

Aus dem

Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin
und Versorgungsforschung der Universität Tübingen

**Einfluss des kognitiven Anforderungsniveaus
auf Aspekte der motorischen Präzision und kognitiven
Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung des Geschlechts**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Wolff-Hohberg, Thomas Dietrich

2023

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. B. Steinhilber

2. Berichterstatter: Professorin Dr. B. Derntl

Tag der Disputation: 06.03.2023

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Abbildungsverzeichnis | IV |
| Tabellenverzeichnis..... | VII |
| Abkürzungsverzeichnis | IX |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Motivation | 1 |
| 1.2 Theoretischer Hintergrund | 3 |
| 1.2.1 Definition psychischer Belastung und Beanspruchung sowie die Bedeutung von Arbeitsbedingungsfaktoren | 3 |
| 1.2.2 Psychische Störungen und Assoziationen zu Arbeitsbedingungsfaktoren..... | 4 |
| 1.2.3 Psychische Störungen und arbeitsplatzassoziiertes Stresserlebnis..... | 5 |
| 1.2.4 Physiologische Grundlagen einer Stressreaktion | 7 |
| 1.2.5 Pathophysiologische Zusammenhänge zwischen Stress und psychischen Störungen | 9 |
| 1.2.6 Beeinflussung der motorischen Fertigkeiten durch Stress | 10 |
| 1.2.7 Beeinflussung der motorischen Fertigkeiten durch simultane kognitive Beanspruchung..... | 13 |
| 1.2.8 Wissenschaftlicher Hintergrund des Dual-Task-Paradigmas..... | 14 |
| 1.2.9 Geschlechterspezifische Unterschiede der Mehrfachaufgabenperformanz ... | 17 |
| 1.2.9.1 Observationen zu besserer Mehrfachaufgabenperformanz männlicher Versuchspersonen | 17 |
| 1.2.9.2 Observationen zu besserer Mehrfachaufgabenperformanz weiblicher Versuchspersonen | 20 |
| 1.2.9.3 Observationen zu fehlenden geschlechterabhängigen Unterschieden der Mehrfachaufgabenperformanz | 21 |
| 1.3. Ziel der Arbeit..... | 22 |
| 2 Material und Methoden | 23 |
| 2.1 Studiendesign | 23 |
| 2.2 Rekrutierung der Versuchsteilnehmenden | 24 |
| 2.3 Studiendurchführung..... | 25 |
| 2.3.1 Experimenteller Aufbau | 25 |
| 2.3.2 Vorbereitung der Messung und Organisation der Messtage | 28 |
| 2.3.3 Zusammensetzung der Dual-Task..... | 30 |
| 2.3.4 Organisation der Messabschnitte | 32 |
| 2.4 Messverfahren | 34 |
| 2.4.1 Messung der Reaktionszeit | 34 |
| 2.4.2 Messung der abgegebenen Kraft..... | 34 |
| 2.5 Datenaufbereitung | 34 |

| | |
|---|----|
| 2.6 Statistische Auswertung | 36 |
| 2.6.1 Statistische Testverfahren | 37 |
| 2.6.2 Deskriptive Statistik | 38 |
| 3 Ergebnisse | 39 |
| 3.1 Kollektiv der Versuchsteilnehmenden | 39 |
| 3.2 Einfluss der Inner- und Zwischensubjektfaktoren auf die Reaktionszeit..... | 40 |
| 3.2.1 Untersuchung statistisch signifikanter Interaktionseffekte auf die Reaktionszeit | 40 |
| 3.2.2 Einfluss der kognitiven Aufgabe auf die Reaktionszeit | 41 |
| 3.2.3 Untersuchung der Reaktionszeit im zeitlichen Verlauf..... | 42 |
| 3.2.4 Untersuchung der Reaktionszeit in Abhängigkeit des Geschlechts | 44 |
| 3.2.5 Zusammenfassung der Reaktionszeitanalyse | 46 |
| 3.3 Einfluss der Inner- und Zwischensubjektfaktoren auf die motorische Genauigkeit | 47 |
| 3.3.1 Untersuchung statistisch signifikanter Interaktionseffekte auf die motorische Genauigkeit | 47 |
| 3.3.2 Untersuchung der motorischen Genauigkeit in Abhängigkeit von Geschlecht und Untersuchungsbedingung | 49 |
| 3.3.3 Untersuchung der motorischen Genauigkeit im zeitlichen Verlauf..... | 52 |
| 3.3.4 Zusammenfassung der Analyse der motorischen Genauigkeit | 55 |
| 4 Diskussion | 57 |
| 4.1 Interaktionseffekte auf die motorische Genauigkeit | 57 |
| 4.2 Beeinflussung der motorischen Genauigkeit aufgrund einer Stressreaktion | 60 |
| 4.3 Weitere erklärende Ansätze einer Beeinflussung der motorischen Genauigkeit unter Berücksichtigung der Reaktionszeit..... | 62 |
| 4.4 Implikationen einer Beeinflussung der motorischen Genauigkeit für die Arbeitswelt | 63 |
| 4.5 Ursachen für geschlechterspezifische Unterschiede der motorischen Genauigkeit | 64 |
| 4.6 Motorische Genauigkeit im zeitlichen Verlauf | 66 |
| 4.7 Effekt der Untersuchungsbedingungen auf die Reaktionszeiten..... | 67 |
| 4.8 Schlussfolgernde Einordnung der Erkenntnisse und Ausblick | 68 |
| 4.9 Limitationen dieser Arbeit | 69 |
| 4.9.1 Kollektiv der Versuchspersonen | 69 |
| 4.9.2 Vollfaktorielles Studiendesign der übergeordneten Gesamtstudie | 70 |
| 4.9.3 Kognitive Aufgabe der Dual-Task-Bedingung | 70 |
| 4.9.4 Motorische Aufgabe der Dual-Task-Bedingung | 70 |
| 4.9.5 Fehlende Messung der subjektiven Beanspruchung | 71 |
| 5 Zusammenfassung | 72 |

| | |
|---|----|
| Literaturverzeichnis..... | 74 |
| Anhang | 83 |
| Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift..... | 87 |
| Danksagung..... | 89 |

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messverlaufs von Tag 1 bis Tag 3. In der Eingewöhnungsphase erfolgte ein Probelauf der Dual-Task-Bedingung und in der darauffolgenden Messvorbereitung wurden die Teilnehmenden im Hinblick auf die zu erhebenden physiologischen Parameter vorbereitet (beispielsweise durch Anlage von EKG- oder EMG-Elektroden). Gefolgt wurde dies von Normalisierungs- und Maximalkraftmessungen entsprechenden Kennmuskeln zur Analyse deren Ermüdungsverhalten sowie einer Ruhemessung zur Etablierung einer Baseline des EKG-Signals. Daran anschließend ist die Messphase dargestellt, wobei in den grün hinterlegten Messabschnitten die Absolvierung der Dual-Task-Bedingungen erfolgte. Abgesehen von der Reihenfolge der dargestellten Dual-Task-Bedingungen unterschieden sich Tag 2 und Tag 3 nicht. Der Übungstag (Tag 1) diente in erster Linie einer Eingewöhnung der Teilnehmenden an die kommenden Messbedingungen24

Abbildung 2: Seitliche Ansicht der Stütze des dominanten Arms mit Kraftsensoren26

Abbildung 3: Seitlich-schräge Ansicht der Stütze des nicht-dominanten Arms mit Drucktaste27

Abbildung 4: Seitliche Ansicht der Institutseigenen Messvorrichtung mit Probanden ..28

Abbildung 5: Schematische beispielhafte Darstellung der kognitiven Aufgabe. Die Zahlen wurden jeweils für 2 Sekunden während der Versuche nacheinander über den vorgegebenen Kraftverlauf eingespielt. Die rot dargestellten Ziffern veranschaulichen die zu erkennende Zahl oder das Zahlenmuster im Rahmen der leichten (K_{leicht}) oder schweren (K_{schwer}) kognitiven Aufgabe.....31

Abbildung 6: Beispielhafter Kraftverlauf. Die rote Linie präsentiert die Kraftvorgabe, die gelben Punkte die aufgebrachte Kraft der isometrischen Dorsalextension des Handgelenks der Teilnehmenden. Die roten Punkte visualisieren ein kurzes Pausenintervall. Die "14" ist Teil der kognitiven Aufgabe. %MVC beschreibt die prozentuale Maximalkraft. Quelle: Studienunterlagen des IASV.....32

Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Messabschnitts über 30 Minuten.....33

Abbildung 8: Beispielhafter Kraftverlauf. Die weiße durchgehende Linie präsentiert die Kraftvorgabe, die Punkte die aufgebrachte Kraft während der Dorsalextension des Handgelenks. Der rote Kasten visualisiert beispielhaft die mittleren 3 Sekunden des Plateaus, in welchem die mittlere Abweichung der applizierten Kraft vom vorgegebenen Kraftniveau berechnet wurde. Quelle: Überarbeitet nach Studienunterlagen des IASV 35

Abbildung 9: Median (Med), oberes Quartil (Q3), unteres Quartil (Q1), Maximum (Max.) und Minimum (Min.) der Reaktionszeiten [ms] in Abhängigkeit der Messbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Reaktionszeit während Block 6 oder Block 1 einer Versuchsperson. Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. *** zeigt den signifikanten Unterschied gemäß Ergebnis der Mixed ANOVA an.....42

Abbildung 10: Entwicklung der Reaktionszeiten [ms] in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs einer Messung bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s, aufgeteilt nach den Bedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (nicht-logarithmierte

| | |
|---|----|
| Variable). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Reaktionszeit einer Versuchsperson während eines Blocks. Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen | 44 |
| Abbildung 11: Geschlechterabhängige Reaktionszeiten [ms] der 23 Frauen und 24 Männer, aufgeteilt nach den Bedingungen $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Reaktionszeit einer Versuchsperson während Block 6 oder Block 1. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen..... | 45 |
| Abbildung 12: Vergleichende Darstellung der mittleren Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftniveau als Kleinste-Quadrate-Mittelwerte (KQ-Mittelwerte) der Untergruppen nach dekadischer Logtransformation der Variable in Abhängigkeit von $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$, aufgeteilt nach Geschlecht (rot = männliche Teilnehmende, blau = weibliche Teilnehmende). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. | 49 |
| Abbildung 13: Bedingungsabhängige ($M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$) mittlere Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf der 23 Frauen und 24 Männer (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Abweichung einer Versuchsperson während Block 6 oder Block 1. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. ***, ** und * zeigen signifikante Unterschiede gemäß Ergebnis der Mixed ANOVA an..... | 51 |
| Abbildung 14: Mittlere Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf einer Messung in Abhängigkeit der Blöcke zu jeweils 4 min 15 s (nicht-logarithmierte Variable). Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Abweichung einer Versuchsperson während eines Blocks. Stichprobengröße $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen..... | 53 |
| Abbildung 15: Mittlere Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf einer Messung in Abhängigkeit der Blöcke zu jeweils 4 min 15 s, aufgeteilt nach den Bedingungen $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Abweichung einer Versuchsperson während eines Blocks. Stichprobengröße $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle | |

Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung
ausgeschlossen55

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Kombinationen der motorischen und kognitiven Aufgaben. $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ sind die Untersuchungsbedingungen, welche im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden | 30 |
| Tabelle 2: Teilnehmenden-Identifikatoren und Begründung des Ausschlusses | 39 |
| Tabelle 3: Studienpopulation. Versuchspersonenanzahl und anthropometrische Daten zu Alter, Gewicht, und Körpergröße. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Minimum und Maximum | 40 |
| Tabelle 4: Test der festen Effekte auf die Reaktionszeit, durchgeführt nach dekadischer Logtransformation der Variablen | 41 |
| Tabelle 5: Deskriptive Parameter der gemittelten individuellen Reaktionszeiten (RZ) der Versuchspersonen bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s über den zeitlichen Verlauf der Messung, aufgeteilt nach den Belastungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau) und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau). Nicht-logarithmierte Variable, Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$ | 43 |
| Tabelle 6: Deskriptive Parameter der gemittelten individuellen Reaktionszeiten (RZ) der Versuchspersonen, geschlechterabhängig nach Frauen (W) und Männern (M). Aufgeteilt nach den Belastungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau) und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau). Nicht-logarithmierte Variable, Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$ | 45 |
| Tabelle 7: Test der festen Effekte auf die motorische Genauigkeit, durchgeführt nach dekadischer Logtransformation der Variable | 47 |
| Tabelle 8: Tukey-HSD, Liste der sortierten Differenzen. Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Faktorstufen Untersuchungsbedingung ($M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$) sowie Geschlecht (männliche (M) und weibliche (W) Teilnehmende). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Stichprobengröße $N = 47$ | 48 |
| Tabelle 9: Deskriptive Parameter der motorischen Genauigkeit (MG), geschlechterabhängig nach 23 Frauen (W) und 24 Männern (M) und aufgeteilt nach den Belastungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau..... | 50 |
| Tabelle 10: Deskriptive Parameter der motorischen Genauigkeit (MG) in Form der individuellen mittleren Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf der Messung bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s. Stichprobengröße $N = 47$ (nicht-logarithmierte Variable)..... | 52 |
| Tabelle 11: Deskriptive Parameter der motorischen Genauigkeit (MG) in Form der individuellen mittleren Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf der Messung bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s, aufgeteilt nach den Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau) | |

und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau). Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$ (nicht-logarithmierte Variable)54

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| ACTH | Adrenocorticotropes Hormon |
| ANOVA | Varianzanalyse |
| BKK | Betriebskrankenkassen |
| BAuA | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin |
| CRH | Corticotropin-Releasing-Hormon |
| EKG | Elektrokardiogramm |
| EMG | Elektromyogramm |
| EWCS | Europäische Erhebung über die Arbeitsbedingungen |
| HRV | Herzratenvariabilität |
| IASV | Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung |
| IL | Interleukin |
| K _{leicht} | kognitiv leichte Aufgabenstellung |
| K _{schwer} | kognitiv schwere Aufgabenstellung |
| MG | motorische Genauigkeit |
| M _{leicht} | motorisch leichte Aufgabenstellung |
| M _{leicht} K _{leicht} | Kombination: motorisch leichte und kognitiv leichte Aufgabe |
| M _{leicht} K _{schwer} | Kombination: motorisch leichte und kognitiv schwere Aufgabenstellung |
| M _{schwer} | motorisch schwere Aufgabenstellung |
| MVC | Maximalkraft |
| PRP | Psychologische Refraktärperiode |
| RZ | Reaktionszeit |
| Tukey-HSD | Tukey's honest significance test |

1 Einleitung

1.1 Motivation

Psychischen Störungen und Krankheitsbildern wird eine erhebliche arbeitsmedizinische Bedeutung zugesprochen. In einer Analyse der abgeschlossenen Leistungsfälle für das Jahr 2020 von 4,4 Millionen beschäftigten Mitgliedern, ordnete der Gesundheitsreport 2021 der Betriebskrankenkassen (BKK) 17,5% der verzeichneten Arbeitsunfähigkeitstage psychischen Erkrankungen zu (Rennert et al., 2021). Während diese Krankheitsbilder somit lediglich 6,3% der Arbeitsunfähigkeitsfälle verursachten, standen diese bezogen auf die verursachten Krankheitstage an zweiter Stelle nach den muskuloskelettalen Erkrankungen (Rennert et al., 2021). Frauen waren hierbei häufiger als Männer von psychischen Störungen betroffen (Rennert et al., 2021). Zu einem gleichen Ergebnis kam eine Analyse der geschlechterspezifischen Arbeitsunfähigkeit nach Diagnosegruppen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) für das Jahr 2019 (Brenscheidt et al., 2021). Der geschlechterspezifische Unterschied bezüglich der Prävalenz psychischer Krankheitsbilder wurde weiterhin durch die Tatsache verdeutlicht, dass Frauen häufiger ambulante Therapieoptionen in Anspruch nahmen (M. Richter et al., 2021). Ebenfalls wurde im Zeitraum von 2016 bis 2020 eine Zunahme der durch psychische Erkrankungen verursachten Krankheitstage in Deutschland um 15,1% verzeichnet (Rennert et al., 2021).

Bei Untersuchungen der Relevanz psychischer Störungen unter Arbeitnehmenden im europäischen Ausland durch die Europäische Stiftung zur Verbesserung der Lebens- und Arbeitsbedingungen (Eurofound), zeigten sich in einer Befragung von 43850 Teilnehmenden ebenfalls potenzielle Risiken für die psychische Gesundheit. Hierbei wurde der WHO-5-Wohlbefindens-Index angewendet, welcher einen Fragebogen darstellt, in dem jeder Frage Zustimmungswerte von null bis fünf zugeordnet werden können; die Summe der Einzelwerte fungiert als Maß für das subjektive Wohlbefinden. Dabei wurden bei 6% der Befragten Hinweise auf eine Gefährdung des psychischen Wohlbefindens nachgewiesen (Parent-Thirion et al., 2017).

Die weitreichende gesundheitsökonomische Dimension von psychischen Krankheitsbildern wird durch die verursachten volkswirtschaftlichen Kosten

unterstrichen, welche sich für das Jahr 2015 laut statistischem Bundesamt auf 540€ je Einwohner der Bundesrepublik Deutschland bezifferte (Statistisches Bundesamt, 2015). Bezogen auf Produktionsausfallkosten, führten psychische Störungen 2019 laut BAuA zu Kosten in Höhe von 14,4 Milliarden Euro, womit diese Diagnosegruppe den Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems an zweiter Stelle folgte (Brenscheidt et al., 2021).

Vor dem Hintergrund sich wandelnder Arbeitsorganisationen und Arbeitsmitteln im Rahmen einer fortschreitenden Digitalisierung, wird dieser eine mögliche Assoziation mit der Entstehung psychischer Störungen zugesprochen. So wurde in einer durch die Universität St. Gallen durchgeführten Befragung von 8019 internetnutzenden Arbeitnehmenden der Bundesrepublik Deutschland, ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer zunehmenden Digitalisierung und emotionaler Erschöpfung beobachtet (Böhm et al., 2016). Hierbei spielte unter anderem die erhöhte Informationsmenge und damit verbundene Erwartungshaltung an die Beschäftigten, mehrere Aufgaben simultan zu erfüllen eine Rolle (Böhm et al., 2016). Diese Entwicklungen veranschaulichen die Relevanz weitergehender Untersuchungen möglicher Zusammenhänge einer fortgesetzten simultanen kognitiven und physischen Belastung mit Risiken für die psychische Gesundheit. Dies insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass gemäß der aktuellen Studienlage häufig nicht die Auswirkungen unterschiedlicher kognitiver Anforderungsniveaus auf physische Parameter in Dual-Task-Situationen miteinander verglichen oder auf Interaktionseffekte unterschiedlicher physischer und kognitiver Anforderungsniveaus überprüft wurde.

Die vorliegende Dissertation wurde als Teil eines Forschungsvorhabens des Instituts für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung (IASV) der Universität Tübingen angefertigt. Ziel der Studie war die Untersuchung einer möglichen Beanspruchungsreaktion der Versuchspersonen auf eine kombinierte physische und kognitive Belastung im Rahmen einer Dual-Task-Situation. Vor diesem Hintergrund wird in dieser Arbeit die motorische Präzision und kognitive Leistungsfähigkeit im Sinne einer explorativen Analyse untersucht. Die Versuche erfolgten unter Anwendung zweier verschiedener kognitiven Anforderungsniveaus. Ebenfalls sollen Rückschlüsse aus den

Ergebnissen dieser arbeitsphysiologischen Untersuchungen auf mögliche Folgen für die psychische Gesundheit von Arbeitnehmenden in der Praxis aufgezeigt werden.

1.2 Theoretischer Hintergrund

Im folgenden Kapitel werden zunächst bisherige Erkenntnisse über Hintergründe und mögliche Ursachen für das Auftreten von arbeitsplatzassoziierten psychischen Störungen sowie Stressaufkommens aufgezeigt. Daran anschließend wird die physiologische Stressreaktion sowie mögliche pathophysiologische Zusammenhänge zwischen Stress und dem Auftreten psychischer Störungen beleuchtet. Ebenfalls sollen mögliche Einflüsse von Stress auf die motorischen Funktionen aufgezeigt werden. Daraufhin werden Erkenntnisse über die Beeinflussung der Arbeitsqualität und motorischen Genauigkeit während einer physischen Aufgabe durch eine simultane kognitive Belastung thematisiert. Im Anschluss wird das Dual-Task-Paradigma, welches im Zentrum der experimentellen Untersuchung dieser Dissertation steht, sowie dessen wissenschaftliche Hintergrund erläutert; hierbei werden ebenfalls geschlechterspezifische Unterschiede der Mehrfachaufgaben-Performanz behandelt. Schließlich wird die Zielsetzung dieser Arbeit definiert.

