

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Technische Universität Chemnitz

Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften

Institut für Angewandte Bewegungswissenschaften

Professur Bewegungswissenschaft

Masterarbeit

**„Adaptive Fähigkeiten der Hand-Augen Koordination im Lichte
thermoregulativer Prozesse“**

Eingereicht von:

Matrikel Nr. 372664

Studiengang: Gesundheits- und Fitnesssport

Abgabetermin: 21.10.2022

Betreuerin: Dr. Andresa Mara de Castro Germano

Zweitprüfer: Dr. Daniel Schmidt

Vorgelegt von:

Peter Kovács

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Einleitung	6
1. Sinnessysteme des Körpers	6
1.1 Visuelles Sinnessystem	6
1.2 Vestibuläres Sinnessystem	7
1.3 Kinästhetisches Sinnessystem	7
2. Sensomotorische Integration auf verschiedene Ebenen des ZNS	9
2.1 Arten der Verschiedenen Bewegungskontrollen	10
3. Adaptive Fähigkeiten der Hand-Augen-Koordination	12
3.1 „The effect of fidget spinners on fine motor control“	12
4. Thermoregulative Prozesse	16
4.1 Der Mensch als wechselwarmes Lebewesen	17
4.2 Thermosensibilität	17
4.3 Wärmebildung	18
4.4 Wärmeregulation	18
5. Arbeiten zu thermalen Einflüssen	20
5.1 „A Meta-Analysis of Performance Response Under Thermal Stressors“	20
5.2 „Infrarot-Thermografie bei professionellen valencianischen Ballspielern angewendet“	22
6. Hauptteil	23
6.1 Hinleitung zur Forschungsfrage	23
6.2 Forschungsfrage	23
6.3 Beschreibung des Forschungsprojektes	24
6.4 Probandenkollektiv	24
6.5 Instrumentarien	26
6.5.1 Thermometrische Ausrüstung	26
6.5.2 Thermoregulation	28
6.5.3 MatLab	28
6.6 Versuchsdurchführung	28
6.6.1 Messvorbereitung	28
6.6.2 Messablauf	29
6.7 Datenauswertung	29
6.8 Ergebnisse	30

6.8.1 Testung auf Normalverteilung	30
6.8.2 Vergleiche der gesamten Werte	32
6.8.3 Vergleich der Gruppen	35
7. Diskussion	42
7.1 Datenerhebung	43
7.3 Datenanalyse	43
7.3.1 Vergleich der gesamten Daten	43
7.3.2 Vergleich der einzelnen Gruppen	43
7.4 Schlussfolgerung	44
Selbstständigkeitserklärung	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten eines Reflexbogens. a Allgemeiner Aufbau eines Reflexbogens. b Muskeldehnungsreflex (Feigenspan 2017)	11
Abbildung 2: Versuchsaufbau einer Spiralen tracing-Aufgabe (Cohen et al. 2018)	14
Abbildung 3: Ergebnisse der Fidget-Spinner Studie (Cohen et al. 2018)	15
Abbildung 4: Topografische Darstellung der Wärmebildung im Körperkern und in Körperschale (Speckmann 2019, S. 629)	18
Abbildung 5: Anstieg des Energieumsatzes außerhalb der dunkelblau dargestellten thermoneutralen Zone (Quelle: Speckmann 2019, S. 631)	20
Abbildung 6: Asymmetrien aufgrund von ROIs (Region of Interest) im Basalbereich (Calzadillas 2019)	23
Abbildung 7: Thermometer zur Erfassung der Raumtemperatur (PeakTech, 2014)	27
Abbildung 8: Thermokamera mit Stativ (Flir)	27
Abbildung 9: Mini-Flash Infrarot-Thermometer	28
Abbildung 10: Normalverteilung der gesamten Koordinationswerte	31
Abbildung 11: Rechtsschiefe, fast Normalverteilter Q-Q Plot der Temperaturdifferenzen	32
Abbildung 12: Boxplot Pre vs. Post Koordinationswerte (gesamte Daten)	33
Abbildung 13: Boxplot Vergleich beider Hände (gesamte Daten)	33
Abbildung 14: Boxplot Vergleich Pre vs. Post der Temperaturdifferenzen (gesamte Daten)	34
Abbildung 15: Boxplot Vergleich der Hände für Temperaturdifferenzen (gesamte Daten)	35
Abbildung 16: Vergleich Pre vs. Post innerhalb der Sportarten (basierend auf den Koordinationswerten)	36
Abbildung 17: Vergleich Pre vs. Post nach WHO gruppiert (basierend auf den Koordinationswerten)	37
Abbildung 18: Vergleich beider Hände innerhalb der Sportarten (basierend auf den Koordinationswerten)	38
Abbildung 19: Vergleich beider Hände nach WHO gruppiert (basierend auf den Koordinationswerten)	38
Abbildung 20: Vergleich Pre vs. Post der Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach Sportarten)	39
Abbildung 21: Vergleich Pre vs. Post der Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach WHO Zuordnung)	39
Abbildung 22: Vergleich der Hände für die Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach Sportarten)	40
Abbildung 23: Vergleich der Hände für die Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach WHO Zuordnung)	40
Abbildung 24: Verteilung der Temperaturdifferenz in Abhängigkeit zu den Koordinationswerten (Unterteilt in die Sportarten, Pre-, Post-Messung und Handdominanz)	41
Abbildung 25: Verteilung der Temperaturdifferenz in Abhängigkeit zu den Koordinationswerten (Unterteilt nach WHO, Pre-, Post-Messung und Handdominanz)	42

Einleitung

Koordination setzt sich aus den lateinischen Begriffen “co, con: mit, zusammen” und “ordinare: ordnen, regeln” zusammen. Im Kontext der Bewegungslehre spielt die Koordination im Bereich des Lernens, Steuerns und der Anpassung von Bewegungen eine wichtige Rolle. Sie ermöglicht dem Menschen durch seinen Körper erfolgreiches Handeln in unterschiedlichen Situationen und wechselnden Umgebungen. In der Trainingstherapie wird sich hierbei mehr auf den physiologischen Aspekt konzentriert. Es ist ein harmonisches Zusammenspiel zwischen dem Zentralnervensystem (ZNS) und der Skelettmuskulatur innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufs (Richard et al. 2010).

Die Definition der Bewegungskoordination, wie sie Bernstein (1987) formulierte, macht ein zentrales Problem der Koordination deutlich: „Die Koordination der Bewegungen ist die Überwindung der überflüssigen Freiheitsgrade des sich bewegenden Organs, mit anderen Worten, seine Umwandlung in ein steuerbares System.“ Aus der oben erwähnten Indeterminiertheit des Zusammenhangs von innervierenden Impulsen und Bewegungseffekt folgte Bernstein (1987): „Der motorische Effekt des zentralen Impulses kann nicht im Zentrum im Voraus entschieden sein, sondern er wird im vollen Umfang in der Peripherie entschieden[.]“ Die starke Einbeziehung peripherer Vorgänge in den Koordinationsprozess steht damit im drastischen Gegensatz zu klassischen Programmtheorien (Praxl 2001).

Für ein Grundverständnis der physiologischen Eigenschaften von koordinierten Bewegungen, wird zunächst ein grober Überblick über wichtige Systeme und Funktionen des Menschen gegeben.

1. Sinnessysteme des Körpers

1.1 Visuelles Sinnessystem

Das visuelle Sinnessystem dient zur Abschätzung von Distanzen und um die Umgebung sowie Fremd- und Eigenbewegungen zu erfassen. Daher ist der visuelle Analysator ein essenzieller Bestandteil der Gleichgewichtsfähigkeit (Froböse 2003).

Im Zentrum des optischen Sinnessystems steht das Auge. „Das Auge ist ein kompliziert aufgebautes Sinnesorgan, das auf die Wahrnehmung von Lichtreizen spezialisiert ist. [...] Die Fähigkeit des Auges, sich an unterschiedliche Helligkeiten anzupassen, heißt Adaptation des Auges“ (Engelhardt und Menche 2010). Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass Objekte aus der Umwelt mit Hilfe des dioptrischen Apparats und einer Berechnung auf der Retina (Netzhaut) abgebildet werden (Vaupel et al. 2015).

Es kann gesagt werden, dass, aus physikalischer Sicht betrachtet, das „visuelle System [...] Licht, also elektromagnetische Schwingungen bestimmter Wellenlängen, in bioelektrische Signale [umgewandelt] und [...] sie in verschiedenen Instanzen des ZNS“ verarbeitet wird (Janssen 2008). Dieser Veränderungsprozess findet in der Netzhaut statt und die bioelektrischen Reize werden über den Sehnerv zum ZNS gesendet (Schaible und Schmidt 2006). Das Auge spielt als Sinnesorgan auch eine sehr wichtige Rolle für die Feinmotorik. Die Zielbewegungen des Armes und der Hand zum Beispiel, sind visuomotorische Akte (Hand-, Augenkoordination) mit kognitiver Komponente. Dem Greifakt geht die visuelle Erfassung des Objektes voraus, wobei durch Augen- und Kopfbewegungen eine visuelle Fixierung des

Gegenstandes möglich wird (vgl. Wiesendanger 1995; S. 105). Die Bewegungen des Armes bzw. der Hand und die Augenmotorik (Hand-, Augen- Koordination) sind eng miteinander gekoppelt, wie beispielsweise beim Schreiben.

1.2 Vestibuläres Sinnessystem

Im aufrechten Stand dominiert vor allem das vestibuläre System, da es für den Erhalt des Gleichgewichts zuständig ist. Es überwiegt insbesondere dann, wenn man sich auf wackligem Untergrund befindet oder aber die Körperhaltung instabil ist (Froböse 2003). Präziser formuliert werden schnellere Kopfbewegungen durch die vestibulären Analysatoren erfasst. Diese werden folglich zu „bioelektrischen“ Reizen verarbeitet und weitergeleitet an das ZNS. Dort werden sie mit Reizen aus dem optischen und propriozeptiven System verwertet (Olivier und Rockmann 2003).

Das vestibuläre System ist zudem, neben der Regulierung des Gleichgewichts, für die räumliche Orientierung verantwortlich (Birklbauer 2012). Dieses System befindet sich, wie auch der akustische Sinnesapparat, im Innenohr. Der vestibuläre Sinnesapparat ist für die Registrierung von Beschleunigung und Schwerkraft auf vertikaler und horizontaler Ebene verantwortlich (Engelhardt und Menche 2010; Thews et al. 2007). Hinzu kommt, dass er für das Aufspüren von Drehbewegungen und deren Richtung zuständig ist (ebd.). Sobald eine Störung in diesem Gleichgewichtorgan auftritt, leiden betroffene Personen in der Mehrzahl der Fälle an Schwindel (Schaible und Schmidt 2006).

1.3 Kinästhetisches Sinnessystem

Das kinästhetische Sinnessystem, welches auch für einen Hauptteil des Prinzips der Propriozeption oder Tiefensensibilität zuständig ist, reguliert die menschliche Motorik. Es erfasst den Widerstand gegenüber den Muskelbewegungen, die Position der Extremitäten sowie die Durchführung aktiver und passiver Gelenkaktivitäten (Thews et al. 2007). Die Analysatoren, welche die entsprechenden Informationen geben, befinden sich in den Sehnen (Golgi-Sehnenorgan), Muskeln (Muskelspindeln) und Gelenken (Gelenkrezeptoren) (Birklbauer 2012; Schaible und Schmidt 2006; Engelhardt und Menche 2010; Häfelinger und Schuba 2007).

Das Golgi-Sehnenorgan lässt sich auf dem Übergangsbereich zwischen Muskel und Sehnen lokalisieren und gilt als Dehnungsanalysator (Birklbauer 2012). Aufgebaut sind die Rezeptoren aus einer Bindegewebskapsel, bestehend aus einem Bündel kollagener Fasern, welche mit den Muskel- und Sehnenfasern verbunden sind. Sie werden von afferenten myelinisierten Nervenfasern (Ib-Fasern) versorgt, die sich zwischen den Kollagenfasern verzweigen, sie spiralförmig umwickeln und schließlich in kleinen Scheiben und Varikositäten (eine Vielzahl von blasigen Anschwellungen) enden (van Berg et al. 2010).

Golgi-Sehnenorgane sind langsam adaptierend und messen die Spannungsveränderungen des Muskels. Wenn der Muskel verkürzt wird, werden die Kollagenfasern gedehnt und es kommt zu einer Depolarisation. Das resultierende Aktionspotential wird an das Rückenmark gesendet, wobei durch die Frequenz die Stärke der Muskelkontraktion dargestellt wird. Die Motoneuronen desselben Muskels werden durch Ib-Neuronen gehemmt und erregen die Motoneuronen der Antagonisten des Muskels zur gleichen Zeit. Dieses Feedback spielt eine bedeutende Rolle bei der Kontrolle von Muskelspannung und Eigenreflexen (Birklbauer 2012; Speckmann et al. 2019).

Zu finden sind die Muskelspindeln im Inneren der Muskulatur und besitzen, dem Namen nach, die Form einer Spindel. Durch die Dehnung des Muskels werden Informationen mit aktueller Längenangabe des Muskels an das ZNS gesendet (Birklbauer 2012; Engelhardt und Menche 2010). Zudem geben die Muskelspindeln Auskunft über die Gelenkstellung und -bewegung. Sie bestehen aus intrafusalen Muskelfasern und sind parallel zu den Muskelfasern angelegt. Zum Teil bestehen die Fasern aus kontraktilelementen und sind spiralförmig umgeben von rezeptiven Nervenendigungen. Durch die Anordnung ihrer Kerne können zwei Arten von intrafusalen Muskelspindelfasern, die Kernkettenfasern und die Kernsackfasern, unterschieden werden. Bei den Kernkettenfasern liegen die Kerne in einer Reihe, bei den Kernsackfasern liegen die Kerne etwa in der Mitte der Faser in Klumpen. Außerdem unterscheiden sie sich in ihrer Reaktion auf Muskelkontraktion zwischen statischen und dynamischen Typen (van Berg et al. 2010).

Während Kernsackfasern adaptiv sind, sind die Kernkettenfasern es nicht, daher sind Kernkettenfasern in sekundäre Muskelspindelafferenzen mit afferenten Fasern der Gruppe II ($A\beta$ -Fasern) eingeschlossen. Diese Fasern messen vorzugsweise die statische Muskellänge und neigen zu proportionalem Verhalten. Daher müssen die Kernsackfasern, welche die dynamische Länge aufnehmen, die Geschwindigkeit der Längenänderung messen. Aus diesem Grund werden sie auch in primäre Muskelspindelafferenzen mit Ia-Fasern ($A\alpha$ -Fasern) eingewickelt. Die signifikant geringere Empfindlichkeit findet sich in sekundären gegenüber primären Muskelspindelafferenzen (van Berg et al. 2010; Schaible und Schmidt 2006).

Die Muskelspindeln spielen eine wichtige Rolle im Zusammenspiel mit den Afferenzen der Bindegewebsgelenksstrukturen hinsichtlich einer gezielten Gelenkführung und Bewegungskoordination sowie bei der Informationsübermittlung an das ZNS zur Bewegungsregulierung. Darüber hinaus sind Muskelspindeln Teil eines komplexen Kontrollsystems, das die Muskulatur mit Hilfe des Muskeldehnungsreflexes vor Überdehnung schützt und einen konstanten Muskeltonus aufrechterhält bzw. einstellt (Laube 2009).

Muskeldehnungsreflexe sind reflektorisch ausgelöste Muskelkontraktionen, und ein wichtiger Teil der Propriozeption. Dadurch, dass Effektor und Rezeptor im selben Organ liegen, wird beim Muskeldehnungsreflex von einem Eigenreflex gesprochen. Er wird durch eine plötzliche Dehnung des Muskels ausgelöst, die eine schnelle Kontraktion des Muskeldehnungsreflexes verursacht, um einer weiteren Längenzunahme entgegenzuarbeiten. Funktionell wird die Muskellänge durch den Muskeldehnungsreflex konstant gehalten. Das Signal wird mit Hilfe einer afferenten Bahn (Ia-Faser) an den zentralen synaptischen Schalter im Rückenmark geleitet. Das Signal wird dann über eine efferente Bahn (Axon des α -Motoneurons) zu einer neuromuskulären Endplatte zurückgeleitet. Somit ist die aufrechte Haltung des Körpers gegen die Schwerkraft sichergestellt und für das Gehen und Stehen von entscheidender Bedeutung (Speckmann et al. 2019).

Die Gelenkrezeptoren dienen, neben den Muskelspindeln, auch als Analysator für die Orientierung des Körpers im Raum über die Gliedmaßen, trotz geschlossener Augen. Diese Rezeptoren haben die Aufgabe, die Geschwindigkeiten, Winkelstellungen und Winkeländerungen in den Gelenken zu bestimmen (Zalpour 2002).

In den Bindegewebskapseln, von denen die Gelenke in der Regel umgeben sind, befinden sich die Gelenkrezeptoren. Diese sind in vier Typen zu unterteilen. Typ I sind kleine Körper, die den Ruffini-Körperchen ähneln, auf Belastungen reagieren und langsam adaptierend reagieren. Diese Rezeptoren befinden sich am Ende von dünnen, Mark enthaltenden Fasern.

Eine afferente Faser spaltet sich ab und endet an einigen dieser Körperchen. Deutlich größer sind die Typ II Gelenkrezeptoren, welche mit einer mitteldicken, myelinisierten afferenten Faser ausgestattet sind. Jeweils eine dieser Fasern trifft dabei auf ein Körperchen. Dieser Typ ist schnell adaptierend und vergleichbar mit den Vater-Pacini-Körperchen. Vorletzter Typ III entspringt einer myelinisierten, dicken Faser, spaltet sich auf und endet in dichten Verzweigungen. Aufgrund ihrer hohen Reizschwelle und der tonischen Antwort gleichen sie den Golgi-Sehnenorganen. Typ IV besteht aus myelinlosen, freien Nervenendigungen (Shepherd 1993; Speckmann et al. 2019).

2. Sensomotorische Integration auf verschiedene Ebenen des ZNS

Das Nervensystem besteht aus allgemeinen und spezifischen Nervenapparaten, welche miteinander interagieren. Die daraus resultierenden Befehlsstrukturen können dann über das Rückenmark direkt auf den Skelettmuskel übertragen werden (Hollmann und Hettinger 1990).

Die sensorischen Systeme sind den spezifischen Systemen zugehörig. Ihre Aufgabe liegt in der Erfassung der Umwelt und des eigenen Körpers über die entsprechenden Sinnesorgane. Daraus gewonnene Informationen werden zentralnervösen Zentren zugeleitet. Das motorische System steuert hingegen die Muskelaktivitäten, die für Bewegungen sowie die Körperhaltung erforderlich sind (Thews et al. 2007).

Die Reizinformation wird laut Schaible und Schmidt (2006) mit Hilfe der spezifischen Systeme des ZNS in sich überkreuzenden Nervenbahnen versendet. Die Neuronen eben dieser Nervenbahnen weisen direkt hintereinander gegliederte Zellkörper auf, welche ihren Ursprung aus verschiedenen Kerngebieten haben.

Für die motorische Bewegungsregulierung sind, wie bereits erwähnt, unterschiedliche Sinnesapparate miteinander verknüpft. Ein Beispiel hierfür ist die oben erwähnte sensorische Reafferenz und Exafferenz (Sinneseindrücke, welche von außen kommen), die dem Körper eine kontinuierliche Rückmeldung über seine Position im Raum und die körperlich motorischen Prozesse gibt. Weitergeleitet werden diese Rückmeldungsinformationen über spezifische afferente Nervenbahnen (Schaible und Schmidt 2006).

Nach Schaible und Schmidt (2006) haben Neuronen des ZNS oft andere Eigenschaften als Neuronen des peripheren Nervensystems, da sie häufig unterschiedliche Ansprüche erfüllen müssen. Gehirn und Rückenmark sind Bestandteil des ZNS-Komplexes. Weineck (2020) fährt fort, indem er alle Hirnareale einzeln aufzählt und im Anschluss die Medulla oblongata und das Rückenmark mit hinzunimmt. Alle weiteren Bereiche des menschlichen Nervensystems sind Bestandteil des peripheren Nervensystems.

Um folglich alle motorischen Prozesse ansteuern und ausüben zu können, werden unterschiedliche Bereiche des ZNS durch die sensomotorischen Sinnesorgane bedient, wie zum Beispiel die Großhirnrinde, der Hirnstamm, das Kleinhirn, die Basalganglien oder das Rückenmark.

