei der Beinstreckung bei 15°C im Vergleich zu 25°C war in dieser Probandinnengruppe nicht zu erkennen. Eine Beeinträchtigung der Schnellkraft, wie in anderen Studien beschrieben (Bergh et al. 1979, Blomstrand et al. 1984, Oksa et al. 1997), konnte daher nicht nachgewiesen werden. Beim Vergleich der Beeinträchtigung der Schnellkraft aus dieser Studie mit den Ergebnissen aus anderen Studien, muss jedoch auch eingeräumt werden, dass dort vornehmlich dynamische Bewegungen wie Radfahren, Sprinten und Springen untersucht wurden. Für diese Bewegungsformen konnte eine eindeutige Leistungseinschränkung bei Senkung der Muskeltemperatur nachgewiesen werden (2-10 % pro 1°C verringerte Muskeltemperatur). Einfache motorische Leistungen waren auch dort weniger betroffen (Oksa 2002). Außerdem muss beim Vergleich berücksichtigt werden, dass sich diese Studien von der vorliegenden

Studie vor allem im Hinblick auf das Probandenkollektiv und der Methodik unterscheiden. Es wurden junge sportliche Probanden getestet, deren Muskelleistung auf Fahrradergometern oder bei Sprungbewegungen überprüft wurde. Eine Abkühlung oder Erwärmung der Muskulatur erfolgte dabei durch Wasserimmersion oder Eisbeutel, woraus eine weitaus geringere Muskeltemperatur resultierte. Folglich war in diesen Fällen mit stärkeren Veränderungen der Muskelfunktion auf biochemischer und neuromuskulärer Ebene zu rechnen. Aus diesem Grund sind die in diesen Studien erzielten Ergebnisse der Kraft- und Leistungsmessung mit den hier ermittelten nicht vergleichbar. Jedoch unterstützen sie die These, dass die Muskelleistung und vor allem die Schnellkraftproduktion grundsätzlich von der Muskeltemperatur abhängig sind.

Für die folgende Hauptstudie an gebrechlicheren Probandinnen kann angenommen werden, dass auch einfache motorische Funktionen wie die Bein Streckung beeinträchtigt werden. Denn die Beeinflussung des neuromuskulären Systems durch die Abkühlung der Muskulatur könnte bei morphologisch veränderter Muskelmasse stärker zum Tragen kommen.

Als möglicher Erklärungsansatz für nur geringe Differenzen bei der Schnellkraftentwicklung kann die Gestaltung des Testablaufs gesehen werden. Anstatt mehrere Versuche zu erlauben und am Ende den besten auszuwählen, wurde nur ein einziger Versuch pro Bein durchgeführt, um eine intramuskuläre Erwärmung zu vermeiden. Es stellt sich an dieser Stelle nun die Frage, ob ein einzelner Versuch auf dem „Nottingham Power Rig“ der richtige Ansatz ist, oder ob mehrere Versuche mit anschließender Wertung des besten Versuchs eine höhere Aussagekraft über die tatsächliche Schnellkrafftähigkeit liefert. Skelton et al. (1994) beispielsweise wählten in ihrer Studie, in der unter anderem auch die Schnellkrafftähigkeit getestet wurde, einen Testablauf mit insgesamt drei Versuchen und einer jeweils eingeschobenen Pause von ca. 1 Minute, um einer Wärmeakkumulation innerhalb der Muskulatur vorzubeugen. Für zukünftige Messungen mit dem „Nottingham Power Rig“ in der folgenden Studie wäre dieser Testablauf empfehlenswert.

#### 4.2.3. Leistung 2: „Power Chair“

Die Messung der Schnellkraftfähigkeit mit Hilfe des „Power Chairs“ lieferte ebenfalls keine eindeutigen Unterschiede bei 15°C gegenüber 25°C. Dennoch zeigte sich eine Tendenz zur Leistungsminderung bei kälterer Raumtemperatur. Eine mögliche Begründung hierfür könnte sein, dass die Koordination durch den Kälteeinfluss beeinflusst war und sich dadurch die Stabilisierungszeit verlängerte, die bei der Leistungsmessung mit dem „Power Chair“ berücksichtigt wurde. Es gibt bisher keine Studien, die den Transfer vom Sitzen zum Stehen unter unterschiedlichen Raumtemperaturen getestet haben. Daher haben wir diesbezüglich keine Vergleiche. Jedoch ergaben beispielsweise die Ergebnisse einer Studie von Lord et al. einen signifikanten Zusammenhang zwischen Balance und Sensomotorik und der erfolgreichen Ausführung des Sitz-Stand-Transfers. Probanden, die gute Werte bei Messungen des Tastempfindens und der Propriozeption (Tiefensensibilität) der unteren Extremität aufwiesen, zeigten eine bessere Performance beim Sitz-Stand-Transfer (Lord et al. 2002). Wie in Abschnitt 1.7. beschrieben, kann eine kalte Umgebungstemperatur als ablenkender Faktor auch Einfluss auf die Wahrnehmung haben. In unserem Fall könnte sich daher über eine verminderte Wahrnehmung der taktilen Reize der Fußsohlen und eine gestörte Wahrnehmung der Lage des Körpers im Raum eine Standunsicherheit während der Stabilisierungsphase ergeben haben, die die Leistung negativ beeinflusste. Desweiteren wäre denkbar, diese Tendenz zur Leistungsminderung bei kühlerer Raumtemperatur nicht nur auf die kognitive bzw. koordinative Komponente zurückzuführen, sondern die in Abschnitt 1.4. erwähnte Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit an sich als Ursache heranzuziehen.

Der mögliche Einfluss kühler Umgebungstemperatur auf die Leistung beim Transfer vom Sitzen zum Stehen über eine beeinflusste Sensomotorik, sowie den Aspekt der Koordination sollte eventuell verstärkt berücksichtigt werden,



wenn ein gebrechlicheres Probandenkollektiv mit neuromuskulären Einschränkungen untersucht wird.

#### 4.3. Gehgeschwindigkeit

Mit Hilfe der Ganganalyse wurde untersucht, inwieweit die Temperatur auf das dynamische Gleichgewicht Einfluss nahm und damit die Gehgeschwindigkeit beeinflusste. Gleichgewichtsdefizite können unter anderem am Gangbild erkannt werden. So zeigen beispielsweise Parkinson Patienten typische Gangmuster, die auf kognitive und motorische Einschränkungen zurückgeführt werden (Gunkel 2011). Beim Vergleich der Gehgeschwindigkeiten unter den unterschiedlichen Temperaturbedingungen zeigte sich jedoch weder bei normaler, noch bei maximaler Gehgeschwindigkeit ein nennenswerter Unterschied.