1.2.1 Definition psychischer Belastung und Beanspruchung sowie die Bedeutung von Arbeitsbedingungsfaktoren

Im Auftrag der deutschen Bundesregierung erfolgte die Durchführung des Forschungsvorhabens „Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Wissenschaftliche Standortbestimmung“ durch die BAuA. Hierbei wurden in Metaanalysen mögliche Zusammenhänge von Arbeitsbedingungsfaktoren auf psychische Störungen und andere Facetten der Gesundheit untersucht (Rothe et al., 2017).

Die Auswahl der Arbeitsbedingungsfaktoren erfolgte nach arbeitswissenschaftlichen Gesichtspunkten und orientierte sich an theoretischen Modellen wie dem „*Job Demands-Resources Model*“, wonach sich Faktoren der Arbeitsbedingungen sowohl in Arbeitsanforderungen wie auch -ressourcen unterteilen (Demerouti et al., 2001). Während unter bestimmten Umständen Arbeitsanforderungen als Stressoren fungieren und das Auftreten negativer psychischer Folgen bedingen können, werden Ressourcen als Faktoren klassifiziert, welche die Folgen von Stressoren abschwächen und die

Arbeitsmotivation positiv beeinflussen können (Demerouti et al., 2012; Demerouti et al., 2001).

Die unterschiedlichen Arbeitsbedingungsfaktoren, welche im Rahmen von Arbeitsverhältnissen bestehen und auf Arbeitnehmende einwirken, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts der BAuA ebenfalls in Stressoren wie auch Ressourcen eingeteilt (Rothe et al., 2017). Die Arbeitsbedingungsfaktoren wirken dementsprechend als psychische Belastungen auf Arbeitnehmende ein. Der Definition gemäß der DIN EN ISO 10075-1 folgend, werden psychische Belastungen als sämtliche Faktoren verstanden, welche von extern auf ein Individuum einwirken (DIN EN ISO 10075-1, 2000). Somit sind psychische Belastungen zunächst als neutrale beeinflussende Größe anzusehen und lösen in einer Person eine individuelle psychische Beanspruchung aus (Joiko et al., 2010). Eine psychische Beanspruchung gilt hierbei als Reaktion eines Individuums auf eine psychische Belastung unter Berücksichtigung der eigenen Ressourcen und Voraussetzungen (DIN EN ISO 10075-1, 2000). In Abhängigkeit der eigenen Voraussetzungen kann eine psychische Beanspruchung dabei sowohl positive wie auch negative gesundheitliche Folgen nach sich ziehen (Joiko et al., 2010).

1.2.2 Psychische Störungen und Assoziationen zu Arbeitsbedingungsfaktoren

Laut Verfassung der Weltgesundheitsorganisation von 1946 wird Gesundheit nicht lediglich als das Fehlen von Krankheit, sondern als ein Zustand des Wohlergehens in all seinen Facetten verstanden (Weltgesundheitsorganisation, 2006). Dieser ganzheitlichen Definition folgend, spielen psychische Störungen eine bedeutende Rolle in diesem Gesundheitsverständnis. Während ein psychisch gesunder Mensch in der Lage ist, die üblichen Hürden des Lebens zu bestehen und einen Beitrag in seinem sozialen Gefüge zu leisten, werden pathologische Gedanken oder auch Handlungen als psychische Störungen und Einschränkung der Gesundheit definiert (Weltgesundheitsorganisation, 2019). Orientierend an diesem Gesundheitsbegriff erfolgte die Durchführung des bereits genannten Forschungsvorhabens „Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Wissenschaftliche Standortbestimmung“. Neben der Untersuchung potenzieller Korrelationen zwischen Arbeitsbedingungsfaktoren und psychischen Störungen, wurde hierbei ebenfalls durch eine computergestützte Telefonbefragung von 18224 abhängig

Beschäftigten die Prävalenz und Bedeutung dieser Faktoren beleuchtet (Rothe et al., 2017).

Einer dieser Arbeitsbedingungsfaktoren wurde im Forschungsprojekt der BAuA als „*Arbeitsintensität*“ klassifiziert, welcher gemäß der Definition nach Trägner (2006) als das Resultat aus einer Kombination der Arbeitsqualität, Arbeitsquantität und Arbeitszeit verstanden wird (Trägner, 2006). Im Rahmen der Befragung über die Verbreitung und Bedeutung dieses Arbeitsbedingungsfaktors berichteten unter anderem 67% der Arbeitnehmenden, dass die Anforderung an sie bestünde, mehrere Aufgaben gleichzeitig vollbringen zu müssen. Weiterhin berichteten 51% häufig unter Termin- und Leistungsdruck ihrer Tätigkeit nachgehen zu müssen (Rothe et al., 2017). In einer Metaanalyse möglicher Zusammenhänge zwischen psychischen Beanspruchungsfolgen und der Arbeitsintensität schlossen Stab und Schulz-Dadaczynski (2017), dass insbesondere die Arbeitsquantität durch eine Korrelation mit dem Auftreten von emotionaler Erschöpfung, Depression und Angstzuständen als ein Stressor einen negativen Einfluss auf die psychische Gesundheit haben könnte (Stab & Schulz-Dadaczynski, 2017). Die gesundheitlichen Risiken der Arbeitsintensität ergaben sich auch aus dem Gefährdungspotenzial der Arbeitsexposition, da eine beträchtliche Anzahl von Arbeitnehmenden einen signifikanten Anteil ihres Alltags am Arbeitsplatz verbrachten: So betrug die wöchentliche Arbeitszeit von Vollzeitbeschäftigten durchschnittlich 43,5 Stunden, wobei 17% der Arbeitnehmenden auch 48 Stunden und länger pro Woche in ihrem Arbeitsumfeld verbrachten (Wöhrmann et al., 2016). Dabei konnte eine Assoziation zwischen einer Verschlechterung der (auch psychischen) Gesundheit mit zunehmender Arbeitszeit beobachtet werden (Wöhrmann et al., 2016). Aggravierend kam hinzu, dass durch die Zunahme von flexiblen Arbeitszeitmodellen und Digitalisierung, die Trennschärfe zwischen Arbeits- und Ruhezeiten zunehmend verschwamm (Rothe et al., 2017).

1.2.3 Psychische Störungen und arbeitsplatzassoziiertes Stresserlebnis

Unter Berücksichtigung von 37 Indikatoren wird in regelmäßigen Abständen im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz ein Digitalisierungsindex berechnet, welcher den aktuellen Stand der Digitalisierung der deutschen Wirtschaft darstellt. Das Gutachten zeigte für das Jahr 2021 im Vergleich zu 2020 eine erneute

Zunahme des Digitalisierungsindex und damit eine voranschreitende Digitalisierung der deutschen Wirtschaft an (Büchel et al., 2022). Für diese sich wandelnde Arbeitsorganisation sowie veränderten Arbeitsmitteln und daraus resultierenden neuen Arbeitsbedingungen beobachteten Studien eine Assoziation mit dem Auftreten von Stress und psychischen Störungen.

Der Begriff „*Stress*“ erfuhr bereits unterschiedliche Definitionen. Im arbeitsmedizinischen Kontext kann Stress hierbei als ein, von einem Individuum als kritisch und unabwendbares, Missverhältnis zwischen einer Arbeitsanforderung und eigenem Potenzial verstanden werden (G. Richter, 2000). Dieser Begriffserklärung folgend, gilt Stress als eine Form einer psychischen Fehlbeanspruchung (Joiko et al., 2010).

Neben der bereits genannten Arbeit der Universität St. Gallen (vgl. 1.1), erfolgte in einer weiteren Untersuchung die Evaluation der Stressprävalenz von Angestellten in modernen Informationsdienstleistern (Tarafdar et al., 2011). Unter anderem wurde Multitasking und eine zunehmende Informationsüberfülle, welche mit der technologischen Entwicklung einhergingen, mit dem Auftreten von Stress in Zusammenhang gebracht (Tarafdar et al., 2011). In einer anderen Arbeit erfolgte die Befragung von 1072 Angestellten aus Branchen der Informations- und Kommunikationstechnologie anhand der Anwendung mehrerer validierter Skalen und es zeigte sich auch hier ein Zusammenhang zwischen bestimmten Aspekten ihres Berufes und einem Stresserleben, welches sich zum Beispiel in Form von Angstzuständen oder Erschöpfung äußerte (Salanova et al., 2013). Dies ist insofern von Bedeutung, als dass Untersuchungen eine Korrelation zwischen dem arbeitsplatzassoziierten Stressaufkommen und negativen Folgen für die psychische Gesundheit beobachteten (Maksymenko et al., 2021; Moreno Fortes et al., 2020). Hinweise, dass diese Assoziation nicht nur für wohlhabende Staaten des wirtschaftlichen Nordens gilt, zeigte dabei eine kulturkreisübergreifende Studie von Moreno Fortes et al. (2020). Unter Einbezug von 440 Arbeitnehmenden aus China und Kap Verde, konnte auch in dieser Arbeit ein vergleichbarer Zusammenhang dargestellt werden (Moreno Fortes et al., 2020). Ebenfalls wurde am Beispiel depressiver Patienten beobachtet, dass eine Assoziation zwischen dem Auftreten dieser Störung und der Prävalenz eines zuvor, unter anderen mit der Arbeit in Zusammenhang stehenden, Stressereignis vorlag (Lueboonthavatchai, 2009). Diese Assoziationen zwischen dem Auftreten von Stress und

der Prävalenz unterschiedlicher psychischer Störungen wurden nicht nur im Rahmen von Arbeit und Beruf, sondern ebenfalls in anderen Lebensbereichen beobachtet (Andrews & Wilding, 2004; Leppink et al., 2016; Lueboonthavatchai, 2009).

In einer Analyse der Versichertendaten von 79,4% der BKK-Versicherten (entsprechend 13,2% der gesetzlich Krankenversicherten der Bundesrepublik Deutschland) im BKK Gesundheitsreport 2017, gaben 41,4% aller befragten Beschäftigten an, durch die Digitalisierung mehrfache Aufgaben simultan erfüllen zu müssen (M. Richter et al., 2017). Als weitere Folge der Digitalisierung berichteten ebenfalls 23% der Befragten, sich in ihrer psychischen Gesundheit eingeschränkt zu fühlen (M. Richter et al., 2017). Neben diesen potenziellen Risiken der Digitalisierung zeigten andere Untersuchungen auch mögliche Vorteile für Angestellte auf. So führte eine im Rahmen der Digitalisierung einhergehenden größeren Autonomie der Angestellten wie auch ein verbesserter Informationsfluss zu einer größeren Mitarbeiterzufriedenheit (Bontis et al., 2011). In einer finnischen Arbeit wurden ebenfalls Risiken und Chancen der Digitalisierung aus der Sichtweise von Angestellten untersucht. Als belastend wurden hierbei bestimmte Faktoren, wie die Erwartung ständig erreichbar zu sein, der Umgang mit einem Informationsüberschuss und Zeitmanagement genannt, während eine größere Autonomie, effizienter Informationsfluss sowie die örtliche und zeitliche Unabhängigkeit als Chancen begriffen wurden (Okkonen et al., 2019).