2.1 Arten der Verschiedenen Bewegungskontrollen

Die tägliche Erfahrung zeigt, dass ein ruhender Muskel aktiviert werden kann, entweder unbewusst in Form eines Reflexes oder aber willentlich durch ein motorisches Programm, das in kortikalen Hirnregionen erzeugt und an die Muskulatur weitergeleitet wird. Die willkürlichen Muskelbewegungen selbst reichen von feinmotorischen Prozessen wie dem Spielen eines Musikinstruments bis hin zu ballistischen Bewegungen mit großer Kraftentwicklung, etwa durch Aktivierung der Oberschenkelmuskulatur. Die Regulation so unterschiedlicher Bewegungsformen erfolgt auf zahlreichen, meist neuronalen Ebenen (Feigenspan 2017).

Anstelle eines Prozesses, der mit der Absicht anfängt, beginnt die Erzeugung reflexiver Bewegungen mit einer Empfindung. Ein bestimmter Reiz (Input) löst eine bestimmte motorische Reaktion (Output) aus. Als Beispiel soll der Muskeldehnungsreflex näher beschrieben werden. Die Dehnung des Muskels (durch andere Muskeln oder äußere Kräfte) aktiviert einen Rezeptor, der wiederum den Muskel, der ihn enthält, erregt, wodurch sich der Muskel verkürzt, und der Dehnung entgegenwirkt, um die Stabilität zu erhalten. Reflexartige Bewegungen funktionieren also nach dem Prinzip der Rückkopplung, bei dem der Output des Systems dazu verwendet wird, seinen Input zu verändern. In diesem Fall ist die Rückkopplung negativ, da der Stimulus, der den Reflex auslöst, eine Verlängerung des Muskels ist und die Reaktion, die Muskelkontraktion, ihn verkürzt (Schwartz 2016). Bekannte Reflexe sind beispielsweise der Lidschlussreflex oder der Kniesehnenreflex. Eine schematische Verdeutlichung dieses Prozesses bietet Abbildung 1. Reflexe sind die am schnellsten auslösbaren motorischen Reaktionen, da sie eine Latenz von 120 bis 20 ms vorweisen können. Es gibt aber auch Reflexe, welche nur vorübergehend vorhanden sind und nach geraumer Zeit nicht mehr aktiv sind. Dazu gehört der Babinski-Reflex. Dieser zeigt sich bei Säuglingen dadurch, dass die Zehen, nach der Berührung der Fußsohle, gespreizt werden. Reflexe wie dieser treten im Erwachsenenalter nur bei Schäden des motorischen Cortex auf und können somit als Mittel zur Diagnostik genutzt werden (Müsseler 2017).

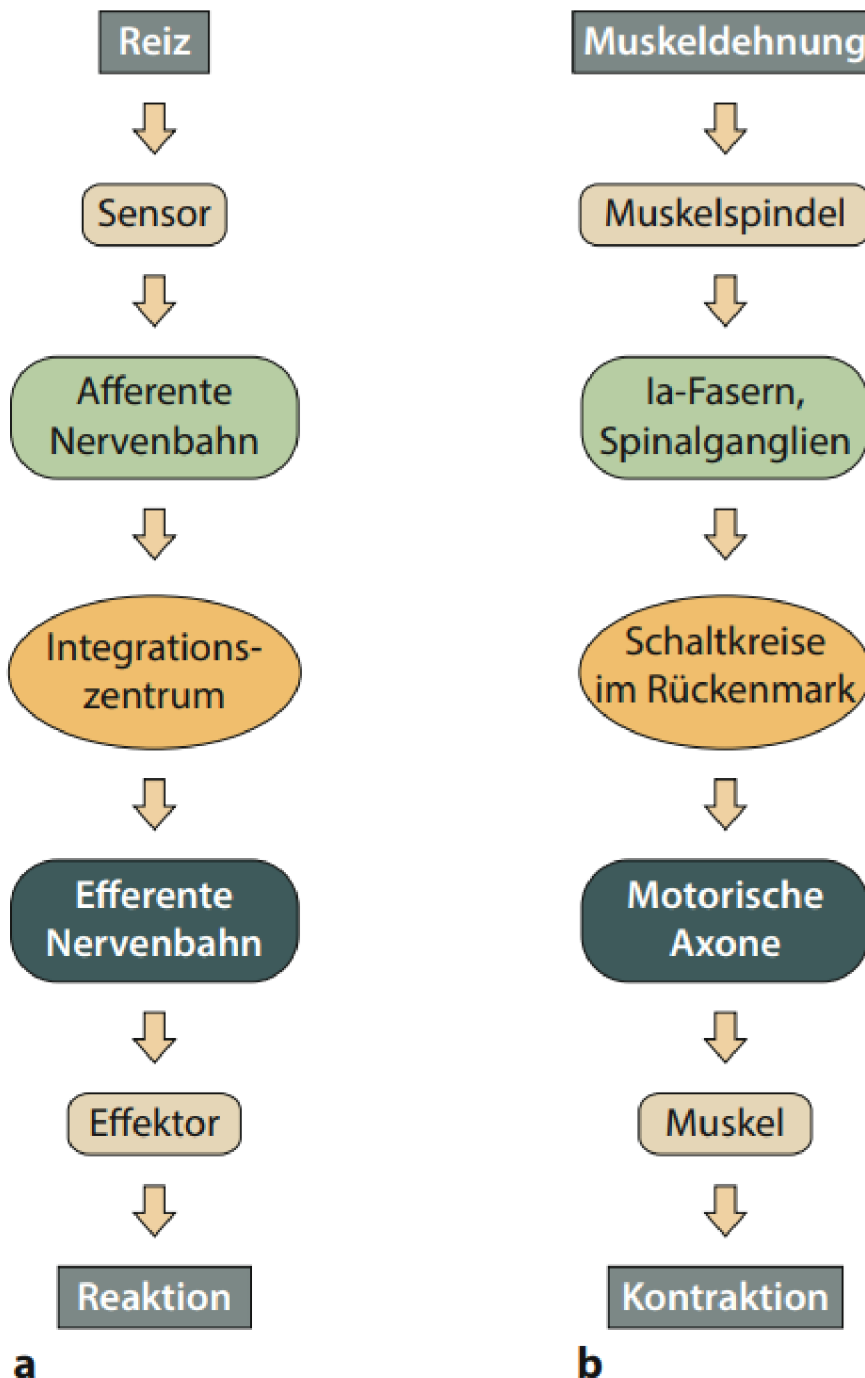


Abbildung 1: Komponenten eines Reflexbogens. a Allgemeiner Aufbau eines Reflexbogens. b Muskeldehnungsreflex (Feigenspan 2017)

Automatische Bewegungen sind eine weitere Form, welche unbewusst in einer Schleife im Hintergrund laufen können. Es sind meist zyklische Bewegungen wie laufen, schwimmen oder kauen. Durch descendierende corticale Signale wird eine Neuronengruppe, welche sich im Rückenmark oder Hirnstamm befindet, aktiviert. Diese generieren dann wieder zyklische, efferente motorische Signale (Müsseler 2017).

Als letzte Form sind die Willkürbewegungen zu nennen. Eine willkürliche Bewegung ist per Definition die beabsichtigte Ausführung einer Handlung. Diese Bewegungen werden oft als

singuläre Ereignisse betrachtet, obwohl sie in der realen Welt in einem kontinuierlichen Zyklus von Handlung - Absicht - Aktion ablaufen (Johansson und Flanagan 2008). So kann eine Person willentlich den Arm heben, um aus einem Regal ein Glas rauszunehmen. Auch Sprechen und Schreiben gehören zu den willkürlich ausgeführten Bewegungen. Wobei diese durch langes Ausüben eine automatische Qualität bekommen. Damit ist aber nicht gemeint, dass sie unbewusst und ausschließlich durch subcorticale motorische Zentren realisiert werden (Müsseler 2017). Willingham (1999) konnte zudem zeigen, dass gut trainiert kognitive oder motorische Aufgaben eine geringe Beanspruchung des präfrontalen Kortex aufweisen, was die Annahme unterstützt, dass Bewegungen einen automatischen Charakter bekommen können.

3. Adaptive Fähigkeiten der Hand-Augen-Koordination

Entgegen der landläufigen Meinung, dass die nicht-dominanten Gliedmaßen im Vergleich zur dominanten Seite einfach unzureichend ist, gibt es bestimmte Fälle, in denen sie erhebliche Leistungsvorteile aufweist. Wenn der nicht-dominante Arm durch eine unerwartete Trägheitslast gestört wird, zeigt er schnelle und genaue Bewegungskorrekturen, was zu Bewegungen führt, die genauer enden als die des dominanten Arms. Tatsächlich ist die Reaktion des dominanten Arms oft maladaptiv und erhöht den Gesamtfehler der Endposition (Bagesteiro und Sainburg 2003, 2005).

Darüber hinaus passt sich der nicht-dominante Arm an neuartige dynamische Bedingungen an, indem er die Impedanz der Gliedmaßen erhöht, während sich die dominante Gliedmaße anpasst, indem sie die auferlegten Kräfte antizipiert und kompensiert, bevor Fehler in die Bewegung eingebracht werden (Duff und Sainburg 2007).

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die nicht-dominante Gliedmaße bei der Korrektur von Fehlern tatsächlich besser ist als die dominante Gliedmaße und eher dazu neigt, eine Impedanzstrategie zu verwenden als die dominante Gliedmaße. Das wiederum zeigt auf, dass die nicht-dominante Gliedmaße im Vergleich zur dominanten Gliedmaße auf die Impedanzkontrolle spezialisiert ist.

3.1 „The effect of fidget spinners on fine motor control“

Cohen et al. (2018) ging dem Trend der Fidget Spinner nach und testete mit deren Hilfe die Koordination von Probanden. Er wollte sehen, ob die feinmotorische Kontrolle von der Nutzung eines Fidget Spinners beeinflusst werden kann.

Die Spinner besitzen auch eine gewisse Schwingungskomponente, die anhand der diskreten Fourier-Transformation quantifiziert wurden, die die Hauptkomponente bei einer Frequenz von etwa 10 Hz zeigt (obwohl die Stärke wahrscheinlich zwischen verschiedenen Spinners variiert, siehe Methoden). Es gibt verschiedene Studien, die zeigen, dass Vibrationen auch die motorische Kontrolle beeinflussen können. Zusammengenommen könnte die Kombination dieser Faktoren, d. h. wiederholte Manipulation und Vibration, tatsächlich die Präzision der Feinmotorik fördern.

Für diese Studie wurden einundachtzig gesunde Erwachsene rekrutiert (Alter: $23,51 \pm 2,47$ Jahre, 29 Männer). Alle Probanden wussten vor Beginn der Studie nicht, worum es gehen sollte und welchen Zweck sie verfolgte. Zudem waren sie alle Rechtshänder. Es handelte sich um freiwillige Studenten von der Universität, die keine dokumentierten visuellen, motorischen und neurologischen Beeinträchtigungen hatten. Die Teilnahme an dieser Studie erfolgte ohne Bezahlung. Das Protokoll der Studie wurde von der Ethikkommission genehmigt.

Zur Testung der Feinmotorik wurde das Nachfahren einer Spirale genutzt. Ausgeführt wurde die Untersuchung mit Hilfe eines Tablets, sodass die Ergebnisse der Zeichnung digital abgespeichert werden konnten. Durch die Digitalisierung des Verfahrens konnte eine quantitative objektive Bewertung vorgenommen werden.

Die Probanden wurden nach dem Zufallsprinzip den drei verschiedenen Gruppen zugeordnet: Kontroll-, Schein- und Fidget-Gruppe. Daraus ergaben sich 27 Probanden für jede Gruppe. Vor und nach jedem Durchgang wurden die Probanden gebeten, eine Spirale nachzufahren, welche in der Mitte begann und nach außen verlief. Dabei sollten sie nicht auf die Geschwindigkeit achten. Vielmehr wurden sie gebeten, die Spirale so gut sie konnten nachzufahren. Den Arm sollten sie dabei nicht abstützen, sodass er frei in der Luft hing und lediglich die Hand, durch den Stift für das Tablet in der Hand, Kontakt hatte. Für die Fidget-Gruppe bestand die Aufgabe zwischen dem Zeichnen, darin einen Fidget-Spinner zu drehen. Dabei hielten ihn alle mit der rechten Hand. Die Teilnehmer wurden gebeten, den Spinner mit Daumen, Zeigefinger und dritten Finger zu halten und ihn waagrecht zum Boden zu halten, wobei der Daumen unten und der Zeigefinger und der dritte Finger oben auf dem Spinner platziert werden sollten (Abbildung 2). Der Grund für diese waagerechte Position ist, dass auf diese Weise die Gravitationskräfte gleichmäßig über die Flügel des Spinners verteilt werden. Sobald die Drehung begonnen hatte, wurden die Teilnehmer gebeten, diese Position eine Minute lang beizubehalten, wobei die Zeit mit einer Stoppuhr gemessen wurde. Die Teilnehmer der Schein-Gruppe wurden gebeten, den Spinner auf die gleiche Weise wie die Fidget-Gruppe zu halten, ohne eine Drehung auszulösen, und diese Position eine Minute lang beizubehalten. In der Kontrollgruppe wurden die Teilnehmer gebeten, eine Minute lang nichts zu tun.

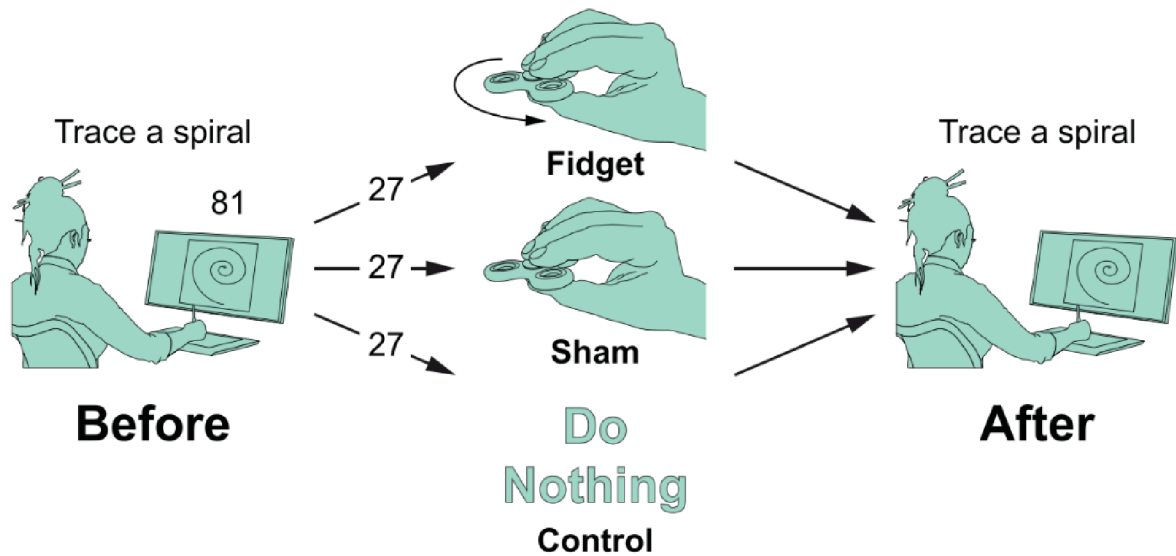


Abbildung 2: Versuchsaufbau einer Spiralen tracing-Aufgabe (Cohen et al. 2018)

Berechnet wurde die Auswertung mit einem in Matlab entwickelten Algorithmus für die Spiralanalyse. Der Algorithmus besteht aus einer seriellen winkelbasierten Berechnung der Abweichungen der abgetasteten Spirale von der Vorlage. Die Punkte der Abtastung ($n=6.643$ pro abgetastete Spirale, normiert auf die Größe der Schablone) wurden sowohl nach ihrem Abstand vom Spiralzentrums als auch nach dem Winkel geordnet. Für jeden Punkt wurde die Restdifferenz (RD) zwischen dem Tracing und der Schablone gemessen, wobei die Schablone als Erwartungswert betrachtet wurde (Abbildung 3). Da wir nur an den Abweichungen von der Vorlage interessiert sind, wurden die RDs als absolute Werte betrachtet. Für jedes Tracing wurden die mittlere RD und die Gesamtfläche der Abweichung (betrachtet als die Fläche zwischen der Vorlage und der gezeichneten Spirale) berechnet.

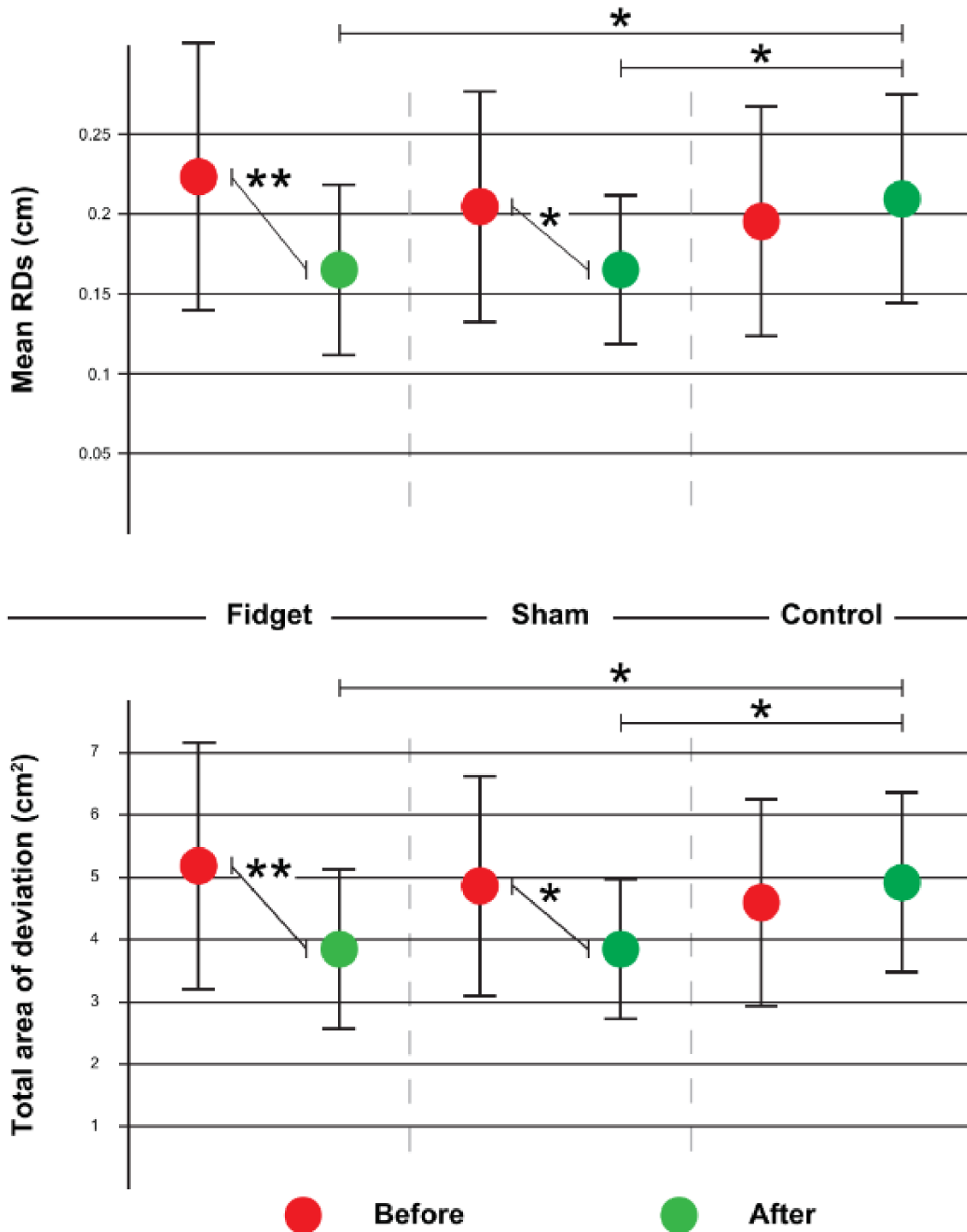


Abbildung 3: Ergebnisse der Fidget-Spinner Studie (Cohen et al. 2018)

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse der Auswertung grafisch dargestellt. Die Kreise stellen den Gruppenmittelwert dar und die vertikalen Balken die Standardabweichung. Die Kreise sind je nach Versuch farbcodiert (rot für Vorher - Before, grün für Nachher- After). Die obere Grafik bildet die Ergebnisse der mittleren Restdifferenz (Mean RD) zwischen dem Es ist zu erkennen, dass sowohl in der Fidget-Gruppe sich die mittlere RD von $0,22 \pm 0,08$ cm auf $0,16 \pm 0,05$ cm und die Gesamtfläche von $5,22 \pm 1,95$ cm² auf $3,84 \pm 1,27$ cm² verbesserten. Diese

Verbesserung war jeweils mit einem p-Wert von $<0,01$ (**) hoch signifikant. In der Schein-Gruppe (Sham) gab es ähnliche Ergebnisse mit einem Signifikanzwert von $p <0,05$ (*) zwischen der Vorher- und der Nachher-Testung. Hierbei verbesserte sich die mittlere RD von $0,20 \pm 0,07$ cm auf $0,16 \pm 0,04$ cm, die Gesamtfläche von $4,85 \pm 1,78$ cm² auf $3,85 \pm 1,12$ cm². Im Gegensatz dazu waren die Ergebnisse innerhalb der Gruppe für die Kontrollgruppe zwischen den Versuchen nicht signifikant unterschiedlich (p-Werte von 0,455 für die mittlere RD und 0,458 für die Gesamtfläche). Sie lassen in Betrachtung ihrer Mittelwerte eher eine leichte Verschlechterung vermuten.