Da für sicheres Gehen und Stehen komplexe Mechanismen zugrunde liegen, die ständig für eine Gleichgewichtskontrolle und eine stabile Körperhaltung sorgen (Bronte-Stewart et al. 2002), lag die Vermutung nahe, dass diese Mechanismen durch Kälteeinfluss gestört sein könnten und es zu Haltungsinstabilität kommt. Denn für die Haltungsstabilität und Gleichgewichtskontrolle spielen laut Horak et al. drei verschiedene Prozesse/Faktoren eine Rolle: die sensorische Organisation, die über orientierende Sinnesreize (propriozeptiv, visuell, vestibular) die Haltung und Stellung des Körpers im Raum kontrolliert; die motorische Anpassung auf neuromuskulärer Ebene und der Grundtonus der Muskulatur (Horak et al. 1992). Im Hinblick auf mögliche Temperatureinflüsse auf diese Prozesse gibt es Hinweise in der Literatur, dass durch die temperaturbedingte gestörte Hautsensibilität an der Fußsohle und der unteren Extremität möglicherweise die Stand und Gangstabilität beeinträchtigt wird, wodurch ein verstärktes Schwanken des Körpers mit Sturzneigung auftreten kann (Mäkinen 2007). Es konnten in vorliegender Studie jedoch keine Gangunsicherheiten und verstärktes Schwanken beobachtet werden.

Bezüglich des Grundtonus wurde in Anlehnung an weitere Überlegungen von Mäkinen in Betracht gezogen, dass Zittern zu Störungen in der Feinmotorik führen könnte und mehr Konzentration für eine normalerweise automatisch ablau-

fende Bewegung erforderlich wäre (Mäkinen 2010). Eine verminderte Gehgeschwindigkeit wäre die Folge gewesen, wurde aber in unserer Studie nicht beobachtet.

Letztendlich stellen laut Horak auch kognitive Prozesse, wie zum Beispiel die Aufmerksamkeit, eine wichtige Grundlage für die Gleichgewichtskontrolle dar (Horak 2006). Dementsprechend wurde erwartet, dass sich die Gehgeschwindigkeit aufgrund des Einflusses kühlerer Raumtemperatur auf die Kognition reduziert und auf diese Weise Gleichgewichtsdefizite auftreten. Auch hier wieder über das Prinzip der beeinflussten Aufmerksamkeit. Diese Erwartung konnte ebenfalls nicht bestätigt werden.

Es bleibt auch im Falle der Gehgeschwindigkeit zu vermuten, dass sich Unterschiede erst bei einem Probandenkollektiv mit muskulärem Defizit zeigen werden. Die darauffolgende Studie mit Probandinnen, die unter Sarkopenie leiden, könnte hier eventuell temperaturbedingte Gangunsicherheiten und Geschwindigkeitsunterschiede aufzeigen.

#### 4.4. Maximale Kraft

Die Messungen der maximalen Kraft des Kniestreckmuskels ergaben nur geringfügig kleinere Werte bei einer kälteren Raumtemperatur von 15°C als bei einer Raumtemperatur von 25°C. Dennoch können die Ergebnisse als Tendenz in Richtung einer Kraftminderung bei kälterer Raumtemperatur betrachtet werden.

Die Beurteilung der Ergebnisse der Handkraft erwies sich als schwierig. Obwohl sich eine Tendenz andeutete, dass die Handkraft bei höherer Raumtemperatur besser war als bei niedrigen Temperaturen, zeigte der statistische Test ein gegenteiliges Ergebnis. 12 Probandinnen erreichten bei 15°C bessere Werte als bei 25°C. Grundlage für diese Aussage lieferten nicht der Median, sondern die Werte „Minimum“ und „Maximum“ und die Quartilswerte. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre der Aspekt der Motivation, der eine subjektive Störgröße bei der Messung der Kraft darstellen kann. Laut Hinweisen in der Literatur liegt die

Schwankungsbreite der Kraftwerte unter „normalen“ Voraussetzungen bei 4-8% und kann allein durch motivationale Gründe gesteigert werden (Goebel 2009). Es sollte daher noch deutlicher darauf geachtet werden, die Probandinnen bei der Messung auf solch eine Weise zu motivieren und verbal zu unterstützen, dass sie in jeglicher Messsituation ihr größtmögliches Kraftpotential ausschöpfen. Auf diese Weise könnten vergleichbare Messwerte hervorgebracht werden. Abgesehen von diesem Erklärungsansatz könnte bei den Ergebnissen der Handkraft auch einfach nur ein Zufallsbefund aufgrund der kleinen Fallzahl vorliegen haben.

Eine nur geringfügige bis gar keine Abschwächung der Maximalkraft bei verringerter Muskeltemperatur beobachteten auch Bergh et al. Im Gegensatz zur Abnahme der dynamischen Muskelfunktion von bis zu 10% pro 1°C verringerte Muskeltemperatur (Oksa 2002), nimmt die maximale isometrische Kraft laut Bergh et al. nur um 2% pro 1°C verringerte Muskeltemperatur ab bzw. bleibt von der Temperatur weitestgehend unbeeinflusst. Dies gilt für „moderate“ Muskeltemperaturen zwischen 27° und 40°C. Andere Forschungsergebnisse zeigten jedoch, dass sich die maximale isometrische Kraft ab einer Muskeltemperatur von unter 27°C um 11 bis 19% verringert (Oksa 2002). Um solch niedrige Muskeltemperaturen zu erhalten, arbeiteten diese Forschungsgruppen meist mit lokalen Kühlmethoden einzelner Muskelgruppen. Zudem wurden entweder andere Muskelgruppen oder auch kleinere Muskelgruppen untersucht. Aus eben diesen Gründen gestaltet sich eine Vergleichbarkeit mit unserer Studie als schwierig.

Obwohl sowohl die hier ermittelten Ergebnisse als auch oben genannte Forschungsergebnisse die Annahme untermauern, dass die maximale Kraft bei moderater Verringerung der Muskeltemperatur eher unbeeinflusst bleibt, könnte die darauffolgende Hauptstudie mit einem gebrechlicheren Probandinnenkollektiv bzw. Sarkopeniepatientinnen deutlichere Ergebnisse liefern. Wie schon erwähnt, besteht die Vermutung, dass bei reduzierter und morphologisch veränderter Muskelmasse, die Beeinflussung des neuromuskulären Systems durch die Abkühlung der Muskulatur stärker zum Tragen kommt.

Letztlich könnten auch bei der isometrischen Kraftmessung aussagekräftigere Ergebnisse durch eine erhöhte Anzahl an Wiederholungen erreicht werden. Zur validen Bestimmung werden üblicherweise mehrere Versuche (Minimum 3) mit einer Pause von 1 Minute absolviert, wobei entweder das höchste Ergebnis oder ein Mittelwert aus den stärksten Durchführungen als Endmesswert dient (Dickhuth 2010, Skelton et al. 1994, Bohannon 2010, Dewhurst et al. 2007). In vorliegender Studie wurde nur ein Versuch durchgeführt, um eine Erwärmung der Muskulatur zu vermeiden.