1.2.4 Physiologische Grundlagen einer Stressreaktion

Grundsätzlich sind Systeme bestrebt eine innere Homöostase zu erhalten, wobei Stress unterschiedlicher Genese entsteht, wenn ein Ungleichgewicht dieser Selbstregulation droht (Chrousos, 2009). Über unterschiedliche Mechanismen wird daher die Bewahrung und Wiederherstellung dieser Homöostase vermittelt. Stress, welcher aus sozialen Interaktionen resultiert, löst insbesondere im dorsalen anterioren cingulären Kortex sowie der anterioren Insula des zentralen Nervensystems eine Aktivität aus (Slavich et al., 2010). Hierbei handelt es sich um Hirnareale, welchen eine Bedeutung in der Verarbeitung von Emotionen zugesprochen werden (Allman et al., 2001; Phan et al., 2002). Aus Untersuchungen an Makaken sind anatomische Verbindungen der genannten Hirnareale sowohl zum Hirnstamm (An et al., 1998) wie auch der Hypothalamus-Hypophysen-Achse bekannt (Öngür et al., 1998). Unter anderem über diese

Verbindungen kann die adaptive Antwort des Körpers auf einen äußeren Stressor über endokrinologische Mechanismen und das vegetative Nervensystem formuliert werden.

Das vegetative Nervensystem lässt sich dabei in einen sympathischen und parasympathischen Anteil unterteilen (Thayer & Sternberg, 2006). Hierbei sind die beiden Anteile des vegetativen Nervensystems in der Stressreaktion unterschiedlich stark involviert: In einer vereinfachten und modellhaften Vorstellung kann davon ausgegangen werden, dass eine Aktivierung des Sympathikus sowie eine Hemmung des Parasympathikus erfolgt (Thayer & Sternberg, 2006; Ziegler, 2004). Durch diese physiologischen Veränderungen wird ein Individuum in die Lage versetzt adäquat in einer Stresssituation zu reagieren. Als Beispiele für diese situative Adaption sei die Anpassung der Herzfrequenz (Rivolta et al., 2014), des Blutdrucks (Grassi et al., 1999), der Darmmotilität (Ziegler, 2004) oder die Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit (Jamieson et al., 2010) genannt. Ebenfalls ist insbesondere das sympathische Nervensystem durch Stimulation der Produktion von proinflammatorischen Interleukinen (IL) an der Immunantwort beteiligt (Cole et al., 2010; Grebe et al., 2010).

Daneben finden im Zuge einer Stressreaktion ebenfalls endokrinologische Vorgänge statt; hierbei nimmt die Hypothalamus-Hypophysen-Achse eine zentrale Rolle ein. Im Folgenden soll die Funktionsweise dieser Hormon-Achse skizziert werden. Ausgehend von Informationen übergeordneter Hirnzentren sezernieren neurosekretorische Zellen des Hypothalamus unter anderem das Corticotropin-Releasing-Hormon (CRH) (Deutzmann, 2008). Dieses wird über Blutgefäße in die Adenohypophyse transportiert, wo es die Produktion des Adrenocorticotropen Hormons (ACTH) stimuliert. ACTH gelangt von dort über den Blutstrom in die Nebennierenrinde und regt dort die Produktion von Cortisol an, welches das relevanteste und potenteste Glucocorticoid des Menschen darstellt (Deutzmann, 2008). Das Cortisol selbst hemmt nun die Bildung von ACTH und CRH im Sinne eines negativen Feedback-Mechanismus (Deutzmann, 2008).

Die Glucocorticoide erfüllen im menschlichen Körper im Rahmen einer Stressreaktion eine Reihe von Funktionen: Als Beispiele seien die positiv inotrope Wirkung am Herzen durch Verstärkung der Katecholamin-Wirkung oder die Stimulation der Gluconeogenese genannt (Deutzmann, 2008).

1.2.5 Pathophysiologische Zusammenhänge zwischen Stress und psychischen Störungen

Es existieren unterschiedliche pathophysiologische erklärende Ansätze für den beobachteten Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Stress und psychischen Störungen. Slavich und Irwin (2014) formulierten in ihrer Übersichtsarbeit eine „*social transduction theory of depression*“ als eine mögliche pathophysiologische Grundlage für den Zusammenhang zwischen einer andauernden Stressexposition und dem Entstehen einer psychischen Störung in Form von Depression (Slavich & Irwin, 2014). Als Grundlage hierfür diente unter anderem der mehrfach beobachtete Anstieg von Entzündungsmarkern in Zusammenhang mit Stresssituationen. So wurde in einer Metanalyse von 30 Studien mit insgesamt 1749 Teilnehmenden, über eine Assoziation zwischen einem Anstieg von Entzündungsmarkern und einer Exposition von Studienteilnehmenden gegenüber sozialen Stresssituationen berichtet (Steptoe et al., 2007). Auch nachdem Versuchspersonen einer sozialen Stresssituation ausgesetzt wurden, konnte ein Anstieg entzündungsfördernder Zytokine in Speichelproben beobachtet werden (Slavich et al., 2010). Diese Erkenntnisse sind insofern von Bedeutung, als dass nach Applikation entzündungsfördernder Zytokine im Rahmen mehrerer Tierversuche beobachtet wurde, wie über unterschiedliche Mechanismen die Bildung und Konzentration stimmungsmulierender Botenstoffe wie Dopamin, Norepinephrin und Serotonin im Gehirn beeinflusst wurde (Alonso et al., 1993; Bianchi et al., 1997; Sato et al., 2006). Ebenfalls wurde nach Verabreichung von proinflammatorischen Zytokinen nach einiger Zeit pathologische Verhaltensmuster, welche einer depressiven Symptomatik ähnelten, beobachtet (Segall & Crnic, 1990). Auf Basis dieser Observationen führt gemäß der „*social transduction theory of depression*“ eine Aktivierung des Immunsystems über die Hypothalamus-Hypophysen-Achse und des sympathischen Nervensystems zu einer Produktion entzündungsfördernder Zytokine, welche das zentrale Nervensystem beeinflussen und zum Auftreten einer depressiven Symptomatik führten könnten (Slavich & Irwin, 2014).

Ein anderes und universelleres Modell, der „*cognitive activation theory of stress*“, beschreibt basierend auf Versuchen an Menschen und Tieren, wie eine dauerhafte Stressreaktion zum Auftreten stress-assoziierten Erkrankungen führen kann (Ursin & Eriksen, 2004). Demnach führt die Erkenntnis eines Individuums, wonach keine zur

Verfügung stehende Maßnahme den Ausgang einer stressbehafteten Situation beeinflussen kann, sowohl zu einer Hilfs- wie auch Hoffnungslosigkeit; beide Gemütszustände spielen eine Rolle in Erklärungsmodellen für Depressionen und Angststörungen (Ursin & Eriksen, 2004). Einen weiteren erklärenden Ansatz bezüglich der Assoziation von Stress und dem Auftreten von Erkrankungen führten Brosschot et al. (2006) in ihrer Übersichtsarbeit nach Sichtung von 24 Studien in Form einer „*perseverative cognition hypothesis*“ ein (Brosschot et al., 2006). Hierbei wird weniger die eigentliche Stressreaktion als zentral angesehen, sondern eher von einem Zusammenhang zwischen Perseveration in Form von Grübeln und Gedankenkreisen nach einem Stressereignis und dem Auftreten von Erkrankungen ausgegangen (Brosschot et al., 2006).

1.2.6 Beeinflussung der motorischen Fertigkeiten durch Stress

Bereits in einer vergleichenden Untersuchung via Elektromyogramm (EMG) aus dem Jahre 1951 konnte eine Beeinflussung der muskulären Aktivität in Form einer erhöhten Muskelspannung unter Stresssituationen beobachtet werden (Malmo et al., 1951). In einer Reihe anderer Studien wurde ebenfalls eine Assoziation zwischen einer akuten oder chronischen Stressexposition und einer qualitativen Beeinflussung unterschiedlicher motorischer Bewegungsausführungen beobachtet.

So wurden in vergleichenden Tierversuchen Mäuse unterschiedlichen Stressparadigmen ausgesetzt oder den Tieren in regelmäßigen Abständen Corticosteron verabreicht (Metz et al., 2005). In Analogie zum Cortisol des Menschen gilt Corticosteron als der wichtigste Vertreter der Glucocorticoide bei Nagetieren (Deutzmann, 2008). Sowohl eine akute wie auch chronische Stressexposition (mittels Immobilisation oder Schwimmübungen) der Tiere sowie die regelmäßige Verabreichung von Corticosteron zeigten eine Korrelation zu einer Verschlechterung der Genauigkeit von trainierten Bewegungsabläufen (Metz et al., 2005). Weitere Hinweise auf eine Beeinflussung der motorischen Performanz durch chronische Stressexposition beobachteten Kirkland et al. (2012). An Ratten wurde sowohl via chirurgischer Devaskularisation ein Schlaganfall verursacht, wie auch in regelmäßigen Abständen durch Immobilisation der Tiere Stress induziert oder Corticosteron verabreicht (Kirkland et al., 2012). In Abhängigkeit des Aufgabenparadigmas zeigten sich hier unterschiedliche Resultate: Es wurde beobachtet,

dass die Einschränkungen der feinmotorischen Fertigkeiten, welche durch einen Schlaganfall verursacht wurden, durch chronischen Stress oder der regelmäßigen Gabe von Corticosteron entweder weiter verschlechtert oder durch die Entwicklung von Kompensationsmechanismen verbessert wurden (Kirkland et al., 2012). In einer anderen Studie wurden 18 professionelle Pianistinnen und Pianisten einer sozialen Stresssituation ausgesetzt, in welcher sie vor einer Jury musizieren mussten; die Performanz jeder Versuchsperson wurde mit dem Musizieren unter Übungsbedingungen ohne Anwesende verglichen (Yoshie et al., 2009). Die Stressinduktion unter erstgenannter Bedingung wurde hierbei unter anderem mittels Evaluation der Herzfrequenz und Schweißrate sowie einer Selbstauskunft der Teilnehmenden bestätigt. Es konnte dabei eine signifikante qualitative Verschlechterung technischer Aspekte des Klavierspiels im Rahmen der Stresssituation beobachtet werden (Yoshie et al., 2009).