Des Weiteren wurden die Ergebnisse der Gruppen untereinander auf ihre p-Werte getestet. Hier ist es auch möglich, einen signifikanten Unterschied in der Nachher-Testung zu sehen, sowohl für die mittlere RD als auch für die Gesamtfläche der Abweichung, zwischen der Fidget- und der Kontrollgruppe und der Schein- und Kontrollgruppe mit p-Werten $<0,05$ (*), aber nicht zwischen der Fidget- und der Schein-Gruppe. In den Vor-Testungen gab es in keiner Beziehung einen signifikanten Unterschied.

Cohen et. al (2018) gehen mit diesen Ergebnissen die Vermutung an, dass die Verwendung von Fidget-Spinnern die feinmotorische Kontrolle bis zu einem gewissen Grad verbessern kann. Sie betonen aber, dass diese Ergebnisse auch bei der Schein-Gruppe zu erkennen sind. Daraus kann geschlossen werden, dass die allgemeine Manipulation von Objekten einen positiven Einfluss auf die Ergebnisse der Studie hatte. Die beobachtete Leistungsverbesserung, in der Fidget- und der Schein-Gruppe könnte auf eine zusätzliche Aufmerksamkeitskomponente am motorischen Effektor zurückzuführen sein, die mit der Handhabung des Fidget-Spinner zwischen den Versuchen zusammenhängt. Dies könnte erklären, warum sowohl in der Fidget- als auch in der Schein-Gruppe Verbesserungen festgestellt wurden, nicht aber in der Kontrollgruppe.

Mit dieser Studie konnten akute, positive Anpassungen der Hand-Augen-Koordination, nach der Manipulation von Gegenständen, aufgezeigt werden. Ob dies einen anhaltenden Effekt haben kann, lässt sich durch das Studiendesign allerdings nicht feststellen. Zudem wurde eine homogene Gruppe von jungen Probanden gewählt. Variablen wie der Fitnesszustand oder die akademische Fähigkeit wurden dabei nicht berücksichtigt. Cohen et al. (2018) legen nahe, dass eine Testung hinsichtlich dieser Parameter und auch im Versuch zwischen verschiedenen Altersgruppen weitere Schritte wären, um die Vermutung ihrer Studie zu testen.

4. Thermoregulative Prozesse

Bisher wurde hauptsächlich auf den Koordinationsaspekt dieser Arbeit eingegangen. Um die später folgende Thematik des Einflusses von Kälte auf die motorischen Fähigkeiten verständlicher zu gestalten, soll im nächsten Abschnitt auch für den Bereich der Thermoregulation ein gewisses Grundverständnis geschaffen werden.

4.1 Der Mensch als wechselwarmes Lebewesen

Der Mensch wird als homiothermes (gleichwarmes) Lebewesen klassifiziert, da die Körpertemperatur binnen eines weiten Bereichs "auch bei wechselnder Umgebungstemperatur [relativ] konstant gehalten wird." (Silbernagl, 2012, S. 234) Allerdings gilt dies nur für den Körperkern, welcher Schädel-, Brust- und Bauchhöhle umfasst. Die Körpertemperatur der Körperschale, bestehend aus Haut und Gliedmaßen, ist nicht nur niedriger, sondern weist außerdem regionale Abweichungen von 28° bis zu 36° auf (Speckmann 2019). Die Haut und die Extremitäten des Menschen verhalten sich also poikilotherm (wechselwarm). Aufgrund des damit einhergehenden Temperaturgefälles zwischen dem Körperkern und der Körperschale lässt sich die tatsächliche Körpertemperatur eines Menschen nicht in Form einer einzelnen Zahl ausdrücken.

4.2 Thermosensibilität

Die Thermosensibilität, auch Temperatursinn, ist ein Bestandteil der "Oberflächensensibilität mit einer diskreten Rezeptorverteilung." (Klinke, 2010, S. 650) Es handelt sich dabei um einen Sinn, der homöostatisch ausgerichtet ist. Das heißt, der Temperatursinn wird einem Organismus erst bewusst, wenn er der Umgebungstemperatur thermoregulatorisch gegensteuern muss. Die Temperatur wird entweder als angenehm oder unangenehm befunden. Der Mensch ist bestrebt, mittels entsprechenden Verhaltens eine angenehme und indifferente Oberflächentemperatur zu erhalten. Die Wärme- und die Kälteempfindung sind Teil des Temperatursinns. Der Übergang zwischen diesen Qualitäten verläuft kontinuierlich, sie schließen sich aber gleichzeitig für gewöhnlich aus (ebd.).

Für die Einstufung dieser Empfindungen sind sogenannte Thermorezeptoren verantwortlich.

Bei diesen Sinnesrezeptoren handelt es sich um freie Nervenendigungen (ebd.).

Diese Thermorezeptoren, die Haut- und Kerntemperaturen erfassen, lassen sich in Kalt- und Warmrezeptoren unterteilen. Sie befinden sich sowohl in der Haut (Körperschale) als auch im Körperkern. Sie sind in Form afferenter sensorischer Nervenfasern mit dem Rückenmark sowie dem Hypothalamus verbunden (Speckmann 2019), welcher das Regelzentrum der Thermoregulation ist (Silbernagl 2010).

Die ausgeprägte Adaption ist ein typisches Phänomen des Temperaturempfindens. Ihr zugrunde liegend lässt sich das Adaptionsverhalten der Kalt- und Warmrezeptoren vermuten. "Die Rezeptoren sind spontan aktiv und besitzen eine typische PD-Charakteristik [(Proportional-Differential-Verhalten)], d. h. sie reagieren bei Temperaturänderung mit einer kurzen phasischen Entladung, die von einer langdauernden tonischen Aktivität gefolgt wird." (Klinke, 2010, S.651)

Um thermische Reize in bioelektrische Signale umwandeln zu können, verfügen die freien Nervenendigungen von A- und C-Fasern über thermosensitive Ionenkanäle. Diese weisen in verschiedenen Temperaturbereichen Aktivität auf. Warmensensoren registrieren Temperaturen von 27-42 °C, Kaltsensoren registrieren Temperaturen von 0-26 °C (Speckmann 2019). Mit sinkender Temperatur steigt die Aktionspotentialfrequenz bei Kaltsensoren im Bereich von 36-20 °C, wohingegen diese sich bei Warmensensoren im Bereich von 36-43°C umgekehrt verhält. (Silbernagl, 2012, S. 332)

Bei Temperaturen zwischen 20 °C und 40 °C passt sich die Thermozeption aufgrund der bereits erwähnten PD-Charakteristik schnell an. Temperaturen außerhalb dieses Bereichs werden hingegen permanent als warm oder kalt wahrgenommen, zum Schutz vor einem Abfall der Kerntemperatur sowie möglichen Hautschäden. Für diesen Schutzmechanismus genügen wenige Kalt- und Warmensensoren pro Quadratzentimeter Haut, wohingegen die Sensordichte im oralen Bereich deutlich höher ist. (ebd.)

Auf Temperaturen ≥ 42 °C sprechen eigene Hitzesensoren an. (Speckmann, S. 68) Es handelt sich dabei um die gleichen Sensoren, mit denen Capsaicin geschmeckt wird, welches unter anderem die Schärfe von Chilischoten ausmacht. (ebd.)

Es gibt einen Temperaturbereich, in dem Kälte- und Wärmesensoren gleichermaßen aktiv sind. Man spricht dann von der sogenannten Indifferenztemperatur. Damit gemeint ist die Temperatur, die als komfortabel empfunden wird und die für den gesunden, nackten, ruhenden Menschen zwischen 27-31°C beträgt. Voraussetzungen dafür sind Grundumsatzbedingungen, eine relative Luftfeuchtigkeit von 50% sowie eine Windgeschwindigkeit von maximal 0,1 m/s, also Windstille. Die individuelle Indifferenztemperatur wird durch die Dicke des subkutanen Fettgewebes beeinflusst (Speckmann 2019).

Bei konstanter Temperatur wird die Temperatur in diesem Bereich nicht bewusst wahrgenommen. Deutlicher empfunden wird sie in Temperaturbereichen über 45 °C bzw. unter 10 °C, da die Thermozeption hier in Hitze- oder Kälteschmerz konvertiert. Die Aktivität der Kalt- und Warmrezeptoren nimmt in diesen Bereichen stark ab, wohingegen Nozizeptoren zunehmend aktiviert werden. Es existiert das Phänomen der paradoxen Kälteempfindung. Dieses tritt im Bereich zwischen Hitzeschmerz und dem normalen Warmempfinden auf. Grund dafür ist die Aktivierung mancher Kaltrezeptoren in Temperaturbereichen ≥ 45 °C. (Klinke, 2010, S. 651)

4.3 Wärmebildung

Wie bereits aufgeführt, liegt die mittlere Körpertemperatur des Menschen bei circa 37 °C. Da diese Temperatur meist höher ist als die Umgebungstemperatur, ist es notwendig, dass der Körper Wärme produzieren kann. In Ruhe bilden allein die inneren Organe, die im Körperkern liegen, rund 80% der Wärme. Die übrigen Körperteile tragen nur 20% zur Wärmebildung bei. Ganz anders ist die prozentuale Aufteilung bei körperlicher Betätigung. In diesem Fall kann die arbeitende Muskulatur bis zu 90% der Wärmeproduktion aufbringen. Innerhalb der Muskulatur kann die Gewebetemperatur dabei wesentlich höher sein als die Körperkerntemperatur. (Speckmann 2019)

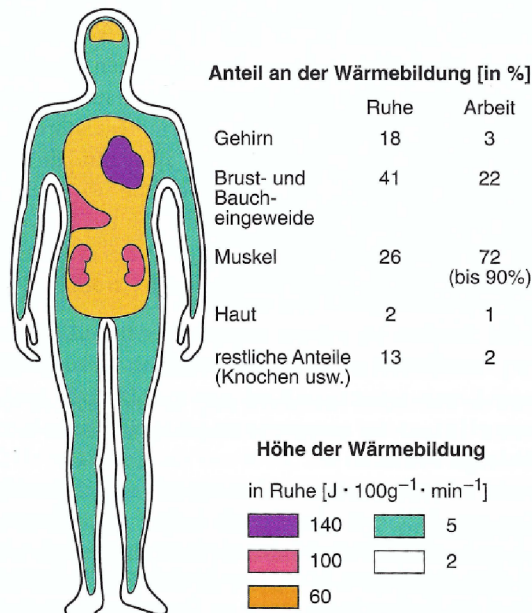


Abbildung 4: Topografische Darstellung der Wärmebildung im Körperkern und in Körperschale (Speckmann 2019, S. 629)

4.4 Wärmeregulation

Die Funktion der Wärmeregulation, auch Thermoregulation, besteht darin, die Kerntemperatur unter den Einflüssen von Wärmeaufnahme, Wärmebildung und Wärmeabgabe auf einem

Sollwert von rund 37 °C konstant zu halten. Bei diesem Sollwert kommt es zu Tagesschwankungen von circa 0,6 °C, wobei im Menstruationszyklus sowie bei Fieber längerfristige Sollwertverstellungen beobachtet wurden. Dazu wird im vorderen Hypothalamus die Kerntemperatur an dem Sollwert gemessen und nach Bedarf werden gegenregulierende Maßnahmen eingeleitet (Silbernagl, S.236). Dies geschieht durch das autonome Nervensystem, welches "über efferente vegetative Nervenfasern verschiedene Stellglieder im Regelkreis (motorisches System, braunes Fettgewebe, Vasomotorik, Schweißsekretion, Pilomotorik) verändert, und zwar im Sinne positiver bzw. negativer Rückkopplung." (Speckmann, S. 637)

Liegt der Istwert der Körperkerntemperatur unter dem vom Hypothalamus festgelegten Sollwert, so werden drei mögliche Schutzmaßnahmen eingeleitet. Es kommt einerseits zu einer kurzfristig auf das 4-5-fache verstärkten Wärmebildung durch unwillkürliches Kältezittern. Außerdem breitet sich die isolierende Grenzschicht auf der Haut in Form des Aufrichtens der Haare aus (ugs. "Gänsehaut"), was eine Eindämmung der Wärmeabgabe zur Folge hat. Schließlich erfolgt bei einer Lufttemperatur unter 27 °C und der daraus resultierenden mittleren Hauttemperatur von 32 °C eine periphere Vasokonstriktion von Haut- und Schlangengefäßen, wodurch die Körperschale weniger Wärme abgibt und sich gleichzeitig zur Isolationserhöhung ausbreitet. Das Verhältnis von Körperkern zu Körperschale ist dementsprechend nicht konstant, sondern variiert bei Wärme oder Kälte. (Speckmann, S. 630) Bei einer Vasokonstriktion wird der Durchmesser der Blutgefäße verengt, indem die glatte Muskulatur der Gefäßwand kontrahiert (Birmbauer/Schmidt, S. 166). Dies geschieht zuerst peripher, da somit die Körperkerntemperatur primär gehalten werden kann.

Wenn der Istwert andererseits über dem vorgegebenen Sollwert liegt, werden alle Prozesse gebremst, die eine weitere Erhöhung der Körpertemperatur auslösen könnten. Zudem werden die Mechanismen gestärkt, die eine Wärmeabgabe erzielen. Dazu gehören die vermehrte Schweißsekretion ebenso wie die Vasodilatation in der Körperschale. (Speckmann, S. 637) Der letztere Prozess meint das Erschlaffen der glatten Muskelfasern der Gefäßwände und die damit einhergehende Weitung der Blutgefäße. (Birmbauer/Schmidt, S. 184)

Die beschriebenen Prozesse der Vasodilatation und der Vasokonstriktion sind zurückzuführen auf die besondere Rolle der Hautoberfläche bei der Thermoregulation. Wärme wird entsprechend abgeleitet oder isoliert, indem die Durchblutung der Hautoberfläche angepasst wird.

Die Haut spielt auch insofern eine tragende thermoregulatorische Rolle, dass durch die kontinuierliche Flüssigkeitsabgabe an die trockene Oberfläche aus der tieferen Hautschicht und der daraus resultierenden Schweißverdampfung an der Oberfläche, die Körperschalentemperatur gesenkt wird. Liegt nun eine Anomalie in der Haut oder im subkutanen Bereich vor, wird das thermische Gleichgewicht im Körper gestört.

Es gibt eine schmale thermoneutrale Zone, in der die Umgebungstemperatur weder Schwitzen noch Zittern auslöst. Geht man von einem unbedeckten und ruhig sitzenden Menschen aus, so umfasst die thermoneutrale Zone etwa 27-31 °C. Thermoregulatorisch variiert in diesem Bereich lediglich die Hautdurchblutung. (Speckmann, S. 626) Die geringe Breite dieser Zone verdeutlicht die Wichtigkeit von menschlichem Verhalten für die Wärmeregulation in Form des Beheizens von Räumen oder Kleidung beispielsweise. Letztere fungiert aus thermoregulatorischer Sicht als ein Widerstand für die Wärmeabgabe. Ähnlich wie bei der Indifferenztemperatur wird hier von Windstille und einer relativen Luftfeuchtigkeit von circa 50% ausgegangen. Aber auch die Parameter Luftdruck und Strahlungstemperaturen haben Einfluss auf diese Temperaturzone. (Silbernagl, S. 236) Der Energieumsatz steigt jenseits der thermoneutralen Zone sowohl bei zu niedriger als auch zu hoher Temperatur stark an.

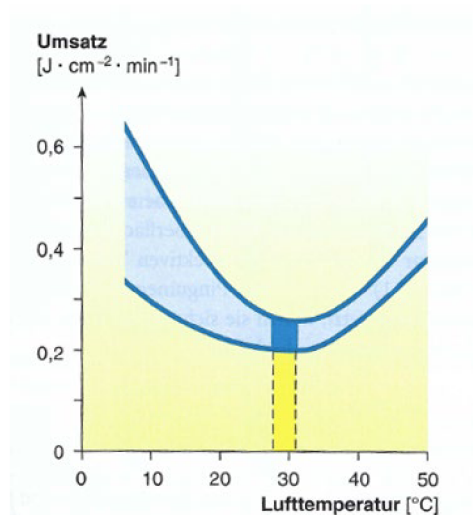


Abbildung 5: Anstieg des Energieumsatzes außerhalb der dunkelblau dargestellten thermoneutralen Zone (Quelle: Speckmann 2019, S. 631)

Oberhalb der thermischen Neutralzone steigt der Energieumsatz, da die Körperkerntemperatur ebenso steigt und aufgrund dessen Wärmeabwehrmechanismen ausgeführt werden. Unterhalb der thermoneutralen Zone kann der Energieumsatz aufgrund von Verhaltensanpassung mittels willkürlicher Muskeltätigkeit steigen, die ausgeführt wird, um das Absinken der Körperkerntemperatur zu vermindern. (Speckmann 2019)

5. Arbeiten zu thermalen Einflüssen

5.1 „A Meta-Analysis of Performance Response Under Thermal Stressors“

Hancock et al. (2007) haben in ihrer Meta-Analyse 57 Primärstudien aus 49 Artikeln einbezogen. Die Aufgabe war hierbei, den Effekt von thermischen Stressoren auf die Leistungsfähigkeit von Probanden zu analysieren. Dabei wurde mit den Effektgröße g und d gearbeitet.

Gleichung 1: Berechnung der Effektstärke g

$$g = \frac{(\bar{X}_E - \bar{X}_C)}{s}$$

Die Effektgröße g wird dabei, wie in der Gleichung 1 beschrieben, berechnet. Dabei sind X_E = Mittelwert der Intervention, X_C = Mittelwert der Kontrollbedingung und s = Standardabweichung. Positive Ergebnisse von g bedeuten dabei eine Verbesserung der Leistung der Interventionsgruppe im Vergleich zu der Kontrollgruppe. Negative Ergebnisse drücken wiederum eine Verschlechterung in der gleichen Beziehung aus.

Dadurch, dass einige der ausgewählten Studien verschiedene Temperaturbedingungen, Tests oder Interventionsdauern analysierten, kam es am Ende zu einer großen Anzahl an

Effektgrößen. Es waren insgesamt 528, davon 181 die sich auf Kälteeinflüsse und 347, welche sich auch Wärmeeinflüsse beziehen.

Die Ergebnisse wurden in einzelne Kategorien eingeteilt. Zum einen in die Teilbereiche Wärme und Kälte und diese wurden noch einmal aufgegliedert für verschiedene Temperaturschwellen. Diese waren für die Hitze unterteilt in den Temperaturen unter und über 29,4°C. Für die Kälte wurde die Aufteilung in Studien mit Temperaturen wärmer und kälter als 11°C festgelegt. Die Performance wurde in die fünf Hauptbereiche: Wahrnehmung, Kognition, Psychomotorik, Genauigkeit und Geschwindigkeit aufgeteilt. Für weitere Analysen wurden alle beschriebenen Aufteilungen noch hinsichtlich der Interventionsdauer unterteilt. Die Schwelle von 120 Minuten war dabei die Grenze für die Einteilung von längerer oder kürzerer Dauer der Intervention als diese Schwelle.

Bei der Betrachtung des Gesamteffektes der Temperatur auf die Leistung ergab sich die durchschnittliche Effektstärke $g = -0,34$. Folglich erwies sich die Leistung unter thermischen Stressoren im Durchschnitt als etwa ein Drittel einer Standardabweichung schlechter als die Leistung bei einer vergleichbaren thermoneutralen Temperatur. Dieses wenig überraschende Ergebnis bestätigt die Erwartung, dass thermische Stressoren die menschliche Informationsverarbeitung und die psychomotorischen Fähigkeiten beeinträchtigen.