#### 4.5. *Kognition: Exekutivfunktion*

Die Auswertung der Ergebnisse aus beiden Testteilen des Trail Making Tests zeigte, dass die Probandinnen bei 15°C vor allem im Testteil B schlechter abschnitten. Sie brauchten signifikant länger, die Buchstaben und Zahlen in der richtigen Reihenfolge zu verbinden, als bei 25°C. Die Tatsache, dass eher höhere kognitive Fähigkeiten durch Kälteeinflüsse beeinträchtigt werden und einfache kognitive Leistungen nahezu unbeeinflusst bleiben, konnte auch Giesbrecht in seiner Studie nachweisen. Jedoch erzielte er sein Ergebnis anhand extremerer Kälteanwendung. Durch Wasserbadimmersion verringerte sich die gesamte Körperkerntemperatur seiner Probanden um 2-4°C (Giesbrecht et al. 1993). Eine Abnahme kognitiver Fähigkeiten unter extremen Kälteeinflüssen, bzw. bei Hypothermie, ist weitestgehend bekannt (Palinkas 2001). Die Frage, ob moderate länger anhaltende Kälteeinflüsse ebenso Auswirkungen auf kognitive Prozesse bewirken, wird in der Forschung kontrovers diskutiert. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie stimmen mit den Beobachtungen einer Studie von Mäkinen weitestgehend überein (Mäkinen et al. 2006). Nach Auswertung der kognitiven Tests stellte auch er fest, dass kognitive Prozesse schon durch moderate, nicht Hypothermie verursachende Kälteeinflüsse beeinträchtigt werden und sich beispielsweise die Reaktionszeit verlangsamt. Andere Studien wiederum kommen zu einem gegenteiligen Ergebnis, während wieder andere überhaupt keinen Einfluss der Temperatur auf die Kognition sehen (Palinkas

2001) Diese Inkonsistenz der Ergebnisse liegt aller Wahrscheinlichkeit nach darin begründet, dass sich die Studien aufgrund ihrer uneinheitlichen Probandenkollektive, Kühlungsmethoden und Testauswahl stark unterscheiden (Palinkas 2001).

Mäkinen kam 2006 in seiner Studie zu dem Ergebnis, dass eine Exposition in moderater Kälte einerseits zu einer verbesserten Genauigkeit, aber andererseits zu einer längeren Reaktionszeit führt und daraus insgesamt eine verminderte Effektivität resultiert. Wie in Abschnitt 1.7. beschrieben nimmt er an, dass kognitive Prozesse durch Kälteexposition über das Prinzip der Ablenkung negativ beeinflusst werden, sie jedoch über das Prinzip der erhöhten Aufmerksamkeit sowohl negativ als auch positiv beeinflusst werden können (Mäkinen et al. 2006). Basierend auf den Hypothesen von Mäkinen, liegt die Vermutung nahe, dass auch in dieser Studie die Verlängerung der Testzeiten im komplexeren Testteil B auf eine durch die kühle Raumtemperatur negativ beeinflusste Aufmerksamkeit zurückzuführen war.

Zusammenfassend konnte die Studie folglich zeigen, dass bei älteren Frauen die kognitive Exekutivfunktion unter Laborbedingungen bei kühler Temperatur gegenüber höherer Raumtemperatur vermindert war.

#### *4.6. Korrelation der Leistungsdifferenz mit anthropometrischen Merkmalen der Probandinnen*

Mit Hilfe der Darstellung der Leistungsdifferenz zwischen 15°C und 25°C am Beispiel des „Nottingham Power Rig“ konnte gezeigt werden, dass die Reaktionen der Probandinnen auf Wärme bzw. Kälte sehr inhomogen sind. Einige Probandinnen zeigten bei Wärme schlechtere Leistungen und umgekehrt. Um eine Erklärung für diese Inhomogenität zu finden, wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen der Leistungsdifferenz der Probandinnen bei Wärme und Kälte und einigen ausgewählten anthropometrischen Merkmalen der Probandinnen untersucht.

Durch die Ermittlung des Korrelationskoeffizienten und des Bestimmtheitsmaßes wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Leistungsdifferenz und beispielsweise dem Ernährungszustand (MNA), des BMI oder der Beinkraft, der einzelnen Probandinnen gibt und wie stark sich dieser Zusammenhang darstellt. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass zwischen dem MNA und der Leistungsdifferenz nur eine schwache negative Korrelation bestand. Diese deutet an, dass bei hohen MNA-Werten, also gutem Ernährungszustand, scheinbar nur niedrige Leistungsdifferenzen bei Wärme und bei Kälte vorliegen. Trotz statistischer Signifikanz ist die Korrelation nicht sehr gut und der Zusammenhang nur sehr schwach. Eine höhere Fallzahl, wie in der folgenden Studie angestrebt, könnte jedoch signifikantere Ergebnisse liefern. Den schwachen Zusammenhang zwischen Ernährungszustand und Leistungsdifferenz unterstreicht auch die Einzelfallanalyse. Vergleicht man die MNA-Werte derjenigen Probandinnen, die in wärmerer Temperatur bessere Leistungsergebnisse beim Nottingham Power Rig erzielten mit denen derjenigen Probanden, die schlechtere Ergebnisse erzielten, so wird kein Zusammenhang deutlich. Bessere Ergebnisse korrelierten nicht automatisch mit einem besseren Ernährungszustand und umgekehrt. Die Konsequenz, dass ein adäquater Ernährungszustand eine temperaturbedingte Leistungsminderung bei Kälte verhindern könnte, konnte bei dieser Untersuchung nicht untermauert werden.

#### 4.7. *Schlussfolgerung und Ausblick*

In hier vorliegender Studie, die als Pilotstudie angelegt war, konnte die Auswahl der Methoden zur Messung der Leistungsfähigkeit bei unterschiedlichen Raumtemperaturen hinsichtlich Durchführbarkeit und Sicherheit überprüft werden.