In einem Review formulierten die Autorinnen und Autoren in einer Schlussfolgerung eine pathophysiologische Erklärung für beobachtete Korrelationen zwischen dem Erleben von Stress und einer Veränderung der motorischen Fertigkeiten. Hierbei gingen diese am ehesten von einer zentralen neurologischen Beeinflussung anstatt einer peripheren direkten Wechselwirkung von Stress mit der motorischen Einheit und Muskulatur aus (Anderson et al., 2019). Hierfür sprach zunächst die Erkenntnis, dass bei Untersuchungen des zentralen Nervensystems von Ratten Glucocorticoidrezeptoren in Arealen nachgewiesen wurden, welche in der Kontrolle der Motorik involviert sind (R. Ahima et al., 1991; R. S. Ahima & Harlan, 1990) und somit ein direkter Einfluss durch Glucocorticoide möglich sein könnte.

Für eine Beeinflussung der Bewegungsausführung durch Stress über das zentrale Nervensystem spricht ebenfalls die Tatsache, dass Einbußen der motorischen Performanz nach cerebralen Läsionen durch Stressexposition aggravieren (Faraji et al., 2011; Kirkland et al., 2012; Smith et al., 2008; Zucchi et al., 2010) und sich auch die Wiederherstellung der motorischen Fähigkeiten verzögert (Kirkland et al., 2012; Zucchi et al., 2010). Neben der bereits erwähnten Studie von Kirkland et al. sei als weiteres Beispiel der Tierversuch von Zucchi et al. genannt, welche ebenfalls eine Läsion des Motorkortex herbeiführten (Zucchi et al., 2010). Mittels Stressexposition wurde hierbei eine weitergehende Verschlechterung der motorischen Ausführung einer Greifbewegung beobachtet und in der histologischen Untersuchung konnte eine verstärkte Aktivierung

der zentralen Glucocorticoidrezeptoren gezeigt werden (Zucchi et al., 2010). Neben einer direkten Einflussnahme von Stress auf die Motorik durch Glucocorticoidrezeptoren des zentralen Nervensystems postulierten eine Reihe von Untersuchungen eine Beeinflussung der Motorik durch eine stress-assoziierte Veränderung von Emotion und Affekt. So wurde in der erwähnten Arbeit von Metz et al. (2005) durch Verabreichung von Diazepam sowohl ein Rückgang des stressinduzierten Corticosteronspiegels wie auch eine erneute Verbesserung der Greiffähigkeit erreicht, wobei dies dem anxiolytischen Effekt des Benzodiazepins zugeschrieben wurde (Metz et al., 2005). Vorhergehend zu diesen Versuchen führte die Arbeitsgruppe Metz Experimente an Ratten durch, bei welchen zuvor ein Dopaminmangel künstlich herbeigeführt wurde. Hierbei waren motorische Greifübungen sowohl von geschädigten wie auch gesunden Tieren zu absolvieren, nachdem in unterschiedlicher Konzentration Alkohol verabreicht wurde (Metz et al., 2003). Gesunde Tiere zeigten nach Alkoholkonsum in bestimmten Konzentrationen bessere Ergebnisse in der Greifübung, was unter anderem auf die angstlösende Wirkung des Alkohols zurückgeführt wurde (Metz et al., 2003). In einer anderen Arbeit von Maki und McIlroy (1996) wurde die Haltungsstabilität von 39 Versuchspersonen während simultaner Bearbeitung mehrerer kognitiver Aufgaben evaluiert. Ziel der kognitiven Aufgaben war dabei die Auslösung von Stress, wobei die erfolgreiche Stressauslösung durch Ableitung der Hautleiteigenschaften und Auswertung von Fragebögen bestätigt wurde (Maki & McIlroy, 1996). Die Bearbeitung der unterschiedlichen kognitiven Aufgaben durch die Versuchspersonen führte zu einer Gleichgewichtsstörung, welche auf Stress und damit verbundene Erregung und Unruhe zurückgeführt wurde (Maki & McIlroy, 1996). In Tierversuchen mit Mäusen einer Zuchtlinie mit angehobenen Angstniveau konnte ebenfalls eine schlechtere Balance bei Gleichgewichtsaufgaben beobachtet werden, wobei sich auch hier die motorische Aufgabenausführung nach Verabreichung von Diazepam verbesserte (Lepicard et al., 2003).

Die Modulation der Konzentration unterschiedlicher Hormone in den Bereichen des zentralen Nervensystems, welche eine Rolle in der übergeordneten Kontrolle der Motorik spielen, wurde ebenfalls als eine Erklärung für den observierten Zusammenhang zwischen Stress und einer Veränderung der Bewegungsausführung in Betracht gezogen (Anderson et al., 2019). Als Beispiel seien das Hormon Dopamin und Erkenntnisse aus

dem Bereich des Forschungsfelds des Parkinson-Syndroms genannt. Hier konnten weitere Einschränkungen der motorischen Fähigkeiten sowie ein erhöhter neuronaler Verlust im Bereich der Substantia nigra durch regelmäßige Stressexposition beobachtet werden (Smith et al., 2008).

1.2.7 Beeinflussung der motorischen Fertigkeiten durch simultane kognitive Beanspruchung

In einer Beobachtungsstudie zeigte sich, dass Chirurgen zwar erwartungsgemäß den Großteil ihrer Tätigkeitszeit in Operationssälen in die direkte Patientenversorgung investieren, allerdings war ihre Aufmerksamkeit während 53,8% des beobachteten Zeitumfangs in Multitasking-Tätigkeiten gebunden (Göras et al., 2019). Die zusätzliche kognitive Beanspruchung resultierte hierbei beispielsweise aus der gleichzeitigen Betreuung von Studierenden, Teamkommunikation und der Überwachung des Patienten (Göras et al., 2019). Diese Beobachtung ist insbesondere aufgrund von Erkenntnissen anderer Arbeitsgruppen bedeutsam, wonach eine simultane kognitive Belastung unterschiedliche Parameter der chirurgischen Tätigkeit beeinflussen und Implikationen für die Patientensicherheit aufweisen kann (Gao et al., 2019; Goodell et al., 2006; Murji et al., 2016). So konnte bei einer Untersuchung an 24 Chirurgen beobachtet werden, dass sich bei gleichzeitiger Bearbeitung von Rechenaufgaben die motorische Genauigkeit der Bewegungsausführungen während einer simulierten laparoskopischen Operation signifikant reduzierte (Gao et al., 2019). Eine zusätzliche kognitive Beanspruchung in Form einer simultanen Rechenaufgabe führten in anderen Arbeiten neben einer negativen Beeinflussung der Motorik auch zu einer verlängerten Operationsdauer (Goodell et al., 2006). Ebenfalls sank die Wahrscheinlichkeit einen chirurgischen Eingriff in der zugewiesenen Zeit zu beenden, wenn eine parallele kognitive Ablenkung durch Pager und Telefonate erfolgte (Murji et al., 2016).

Insgesamt demonstrieren die genannten Forschungsarbeiten der bisherigen Kapitel vielschichtige Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Stress und Einschränkungen der psychischen Gesundheit sowie der motorischen Bewegungsausführung. Insbesondere mit Blick auf eine sich verändernde Arbeitswelt wurde auch die arbeitsmedizinische Relevanz psychischer Störungen sowie das

Expositionspotential bestimmter Arbeitsbedingungen beleuchtet. Ebenfalls wurde die Beeinflussung der Arbeitsqualität und motorischen Genauigkeit durch eine simultane kognitive Beanspruchung am Beispiel der chirurgischen Tätigkeit sowie daraus resultierende Implikationen für die Patientensicherheit dargelegt. Für eine weitergehende Evaluation dieser Problemstellungen im Rahmen arbeitsphysiologischer Untersuchungen eignet sich unter anderem das Dual-Task-Paradigma. Dessen Methodik und wissenschaftlicher Hintergrund sollen im Folgenden näher beleuchtet werden.

1.2.8 Wissenschaftlicher Hintergrund des Dual-Task-Paradigmas

Einer Definition von Koch et al. (2018) folgend, wird unter dem Begriff „*Multitasking*“ die gleichzeitige kognitive Auseinandersetzung einer Person mit mindestens zwei verschiedenen Aufgaben verstanden (Koch et al., 2018). Sowohl die kognitive Psychologie wie auch andere wissenschaftliche Disziplinen beschäftigten sich in ihren Untersuchungen mit unterschiedlichen Facetten des Multitaskings und hierbei insbesondere mit dem „*Dual-Task-Paradigma*“ sowie „*Task-Switching-Paradigma*“ (Koch et al., 2018).

Bei gleichzeitiger Ausführung einer kognitiven und motorischen Aufgabe konnte in mehreren Studien wiederholt eine Beeinflussung der qualitativen Aufgabenausführung gezeigt werden, wenn diese mit einer Ausführung ohne doppelte Beanspruchung (im Sinne einer „*Single-Task*“) verglichen wurde (Brustio et al., 2017; Mehta & Agnew, 2011; Temprado et al., 2015; Tsang & Chan, 2018). So beobachteten beispielsweise Temprado et al. (2015) in ihren Untersuchungen, dass die Reaktionszeit im Rahmen einer kognitiven Aufgabe sich signifikant verlängerte, wenn diese mit einer motorischen Aufgabe kombiniert wurde (Temprado et al., 2015). Bei solchen Untersuchungen unter dem „*Dual-Task-Paradigma*“ als eine Form des Multitaskings, wird von einer Versuchsperson gefordert zwei unterschiedliche Aufgaben simultan zu bearbeiten und die hierbei ermittelte Performanz wird mit der Ausführung unter einer „*Single-Task*“-Situation verglichen; die Differenz der Performanz zwischen beiden Untersuchungsbedingungen kann als Dual-Task-Interferenz interpretiert werden (Koch et al., 2018). Neben dieser klassischen Form eines Dual-Task-Experiments existiert ebenfalls das Paradigma der psychologischen Refraktärperiode („*PRP-Paradigma*“).

Hierbei werden die Aufgaben nicht simultan, sondern zwei oder mehr Aufgaben werden mit unterschiedlichen zeitlichen Überlappungen dargestellt (Koch et al., 2018).