Unterteilt in Hitze und Kälte, ergibt sich für jede Form des thermischen Stressors eine ähnliche Effektstärke an negativem Einfluss. Hitze wies $g = -0,29$ und Kälte $g = -0,26$. Eine ähnliche Meta-Analyse von (Pilcher et al. 2002) kam bei der Kälte auf exakt die gleichen Ergebnisse. Der Effekt für Wärme (-0,15 vs. -0,29) und der Gesamteffekt (-0,19 vs. -0,34) unterscheiden sich jedoch erheblich von denen, die von Pilcher et al. (2002) berichtet wurden. Dies lässt sich durch einen geringeren Umfang an Literatur und die von Hancock et al. (2007) verwendete, detaillierte analytische Technik für Meta-Analysen erklären.

In Betrachtung der Leistungsfähigkeit, ist im Durchschnitt fast überall eine Verschlechterung zu erkennen. Egal ob in Bezug auf den Einfluss durch Kälte oder den Einfluss durch Hitze. Die motorische Reaktion weist dabei für Kälte und Wärme eine ähnlich große negative durchschnittliche Effektstärke auf (Kälte: -0,31 vs. Hitze: -0,42). Ein größerer Unterschied ist bei der Wahrnehmungsfähigkeit zu verzeichnen. Hier erreicht die Kälte eine Effektstärke von $g = -1,13$ und Hitze nur $g = -0,78$. Dennoch haben beide Bedingungen, ob Kälte oder Hitze, damit den größten negativen Einfluss im Vergleich zu den anderen getesteten Leistungen. Erwähnenswert ist, dass Kälte auf die Genauigkeit kaum einen Einfluss zu haben scheint, egal ob positiv oder negativ ($g = 0,05$). Der letzte nennenswerte Unterschied und Einfluss der Temperatur ist der auf die Kognition. Hitze hat dabei, wie bei allen anderen getesteten Leistungen, einen negativen Einfluss mit $g = -0,23$. Kälte zeigt dahingehend eine stark positive durchschnittliche Effektstärke. Mit $g = 0,41$ scheint Kälte einen guten positiven Einfluss auf die Kognition zu haben.

Mit der Unterteilung in Hitze und Kälte und diese nach Expositionsdauer gegliedert erhoffen sich Hancock et al. (2007) wesentliche Erkenntnisse. Allerdings reduzierte dies, in manchen Bereichen, die Anzahl einiger Effektgrößen auf ein problematisches Niveau. Es wurde eine Wechselwirkung zwischen Zeit und Intensität erwartet, so dass sich die längeren Interventionen bei den höheren thermischen Stressoren als die schlimmsten erweisen würden. Bei Hitzestressoren konnte dieses Muster nicht festgestellt werden. Vielmehr sind es die kürzeren Expositionen, die zu einem stärkeren negativen Effekt führen (<120 min: $g = -0,47$; vs. >120 min: $g = 0,03$). Hancock et al. (2007) führten dies auf den von (Poulton 1977)

erwähnten Akklimatisierungsfaktor zurück. Daraus könnte man schließen, dass zu Beginn einer Arbeit mit hohen Temperaturen, diese erst niedriger sein sollten, bis sich der Körper durch Akklimatisierung daran gewöhnt hat. Nach und nach könnte man dann über die Dauer bei höheren Temperaturen arbeiten.

Wird die Kälte hinsichtlich der Expositionsdauer betrachtet, so haben Temperaturen unter 11,1°C durchschnittlich einen akuten negativen Effekt ($g = -0,71$). Dieser geht aber ab einer Dauer über 120 Minuten verloren. Da hier durch die Aufteilung in die Expositionsdauer jedoch die Anzahl an Effektgrößen enorm gesunken ist, sollte dieser Effektstärke nicht zu große Bedeutung geschenkt werden. Zumindest solange es nicht von weiteren Studien unterstützt wird. Bei etwas höheren, dennoch kalten, Temperaturen über 11,1°C, zeigt sich bei einer kürzeren Kälte Aussetzung, ein stark positiver Effekt mit $g = 0,66$. Dies wird auf einen vorübergehenden Erwärmungseffekt von Kälte zurückgeführt. Dieser kann durch thorakale Blutbündelung entstehen (siehe Enander 1987; Poulton 1977). Diese Auswirkung lässt aber bei längerer Dauer in der Kälte ab (>120 min: $g = 0,42$).

Die Ergebnisse dieser Arbeit verdeutlichen, dass die Art der Aufgabe selbst einen entscheidenden Einfluss hat. So gab es positive Anpassungen in der kognitiven Leistung durch Kälte. Zudem verbesserte sich die Leistung nach akuten, stark negativen Effekten von Hitze, durch die längere Dauer des Stressors. Aufgrund dessen möchten wir uns im Nachfolgenden einer spezifischen Aufgabe widmen. Diese ist auch Grundlage der Datenerhebung dieser Arbeit.

5.2 „Infrarot-Thermografie bei professionellen valencianischen Ballspielern angewendet“

Eine Masterarbeit aus Valencia befasste sich 2019 mit Pelota Spielern. Pelota ist in altes, traditionelles Ball Spiel in Valencia. Dabei passiert es allerdings sehr regelmäßig, dass die Hände Schäden davon nehmen. Um solche Schäden der Hände durch Pelota frühzeitig zu erkennen, wurde die Methode der Thermografie als bildgebendes Diagnoseverfahren ausgewählt. Diese Methode ist schnell und relativ günstig, zudem gibt es schon viele Arbeiten, welche diese Methode für andere Verletzungen und Krankheiten als Diagnoseverfahren erfolgreich verwendet haben. Bagavathiappan et al. (2010) konnten z.B. mit Hilfe der Thermografie feststellen, dass Diabetiker wesentlich wärmer Füße haben als nicht Diabetiker. Und auch eine Studie im Fußball konnte die Thermografie hilfreich als Präventionsmaßnahme für Verletzungen nutzen. So konnten Côté et al. (2019) während der Implementierung der Thermografie als Diagnosemittel das Auftreten von Verletzungen zum Jahr davor (ohne Thermografie) um 63% senken.

Côté AC, Pedrinelli A, Martos A, Souza IFG, Grava J, José Hernandez A. Infrarot-Thermographie-Studie als ergänzende Methode des Screenings und der Prävention von Muskelverletzungen: Pilotstudie. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 3. Januar 2019;5(1).

Mit diesem Hintergrund sollte mit Hilfe einer Kältestressintervention in Verbindung mit der Thermografie, ermittelt werden, ob auch im Falle von Pelotaspielern solch eine Diagnostik möglich ist.

Der Versuchsaufbau bestand aus einer quadratischen Aluminiumplatte als Kältestressor, der Thermografie für Bilder der Hände, und aktivem Pelota spielen. Es wurde auf Schmerzempfinden, Treffsicherheit im Spiel und natürlich die Temperaturunterschiede der

Handregionen vor und nach dem Spiel getestet. Dabei wurde auch der Unterschied zwischen der dominanten und der nicht dominanten Hand betrachtet. Verglichen wurden die aktiven Spieler mit Personen die nicht professionelle Pelotaspieler waren.

Für diese Studie wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Ausübung von Pelota Anpassungen und / oder physiologische Veränderungen in den Händen mit sich bringt, die bei Basaltemperaturen oder bei der Erholung der Temperatur nach einem kalten Stresstest wahrgenommen werden. Die Ergebnisse der Studie bestätigten die Hypothese, da in der Pelotaris-Gruppe in bestimmten Regionen der dominanten Hand im Vergleich zu einer Kontrollgruppe niedrigere Basaltemperaturen beobachtet wurden (siehe Abbildung 6).

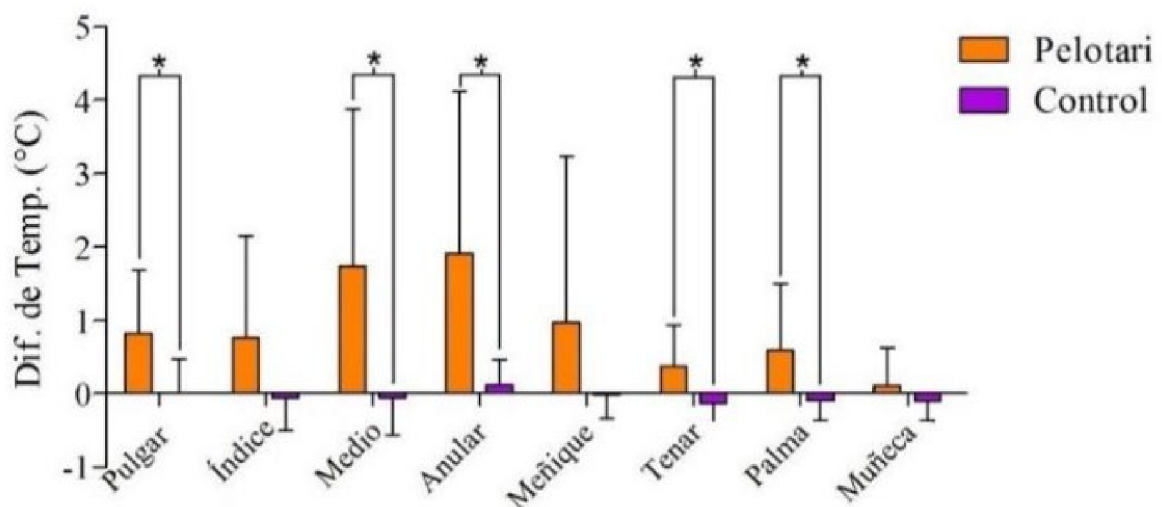


Abbildung 6: Asymmetrien aufgrund von ROIs (Region of Interest) im Basalbereich (Calzadillas 2019)

6. Hauptteil

6.1 Hinleitung zur Forschungsfrage

Das Studiendesign des Projekts, auf das diese Arbeit basiert, ist an dem der Masterarbeit von Calzadillas (2019) angelehnt. Als Grundlage für die Forschungsfrage dieser Arbeit wird allerdings nicht der Gedanke hergenommen, die Thermografie für verletzungspräventive Maßnahmen zu testen. Es soll eher an die Arbeiten von Pilcher et al. (2002), Hancock et al. (2007) und Cohen et al. (2018) aufbauen. So soll der Aspekt aus den Meta-Analysen von Pilcher und Hancock genommen werden, dass Kälteeinfluss unter 11°C neutralen Effekt auf Genauigkeit und einen positiven Effekt die Kognition haben kann. Zudem lässt sich bei der Studie von Cohen et al. (2018) gut sehen, dass auch durch kleine Interventionen große Effekte entstehen können. Dieser Gedanke soll für die Aufgabenstellung dieser Arbeit aufgegriffen werden.

6.2 Forschungsfrage

Für dies Arbeit werden folgende Hypothesen aufgestellt:

- Die Thermoregulation von sportaktiven Personen hat positive, adaptive Effekte auf die feinmotorische Leistungsfähigkeit.

Um diese Hypothese zu lösen, wurden alle Probanden zweimal in separate Gruppen aufgeteilt. Für diese wurden dann gleichermaßen die folgenden spezifischen Ziele entwickelt:

- Wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen auf Grund der Art der sportlichen Aktivität
- Stabile bis bessere Koordinationswerte bei Sporttreibenden auch trotz der Intervention
- Geringe Temperaturschwankungen zwischen den Temperaturdifferenzen

Der Aufbau und Ablauf der Probandenmessungen, die Instrumentarien, sowie die auf die Messungen folgenden Schritte zur Untersuchung der Hypothesen werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer beleuchtet.

6.3 Beschreibung des Forschungsprojektes

Für die Studenten an der Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften wurde im Bereich der Professur Bewegungswissenschaft, wurde ein Forschungsprojekt für Projekt-, Bachelor- und Master-Arbeiten angeboten. Unter dem Titel „Sportartspezifischer Einfluss auf Thermoregulation, Sensorik und Handkoordination“ wurde der Einfluss von akutem Kältestress auf die Handfläche untersucht.

Zum Zeitpunkt der Ausschreibung war, auf Grund der 2020 ausgebrochenen Pandemie, nur ein geringer Teil an Studenten an der Uni. Zudem durften Uni externe nur bedingt und Leute außerhalb Chemnitz teils überhaupt nicht die Räumlichkeiten der Universität betreten. Durch solche Regelungen und die Schwierigkeit mit passenden Hygienemaßnahmen die Untersuchung zu gestalten, ohne diese in ihrer Qualität zu verschlechtern, startete das Projekt später als geplant. Geplant war der Zeitraum von Mai 2020 bis September 2020. Die eigentlichen Messungen starteten am 22.10.2020 und dauerten ca. ein halbes Jahr. Ausgeführt wurden die Messungen alle im sportwissenschaftlichen Labor der TU Chemnitz.

6.4 Probandenkollektiv

Rekrutiert wurden junge Erwachsene Sportler verschiedener Sportarten, sowie nicht Sportler, aus der näheren Umgebung. Sie waren zumeist Studenten oder kamen aus den umliegenden Vereinen. Es wurde bei der Sportart der Probanden darauf geachtet, dass sowohl Teilnehmer aus dem Bereich des Ballsports mitmachten als auch Sportler, welche einer Sportart mit Augenmerk auf die Griffkraft ausüben. Folgende Sportarten waren enthalten: BJJ, Volleyball, Handball, Crossfit, Gewichtheben, Kegeln, Tennis, Bouldern, Fitness. Die Teilnehmer waren beiden Geschlechts und hatten ein Alter von 19-42 Jahren. Auf Grund der schwierigen Rekrutierung der Probanden, ließen wir auch Probanden mit knapp über 40 Jahren an der Erhebung teilnehmen. Mit Ausnahme dessen konnten alle Teilnehmer die gesundheitlichen und sonstige Ein- und Ausschlusskriterien erfüllen.

Nachfolgende Merkmale galten als Ein- oder Ausschlusskriterien zur Teilnahme an der Datenerhebung:

- Einschlusskriterien:
- Proband kann nach mündlicher und schriftlicher Aufklärung über die Ziele und Inhalte der Studie seine Einwilligung zu einer Teilnahme abgeben
- Alter der Probanden: 18-35 Jahre
- Ausschlusskriterien (werden beim Probanden erfragt):

- Verletzungen der oberen Extremitäten in den vergangenen 6 Monaten
- akuter Schwindel, Fieber, Infektionskrankheiten
- Diabetes mellitus Typ I und II, Neuropathien, periphere arterielle Verschlusskrankheit
- schwere Herzrhythmusstörungen
- Hand/Finger: Hautreizungen, offene Hautstellen, Verbrennungen oder Raynaud Syndrom u.Ä.
- Hauterkrankungen, die durch Viren, Pilze oder Bakterien verursacht sind
- Schmerzmitteleinnahme, Alkohol- und Drogenkonsum innerhalb der letzten 24h
- fehlende Kommunikationsfähigkeit

Auf diese Kriterien wurden alle Probanden sowohl vor Einladung zur Datenerhebung als auch direkt vor den Messungen geprüft. Zudem wurde kurz vor Beginn der Erhebung von allen Probanden ein Anamnesebogen ausgefüllt (siehe Anhang), welcher diese Kriterien nochmals abfragte.

Insgesamt wurden 52 Probanden getestet (siehe Tabelle 1). Davon waren 15 weiblich und 37 männlich. Das Durchschnittsalter lag bei 24,75 Jahren. Im Mittel waren die Männer 180,86 cm und die Frauen 168,6 cm groß. Mit einem Gewicht von 82,5 kg hatten die männlichen Probanden im Durchschnitt ein deutlich höheres Gewicht als die Frauen. Hier lag das durchschnittliche Gewicht nur bei 65 kg.

Dieses Probandenkollektiv erhielt für die Auswertung dieser Arbeit zwei unterschiedliche Unterteilungen. Zudem mussten 4 Probanden für die Auswertung ausgeschlossen werden, da Daten fehlen oder Ausreißer vorhanden waren. Die Einteilung in die entsprechenden Gruppen erfolgte dann nach den Angaben des Anamnesebogens. Hier wurde mit abgefragt, ob die Teilnehmer Sporttreiben und wenn ja, welche Sportart und wie viele Stunden alle Sportarten in der Woche hinweg. Bezüglich der Sportart wurden die Probanden wie in Tabelle 2 auf die Bereiche Kontrollgruppe (KG = kein, bis wenig Sport; Anzahl = 13), Ballsportarten (Ball; Anzahl = 13) und Griffkraftsportarten (Griff; Anzahl = 22) aufgeteilt. Zu den Ballsportarten gehören im Falle der Erhebung alle Sportarten bei denen direkter und vermehrter Handkontakt zum Ball besteht. Somit kamen auch Torwarte aus dem Fußball mit in die Ballsportgruppe. Unter Griffkraftsportarten wurden all diejenigen Sportarten gezählt, die nicht vorwiegend direkten Kontakt zu einem Ball haben (Kegeln wäre z.B. eine Sportart, welche unter der für diese Arbeit genutzte Definition der Aufteilung, mit zu den Griffsportarten gezählt werden könnte es aber nicht wurde). Zudem sind es Sportarten, bei denen viel Kraft mit den Händen ausgeübt werden muss, um sich an einem Gegenstand und/oder einer anderen Person festhalten zu können. Darunter zählte zum anderen auch Mountainbiking, da dabei ein starker Griff benötigt wird, um den Lenker festhalten zu können. So sehr, dass sogar Blasen entstehen können.

Anhand der neuen WHO Richtlinien für empfohlene sportliche Aktivität im Alltag wurden die Probanden zudem in die Gruppen „kaum“ = 0 - 2,5h (8: m = 4, w = 4), „moderat“: 2,5h – 5h (11: m=7, w=4), „intensiv“: > 5h (29: m = 20, w = 9) (WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour 2020) eingeteilt. Diese separate Aufteilung wurde mit hinzugezogen, um eventuelle Clusterbildungen erkennen zu können.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten nach Geschlecht (MW ± STAB)

	Anzahl (n)	Alter (Jahre)	Körpergröße (cm)	Gewicht (kg)
weiblich	15	25,51 ± 5,28	168,6 ± 5,14	65 ± 9,39

männlich	37	22,87 ± 3,36	180,86 ± 6,68	82,5 ± 14,93
Gesamt	52	24,75 ± 4,95	177,33 ± 5,27	77,45 ± 15,71

Tabelle 2: Gruppen Aufteilung

Sportarten	KG	Ball	Griff	Ausgeschlossen	Gesamt
Anzahl	13	13	22	4	52
männlich	6	7	16	4	33
weiblich	7	6	6		19
WHO	kaum	moderat	intensiv		
Anzahl	8	11	29	4	52
männlich	4	7	20	3	
weiblich	4	4	9	1	

6.5 Instrumentarien

In diesem Kapitel werden die zur Anwendung gekommenen Instrumentarien einzeln aufgelistet und kurz beschrieben. Ausgeschlossen ist dabei der für die Messung Rezeptorsensibilität benötigte Shaker, da die daraus ermittelten Daten nicht Teil der Thematik dieser Arbeit sind.

6.5.1 Thermometrische Ausrüstung

Für die Messung der Raumtemperatur wurde das in Abbildung 7 gezeigte, digitale Thermometer der Marke PeakTech® mit der Modellbezeichnung „5135 1-Kanal“ verwendet. Die Anzeige ist 3½-stellig und der Messbereich erstreckt sich mit einer Genauigkeit von ±0,75 % des Messwerts von -200 °C bis 1372 °C (PeakTech, 2014). Um während der Tests und der Intervention die Temperatur der Hände zu messen, wurde eine Infrarot-Wärmebildkamera der Marke FLIR genutzt (siehe Abbildung 8). Es wurde das Model E40bx verwendet, welches einen Mikrobolometer Array von 320x240 besitzt. Dies ist ein Feld aus mehreren Strahlungssensoren, welches das gesamte Wellenlängenspektrum wahrnehmen kann. Die Kamera verfügt über einen Akku, ein Ladekabel und eine Speicherkarte. Mit letzterem konnten problemlos die Thermomessungen mehrerer Probanden vorgenommen werden. Die Wärmebildkamera hatte einen festen Platz auf einem Stativ, welches auf einem Tisch stand. Da Abstand und Winkel der Kamera zu dem zu fotografierenden Objekt einen Einfluss auf die Ergebnisse der Bilder haben kann, wurde das Stativ und die Kamera nicht in seiner Position und Ausrichtung geändert.