Nach Kenntnissen der Untersucher gibt es bisher keine Studie, die die Leistungsfähigkeit älterer Frauen unter kühlen Raumtemperaturen getestet hat. Im Vergleich 15°C Raumtemperatur zu 25°C Raumtemperatur unterschied sich die Kraftentwicklung und Schnellkraftfähigkeit nur geringfügig. Die deutlichsten Ergebnisse fanden sich bei der komplexeren Bewegung mit koordinativer Kompo-

nente (Transfer vom Sitzen zum Stehen). Dort war eine eindeutige Tendenz zur Leistungsminderung ersichtlich. 13 von 18 Messwerten waren bei 15°C niedriger als bei 25°C. Zusammenfassend gesehen, konnten die Ergebnisse aus dieser Pilotstudie die aufgestellte Haupthypothese nicht eindeutig stützen. Über eine Erhöhung der Fallzahl könnten die Ergebnisse des „Power Chair“ in der darauffolgenden Hauptstudie jedoch Signifikanzniveau erreichen. Außerdem wird angenommen, dass durch einige kleine Anpassungen in der Methodik, in der Hauptstudie deutlichere Ergebnisse erzielt werden können. Eine Verlängerung der Expositionszeit von 15 Minuten auf 45 bis 60 Minuten, eine Erhöhung der Wiederholungen bei den Kraftmessungen auf dem „Nottingham Power Rig“ und eine forcierte verbale Motivation bei der Messung der Handkraft, um das größtmögliche Kraftpotential der Probandinnen auszuschöpfen, können sicherlich umgesetzt werden. Auf eine invasive Messung der Muskeltemperatur wird aber dennoch verzichtet werden.

Bezüglich der Überprüfung der kognitiven Exekutivfunktion konnte gezeigt werden, dass sich die Testzeiten beim komplexeren Testteil B des Trail Making Tests bei kühler Raumtemperatur signifikant verschlechterten. Im Testteil A lagen kaum Unterschiede vor. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Temperatur bei der kognitiven Leistungsfähigkeit eine Rolle spielt, aber eher höhere kognitive Prozesse durch Kälteexposition beeinflusst werden. Daher sehen wir unsere Nebenhypothese als teilweise bestätigt.

Letztlich werden in darauffolgender Hauptstudie, in der ein gebrechlicheres Probandinnenkollektiv bzw. Sarkopeniepatientinnen getestet werden sollen, deutlichere Ergebnisse erwartet. Es besteht die Vermutung, dass bei reduzierter und morphologisch veränderter Muskelmasse, die Beeinflussung des neuromuskulären Systems durch die Abkühlung der Muskulatur stärker zum Tragen kommt. Wäre dies der Fall, würde dies die Notwendigkeit zur Kompensation der Risikofaktoren und zur Optimierung des physischen Zustands der Zielpersonen unterstreichen.

## 5 Zusammenfassung

In der aktuellen Forschung gibt es Hinweise dahingehend, dass die Temperatur die Muskelleistung beeinflusst und auch schon moderate Kälte Auswirkungen auf die Muskelleistung haben kann. Ebenso kann der Aufenthalt in moderater Kälte zu einer Abnahme kognitiver Fähigkeiten und zu gesundheitlichen Problemen führen. Eine niedrigere Muskeltemperatur bei Kälte könnte über die Beeinträchtigung des neuromuskulären Systems zu Kraftverlust und zusätzlichen funktionellen Einschränkungen führen. Ältere Menschen könnten eher Gefahr laufen, dadurch in ihrem alltäglichen Leben beeinträchtigt zu werden. Zur Bewältigung des Alltags, sowie zur Aufrechterhaltung eines größtmöglichen Grades an Autonomie und Lebensqualität, ist es gerade für ältere Menschen wichtig, über ausreichend Kraft zu verfügen. Altersbedingt lässt diese erwiesenermaßen nach. Vor allem bei Frauen kommt es mit zunehmendem Alter zu einem Schnellkraftdefizit. Bewegungseinschränkungen und Stürze sind häufige Folgen. In Kombination mit den sozio-ökonomischen Veränderungen der letzten Jahre (Senkung des Rentenniveaus bei steigenden Energiekosten) könnten vermehrt Gesundheitsrisiken aufgrund unterkühlter Wohnungen auf ältere Frauen zukommen. Untersuchungen konnten eine höhere Mortalität bei älteren Menschen in kälteren Wohnungen zeigen. Inwieweit die Umgebungstemperatur die Muskelkraft älterer Menschen beeinflusst, wurde bislang nicht untersucht.

Bei den meisten Studien, die sich mit dem Einfluss kalter Temperaturen auf die Leistungsfähigkeit menschlicher Muskulatur beschäftigt haben, standen junge sportliche Probanden im Mittelpunkt des Interesses, deren Muskulatur vor den Leistungstests hauptsächlich lokal mit Hilfe von Eisbeuteln und Wasserimmersion abgekühlt wurde. Dabei wurden extremere Temperaturabfälle der Muskulatur erreicht und Einschränkungen von maximaler Kraft und Schnellkraft konnten nachgewiesen werden.

Die hier vorliegende Pilotstudie sollte erste Ergebnisse über mögliche Einschränkungen der Leistungsfähigkeit älterer Frauen bei kalter Umgebungstemperatur liefern.



In einem Bewegungslabor mit Klimakammer des Robert-Bosch-Krankenhauses wurden im Rahmen einer Pilotstudie 18 ältere gesunde Frauen (>70 Jahre) auf ihre motorische Leistungsfähigkeit und Kraft bei 15°C und 25°C Raumtemperatur untersucht. Zusätzlich wurde ein Test zur Überprüfung der kognitiven Exekutivfunktion durchgeführt. Mit Hilfe dieser Studie konnte die Auswahl der Methoden zur Messung der Leistungsfähigkeit bei unterschiedlichen Raumtemperaturen hinsichtlich Durchführbarkeit und Sicherheit überprüft werden. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass eher höhere kognitive Prozesse durch Kälteexposition beeinflusst wurden. Einfache kognitive Funktionen wurden nicht beeinflusst. Diese Beobachtung geht konform mit Beobachtungen anderer Forschungsgruppen. Bezüglich der Schnellkraftfähigkeit war bei der komplexeren Bewegung mit koordinativer Komponente (Transfer vom Sitzen zum Stehen) eine eindeutige Tendenz zur Abnahme der Kraftentwicklung bei 15°C Raumtemperatur sichtbar. Im Gegensatz dazu, konnte keine signifikante Leistungs- und Kraftabnahme bei einfachen motorischen Aufgaben nachgewiesen werden. Weder bei der isometrischen Kraftmessung, der Beinstreckung noch der Gehgeschwindigkeit gab es signifikante Unterschiede im Vergleich 15°C Raumtemperatur zu 25°C Raumtemperatur. Die Tatsache, dass die Probandinnen auch bei 15°C gute Leistungs- und Kraftergebnisse erzielten mag darin begründet liegen, dass es sich um ein sehr fit und aktives Probandinnenkollektiv in gutem Ernährungszustand handelte.