In den vergangenen Jahrzehnten wurden multiple Modelle postuliert, um festgestellte Unterschiede in der Ausführung zwischen einer Dual-Task- und Single-Task-Situation zu erklären. So formulierte bereits Kahneman (1973) vor über 40 Jahren in seinem Werk „*Attention and Effort*“ eine Kapazitätstheorie, nach welcher die menschliche Aufmerksamkeit und Kapazität kognitive Arbeit zu verrichten endlich sei (Kahneman, 1973). Dieser Theorie folgend, kann die Verteilung und Zuweisung dieser allgemeinen und begrenzten Kapazität durch eine Person bei Ausführung mehrere Aktivitäten relativ frei erfolgen. In der Folge ist auf diese Weise die Realisierung paralleler kognitiver Verarbeitungsprozesse möglich. Zu einer Einschränkung der Performanz kommt es, wenn die geforderten Ressourcen der simultanen Aufgabenstellung die zur Verfügung stehende Kapazität und Aufmerksamkeit übersteigen (Kahneman, 1973). Als auf dieser Kapazitätstheorie aufbauend wird die multiple Ressourcentheorie („*multiple resource theory*“) nach Wickens (2008) angesehen. Gemäß dieser Theorie gingen initial drei und später in Folge einer Erweiterung vier Ressourcen mit jeweils unterschiedlichen Ebenen in die Informationsverarbeitung ein: Der visuelle Kanal (fokussiertes oder peripheres Sehen), die beanspruchte Sinnesmodalität (optische oder akustische Wahrnehmung), die aktuelle Phase der Informationsverarbeitung (kognitive Verarbeitung und Wahrnehmung einer Information oder Formulierung einer Antwort und Handlung) und schließlich ob die Informationsvermittlung über räumliche oder verbale Prozesse erfolgt (Wickens, 2008). Das Ausmaß der Einschränkung bei simultaner Ausführung mehrerer Aufgaben hängt dementsprechend davon ab, wie intensiv eine Ressource von mehreren Aufgaben gleichzeitig beansprucht wird. Beanspruchen beispielsweise zwei Aufgabenstellungen unterschiedliche Ebenen einer Ressource, ist mit einer geringeren negativen Beeinflussung der parallelen Verarbeitung zu rechnen (Wickens, 2008).

Eine Alternative zu den genannten Kapazitätstheorien wurde durch Broadbent (1958) formuliert, welcher in der Informationsverarbeitung von einem zentralen verarbeitenden Kanal ausging. Dieser fungiert bei Auftreten einer parallelen Aufgabenstellung als ein Aufmerksamkeitsfilter, da die Verarbeitung eines Stimulus nur in einem Kanal erfolgt, während die Auseinandersetzung mit multiplen Stimuli über mehrere parallele Kanäle

nicht möglich ist. Dies bedingt bei geforderter simultaner Bearbeitung von mehreren Aufgaben einen Wechsel zwischen Verarbeitungskanälen (Broadbent, 1958). Vergleichbar zur Theorie von Broadbent, wurde bei Dual-Task-Experimenten unter Anwendung des PRP-Paradigmas das zentrale Engpass-Modell („*central bottleneck modell*“) entwickelt (Pashler, 1984, 1994). Gemäß dem zentralen Engpass-Modell, erfolgt die Informationsverarbeitung eines äußeren Stimulus in einer schematischen Reihenfolge in Phasen bestehend aus Reizwahrnehmung, Antwortauswahl und Antwortausführung (Pashler, 1994). Wirken nun im Rahmen einer Dual-Task mehrere Stimuli unterschiedlicher Aufgaben zeitgleich auf eine Versuchsperson ein, so können die verarbeitenden Prozesse der Reizwahrnehmung und Antwortausführung mehrerer Aufgaben zwar überlappen und parallel ablaufen, jedoch führt ein zentraler struktureller Engpass zu einer Einbuße in der Performanz. Dieser „*bottleneck*“ entsteht im Rahmen der kapazitätslimitierten Antwortauswahl, da diese auf unterschiedlichen Stimuli nicht parallel ablaufen kann (Pashler, 1994). Ein „*bottleneck*“ stellt somit einen kognitiven Prozess dar, welcher erst im Rahmen einer zweiten Aufgabe durchlaufen werden kann, wenn er als Prozess in einer ersten Aufgabe bereits durchlaufen wurde (Pashler, 1994).

Im Gegensatz zum Dual-Task-Paradigma wird unter Task-Switching eine Form des Multitaskings verstanden, bei der mindestens zwei andersartige Aufgaben repetitiv und sich gegenseitig abwechselnd bearbeitet werden müssen (Koch et al., 2018). In der Auswertung kann dann beispielsweise das Ergebnis der einfachen Wiederholung einer einzelnen Aufgabe (hier somit die Single-Task-Bedingung darstellend) mit der Performanz während Bearbeitung der sich wiederholenden und abwechselnden Aufgaben verglichen werden (Koch & Brass, 2013).

Die aktuelle Studienlage berücksichtigend, wurde in Untersuchungen einer möglichen Auswirkung kognitiver Belastungen auf motorische Parameter im Rahmen einer Dual-Task-Bedingung, häufig lediglich ein kognitives Anforderungsniveau gegen eine Single-Task-Bedingung verglichen (Broeker et al., 2020; Jasper et al., 2010; Mehta & Agnew, 2011, 2012; Yoon et al., 2009). Untersuchungen, bei denen unterschiedliche kognitive Anforderungsniveaus implementiert und ihre Auswirkungen auf motorische Bewegungsausführungen durch den Vergleich mehrerer Dual-Task-Situationen

miteinander verglichen wurden (Brustio et al., 2017), konnten hingegen nicht in gleichem Ausmaß gefunden werden.

1.2.9 Geschlechterspezifische Unterschiede der Mehrfachaufgabenperformanz

Der Stereotyp in Bezug auf einen vermeintlichen Vorteil von Frauen in der Mehrfachaufgabenperformanz, wird sowohl in Deutschland wie auch über Ländergrenzen hinweg vertreten (Strobach & Woszidlo, 2015; Szameitat et al., 2015).

So zeigte sich in einer Online-Befragung von 488 Teilnehmenden aus den USA, Vereinigten Königreich, Deutschland, Türkei und anderen Ländern, dass mehr als 50% der Teilnehmenden der Auffassung waren, es existiere ein geschlechterabhängiger Unterschied der Multitasking-Fähigkeit (Szameitat et al., 2015). Von diesen genannten Teilnehmenden, gingen 80% von einer überlegenen Kompetenz der Frauen aus (Szameitat et al., 2015). In einer anderen Befragung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Alterskohorten durch Einschluss von jüngeren und älteren deutschen Studienteilnehmenden, wurde ebenfalls die Meinung vertreten, wonach die weibliche Mehrfachaufgabenkompetenz der männlichen überlegen sei (Strobach & Woszidlo, 2015).

Trotz dieser weit verbreiteten Ansichten sind wissenschaftliche Untersuchungen zu geschlechterabhängigen Unterschieden in der Dual-Task- und Task-Switching-Kompetenz spärlich und erbrachten heterogene Erkenntnisse. So berichteten manche Studien im Vergleich zwischen den Geschlechtern von besseren Ergebnissen der weiblichen Versuchspersonen (Kuptsova et al., 2015; Ren et al., 2009; Stoet et al., 2013), andere Arbeiten hingegen von einer besseren Performanz der männlichen Teilnehmenden (Hambrick et al., 2010; Lui et al., 2021; Mäntylä, 2013; Mäntylä et al., 2017). Einige Untersuchungen konnten hingegen keinen geschlechterspezifischen Unterschied feststellen (Hirsch et al., 2019; Paridon & Kaufmann, 2010).

1.2.9.1 Observationen zu besserer Mehrfachaufgabenperformanz männlicher Versuchspersonen

In einer Untersuchung aus dem Jahre 2021, erfolgten sowohl Versuche unter den Rahmenbedingungen des Dual-Task- wie auch Task-Switching-Paradigmas. So wurde in

einer Dual-Task-Situation von den Versuchspersonen gefordert, im Zuge einer akustischen Aufgabe Töne entsprechend ihres Frequenzbereich einzuteilen, während simultan im Rahmen einer visuellen Aufgabe Zeichenfolgen erkannt werden sollten (Lui et al., 2021). In der Task-Switching-Situation gaben die Versuchspersonen in Abhängigkeit eines zuvor angezeigten Signals entweder die Form oder Farbe abgebildeter Objekte wieder (Lui et al., 2021).

Unter der Dual-Task-Bedingung war für die männlichen eine geringere Dual-Task-Interferenz als für die weiblichen Versuchspersonen zu beobachten, was auf unterschiedliche Verarbeitungsgeschwindigkeiten („*processing speed*“) zurückgeführt wurde, wohingegen im Zuge der Task-Switching-Bedingung kein Geschlechterunterschied nachgewiesen werden konnte (Lui et al., 2021). In vergleichenden Untersuchungen der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeiten von Frauen und Männern konnte beobachtet werden, dass die Ergebnisse von den untersuchten Parametern und damit dem Teilaspekt der Verarbeitungsgeschwindigkeit abhängig war (Bleecker et al., 1987; Camarata & Woodcock, 2006; Dykiert et al., 2012; Jain et al., 2015; Majeres, 1999, 2007; Nikam & Gadkari, 2012). Der genauen Betrachtung des Versuchsaufbaus kommt daher eine zentrale Bedeutung in der Einordnung der Resultate zu.

So wurde beispielsweise in mehreren Experimenten, in welchen die Aufgabenstellung ausgeprägte phonologische Fähigkeiten bedingten, beobachtet dass Frauen dort eine schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeit als Männer zeigten (Majeres, 1999, 2007). So waren weibliche Versuchspersonen in der Lage in schnellerer Abfolge Buchstabenkombinationen (Majeres, 1999, 2007) oder Bilder und Objekte zu erkennen und benennen (Camarata & Woodcock, 2006). Männliche Versuchspersonen zeigten hingegen in anderen Arbeiten unter bestimmten Umständen eine schnellere Reaktionszeit auf einen dargestellten Stimulus (Bleecker et al., 1987; Dykiert et al., 2012; Jain et al., 2015; Nikam & Gadkari, 2012).

In einer weiteren Multitasking-Studie wurde im Vergleich der Geschlechter das überlegene Ergebnis der Männer unter anderem auf Erfahrungswerte, in diesem Fall auf eine regelmäßige Beschäftigung mit Videospiele, zurückgeführt (Hambrick et al., 2010). In der Forschungsarbeit von Hambrick et al. (2010) absolvierten die Versuchspersonen hierbei simultan Rechenaufgaben, Aufgaben der Muster- und Buchstabenerkennung

sowie eine akustische und visuelle Aufgabe. Die Bedeutung von Vorerfahrung in der Bewältigung von Mehrfachaufgaben im Rahmen von Dual-Task-Bedingungen, stehen hier im Widerspruch zu den Erkenntnissen von Lui et al. (2021), wo der Geschlechterunterschied nicht durch unterschiedliche Multitasking-Erfahrung erklärt werden konnte.