Zum Messen der Hand Temperatur eines jeden Probanden vor dem eigentlichen Testdurchlauf, wurde das Mini-Flash Infrarot-Thermometer, TFA Dostmann GmbH & Co KG, Wertheim, Deutschland, verwendet (Abbildung 9). Diese Messung diente einzig dem Zweck festzustellen, ob die Hand des Probanden akklimatisiert war oder nicht.

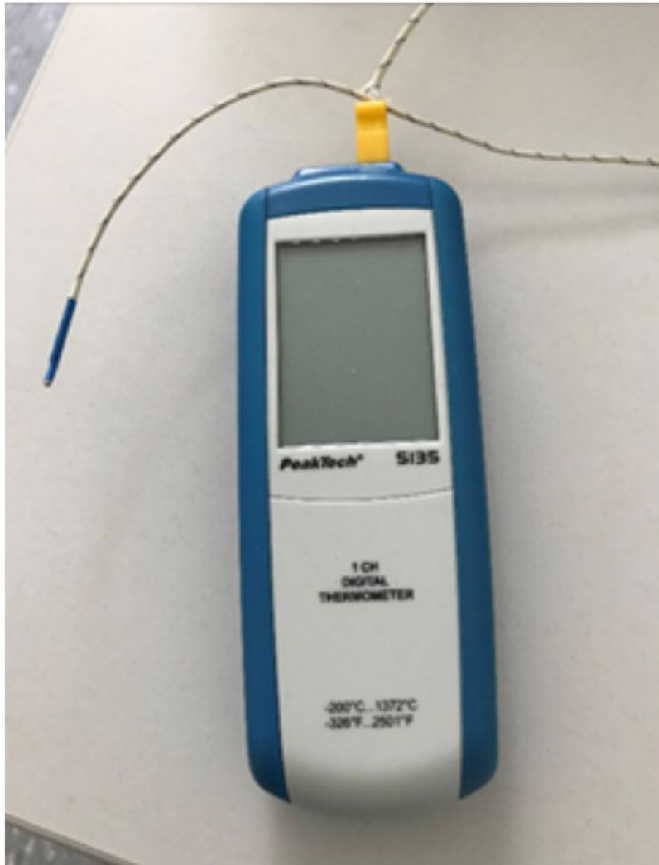


Abbildung 7: Thermometer zur Erfassung der Raumtemperatur (PeakTech, 2014)



Abbildung 8: Thermokamera mit Stativ (Flir)



Abbildung 9: Mini-Flash Infrarot-Thermometer

6.5.2 Thermoregulation

Eine Aluminiumplatte, welche mit 4 Peltier Elementen bestückt ist, wurde zur Abkühlung der Hände verwendet. Marke Eigenbau. Mittels 2 Sensoren zur Messung der Temperatur, konnte bei diesem Gerät sichergestellt werden, dass der Kühlkörper (Aluminiumplatte) die gewünschte Temperatur von 10 °C besitzt. Diese werden von Mikroprozessoren gesteuert und man kann die Temperatur jeder Zeit manuell umstellen. Damit eine Kühlung stattfindet, muss dementsprechend Wärme verschwinden. Diese wird mittels Wasserkühlung, welche direkt an das Gerät angebaut ist, abgeleitet. Somit konnte gewährleistet werden, dass egal wie unterschiedlich schnell und gut die Wärmeregulierendenprozesse von Probanden funktionierten, die Aluplatte sich stetig bei einer Temperatur von 10°C befand. Die Hand des Teilnehmers sollte dabei am besten in der Mitte der Platte platziert werden. Um auch die ganze Handfläche zu kühlen, wurden die Probanden daraufhin gewiesen die Hand in sich komplett zu strecken. Dabei sollten sie darauf achten den Kontakt mit der mittleren Fläche der Hand nicht zu verlieren.

6.5.3 MatLab

Der Koordinationstest wurde mittels eines vom Technikteam der TUChemnitz selbst programmierten Tracing Task durchgeführt. Das hierfür verwendete Programm war MatLab und das Gerät, an dem der Test durchgeführt wurde, war ein Laptop mit Touchscreen. Der Test bestand aus einer Sinuskurve, welche ab der Hälfte, ohne Unterbrechung, kürzere Wellen verzeichnete. Zum Starten des Tests sollten die Probanden immer mit der nicht gerade zu testenden Hand den Startknopf berühren. Danach konnte der Zeigefinger der zu testenden Hand auf den Touchscreen platziert werden. Dabei waren die ersten 15 Sekunden des Tests auch so konzipiert, dass der Proband genug Zeit hatte, um sich auf der Linie mit dem Finger zu positionieren. Der Koordinationstest gab direkt nach der Ausführung kein Feedback ab, wie schlecht oder gut der Versuch war. Lediglich die gefahrene Bahn während des Durchführens konnte gesehen werden. Nach Absolvierung des Tests, wurden die Ergebnisse direkt in den vorher anzugebenden Pfad gespeichert.

6.6 Versuchsdurchführung

Im Folgenden wird die Vorbereitung der Probanden auf die Tests und deren Ablauf näher erläutert. Es fanden für jeden Probanden nur ein Messtermine statt.

6.6.1 Messvorbereitung

Vor jeder Messung wurde jeder der Probanden gebeten den in Abschnitt 6.6.1 Messvorbereitung Anamnesebogen auszufüllen. Die Zeit dafür diente zudem als Aklimatisierungsphase, sodass der Proband und seine Hände der Raumtemperatur angepasst

waren. Besonders über die Winterzeit war dies wichtig, da die Hände von der außerhalb herrschender Kälte teils länger wieder warm werden mussten. Nachdem der Anamnesebogen ausgefüllt war, wurde eine Thermografische Messung der Hände durchgeführt, um zu sehen, ob die Hände schon ausreichend warm waren.

Um optimale Untersuchungsbedingungen gewährleisten zu können, wurde darauf geachtet, dass die Raumtemperatur $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ betrug. Im Mittel lagen die Werte der Raumtemperatur vor den Messungen bei $25,36^{\circ}\text{C}$ und nach den Messungen bei $25,83^{\circ}\text{C}$. Die Standardabweichung belief sich in beiden Fällen bei $0,9^{\circ}\text{C}$. Reguliert wurde dies durch die Heizung, zum Erwärmen, oder durch gelegentliches Öffnen des Fensters zwischen den Messungen, zum Abkühlen. Während jeder einzelnen Messung war das Fenster geschlossen, um Luftzüge und Störgeräusche zu verhindern.

Vor Beginn der Messungen erhielt jeder Proband eine Unterweisung in die Ausführung der einzelnen Messabläufe.

Zudem musste jeder Proband eine Einverständniserklärung, zur Teilnahme an der Studie, unterzeichnen. Die Studie durfte jederzeit ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden.

6.6.2 Messablauf

Zu Beginn aller Messungen wurde die Hauthärte beider Hände eines jeden Probanden mittels Durometer ermittelt. Danach folgte die Markierung des anatomischen Messpunktes der beiden Zeigefinger. Diese wurden für die Sensibilitätsmessung benötigt, welche in dieser Arbeit nicht mit behandelt wird. Anschließend folgte eine Probemessung für die Sensorik und fünf Probemessungen für jede Hand bei der Koordination. Im Anschluss wurde die aktuelle Raumtemperatur gemessen. Danach folgte randomisiert, durch einen Münzwurf, die Basismessung (Pre-Messung) der ersten Hand und direkt im Anschluss die Post-Messung (Messung nach der Intervention). Sowohl Basis- als auch Post-Messung hatten nahezu den gleichen Aufbau. Vor Beginn der ersten Messung wurde ein Thermografiebild beider Hände gemacht, daraufhin folgten die ersten beiden Sensorikmessungen. Im Anschluss dieser Messung wurden die Hände wieder fotografiert. Danach folgte die Koordinationsmessung mit zwei Durchgängen der ersten Hand mit wiederum einer Thermografie am Ende.

Nach dieser ersten Basismessung folgte die Intervention. Diese bestand daraus, die zu testende Hand fünf Minuten mit Hilfe der in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Kühlplatte abzukühlen. Die Oberfläche der Kühlplatte betrug dabei 10°C (Calzadillas 2019). Das Resultat der Abkühlung wurde nach den 5 Minuten so schnell wie möglich mit der Thermografiekamera festgehalten und sofort im Anschluss wurde die erste Sensorik Messung durchgeführt.

6.7 Datenauswertung

Die Daten wurden mittel Hilfe von Excel und RStudio ausgewertet. Excel diente dabei hauptsächlich als Programm zum Abspeichern der sortierten Datensätze. Aus denen der Thermografie wurden nur die Daten eines Messpunktes, der Zeigefingerspitze, genommen. Die Koordinationswerte wurden durch Integralberechnung der Betreuer ermittelt und für die Auswertung dieser Arbeit zur Verfügung gestellt.

Probanden mit Extremwerten, fehlenden Thermografie Daten, Koordinationsdaten oder fehlender Zuordnung zu den einzelnen Untergruppen wurden aus dem Datensatz entfernt (für Aufteilung siehe Tabelle 2). Zudem wurde aus der Angabe der Stunden und Minuten an

sportlicher Aktivität eine neue Variable erstellt. Diese wurde für die Unterteilung in die WHO Gruppen benötigt (nähere Erklärung 0).

Betrachtet wurden bei der Auswertung hauptsächlich die Koordinationswerte und die Temperaturdifferenzen. Die Koordinationswerte (in cm²) bilden die Abweichung der gebildeten Linien des Probanden zu der nachzufahrenden Linie. Je größer dieser Wert ist, desto ungenauer wurde die Ideallinie getroffen und es liegen mehr Abweichungen vor. Die Werte der Temperaturdifferenz wurden aus den Werten der Thermobilder vor und nach eines Koordinationstests berechnet. So kann die erste Temperaturdifferenz, berechnet werden durch die Differenz des Thermobildes, welches vor dem ersten Koordinationstest gemacht wurde, und dem Thermobild welches direkt danach gemacht wurde. Mit dieser ersten Temperaturdifferenz wurde dann der Wert der ersten Koordinationsmessung auf eine Ebene gestellt.

Die Testung auf Normalverteilung fand mit Hilfe der Betrachtung entsprechender Q-Q Plots statt. Diese Methode wurde verwendet, da bei größeren Stichproben Tests wie der Kolmogorov-Smirnov-Test oder der Shapiro-Wilk-Test eher zu niedrigen p-Werten führen. Also die Normalverteilung einer Stichprobe abgelehnt werden muss (Field 2018, S. 248f.).

Weiterführend wurde dann der Wilcoxon-Test mit einer Bonferroni Korrektur und dem α -Fehler von 0,05 gearbeitet. Zudem wurden zur Illustration die Koordinationswerte und die Temperaturdifferenzwerte in einem Punktediagramm dargestellt, um mögliche Effekte der vorher definierten Gruppen zu visualisieren.

6.8 Ergebnisse

6.8.1 Testung auf Normalverteilung

In den Abbildung 10 und Abbildung 11 sind die gesamten Werte der Koordinationsmessung und die der Thermomessung in einem Q-Q Plot dargestellt. Um besser feststellen zu können, ob eine Normalvorteilung der Daten vorliegt oder nicht, wurden die Daten z-Standardisiert. Zudem wurden Geraden als Orientierung eingebaut. Im Plot der Koordinationswerte verläuft die Gerade durch den Großteil der Punkte durch und die Punkte liegen auch mittig in der Grafik. Lediglich an den Enden weichen die Werte von der Linie ab. Dadurch, dass es in den Bereichen aber weniger Punkte sind, welche ein wenig verstreut liegen, kann diese Abweichung vernachlässigt werden. So lässt sich durch Abbildung 10 eine Normalverteilung der gesamten Koordinationswerte feststellen.

Q-Q Plot der Koordinationswerte

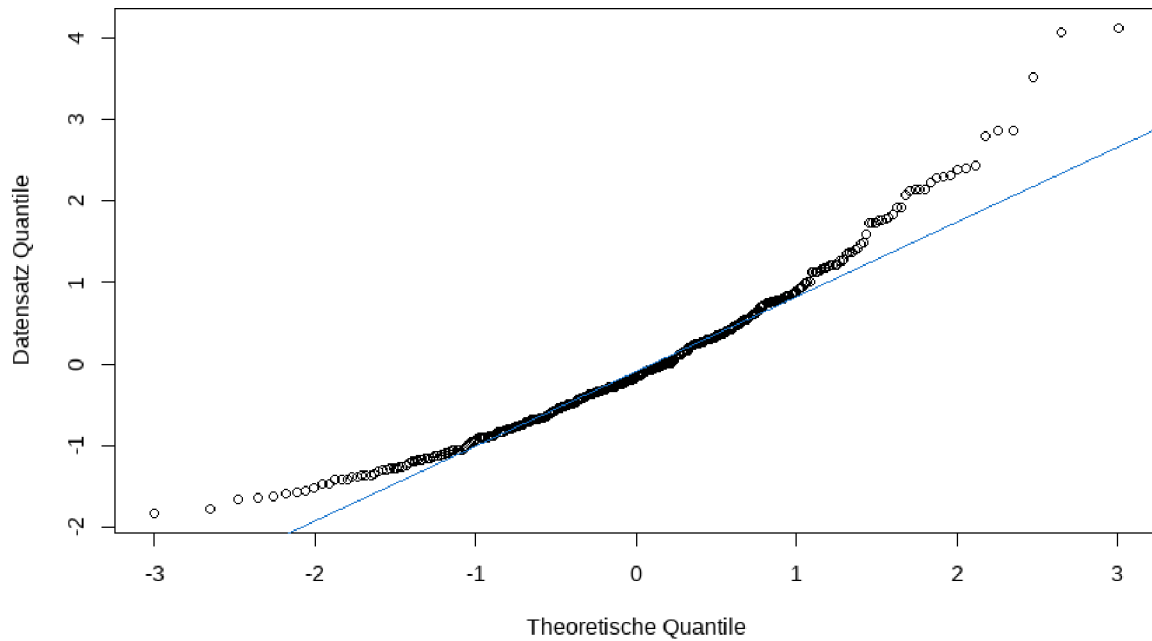


Abbildung 10: Normalverteilung der gesamten Koordinationswerte

Anders sieht es im Q-Q Plot für die gesamten Temperaturdifferenzen aus (siehe Abbildung 11). Der obere Bereich, welcher wieder etwas mehr verstreut ist, weicht deutlicher von der Geraden ab. Hinzukommt, dass im Bereich von Null-Null keine Überschneidung der Linie mit den Daten stattfindet. Vielmehr bildet sich hier eine Kurve nach unten links. Die Lage der Punkte lässt mehr auf eine Rechtsschiefe Verteilung vermuten.

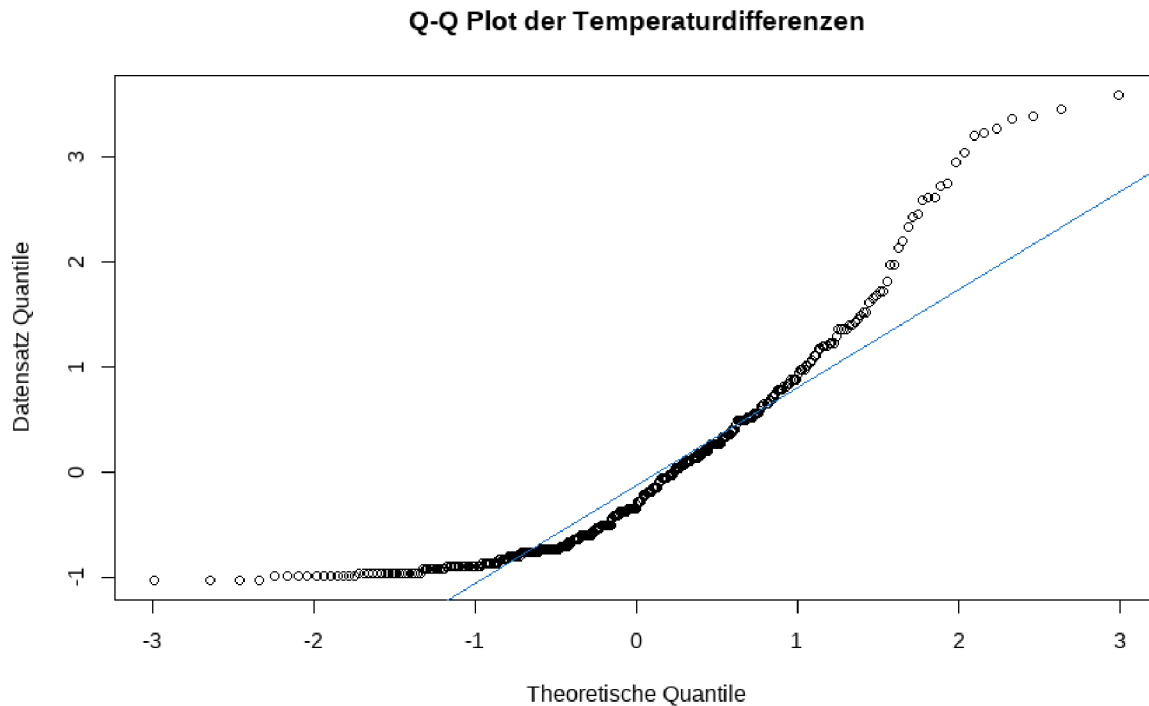


Abbildung 11: Rechtsschiefe, fast Normalverteilter Q-Q Plot der Temperaturdifferenzen

6.8.2 Vergleiche der gesamten Werte

Im weiteren Verlauf werden die Daten in Boxplots dargestellt. Die Unterschiede zwischen diesen wurde mit Hilfe des Wilcoxon-Tests überprüft. Ob dabei signifikante Unterschiede entstanden sind, lässt sich bei den Boxplots anhand der Balkenverbindungen über den diesen, feststellen. Mit „ns“ sind die Balken versehen, wenn keine signifikanter Unterschied vorliegt. Sobald ein „*“ darüber ist gibt es einen signifikanten Unterschied. Je mehr Sternchen dabei auftreten, desto geringer ist der p-Wert. Somit weist ein Balken mit vier Sternchen, auf einen hoch signifikanten Unterschied der eingebundenen Werte hin.

Abbildung 12 beinhaltet die Boxplots der Pre- und der Post-Messungen aller Probanden. Grundlage bilden die Koordinationswerte. Diese haben cm^2 als Maßeinheit. Beide Mediane liegen, in dieser Darstellung, auf nahezu der gleichen Höhe. Zu dem bilden sich zwischen den unteren und oberen Quartilen und den Medianen gleiche Flächen. Sowohl innerhalb der Boxplots als auch zwischen Pre und Post. Bemerkbar machen sich lediglich ein paar mehr Ausreißer über den Post-Messungen. Diese grafische Darstellung der Boxplots verhält sich ähnlich den Annahmen des vorangegangenen Q-Q Plots für die Koordinationswerte. Eine gleichmäßige Verteilung der Werte.