Auch wenn diese Ergebnisse nur einige Differenzen und Tendenzen zwischen den Testbedingungen 15°C und 25°C aufzeigten, ergaben sich durch ihre Einordnung in der Diskussion Hinweise auf mögliche Anpassungen in der Methodik für die darauffolgende Hauptstudie. In dieser sollen gebrechlichere Probandinnen bzw. Patientinnen mit Sarkopenie untersucht werden. Letztlich werden dort deutlichere Ergebnisse erwartet, da die Vermutung besteht, dass bei reduzierter und morphologisch veränderter Muskelmasse, die Beeinflussung des neuromuskulären Systems durch die Abkühlung der Muskulatur stärker zum Tragen kommt. In diesem Fall würde dies die Notwendigkeit zur Kompensation der Risikofaktoren und zur Optimierung des physischen Zustands der Zielpersonen unterstreichen.

## 6 Addendum

Da die angekündigte Hauptstudie noch vor der Fertigstellung der schriftlichen Fassung dieser Pilotstudie durchgeführt und beendet wurde, sollen in diesem Addendum die Anpassungen in der Methodik und die Ergebnisse der Hauptstudie aufgeführt werden.

Auf den Grundlagen der Pilotstudie wurden 88 ältere Frauen (70 Jahre und älter) auf ihre motorische Leistungsfähigkeit, Kraft und kognitive Exekutivfunktion hin bei 15°C und 25°C untersucht. Es wurden nicht explizit Patientinnen mit Sarkopenie ausgewählt, sondern es handelte sich wiederum um relativ rüstige Probandinnen, die in ihrem eigenen Haushalt leben und denen dieselben Ausschlusskriterien zugrundegelegt wurden wie in hier vorliegender Studie (s. 2.3.). Wie im Diskussionsteil vorgeschlagen, wurden unter Anderem folgende Punkte in der Methodik angepasst:

-Erhöhung der Akklimatisierungszeit vor den Tests bei 15°C Umgebungstemperatur von 15 Minuten auf 45 Minuten.

-Erhöhung der Anzahl der Versuche beim „Nottingham Power Rig“: Nach jeweils 3 Wiederholungen mit jedem Bein, wurden die Maximumwerte beider Beine addiert.

-Für die Messung der Schnellkraft beim Transfer vom Sitzen zum Stehen wurde ein linearer Positions-Messwandler (MuscleLabPower, Modell: MLPRO, Ergotest Technology, Langesund, NO) an der Hüfte der Probandinnen angebracht.

### Ergebnisse:

Nach einer Akklimatisierungszeit von 45 Minuten betrug die Hauttemperatur der Probandinnen nur noch 28,6°C (nach 15 Minuten waren es noch 30,4°C). Abgesehen von der Handkraft, die von der Kälteexposition unbeeinflusst blieb, war die körperliche Leistungsfähigkeit der Probandinnen bei kühlerer Umgebungs-

temperatur allgemein vermindert. Muskelleistung, Beinkraft und Gehgeschwindigkeit nahmen in kühlerer Umgebungstemperatur ab. Als zusätzlicher Parameter des Gangbildes wurde bei der Ganganalyse das Schrittlängen-Schrittfrequenz-Verhältnis berechnet. Auch hier zeigte sich eine deutliche Verschlechterung unter Kälteexposition, was auf ein erhöhtes Sturzrisiko hin deutet. Die kognitive Leistungsfähigkeit war kaum eingeschränkt. Die deutlichsten Ergebnisse im Vergleich 15°C zu 25°C lieferten die Messungen der Muskelleistung im „Nottingham Power Rig“ und beim Transfer vom Sitzen zum Stehen. Bei Letzterem lag eine Leistungsabnahme von 8,8% vor.

#### Fazit:

Die körperliche Leistungsfähigkeit (Schnellkraftfähigkeit) ist unter Laborbedingungen bei älteren Frauen bei kühler Raumtemperatur (15°C) bereits nach 45 Minuten Exposition geringer als bei höherer Raumtemperatur. Die Haupthypothese hat sich folglich eindeutig bestätigt. Die hier vorliegende Arbeit konnte wesentlich zur Bestätigung der Haupthypothese beitragen, indem sie Sicherheit, Machbarkeit und Auswahl der Methoden überprüfte und Vorschläge zur Anpassung in der Methodik lieferte, um letztendlich eindeutigere Ergebnisse zu erzielen.

Eine Erhöhung der Fallzahl reichte unter Anderem aus, aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Schon relativ rüstige ältere Frauen sind von einer temperaturbedingten körperlichen Leistungsminderung betroffen. Ein temperaturbedingtes Schnellkraftdefizit könnte klinische Relevanz zeigen, da aufgrund funktioneller Einschränkungen das häusliche Sturzrisiko erhöht sein könnte. Ebenso können die durch Kälteexposition auftretenden Veränderungen des Gangbilds das Sturzrisiko begünstigen.

**Literaturverzeichnis:**

Andrews AW, Thomas MW, Bohannon RW (1996). Normative values for isometric muscle force measurements obtained with hand-held dynamometers. *Phys Ther.*Mar;76(3):248-259

Astrup A (1986). Thermogenesis in human brown adipose tissue and skeletal muscle induced by sympathomimetic stimulation. *Acta Endocrinol Suppl (Copenh)*;278:1-32

Bassey EJ, Short AH (1990). A new method for measuring power output in a single leg extension: feasibility, reliability and validity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*;60(5):385-390

Bauer JM, Wirth R, Volkert D, Werner H, Sieber CC (2008). Malnutrition, sarcopenia and cachexia in the elderly: from pathophysiology to treatment. *Dtsch Med Wochenschr.*Feb;133(7):305-310

Baumgartner RN, Waters DL, Gallagher D, Morley JE, Garry PJ (1999). Predictors of skeletal muscle mass in elderly men and women. *Mech Ageing Dev*;107:123-136

Bergh U, Ekblom B (1979). Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. *Acta Physiol Scand.*Sep;107(1):33-37

Blomstrand E, Bergh U, Essén-Gustavsson B, Ekblom B (1984). Influence of low muscle temperature on muscle metabolism during intense dynamic exercise. *Acta Physiol Scand.*Feb;120(2):229-236

Bohannon RW (1997). Reference values for extremity muscle strength obtained by hand-held dynamometry from adults aged 20 to 79 years. *Arch Phys Med Rehabil.*Jan;78(1):26-32

Bronte-Stewart HM, Minn AY, Rodrigues K, Buckley EL, Nashner LM (2002). Postural instability in idiopathic Parkinson's disease: the role of medication and unilateral pallidotomy. *Brain.*Sep;125(Pt 9):2100-2114

Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung 2009. 35 Jahre bevölkerungswissenschaftliche Forschung am BIB.Ein Tätigkeitsbericht.[www.bib-demografie.de/SharedDocs/.../TB\\_1973\\_2008.pdf?\\_\\_](http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/.../TB_1973_2008.pdf?__). 1-120