Eine andere Ursache für geschlechterabhängige Differenzen und besserer Multitasking-Kompetenz der männlichen Versuchspersonen, wurde in weiteren Untersuchungen auf Unterschiede im räumlichen Vorstellungsvermögen zurückgeführt (Mäntylä, 2013; Mäntylä et al., 2017). In einer Dual-Task-Studie von Mäntylä führten die Studienteilnehmenden einen n-back-Test aus, während simultan drei digitale Uhren mit fortlaufenden Ziffern überwacht und bei Auftreten einer bestimmten Zahlenkombination eine Bestätigung abgeben werden musste (Mäntylä, 2013). Das bessere Abschneiden der männlichen Versuchspersonen im Geschlechtervergleich wurde mit einer „*spatiotemporal hypothesis*“ und Differenzen des räumlichen Vorstellungsvermögens erklärt (Mäntylä, 2013). Hierbei ging die Arbeitsgruppe von einer mentalen Repräsentation zeitlicher Muster von Aufgaben und Fristen der Dual-Task-Bedingungen in räumlichen Zusammenhängen und daraus resultierenden geringeren kognitiven Anforderungen aus, was zu einem besseren Ergebnis der männlichen Versuchspersonen führte (Mäntylä et al., 2017).

Die Hypothese einer kognitiven Interaktion zwischen zeitlichen und räumlichen Zusammenhängen wurde durch Erkenntnisse der Verhaltensforschung gestützt, wonach die gedankliche Repräsentation von Zeit in räumlichen Beziehungen erfolgt (Casasanto & Boroditsky, 2008). Im Rahmen einer Übersichtsarbeit des räumlichen Vorstellungsvermögens, setzte sich eine Arbeitsgruppe mit möglichen geschlechterspezifischen Unterschieden auseinander (Yuan et al., 2019). Hier zeigten sich in einer Metaanalyse von mehreren Studien, Hinweise auf ein besseres räumliches Vorstellungsvermögen der männlichen Versuchspersonen im Vergleich mit den Probandinnen (Yuan et al., 2019).

1.2.9.2 Observationen zu besserer Mehrfachaufgabenperformanz weiblicher Versuchspersonen

Die genannten Studienergebnisse weichen von Veröffentlichungen ab, in welchen im geschlechterabhängigen Vergleich eine überlegene Mehrfachaufgaben-Kompetenz für das weibliche Geschlecht nachgewiesen wurde (Kuptsova et al., 2015; Ren et al., 2009; Stoet et al., 2013). So wurde unter einer Task-Switching-Bedingung bei der in abwechselnder Folge entweder die korrekte Form oder Anzahl abgebildeter Objekte anzugeben waren gezeigt, dass Männer zur Bewältigung der Aufgabe eine signifikant längere Zeit im Vergleich zu Frauen benötigen (Kuptsova et al., 2015). Durch simultane Bildgebung im Rahmen der Untersuchung via funktioneller Magnetresonanztomografie konnte bei den männlichen Probanden eine stärkere Aktivität des präfrontalen Kortex beider Hemisphären, den linken Parietallappen sowie der rechten Insula während Bearbeitung der geforderten Aufgaben gezeigt werden (Kuptsova et al., 2015). Dies wurde als Folge einer erhöhten Anstrengung der männlichen Versuchspersonen für die Bewältigung der Aufgaben gewertet (Kuptsova et al., 2015). Den Erkenntnissen von Ingallhalikar et al. folgend, lassen sich im Gehirn von Frauen vermehrt interhemisphärische Verbindung nachweisen, im Gegensatz zu den bei Männern vorherrschenden intrahemisphärischen Verbindungen (Ingallhalikar et al., 2014). Eine mögliche Erklärung für das bessere Abschneiden der weiblichen Probandinnen unter der Task-Switching-Bedingung laut Kuptsova et al. waren dementsprechend die vermehrten interhemisphärischen Verbindungen sowie die Tatsache, dass keine Anforderungen an das räumliche Vorstellungsvermögen der Versuchspersonen gestellt wurde (Kuptsova et al., 2015).

In einer weiteren Untersuchung unter Anwendung des Task-Switching-Paradigmas konnte ebenfalls im Geschlechtervergleich ein besseres Ergebnis für die weiblichen Versuchspersonen nachgewiesen werden (Stoet et al., 2013). Hierbei wurde von den Teilnehmenden in einer Aufgabe erwartet, abwechselnd die Form oder den Inhalt eines Objekts, welches auf einen Bildschirm angezeigt wurde, korrekt anzugeben. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen, führten Lui et al. den fehlenden Geschlechterunterschied im Zuge der Task-Switching-Bedingung ihrer bereits genannten Studie auf eine nicht ausreichende Versuchspersonenanzahl zurück (Lui et al., 2021).

Einen erklärenden Ansatz für die heterogenen Ergebnisse in den Untersuchungen geschlechterspezifischer Unterschiede in Abhängigkeit des Dual-Task- oder Task-Switching-Paradigmas lieferte eine 2020 veröffentlichte Arbeit. Nach Anwendung unterschiedlicher Multitasking-Paradigmen und anschließenden Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse konnten drei Hauptkomponenten identifiziert werden, welche in unterschiedlichen Ausmaß die durch eine Dual-Task- und Task-Switching-Bedingung gestellten Einschränkungen erklärten (Lui & Wong, 2020). Eines dieser Hauptkomponenten wurde als „Antwortauswahl“ bezeichnet, welches bereits Pashler im Rahmen des Engpass-Modell erläuterte: demnach wurde dies als kognitiver Prozess oder Vorgang verstanden, eine passende Antwort auf eine externe Aufgabe zu formulieren (Pashler, 1994). Es zeigte sich, dass Männer diesen kognitiven Prozess, welcher unter einer Dual-Task-Bedingung von Bedeutung ist, schneller verarbeiten konnten als Frauen (Lui & Wong, 2020). Die beiden anderen Hauptkomponenten zeigten hingegen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede auf (Lui & Wong, 2020).

1.2.9.3 Observationen zu fehlenden geschlechterabhängigen Unterschieden der Mehrfachaufgabenperformanz

In einigen Veröffentlichungen wurden keine geschlechterspezifischen Unterschiede der Multitasking-Performanz nachgewiesen (Hirsch et al., 2019; Paridon & Kaufmann, 2010). In einer Studie von Hirsch et al. konnte zwar für beide Geschlechter unter Dual-Task- und Task-Switching-Situationen Einbußen der Performanz, ein Effekt der Geschlechtszugehörigkeit jedoch nicht gezeigt werden (Hirsch et al., 2019). In Abgrenzung zu den Forschungsarbeiten von Mänytlä et al., wurde dies auf andere Dual-Task-Bedingungen und den fehlenden Einbezug des räumlichen Vorstellungsvermögens zurückgeführt (Hirsch et al., 2019).

1.3. Ziel der Arbeit

Die Intention der vorliegenden explorativen Arbeit war im Rahmen des Dual-Task-Paradigmas die muskulär-koordinative und kognitive Leistungsfähigkeit durch Analyse der Reaktionszeit und motorischen Genauigkeit einer Bewegungsausführung der Versuchspersonen zu evaluieren. Dies erfolgte im Hinblick auf folgende Fragestellungen:

1. Hat das kognitive Anforderungsniveau einer Aufgabe einen Einfluss auf die motorische Genauigkeit einer Bewegungsausführung und die Reaktionszeit?
2. Ist ein geschlechtsspezifischer Unterschied im Hinblick auf die motorische Genauigkeit einer Bewegungsausführung und Reaktionszeit im Rahmen einer Dual-Task-Situation feststellbar?
3. Besteht eine Interaktion zwischen kognitiven Anforderungsniveau einer Aufgabe, des zeitlichen Verlaufs der Aufgabenausführung und des Geschlechts auf die motorische Genauigkeit einer Bewegungsausführung und die Reaktionszeit?

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Mittels explorativen Ansatzes war das Ziel der übergeordneten Gesamtstudie zu untersuchen, ob eine kognitive Belastung während Durchführung einer gleichzeitigen motorischen Aufgabe zu einer physiologischen Beanspruchungsreaktion führt, die über die Beanspruchungsreaktion bei alleiniger motorischer Aufgabe hinaus geht. Hierbei sollte insbesondere das Ermüdungsverhalten unterschiedlicher Muskelgruppen der oberen Extremitäten evaluiert werden. Wie in Abbildung 1 (Abb.) visualisiert, wurde hierfür im Sinne des Dual-Task-Paradigmas ein Studiendesign konzipiert, bei welchem sich die Studienteilnehmenden innerhalb eines Zeitraums von bis zu 16 Tagen dreimal im Arbeitsphysiologischen Labor des IASV vorstellten. Insgesamt wurden vier Dual-Task-Bedingungen entwickelt, welche sich bezüglich ihrer kognitiven und motorischen Anforderungsniveaus unterschieden. Die grün hinterlegten Flächen an Tag 2 und 3 („Messabschnitt“, vgl. Abb. 1) veranschaulichen die Phasen der Bearbeitung der Dual-Task-Situationen durch die Versuchsteilnehmenden. Unter 2.3.2 werden die Organisation der Messtage und 2.3.3 die Zusammensetzung der Dual-Task im Detail erläutert.

Wie bereits genannt, soll im Rahmen dieser Arbeit die muskulär-koordinative und kognitive Leistungsfähigkeit durch Analyse der Reaktionszeit und motorischen Genauigkeit in unterschiedlichen Szenarien eines Dual-Task-Paradigmas evaluiert werden. Im Rahmen der Gesamtstudie erfolgte zusätzlich auch die Erhebung weiterer physiologischer Kenngrößen, wie die kontinuierliche Erfassung der Herzfrequenz, des Hautleitwiderstands, das subjektive Empfinden der geistigen und muskulären Beanspruchung sowie muskulärer Aktivierungsmuster und Maximalkräften (MVC). Diesbezüglich erfolgte die in Abbildung 1 schematisch dargestellten Phasen der Messvorbereitung sowie Normalisierungs- und Maximalkraftmessungen. Da diese Messgrößen nicht Fokus dieser Arbeit sind, soll auf diese nicht näher eingegangen werden.