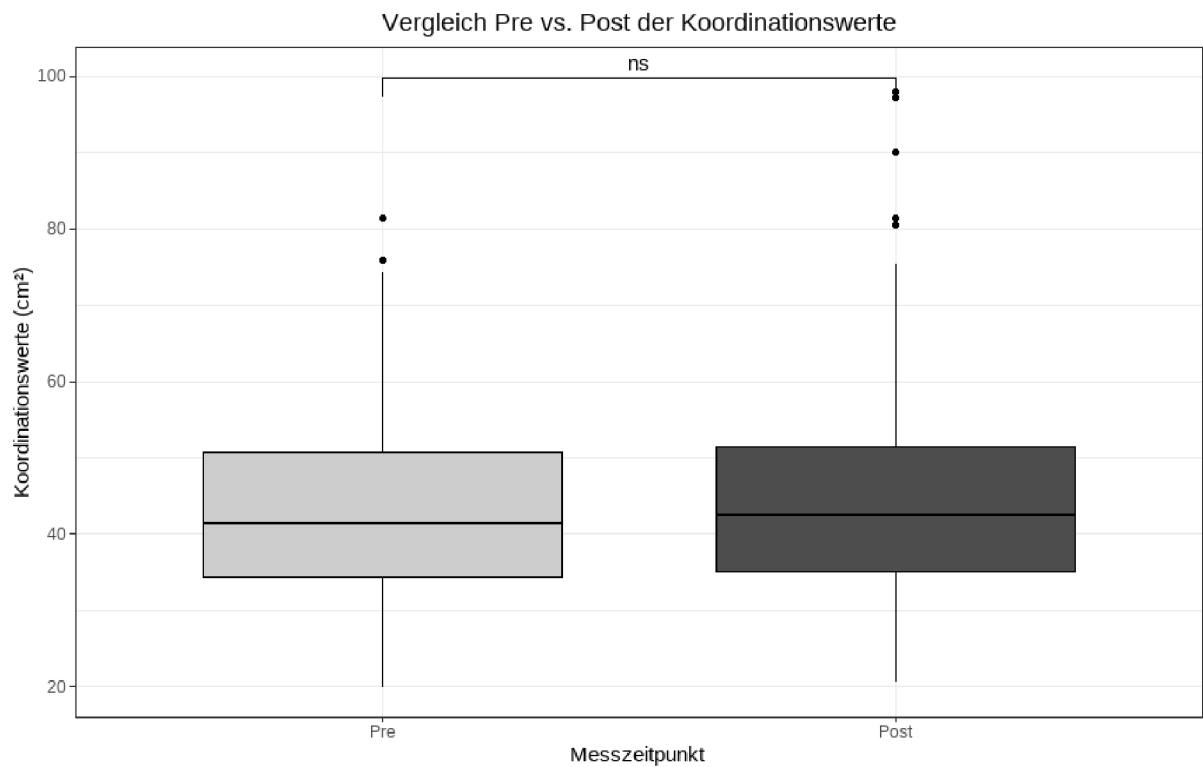


Abbildung 12: Boxplot Pre vs. Post Koordinationswerte (gesamte Daten)

Im folgenden Boxplot (Abbildung 13) wurde ein p-Wert von 0,0168 für den Vergleich der dominanten Hand zur nicht dominanten Hand berechnet.

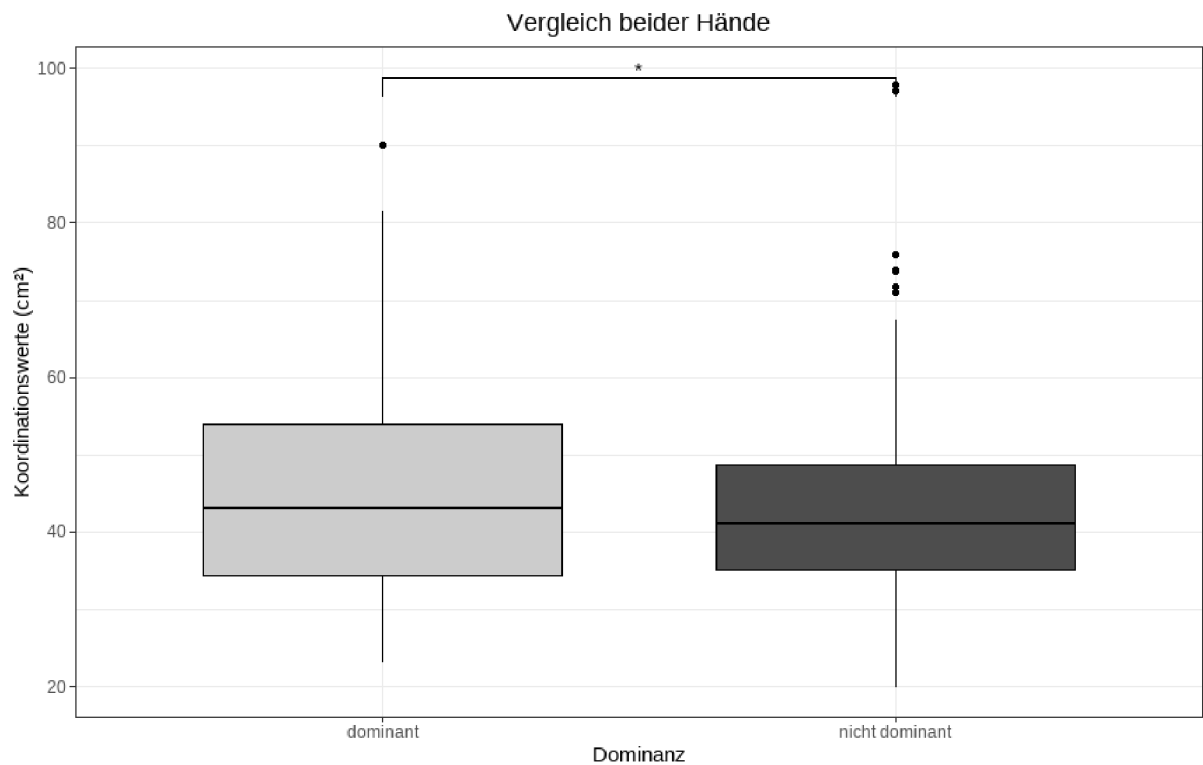


Abbildung 13: Boxplot Vergleich beider Hände (gesamte Daten)

Es folgen für den Vergleich von Pre und Post wieder Boxplots, welche keinen signifikanten Unterschied zueinander aufweisen. In Abbildung 14 ist es aber nicht Koordination, sondern die Temperaturdifferenzen der Pre- und Post-Messungen. Auch hier gibt es wieder mehrere Ausreißer. Allerdings verteilt sich die obere Hälfte der Daten über eine weiter Spanne. Wohingegen die untere Hälfte gestaucht erscheint. Dies lässt sich durch die kurzen untern Marker, den langen oben Markern und den etwas kleineren unteren Bereichen zwischen dem unten Quartil und dem Median. Dies trifft auf bei Boxplots zu. Sowohl für die Pre- als auch für die Post-Messung.

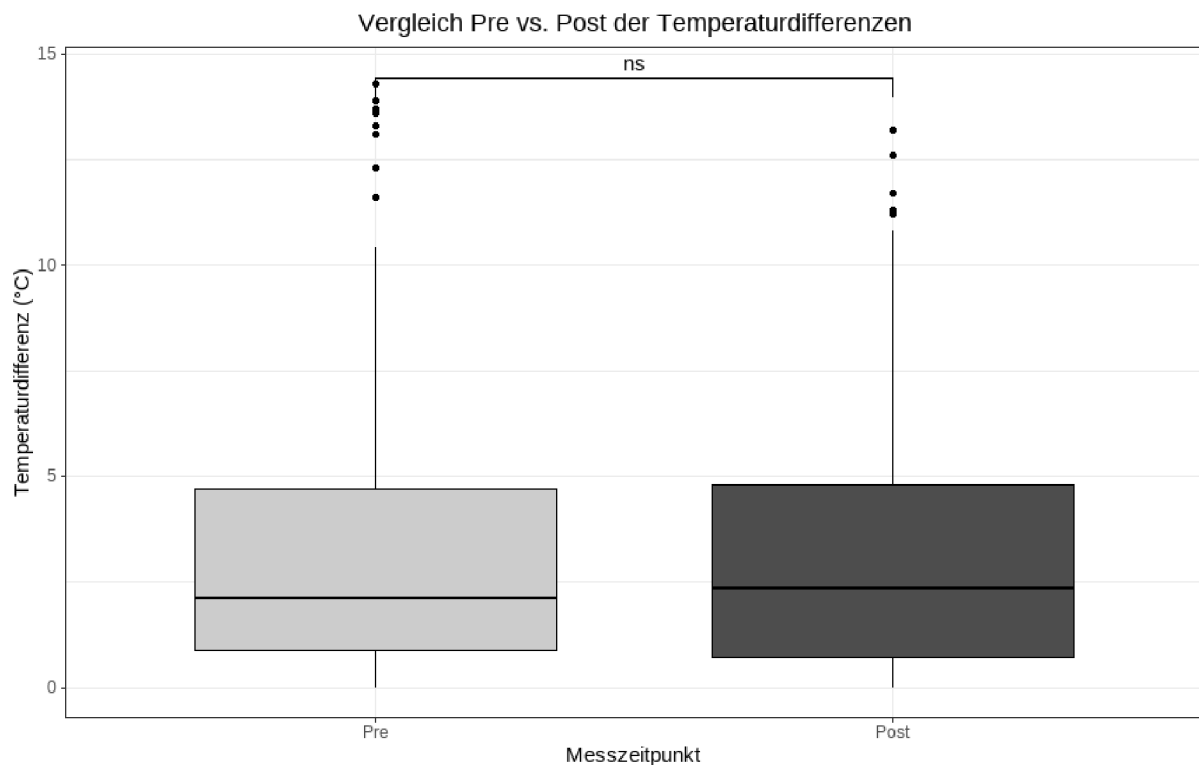


Abbildung 14: Boxplot Vergleich Pre vs. Post der Temperaturdifferenzen (gesamte Daten)

Die letzte grafische Darstellung mit Boxplots für diese Kapitel, bildet wieder ein Vergleich von Werten der dominanten Hand zu denen der nicht dominanten Hand. Wie die bisherigen Boxplot Vergleiche der Handdominanz, gibt es auch hier wieder eine signifikanten p-Wert. Dieser liegt in Abbildung 15 bei $p = 7.71e^{-25}$. Zwar gibt es bei dem Boxplot der dominanten Hand einige Ausreißer nach oben, aber der Interquartilsabstand ist enorm gering. Hinzukommt ein kaum zu bemerkender unterer Whisker. So sind die Daten der Temperaturdifferenzen für die dominante Hand für alle Probanden (außer für die Ausreißer) auf einem ähnlichen Niveau. Im Vergleich dazu Variieren die Werte der nicht Dominanten Hand sehr. Der Median ist deutlich von dem der dominanten Seite entfernt. Darum spannt sich ein wesentlich größerer Interquartilsabstand mit einem weiter entfernten oberen Quartil als das untere. Hinzukommen zahlreiche Ausreißer über der langen Antenne. Dies weist auf eine weite Streuung der Daten für die nicht Dominant hin.

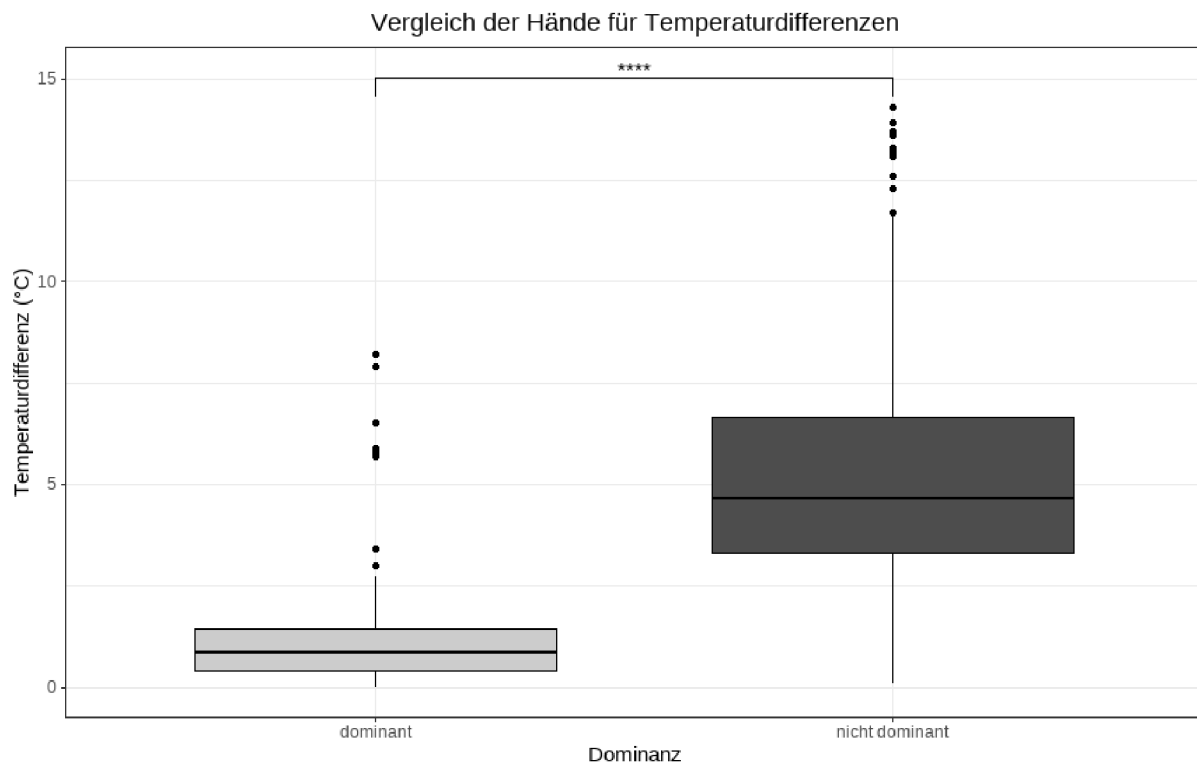


Abbildung 15: Boxplot Vergleich der Hände für Temperaturdifferenzen (gesamte Daten)

6.8.3 Vergleich der Gruppen

Im weiteren Verlauf werden die zwei erstellten Gruppen in sich verglichen. Hierbei werden wieder die Pre- und Post-Messungen, als auch die Handdominanz gegenübergestellt.

Wir beginnen wieder mit Boxplot Vergleichen zwischen Pre- und Post-Messungen der Koordinationswerte. Auf der linken Seite befindet sich die Kontrollgruppe, Probanden, welche kaum Sport machen und wenn, dann auch keine spezifische. Hier kann die größte Streuung der Werte festgestellt werden mit langen Antennen in beide Richtungen und weiten Interquartilsabständen. Die Mediane beider Boxplots befinden sich auf ziemlich der gleichen Höhe. Demnach ist es nicht verwunderlich, dass hierbei keine starken Unterschiede durch den Wilcoxon-Test berechnet werden konnten. Ähnlich sieht es auf der rechten Seite, bei den Griffkraftsportlern aus, mit nur etwas weniger Streuung im Vergleich zu KG. Mit einem p-Wert von 0,093 sieht man, dass bei den Ballsportlern eine Tendenz wahrzunehmen ist. Jedoch eher in Richtung einer Verschlechterung.

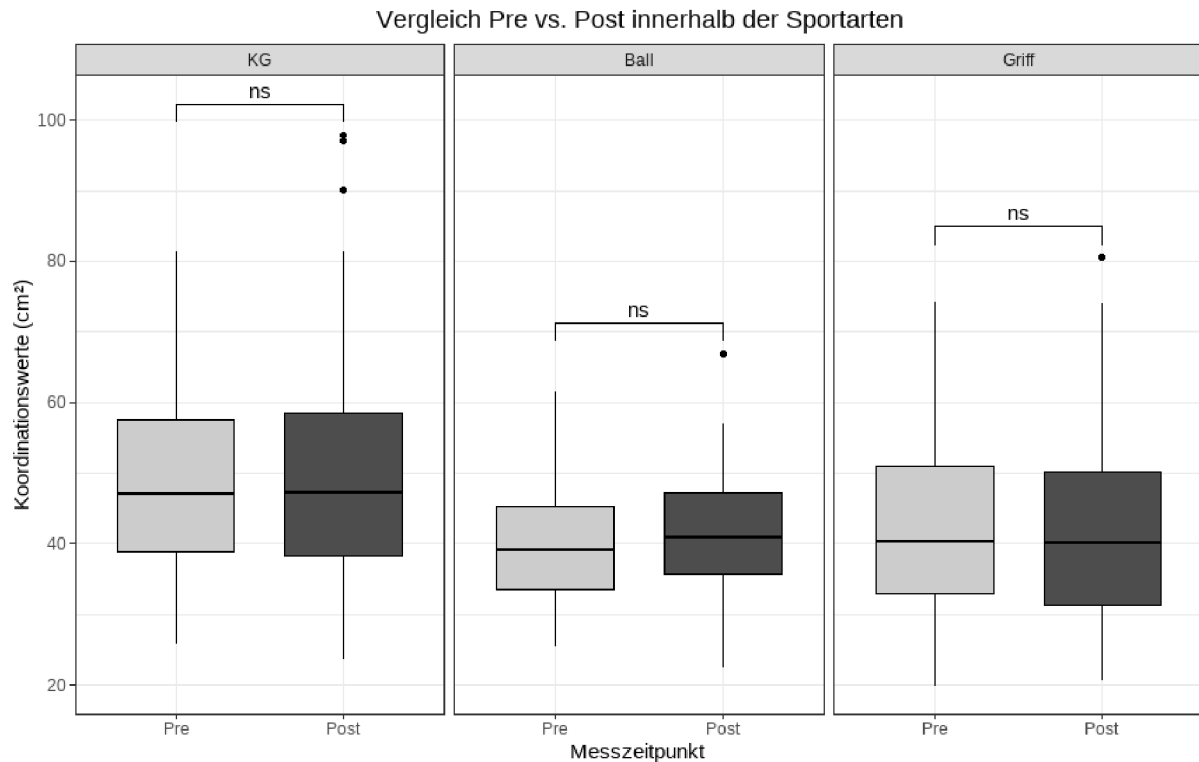


Abbildung 16: Vergleich Pre vs. Post innerhalb der Sportarten (basierend auf den Koordinationswerten)

Ein klein wenig interessanter als bei der Aufteilung in die Sportarten, sieht es bei den WHO Gruppen aus. Aufgeteilt ist das ganze hier in Probanden die im Alltag kaum Sport getrieben haben (links: 0 – 2,5h), die die moderat Sport treiben (Mitte: 2,5 – 5h) und denen die sehr intensiv Sport ausüben (rechts: > 5h). Die Boxplots zeigen hier haben wieder „ns“ über dem Balken, für nicht signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen Pre- und Post-Messungen. Ein optischer Unterschied lässt sich jedoch für die Gruppe der kaum Sport treibenden feststellen. So sind diese die einzigen die in der Post Messung eine größere Streuung der Werte aufzeigen. Dies kennzeichnet sich durch einen großen Anstieg des Interquartilsabstandes bedingt durch die obere Hälfte der Box. Zudem kommt eine große Verlängerung der oberen Antenne. Beide scheinen sich zu verdoppeln. Für moderat und intensiv Sporttreibende ändert sich zwischen der Pre- und der Post-Messung hinsichtlich der Koordination kaum etwas. Nur bei den moderaten Sport ausübenden ist zu erwähnen, dass der Median für die Post-Messung angestiegen ist und die obere Antenne geschrumpft. Dies führt zu enger zusammenfallende Werte in der oberen Hälfte des Boxplots und zu einer größeren Streuung der untern (besseren) Werte.

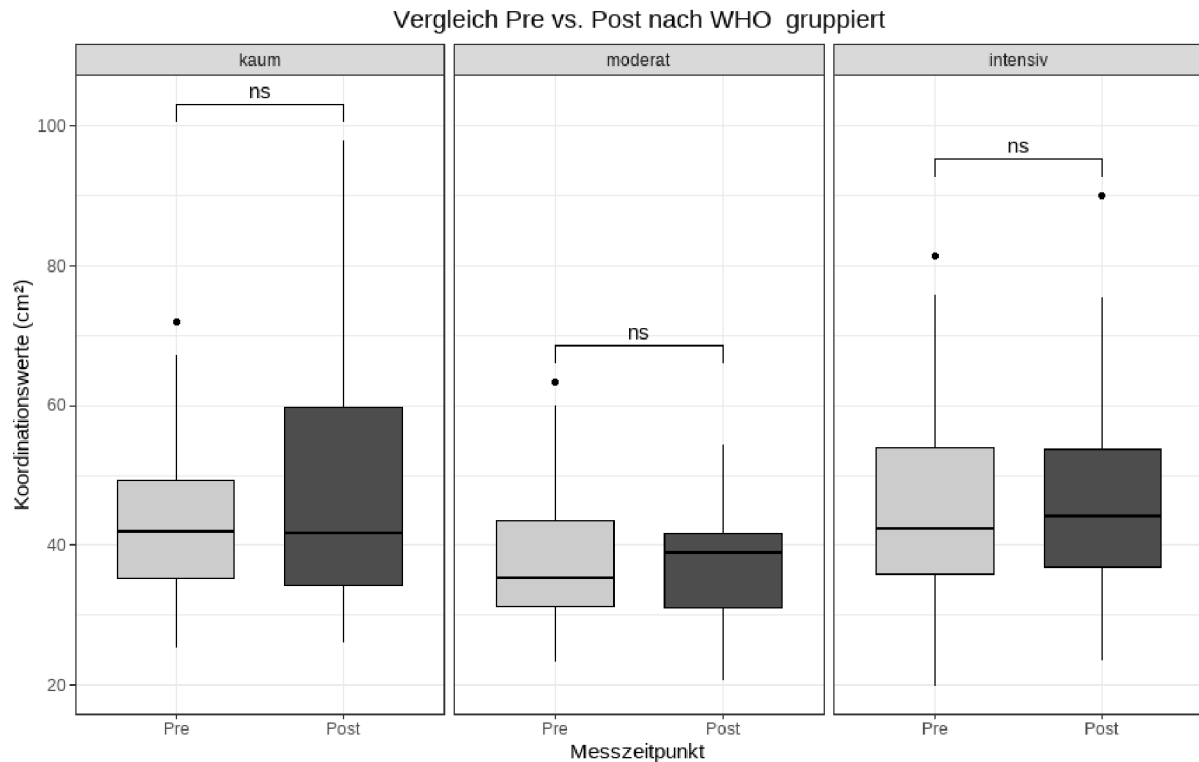


Abbildung 17: Vergleich Pre vs. Post nach WHO gruppiert (basierend auf den Koordinationswerten)

Die weiteren Abbildung 18 -Abbildung 21 zeigen durchgängig keine eindeutig nennenswerten Effekte im Bezug auf einen Unterschied zwischen Pre- und Post-Messung oder der dominanten und nicht dominanten Hand. Die Drauffolgenden Abbildungen jedoch haben deutliche Effekte. Die Boxplots der Abbildung 22Abbildung 23 zeigen ein ähnliches Muster. Demnach ist sowohl bei der Probanden Unterteilung in den Sportarten als auch in die der WHO-Gruppen der Boxplot der dominanten Hand klein und mit einem niedrigen Grundwert. Abgesehen von einzelnen Ausreißern nach oben, ist jeder Boxplot der dominanten Seite, mit seinen Antennen unterhalb des ersten Quartils der Werte für die nicht dominante Hand. Es befinden sich nahezu alle Temperaturdifferenzwerte unterhalb von 75% der Werte für die nicht dominante Seite. Die p-Werte sind dabei so niedrig, dass Sie alle gegen Null gehen.