Cabeza R, Daselaar SM, Dolcos F, Prince SE, Budde M, Nyberg L (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cereb Cortex.*Apr;14(4):364-375

Cannon B, Nedergaard J (2004). Brown adipose tissue: function and physiological significance. *Physiol Rev.*Jan;84(1):277-359

Chakravarty EF, Huber HB, Krishnan E, Bruce BB, Lingala VB, Fries JF (2012). Lifestyle risk factors predict disability and death in healthy aging adults. *Am J Med*; 125(2):190-197

Cheung SS, Sleivert GG (2004). Lowering of skin temperature decreases isokinetic maximal force production independent of core temperature. *Eur J Appl Physiol.*May;91(5-6):723-728

Coleshaw SR, Van Someren RN, Wolff AH, Davis HM, Keatinge WR (1983). Impaired memory registration and speed of reasoning caused by low body temperature. *J Appl Physiol.*Jul;55(1 Pt 1):27-31

Coordination of strength exertion during the chair-rise movement in very old people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*Jun;62(6):636-640

Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, Martin FC, Michel JP, Rolland Y, Schneider SM, Topinková E, Vandewoude M, Zamboni M; European Working Group on Sarcopenia in Older People (2010). Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.*Jul;39(4):412-423

Davies CT, Young K (1983). Effect of temperature on the contractile properties and muscle power of triceps surae in humans. *J Appl Physiol*; Jul 55(1 Pt 1):191-1995.

Davis MG, Fox KR (2007). Physical activity patterns assessed by accelerometry in older people. *Eur J Appl Physiol.*Jul;100(5):581-58

DeGroot DW, Havenith G, Kenney WL (2006). Responses to mild cold stress are predicted by different individual characteristics in young and older subjects. *J Appl Physiol.*Dec;101(6):1607-1615

Dewhurst S, Graven-Nielsen T, De Vito G, Farina D (2007). Muscle temperature has a different effect on force fluctuations in young and older women. *Clin Neurophysiol.*Apr;118(4):762-769

Dewhurst S, Macaluso A, Gizzi L, Felici F, Farina D, De Vito G (2010). Effects of altered muscle temperature on neuromuscular properties in young and older women. *Eur J Appl Physiol*; Feb 108(3):451-458

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz:  
[www.erneuerbare-energien.de/inhalt/41719/](http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/41719/)

Faulkner JA, Zerba E, Brooks SV (1990). Muscle temperature of mammals: cooling impairs most functional properties. *Am J Physiol.* Aug;259(2 Pt 2):R259-265

Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, Bhasin S, Morley JE, Newman AB, Abellan van Kan G, Andrieu S, Bauer J, Breuille D, Cederholm T, Chandler J, De Meynard C, Donini L, Harris T, Kannt A, Keime Guibert F, Onder G, Papanicolaou D, Rolland Y, Rooks D, Sieber C, Souhami E, Verlaan S, Zamboni M (2011). Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc.* May;12(4):249-256

Florez-Duquet M, McDonald RB (1998). Cold-induced thermoregulation and biological aging. *Physiol Rev.* Apr;78(2):339-358

Frontera WR, Reid KF, Phillips EM, Krivickas LS, Hughes VA, Roubenoff R, Fielding RA (2008). Muscle fiber size and function in elderly humans: a longitudinal study. *J Appl Physiol.* Aug;105(2):637-642

Gekle M, Singer D, Jessen C (2005). Temperaturregulation und Wärmehaushalt. In: *Physiologie*. Silbernagl S, Pape HC, Klinker R (Hrsg.). 5. komplett überarbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag Stuttgart 2005. S. 493-507

Giesbrecht GG, Arnett JL, Vela E, Bristow GK (1993). Effect of task complexity on mental performance during immersion hypothermia. *Aviat Space Environ Med.* Mar;64(3 Pt 1):206-211

Glisky EL. Changes in cognitive function in human aging. In: *Brain Aging: Models, Methods, and Mechanisms* (2007). Riddle, DR, editor. Boca Raton (FL): CRC Press.

Goebel S (2002). Entwicklung, Überprüfung und Normierung eines Kraftmessverfahrens. Ein Beitrag zur Diagnose des Status und der Entwicklung der isometrischen Maximalkraft bei 50- bis 75-jährigen Frauen und Männern. Medizinische Dissertationsschrift, Universität Bonn

Grady C (2012). The cognitive neuroscience of ageing. *Nat Rev Neurosci.* Jun 20;13(7):491-505

Gray SR, De Vito G, Nimmo MA, Farina D, Ferguson RA (2006). Skeletal muscle ATP turnover and muscle fiber conduction velocity are elevated at higher muscle temperatures during maximal power output development in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* Feb;290(2):R376-382

Groll DL, To T, Bombardier C, Wright JG (2005). The development of a comorbidity index with physical function as the outcome. *J Clin Epidemiol.* 58: 95-602

Grünheid E (2004). Einflüsse der Einkommenslage auf Gesundheit und Gesundheitsverhalten. Ergebnisse des Lebenserwartungssurveys des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung. Materialien zur Bevölkerungswissenschaft; Heft 2004; 102f

[www.bib-demografie.de/SharedDocs/.../DE/.../102f.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/.../DE/.../102f.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

Guigoz Y (2006). The Mini Nutritional Assessment (MNA) review of the literature--What does it tell us? *J Nutr Health Aging*. Nov-Dec; 10(6):466-485

Gunkel M (2011). Posturale Stabilität bei M. Parkinson. Vergleich klinischer Tests und posturographischer Messverfahren. Medizinische Dissertationsschrift, Charité-Universitätsmedizin

Haman F (2006). Shivering in the cold: from mechanisms of fuel selection to survival. *J Appl Physiol*. May; 100(5):1702-1708

Hautzinger, M, Bailer, M (1993). Allgemeine Depressions Skala – ADS. Weinheim: Beltz

Hicks AL, Cupido CM, Martin J, Dent J (1992). Muscle excitation in elderly adults: the effects of training. *Muscle Nerve*; Jan; 15(1):87-93

Horak FB (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*; 35(Suppl2):ii7-ii11

Horak FB, Nutt Jg, Nashner LM (1992). Postural inflexibility in parkinsonian subjects. *J Neurol Sci*; 111:46-58

Jansen, Christian T.: Wissenschaftliche Gütekriterien bei sportmotorischen Tests. Reliabilität, Validität und Zusammenhangsmerkmale ausgewählter leistungsdiagnostischer Verfahren. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2011. S.5-6. Bei google.books. Zugriff 05.09.12