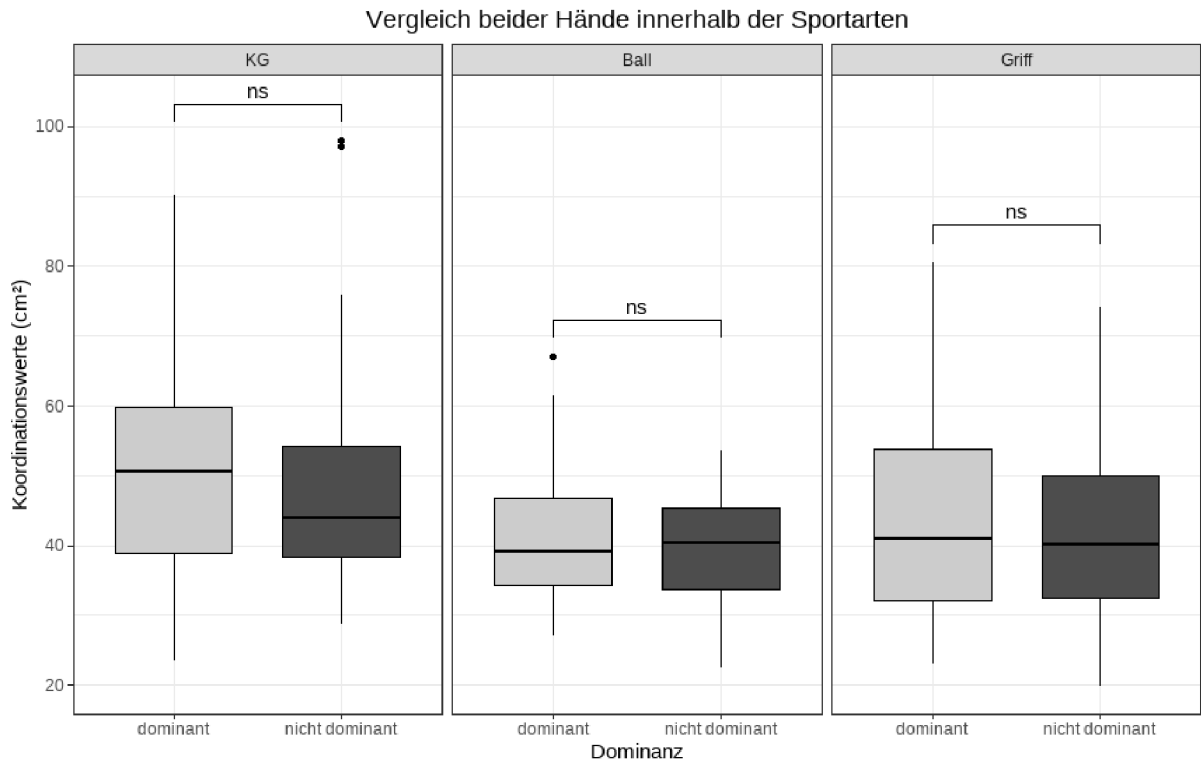


Abbildung 18: Vergleich beider Hände innerhalb der Sportarten (basierend auf den Koordinationswerten)

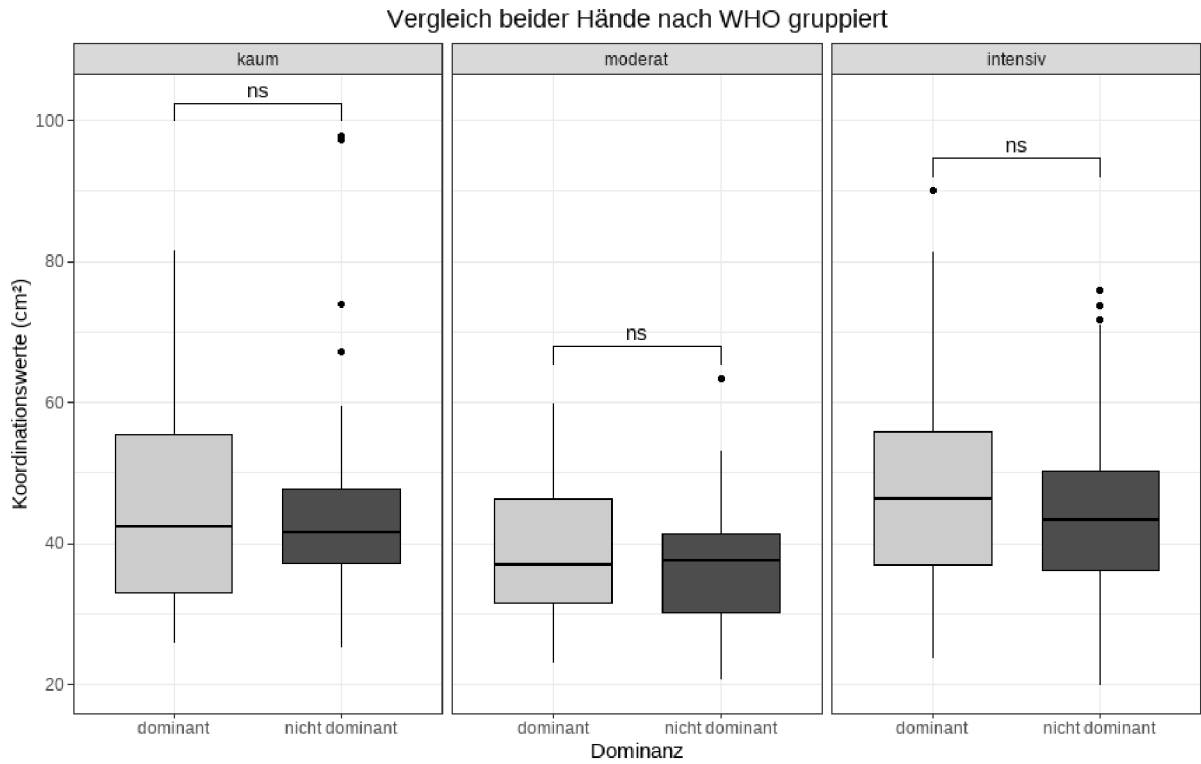


Abbildung 19: Vergleich beider Hände nach WHO gruppiert (basierend auf den Koordinationswerten)

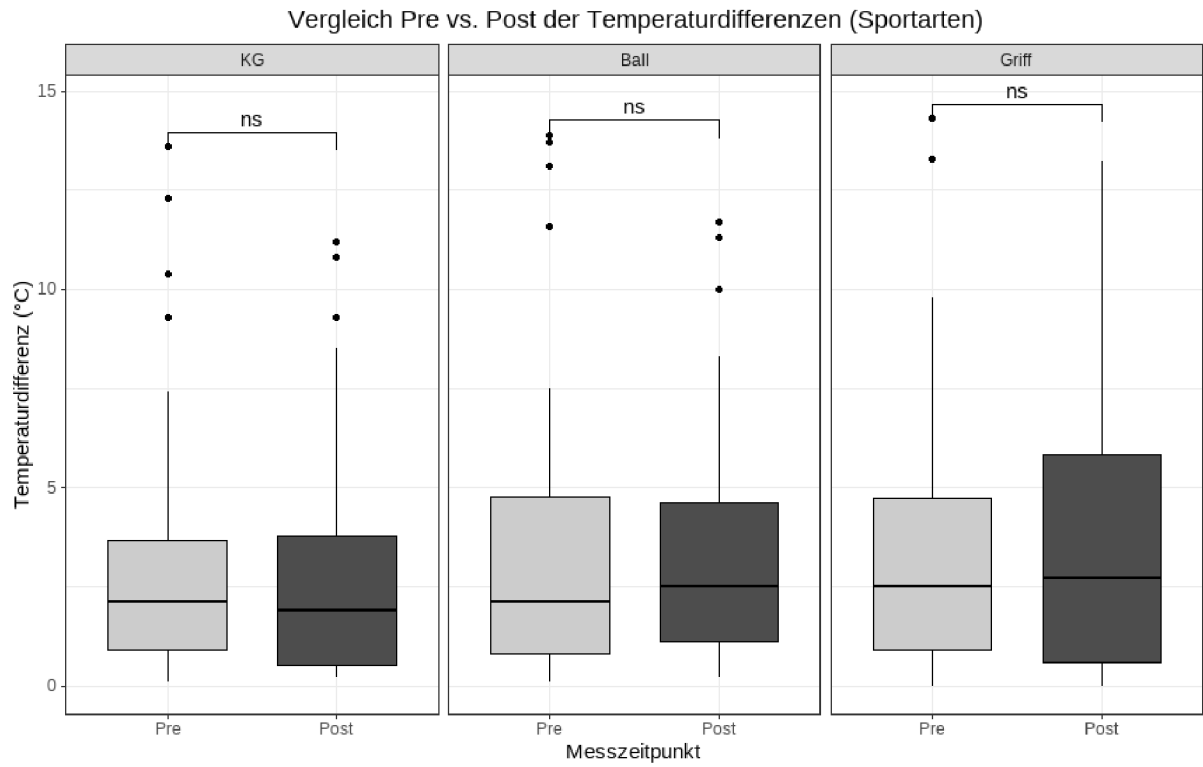


Abbildung 20: Vergleich Pre vs. Post der Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach Sportarten)

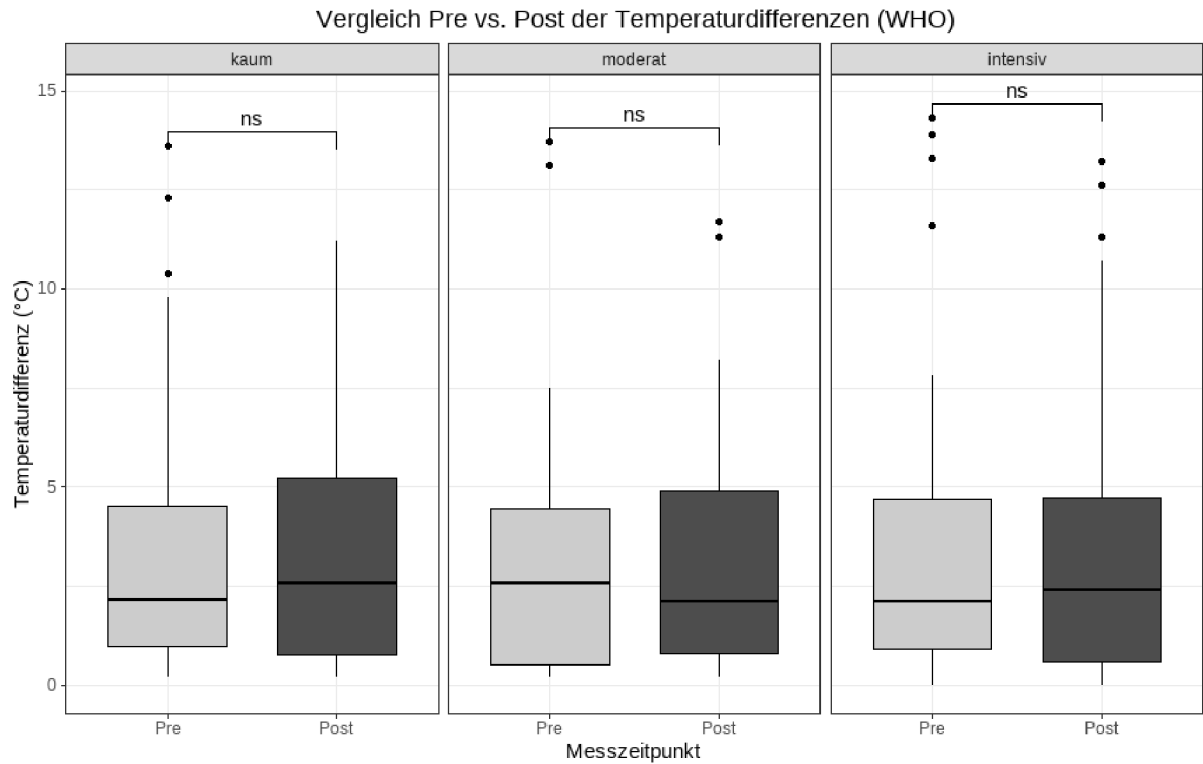


Abbildung 21: Vergleich Pre vs. Post der Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach WHO Zuordnung)

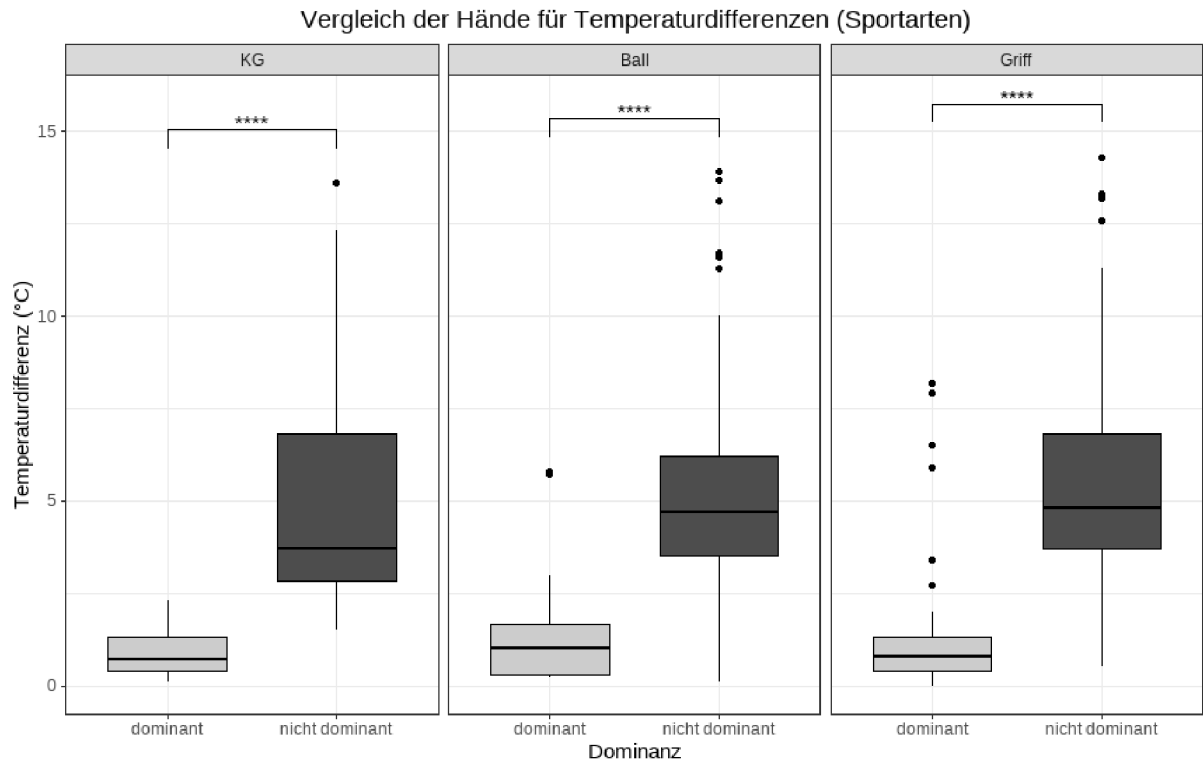


Abbildung 22: Vergleich der Hände für die Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach Sportarten)

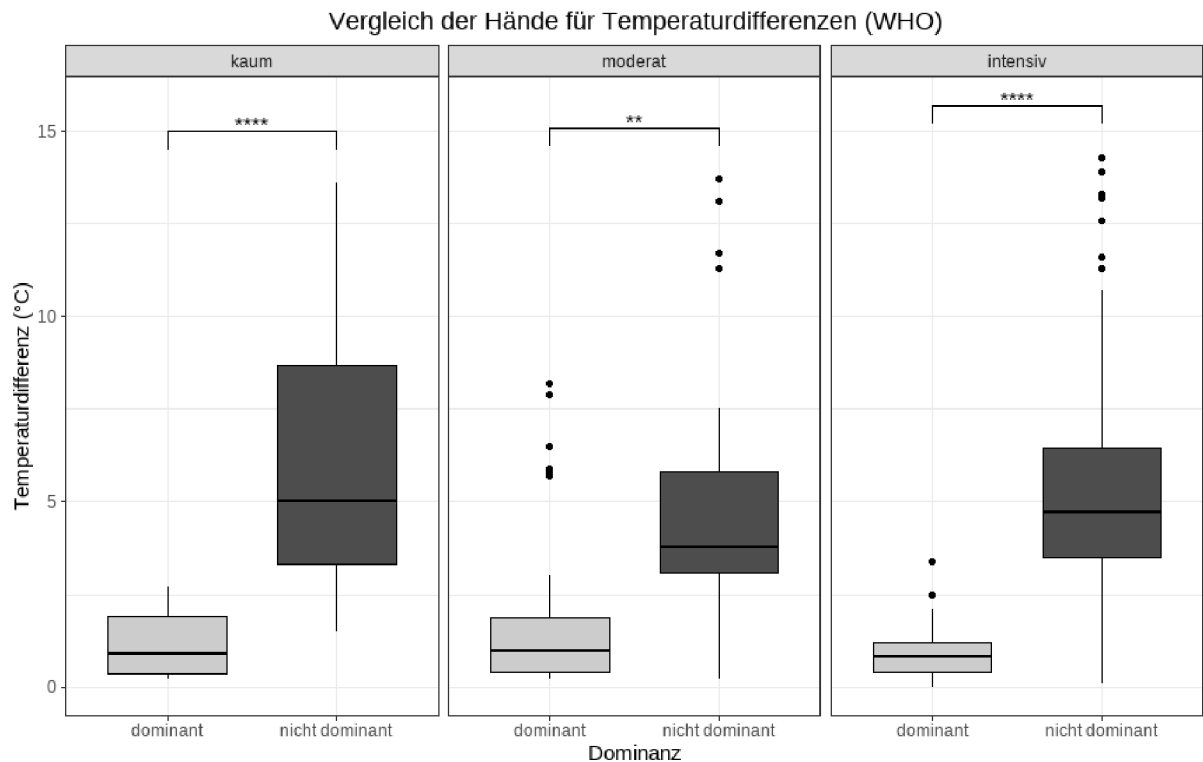


Abbildung 23: Vergleich der Hände für die Temperaturdifferenzen (aufgeteilt nach WHO Zuordnung)

Mit den Abbildung 24Abbildung 25 ist der Extreme Effekt, dass die dominante Hand stabilere Temperaturdifferenzen aufweist, als die nicht Dominante Hand nochmal detaillierter

dargestellt. Zu sehen sind z.B. als einzelne Punkte, die Mittelwerte der beiden Temperaturdifferenzen der ersten Pre-Messung auf der y-Achse mit den Mittelwerten der Koordinationswerte eben dieser ersten Pre-Messung auf der x-Achse. Dadurch bildet jeder Proband 4 Punkte, davon jeweils einen für die Pre- und die Post-Messungen der dominanten und der nicht dominanten Hand. Aber nur innerhalb seiner zugeordneten Gruppe.

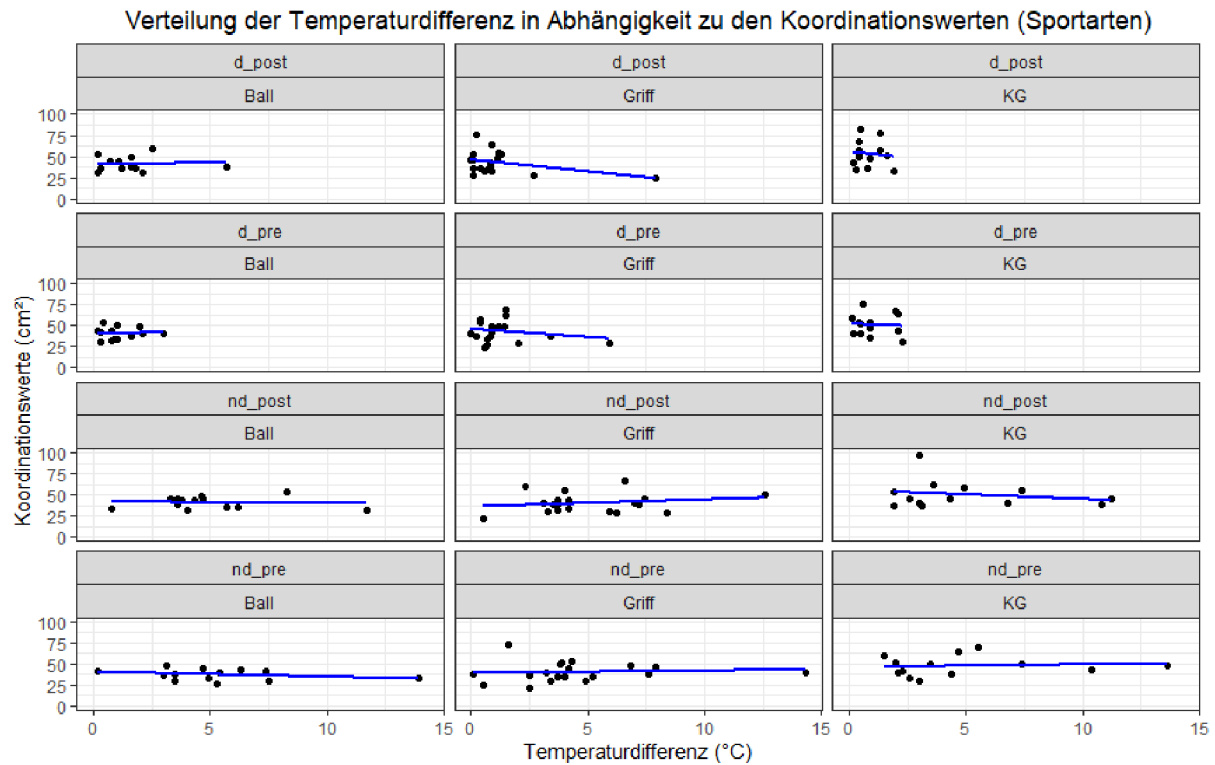


Abbildung 24: Verteilung der Temperaturdifferenz in Abhängigkeit zu den Koordinationswerten (Unterteilt in die Sportarten, Pre-, Post-Messung und Handdominanz)

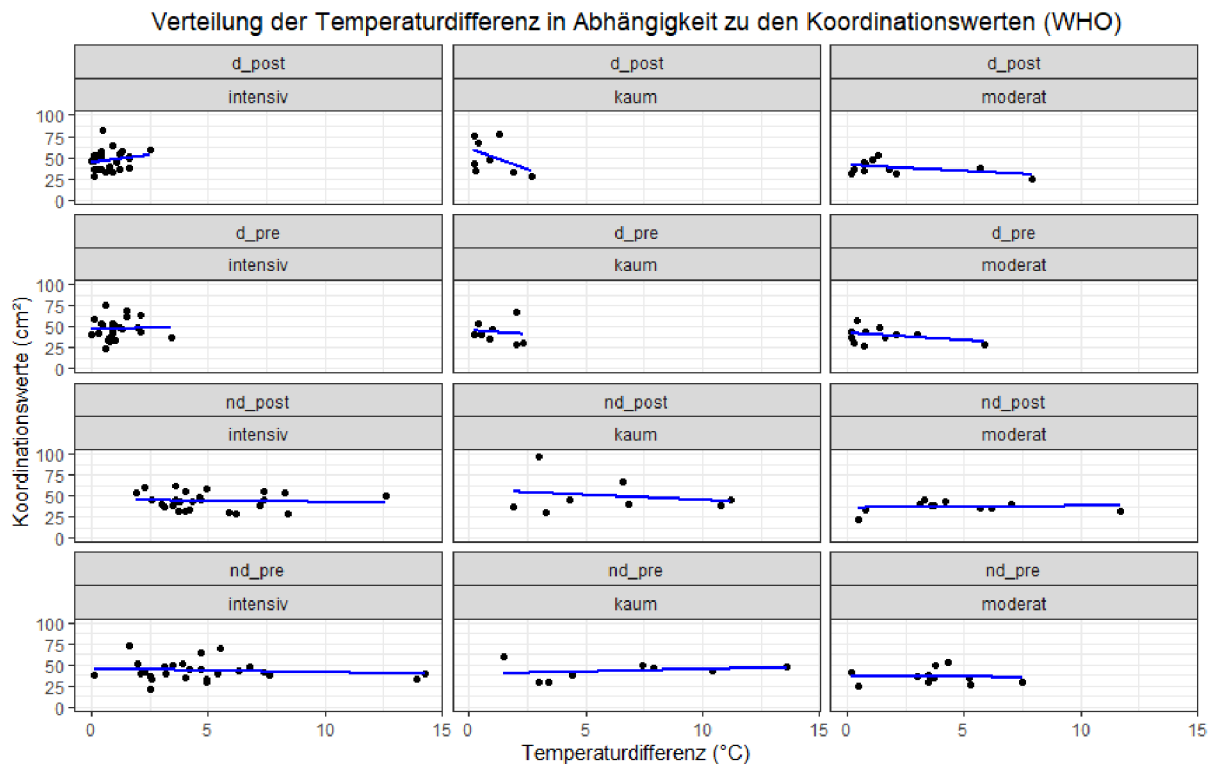


Abbildung 25: Verteilung der Temperaturdifferenz in Abhängigkeit zu den Koordinationswerten (Unterteilt nach WHO, Pre-, Post-Messung und Handdominanz)

7. Diskussion

Die Koordination und grundsätzlich die Motorische Kontrolle, mit dem Prozess des Motorik Lernens und der Entwicklung sind ein, für die Wissenschaft noch relativ neues Themen Gebiet. Hierbei werden ständig neue Theorien entwickelt, untermauert, widerlegt und wieder neu aufgegriffen (Beispiel: Equilibrium Hypothese von Feldmann). Mit dem Gedanken Bernsteins, dass die Information externer Stimuli und Stressoren einen essentiellen Aspekt der Bewegungskoordination wurde diese Arbeit eingeleitet (Praxl 2001).

Bei der Betrachtung der physiologischen Prozesse des Körpers während einer Bewegungskontrolle wird klar, dass der menschliche Körper ein enormes Reparatur an Sensorischen und Informationsverarbeitenden Organen und Mechaniken besitzt (Menche und Engelhardt 2007; Mutschler et al. 2007; Handwerker 2006; van den Berg 2000; Speckmann et al. 2008 (Müsseler 2017).

Mit dieser Arbeit sollte nur auf einen kleinen Teil dieser Prozesse eingegangen werden. Dabei wurde sich für thermologische Regulierungen im Bezug auf die Hand-Augen Koordination beschränkt. Auch in diesem Bereich gibt es noch vieles was nicht in dieser Arbeit aufgegriffen wurde.

Letztlich war das Ziel dieser Arbeit, die adaptive Fähigkeit der Hand-Augenkoordination zu testen. Und dies mit Hilfe einer Kältestress Intervention. Daraus wurde folglich die Hypothese aufgestellt das die Thermoregulation von Sportaktiven Personen einen positiven adaptiven Effekt auf die Hand-Augen Koordination hat. Zwar gab es einen starken positiven Effekt bei der dominanten Hand. Aber dieser betraf nur die Temperaturregulation. Zudem war dieser Effekt mit ähnlichen p-Werten, auch bei den Kontrollgruppen zu erkennen.

Im Weiteren werden einzelne Aspekte der Arbeit und der Studie diskutiert.

7.1 Datenerhebung

Die Erhebung der Daten erwies sich durch die Pandemie Anfangs recht schwer. Mit einer langen Verzögerung konnte leider erst im Herbst begonnen werden. In einem Zeitraum von ca. einem halben Jahr und eben der Tatsache einer bestehenden Pandemie, war die Anzahl der getesteten Probanden angenehm groß. Kritisch zu betrachten war hierbei jedoch, dass durch die Verzögerung, die Datenerhebung über den Winter hinweg durchgeführt werden musste. Dabei war das kalte Wetter für eine Kälteintervention nicht zwingend förderlich. Besonders dadurch das kurze, aber starke Kälteexpositionen eine großen negativen Effekt auf Leistungsreaktion haben kann (Hancock et al. 2007).

7.3 Datenanalyse

7.3.1 Vergleich der gesamten Daten

In Betrachtung der Daten als Ganzes waren die Vergleiche zwischen den Pre- und Post-Messungen, und der von dominant und nicht dominant, wenig befriedigend. Es gab kaum einen Unterschied zwischen diesen Bedingungen in Betrachtung der Koordinationswerte. Daraus hätte sich schon zu Beginn ableiten lassen könne, das die weitere Analyse auf kleinere, unterschiedlichere Gruppen, ähnliche Effekte erzielen könnten. Zumal bei der Betrachtung des Q-Q Plots für die Koordinationswerte aller Probanden eine gute Normalverteilung vorlag.

Ein ähnlicher Gedankengang aber mit anderen Ergebnissen kann bei der Beurteilung der Temperaturdifferenzen gegangen werden. So lies sich über den Q-Q Plot sehen, dass die Werte einer rechtsschiefen Verteilung gleichkommen. Die Analyse von Pre- und Post-Messung ergaben dabei zwar wieder kaum merkbliche Unterschiede, der Vergleich von der dominanten zu der nicht dominanten Hand fiel dafür aber stark auf. Dadurch lässt sich schon hier ein Gegensatz in den Ergebnissen zu denen von Calzadillas (2019). Dieser besteht darin, dass die Kontrollgruppe der Pelota-Studie keinen starken signifikanten Unterschied zwischen der dominant und der nicht dominanten Hand zu Beginn aufzeigte.

7.3.2 Vergleich der einzelnen Gruppen

Mit ähnlich vorzugehen, wie Cohen et al. (2018), und durch kleine Interventionen große Auswirkung zu erzielen ergab sich letztlich nur in einer Bedingung. Diese war, wie schon in der Gesamtbetrachtung der Daten, bei den Unterschieden der Hände im Bezug auf die Temperaturdifferenz, festzustellen. Allerdings gab es hier keinen großen Unterschied von den Sporttreibenden zu den Probanden der Kontrollgruppen. Dadurch lässt sich vermuten, dass der gesetzte Stressor entweder zu unerschwellig war (zu geringe Dauer: siehe Hancock et al.(2007), Zeiten von bis zu 120 min Kälteexposition) oder aber der feinmotorische Test zu leicht. Eine andere Fehlerquelle könnte die Qualität der Probanden sein. Zwar bestanden die Kontrollgruppen durch die Selektierung in z.B. die WHO-Gruppen, nur aus Personen, welche kaum bis gar keinen Sport treiben, allerdings waren viele Probanden auch junge Studenten gesunde Studenten, welche grundsätzlich gute feinmotorisch Fähigkeiten aufweisen sollten.

7.4 Schlussfolgerung

Mit den in dieser Arbeit verwendeten analytischen Verfahren, kommt es zu dem Ergebnis folgendem Ergebnis. Die Hypothese „Die Thermoregulation von Sportaktiven Personen hat positive, adaptive Effekte auf die feinmotorische Leistungsfähigkeit“ wird abgelehnt. Dies hat den Hintergrund, dass nicht nur die Sportaktiven Personen eine gute Thermoregulation der dominant aufzeigen konnten, sondern auch die Kontrollgruppen. Dadurch lässt sich im Falle dieser Erhebung ausschließen, dass die sportliche Aktivität einen positiven Effekt hat. Dennoch kann bestätigt werden, dass die Hand-Augen Koordination gut adaptiert werden kann, auch wenn Kälteeinflüsse verwendet werden. Dies lässt sich daraus schließen, dass es bei den Koordinationswerten keinen merklichen Unterschied zwischen den Pre- und den Post-Messungen gab.

Selbstständigkeitserklärung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Peter Kovács

Matrikel Nr. 372664

Wir erklären gegenüber der Technischen Universität Chemnitz, dass wir die vorliegende Projektarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der hier angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt haben. Die vorliegende Arbeit ist frei von Plagiaten. Alle Ausführungen, die wörtlich oder inhaltlich aus anderen Schriften entnommen sind, haben wir als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Chemnitz den

21.10.2022



Unterschrift Peter Kovács:

Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

Bagavathiappan, Subramnaian; Philip, John; Jayakumar, Tammana; Raj, Baldev; Rao, Pallela Narayana Someshwar; Varalakshmi, Muthukrishnan; Mohan, Viswanathan (2010): Correlation between plantar foot temperature and diabetic neuropathy: a case study by using an infrared thermal imaging technique. In: *Journal of diabetes science and technology* 4 (6), S. 1386–1392. DOI: 10.1177/193229681000400613.

Bagesteiro, Leia B.; Sainburg, Robert L. (2003): Nondominant arm advantages in load compensation during rapid elbow joint movements. In: *Journal of neurophysiology* 90 (3), S. 1503–1513. DOI: 10.1152/jn.00189.2003.

Bagesteiro, Leia B.; Sainburg, Robert L. (2005): Interlimb transfer of load compensation during rapid elbow joint movements. In: *Exp Brain Res* 161 (2), S. 155–165. DOI: 10.1007/s00221-004-2055-2.

Birklbauer, Jürgen (2012): Modelle der Motorik. Eine vergleichende Analyse moderner Kontroll-, Steuerungs- und Lernkonzepte. 2. Aufl. Aachen, Graz: Meyer et Meyer (Spektrum Bewegungswissenschaft, 5).

Cohen, Erez James; Bravi, Riccardo; Minciocchi, Diego (2018): The effect of fidget spinners on fine motor control. In: *Scientific reports* 8 (1), S. 3144. DOI: 10.1038/s41598-018-21529-0.

Côrte, Ana Carolina; Pedrinelli, André; Marttos, Antonio; Souza, Ivan Furlan Grava; Grava, Joaquim; José Hernandez, Arnaldo (2019): Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: pilot study. In: *BMJ open sport & exercise medicine* 5 (1), e000431. DOI: 10.1136/bmjsem-2018-000431.

- Duff, Susan V.; Sainburg, Robert L. (2007): Lateralization of motor adaptation reveals independence in control of trajectory and steady-state position. In: *Exp Brain Res* 179 (4), S. 551–561. DOI: 10.1007/s00221-006-0811-1.
- Enander, A. (1987): Effects of moderate cold on performance of psychomotor and cognitive tasks. In: *Ergonomics* 30 (10), S. 1431–1445. DOI: 10.1080/00140138708966037.
- Engelhardt, Stephanie; Menche, Nicole (Hg.) (2010): Biologie, Anatomie, Physiologie. Kompaktes Lehrbuch für Pflegeberufe. 6., überarb. Aufl., [Nachdr.]. München: Elsevier, Urban & Fischer (Pflege heute).
- Feigenspan (2017): Prinzipien der Physiologie: Springer Berlin Heidelberg.
- Field, Andy (2020): Discovering statistics using IBM SPSS statistics. 5th ed. London: Sage.
- Froböse, Ingo (Hg.) (2003): Training in der Therapie. Grundlagen und Praxis. 2., überarb. Aufl. München, Jena: Urban und Fischer.
- Häfelinger, Ulla; Schuba, Violetta (2007): Koordinationstherapie. Propriozeptives Training. 3., überarb. Aufl. Aachen: Meyer und Meyer (Wo Sport Spaß macht).
- Hancock, P. A.; Ross, Jennifer M.; Szalma, James L. (2007): A meta-analysis of performance response under thermal stressors. In: *Human factors* 49 (5), S. 851–877. DOI: 10.1518/001872007X230226.
- Hollmann, Wildor; Hettinger, Theodor (1990): Sportmedizin. Arbeits- u. Trainingsgrundlagen. 3., durchges. Aufl., Studienausg. Stuttgart, New York: Schattauer.
- Janssen, Stefan (2008): Unterrichtseinheit: Balancieren auf labilem Untergrund an Stationen (1. Klasse). München: GRIN Verlag GmbH.
- Johansson, R. S.; Flanagan, J. R. (2008): Tactile Sensory Control of Object Manipulation in Humans. In: *The Senses: A Comprehensive Reference*: Elsevier, S. 67–86.
- Laube, Wolfgang (2009): Sensomotorisches System. Physiologisches Detailwissen für Physiotherapeuten. Unter Mitarbeit von Anders. Stuttgart: Thieme.
- Müsseler, Jochen (2017): Allgemeine Psychologie. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer Lehrbuch).
- Pilcher, June J.; Nadler, Eric; Busch, Caroline (2002): Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. In: *Ergonomics* 45 (10), S. 682–698. DOI: 10.1080/00140130210158419.
- Poulton, E. C. (1977): Continuous intense noise masks auditory feedback and inner speech. In: *Psychological Bulletin* 84 (5), S. 977–1001. DOI: 10.1037/0033-2909.84.5.977.

Praxl, Norbert (2001): Zur Bedeutung passiver Muskeleigenschaften für die menschliche Bewegungskoordination. Simulationsexperimente mit einem biomechanischen Armmodell und aktiver Muskelsteuerung. München: Utz, Wiss (Medizin).

Richard, Dorothee; Schaefer, Christina; Trompetter, Eva (2010): Physiowallexikon. Physiotherapie von A - Z ; [mit Wörterbuch Englisch-Deutsch]. Stuttgart, New York, NY: Thieme.

Schaible, Hans-Georg; Schmidt, Robert F. (2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. 5., neu bearb. Aufl. [New York]: Springer Medizin Verlag Heidelberg (Springer-Lehrbuch).

Schwartz, Andrew B. (2016): Movement: How the Brain Communicates with the World. In: *Cell* 164 (6), S. 1122–1135. DOI: 10.1016/j.cell.2016.02.038.

Shepherd, Gordon M. (1993): Neurobiologie. Berlin: Springer-Verlag (Springer-Lehrbuch).

Speckmann, Erwin-Josef; Hescheler, Jürgen; Köhling, Rüdiger; Alzheimer, Christian (Hg.) (2019): Physiologie. Das Lehrbuch. 7. Auflage. München: Elsevier. Online verfügbar unter <https://institut.elsevierelibrary.de/product/physiologie-7>.

Thews, Gerhard; Mutschler, Ernst; Schaible, Hans-Georg; Vaupel, Peter (2007): Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. 6., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

van Berg, Frans den; Arendt-Nielsen, Lars; Cabri, Jan; Gifford, Louis (2010): Angewandte Physiologie. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme.

Vaupel, Peter; Schaible, Hans-Georg; Mutschler, Ernst (2015): Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. 158 Tabellen. 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. Online verfügbar unter <https://elibrary.hirzel.de/textbook/99.105015/9783804737242>.

Weineck, Jürgen (2020): Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings. Unter Mitarbeit von Christian Weineck und Michael Weineck. 17., neu überarbeitete Auflage. Balingen: Spitta.

WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour (2020). Geneva: World Health Organization.

Wiesendanger, M. (1995): Motorische Systeme. In: Robert F. Schmidt und Gerhard Thews (Hg.): Physiologie des Menschen. Unter Mitarbeit von M. Wiesendanger. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 91–127.

Willingham, Daniel B. (1999): The Neural Basis of Motor-Skill Learning. In: *Curr Dir Psychol Sci* 8 (6), S. 178–182. DOI: 10.1111/1467-8721.00042.

Zalpour, Augustin (2002): Für die Physiotherapie. Anatomie, Physiologie. München: Urban & Fischer.