Katzman R, Brown T, Fuld P, Peck A, Schechter R, Schimmel H (1983). Validation of a short Orientation Memory Concentration Test of cognitive impairment. *Am J Psychiatr*. 140: 734-739

Kellogg DL Jr (2006). In vivo mechanisms of cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans during thermoregulatory challenges. *J Appl Physiol*. May; 100(5):1709-1718

Kenney WL, Armstrong CG (1996). Reflex peripheral vasoconstriction is diminished in older men. *J Appl Physiol*. Feb; 80(2):512-515

Kenney WL, Munce TA (2003). Invited review: aging and human temperature regulation. *J Appl Physiol*. Dec; 95(6):2598-2603



Klenk J, Becker C, Rapp K (2010). Heat-related mortality in residents of nursing homes. *Age Ageing*; Mar 39(2):245-252

Larsson L, Li X, Frontera WR (1997). Effects of aging on shortening velocity and myosin isoform composition in single human skeletal muscle cells. *Am J Physiol*.Feb;272(2 Pt 1):C638-649

LeBlanc J (1992). Mechanisms of adaption to cold. *Int J Sports Med*. Oct; 13 Suppl 1; 169-172

Lindemann U, Claus H, Stuber M, Augat P, Muche R, Nikolaus T, Becker C (2003). Measuring power during the sit-to-stand transfer. *Eur J Appl Physiol*.Jun;89(5):466-470

Lindemann U, Muche R, Stuber M, Zijlstra W, Hauer K, Becker C (2007). Coordination of strength exertion during the chair-rise movement in very old people *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*Jun;62(6):636-640

Lindemann U, Najafi B, Zijlstra W, Hauer K, Muche R, Becker C, Aminian K (2008). Distance to achieve steady state walking speed in frail elderly persons. *Gait Posture*.Jan;27(1):91-96

Lord SR, Murray SM, Chapman K, Munro B, Tiedemann A (2002). Sit-to-stand performance depends on sensation, speed, balance, and psychological status in addition to strength in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*.Aug;57(8):M539-543

Oswald F, Wahl HW (2004). Housing and health in later life. *Rev Environ Health*. Jul-Dec;19(3-4):223-52.

Macaluso A, De Vito G (2003). Comparison between young and older women in explosive power output and its determinants during a single leg-press action after optimisation of load. *Eur J Appl Physiol*.Nov;90(5-6):458-463

Macey SM (1989). Hypothermia and energy conservation: A tradeoff for elderly persons? *Int J Aging Hum Dev*;29(2):151-61

Macey SM, Schneider DF (1993). Deaths from excessive heat and excessive cold among the elderly. *Gerontologist*; 33: 497-500

Maetzler W, Klenk J, Becker C, Zscheile J, Gabor KS, Lindemann U (2012). Longitudinal changes of nerve conduction velocity, distal motor latency, compound motor action potential duration, and skin temperature during prolonged exposure to cold in a climate chamber. *Int J Neurosci*.Sep;122(9):528-531

Mäkinen TM (2007). Human cold exposure, adaptation, and performance in high latitude environments. *Am J Hum Biol*.Mar-Apr;19(2):155-164



Mäkinen TM (2010). Different types of cold adaption in humans. *Front Biosci (School Ed)*. Jun 1;2:1047-1067

Mäkinen TM, Hassi J (2009). Health problems in cold work. *Ind Health*;47(3):207-220

Mäkinen TM, Palinkas LA, Reeves DL, Pääkkönen T, Rintamäki H, Leppäluoto J, Hassi J (2006). Effect of repeated exposures to cold on cognitive performance in humans. *Physiol Behav*. Jan 30;87(1):166-176

Metter EJ, Conwit R, Tobin J, Fozard JL (1997). Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. Sep;52(5):B267-276

Morgan M, Phillips JG, Bradshaw JL, Mattingley JB, Iansek R, Bradshaw JA (1994). Age-related motor slowness: simply strategic? *J Gerontol*; May;49(3):M133-139

Morrison SF, Nakamura K (2011). Central neural pathways for thermoregulation. *Front Biosci*. Jan 1;16:74-104

National Research Council (2000). *The Aging Mind: Opportunities in Cognitive Research*. Committee on Future Directions for Cognitive Research on Aging. Paul C. Stern and Laura L. Carstensen, editors. Commission on Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academy Press;

Norman K, Stobäus N, Gonzalez MC, Schulzke JD, Pirlich M (2011). Hand grip strength: outcome predictor and marker of nutritional status. *Clin Nutr*. Apr;30(2):135-142

Oksa J (2002). Neuromuscular performance limitations in cold. *Int J Circumpolar Health*. May;61(2):154-162

Oksa J, Rintamäki H, Rissanen S (1997). Muscle Performance and electromyogram activity of the lower leg muscles with different levels of cold exposure. *Eur J Appl Physiol*; 75:484-490

Oksa J, Sormunen E, Koivukangas U, Rissanen S, Rintamäki H (2006). Changes in neuromuscular function due to intermittently increased workload during repetitive work in cold conditions. *Scand J Work Environ Health*. Aug;32(4):300-309

Ouellet V, Labbé SM, Blondin DP, Phoenix S, Guérin B, Haman F, Turcotte EE, Richard D, Carpentier AC (2012). Brown adipose tissue oxidative metabolism contributes to energy expenditure during acute cold exposure in humans. *J Clin Invest*. Feb 1;122(2):545-552

Palinkas LA (2001). Mental and cognitive performance in the cold. *Int J Circumpolar Health*. Aug;60(3):430-439

Pergola PE, Johnson JM, Kellogg DL, Kosiba WA (1996). Control of skin blood flow by whole body and local skin cooling in exercising humans. *Am J Physiol*. Jan;270(1 Pt 2):H208-215

Pilcher JJ, Nadler E, Busch C (2002). Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*. Aug 15;45(10):682-698

Ranatunga KW, Sharpe B, Turnbull B (1987). Contractions of a human skeletal muscle at different temperatures. *J Physiol*; Sep;390:383-395

Reitan RM (1958). The validity of the Trail Making Test as an indicator of organic brain damage. *Perceptual and Motor Skills*; 8: 271-276

Richard D, Monge-Roffarello B, Chechi K, Labbé SM, Turcotte EE (2012). Control and Physiological Determinants of Sympathetically Mediated Brown Adipose Tissue Thermogenesis. *Front Endocrinol (Lausanne)*;3:36.

Richardson D, Tyra J, McCray A (1992). Attenuation of the cutaneous vasoconstrictor response to cold in elderly men. *J Gerontol*. Nov;47(6):M211-214

Rintamäki H (2007a). Human responses to cold. *Alaska Med*; 49(2 Suppl):29-31

Roberson ED, Defazio RA, Barnes CA, Alexander GE, Bizon JL, Bowers D, Foster TC, Glisky EL, Levin BE, Ryan L, Wright CB, Geldmacher DS (2012). Challenges and opportunities for characterizing cognitive aging across species. *Front Aging Neurosci*;4:6

Rudge J, Gilchrist R (2005). Excess winter morbidity among older people at risk of cold homes: a population-based study in a London borough. *J Public Health*;27:353-358

Russ DW, Gregg-Cornell K, Conaway MJ, Clark BC (2012). Evolving concepts on the age-related changes in "muscle quality". *Cachexia Sarcopenia Muscle*. Jun;3(2):95-109

Sargeant AJ (1987). Effect of muscle temperature on leg extension force and short-term power output in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 56(6):693-8.

Silverthorn DU (2009). *Physiologie*. Pearson Studium Medizin. Pearson Studium (Hrsg.). 4. aktualisierte Auflage. Pearson Education Deutschland GmbH München 2009. S. 1056-1059

Sisto SA, Dyson-Hudson T (2007). Dynamometry testing in spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*;44(1):123-136

Skelton DA, Aston H, Greig CA, Young A (1992). Effect of cooling on the power voluntary and electrically stimulated contractions of the lower limb extensors. *Clin Sci*;83,Suppl 27:16

Skelton DA, Greig CA, Davies JM, Young A (1994). Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age and Ageing*;23:371-377

Smolander J (2002). Effect of cold exposure on older humans. *Int J Sports Med*;23:86-92

Sportmedizin für Ärzte. Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP); H.-H. Dickhuth/F. Mayer/K. Röcker/A. Berg (Hrsg.); Deutscher Ärzteverlag; 2. Überarbeitete Auflage 2010; S. 75-76.

Stark T, Walker B, Phillips JK, Fejer R, Beck R (2011). Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PM R*.May;3(5):472-479

Statistisches Bundesamt 2009 ([http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Zeitreihen/WirtschaftAktuell/Preismonitor/Energie/ueberschrift\\_\\_Energie,templateId=renderPrint.psml](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Zeitreihen/WirtschaftAktuell/Preismonitor/Energie/ueberschrift__Energie,templateId=renderPrint.psml))

Taylor NA, Allsopp NK, Parkes DG (1995). Preferred room temperature of young vs aged males: the influence of thermal sensation, thermal comfort, and affect. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*.Jul;50(4):M216-221

The Eurowinter Group (1997). Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. The Eurowinter Group. *Lancet*. May 10;349(9062):1341-1346. (Keine Autoren aufgeführt).

Trappe T (2009). Influence of aging and long-term unloading on the structure and function of human skeletal muscle. *Appl Physiol Nutr Metab*.Jun;34(3):459-564

Van Orden KF, Ahlers ST, Thomas JR, House JF, Schrot J (1990). Moderate cold exposure shortens evoked potential latencies in humans. *Aviat Space Environ Med*.Jul;61(7):636-639

Verband Deutscher Rentenversicherungsträger (2004). Rentenversicherungsbericht der Bundesregierung.

Waldstein SR, Health Effects on Cognitive Aging. In: The Aging Mind: Opportunities in Cognitive Research. National Research Council (2000). Committee on Future Directions for Cognitive Research on Aging. Paul C. Stern and Laura L. Carstensen, editors. Commission on Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academy Press;

Wilkinson P, Armstrong B, Landon M (2001). Cold comfort: The social and environmental determinants of excess winter deaths in England, 1986-1996. Foundation by the Policy Press.  
<http://jrf.org.uk/knowledge/findings/housing/n11.asp>

World Health Organisation (WHO) (2004). LARES (Large analysis and review of European housing and health status). Unpublished working document. WHO ECEH Bonn office, 2004

Young AJ, Lee DT (1997). Aging and human cold tolerance. *Exp Aging Res.* Jan-Mar;23(1):45-67

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Entwicklung der Bevölkerung in Deutschland unter 20, ab 65 und ab 80 Jahren, 1887 – 2050 (in%) .....	2
Abbildung 2: Entwicklung des Rentenniveaus in Prozent des Durchschnittsverdieners Deutschland 1978-2018.....	3
Abbildung 3: Reflexe der Thermoregulation .....	7
Abbildung 4: Präzisionsthermometer .....	19
Abbildung 5: Nottingham Power Rig .....	20
Abbildung 6: Dynamometer microFET2.....	23
Abbildung 7: Handdynamometer .....	24
Abbildung 8: Vergleich Leistung „Nottingham Power Rig“ bei 15°C und 25°C.....	29
Abbildung 9: Vergleich Leistung „Power Chair“ bei 15°C und 25°C.....	30
Abbildung 10: Vergleich der normalen Gehgeschwindigkeit bei 15°C und 25°C .....	31
Abbildung 11: Vergleich der maximalen Gehgeschwindigkeit bei 15°C und 25°C.....	32
Abbildung 12: Vergleich der Handkraft bei 15°C und 25°C.....	34
Abbildung 13: Vergleich der Beinkraft bei 15°C und 25°C.....	35
Abbildung 14: Vergleich Trail Making Test Teil A bei 15°C und 25°C.....	37
Abbildung 15: Vergleich Trail Making Test Teil B bei 15°C und 25°C.....	38
Abbildung 16: Variabilität der Leistungen am „Nottingham Power Rig“ .....	39

## ***Tabellenverzeichnis***

Tabelle 1: Alter und antropometrische Merkmale aller Teilnehmerinnen (n = 18) .....	27
Tabelle 2: Leistung im „Nottingham Power Rig“ .....	28
Tabelle 3: Leistung im „Power Chair“ .....	29
Tabelle 4: Normale Gehgeschwindigkeit .....	31
Tabelle 5: Maximale Gehgeschwindigkeit .....	31
Tabelle 6: Maximale Handkraft.....	33
Tabelle 7: Maximale Beinkraft .....	33
Tabelle 8: Trail Making Test Teil A.....	36
Tabelle 9: Trail Making Test Teil B.....	36
Tabelle 10: Korrelationen ausgewählter Parameter untereinander (nach Spearman mit Fallzahl n = 18).....	40

## ***Danksagung***

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. Clemens Becker, Chefarzt der Abteilung für Geriatrie des Robert-Bosch-Krankenhauses, für die freundliche Überlassung des Themas und die Möglichkeit, in seinem Team meine Promotion zu schreiben.

Meinen besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. Ulrich Lindemann aussprechen, der mich maßgeblich an der Erstellung dieser Arbeit unterstützt hat, mir Anregungen und Verbesserungsvorschläge geliefert hat und mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand. Die Zusammenarbeit hat mir sehr viel Spaß gemacht.

Schließlich bedanke ich mich auch bei meiner Familie für ihre motivierenden Worte, ihre Geduld und ihre Unterstützung.