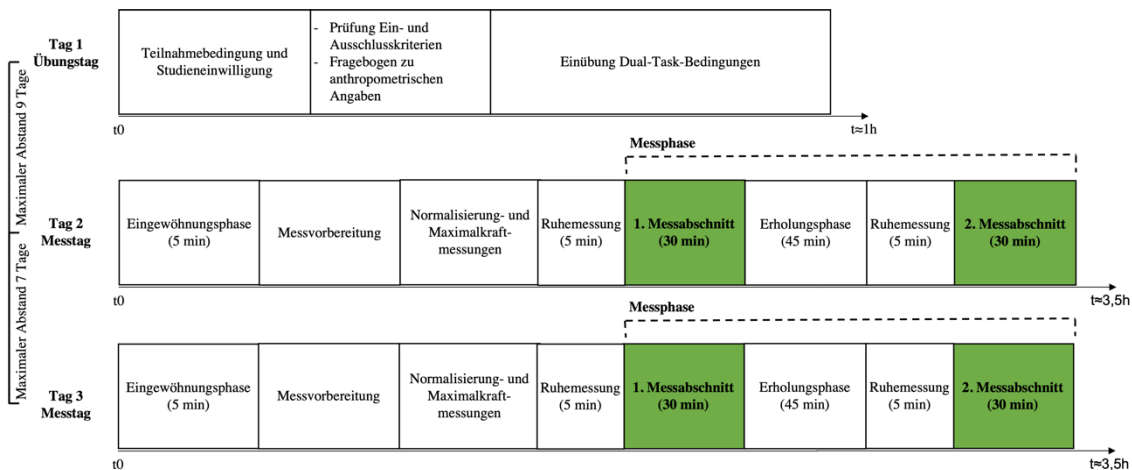


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messverlaufs von Tag 1 bis Tag 3. In der Eingewöhnungsphase erfolgte ein Probelauf der Dual-Task-Bedingung und in der darauffolgenden Messvorbereitung wurden die Teilnehmenden im Hinblick auf die zu erhebenden physiologischen Parameter vorbereitet (beispielsweise durch Anlage von EKG- oder EMG-Elektroden). Gefolgt wurde dies von Normalisierungs- und Maximalkraftmessungen entsprechender Kennmuskeln zur Analyse deren Ermüdungsverhalten sowie einer Ruhemessung zur Etablierung einer Baseline des EKG-Signals. Daran anschließend ist die Messphase dargestellt, wobei in den grün hinterlegten Messabschnitten die Absolvierung der Dual-Task-Bedingungen erfolgte. Abgesehen von der Reihenfolge der dargestellten Dual-Task-Bedingungen unterschieden sich Tag 2 und Tag 3 nicht. Der Übungstag (Tag 1) diente in erster Linie einer Eingewöhnung der Teilnehmenden an die kommenden Messbedingungen

2.2 Rekrutierung der Versuchsteilnehmenden

Die rekrutierten Teilnehmenden wurden im Rahmen der Gesamtstudie gemäß ihres Alters in zwei Kohorten eingeteilt; die Altersspanne der jüngeren Alterskohorte lag zwischen 18 und 27 Jahren, die der älteren Kohorte zwischen 50 und 67 Jahren. Für beide Altersgruppen wurde auf eine ausgewogene Geschlechterverteilung geachtet. Die Rekrutierung von potenziellen Teilnehmenden erfolgte durch Anbringen von Informationsbroschüren in Einrichtungen der Universität Tübingen wie der Universitätsbibliothek und unterschiedlichen Instituten. Potenzielle Interessierte wurden auch durch Versenden einer Nachricht via universitätsinternen E-Mail-Verteiler direkt angesprochen. Ebenfalls wurde insbesondere für die Rekrutierung von Versuchspersonen der älteren Alterskohorte, Informationsbroschüren in unterschiedlichen Geschäften und Einrichtungen in der Universitätsstadt Tübingen angebracht. Die Anzahl der Studienteilnehmenden wurde dabei durch den vollfaktoriellen Versuchsplan der Gesamtstudie definiert: Demnach ergaben sich für die vier Untersuchungsbedingungen

(vgl. 2.3.3) 24 mögliche Reihenfolgen der Untersuchungsdurchführungen. Somit wurde die Rekrutierung nach erfolgreichem Einschluss von jeweils 24 Teilnehmenden in beide Alterskohorten abgeschlossen. Die Fallzahl der Teilnehmenden der hier vorgestellten Arbeit wurde somit durch das vollfaktorielle Design des übergeordneten Gesamtprojekts definiert.

Vor Durchführung der Versuche erfolgte zunächst die Überprüfung auf mögliche Ausschlusskriterien nach Selbstauskunft der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Diese lauteten: Unwohlsein oder Schmerzen, eine Bewegungseinschränkungen der oberen Extremitäten, eine Verletzung der oberen Extremitäten, ein Body-Mass-Index >30, der Konsum koffeinhaltiger Getränke am Untersuchungstag, Konsum von Tabakwaren am Untersuchungstag oder das Vorliegen einer ausgeprägten Sprachbarriere. Ebenfalls sollten keine relevanten und diagnostisch gesicherten neurologischen (Epilepsie, chronische Kopfschmerzen, Multiple Sklerose, Parkinson-Syndrom, sensorische/motorische Polyneuropathie, durchgemachter Apoplex oder schweres Schädelhirntrauma), internistischen/metabolischen (Diabetes mellitus oder Myopathien) oder psychologischen (Depression, Angststörungen) Einschränkungen vorliegen. Der Nachweis eines arterieller Hypertonus, ermittelt anhand eines systolischen Blutdrucks >160 mmHg nach Messung durch den Versuchsleitenden, führte ebenfalls zu einem Studienausschluss. Eine regelmäßige Medikamenteneinnahme in Form von Antikonvulsiva, Anxiolytika, Analgetika, Antidepressiva, Betablocker und Neuroleptika sollte ebenfalls nicht erfolgen.

Die Untersuchungen erfolgten stets nach Aufklärung der Versuchspersonen über die Datenschutzbestimmungen und Studieninhalte sowie nach Unterzeichnung einer Einverständniserklärung am ersten Tag (s. Abb. 1). Nach Teilnahme an sämtlichen Terminen erfolgte eine finanzielle Aufwandentschädigung. Die Durchführung der Studie fand im Arbeitsphysiologischen Labor des IASV der Universität Tübingen statt und wurde von der zuständigen Ethikkommission beraten (Prüfplannummer 274/2018B02).

2.3 Studiendurchführung

2.3.1 Experimenteller Aufbau

Die Probandinnen und Probanden nahmen auf einem Stuhl in einer Messvorrichtung zur Bestimmung von isometrischen Kräften im Bereich des Hand-Arm-Systems Platz. Die

Messvorrichtung wurde für eine vorausgehende Studie am IASV entwickelt und durch das Medizintechnische Servicezentrum des Universitätsklinikums zuvor begutachtet und für Messungen am Menschen freigegeben. Wie in Abbildung 2, 3 und 4 visualisiert, verfügte die Messvorrichtung auf beiden Seiten über Armstützen sowie eine Fußstütze. In die höhenverstellbare Stütze des dominanten Arms wurden hierbei mehrere Kraftsensoren implementiert (s. Abb. 2). Die Auflagekraft wurde mittels der Druckkraftsensoren D und C (KM38, Genauigkeitsklasse 1%, ME-Messsysteme GmbH, DE) gemessen, während das obere Polster mit Druckkraftsensor B (KM38, Genauigkeitsklasse 1%, ME-Messsysteme GmbH, DE) dazu diente die Handfläche des Teilnehmenden mit einem Anpressdruck in Höhe von 10 bis 20 N zu fixieren; der Anpressdruck wurde zwischen den Versuchspersonen nicht verändert und stabil gehalten. Mithilfe des hochauflösenden Zug- und Druckkraftsensors A (Tedeo-Huntleigh Model 615, Genauigkeitsklasse 0,1%, Vishay Precision Group, USA) erfolgte die Messung der Zugkraft, welche über eine isometrische Dorsalextension des Handgelenks ausgeübt wurde. Durch die spätere Datenaufbereitung der gemessenen Zugkraft (vgl. 2.5) erfolgte die Berechnung der Präzision während der Trackingaufgabe im Sinne des motorischen Anteils der Dual-Task-Aufgabe.

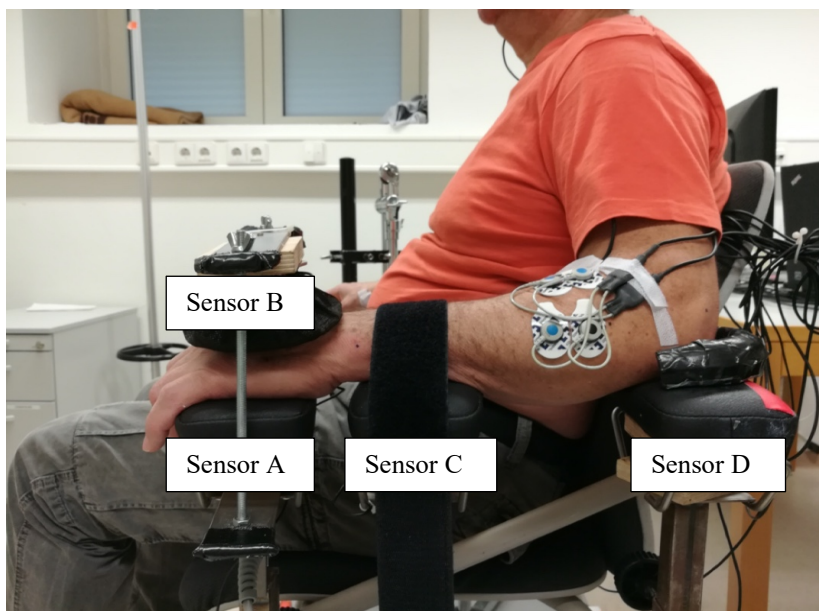


Abbildung 2: Seitliche Ansicht der Stütze des dominanten Arms mit Kraftsensoren

Wie in Abbildung 3 dargestellt, verfügte die Armlehne des nicht-dominanten Arms über eine Drucktaste (Large Dome Button, ITB CompuPhase), welche zur Beantwortung des n-back-Test verwendet wurde. Der n-back-Test fungierte als kognitiver Anteil der dualen Belastung (vgl. 2.3.3).

Für eine optimale Anpassung waren sowohl die Höhe der Stütze des dominanten wie auch des nicht-dominanten Arms an die Körperproportionen der Versuchspersonen individuell anpassbar. Auf diese Weise wurde gewährleistet, dass die Schultergelenke stets in einem Winkel von 40° in Abduktionsstellung und die Ellenbogengelenke in einem Winkel von 90° in Flexionsstellung gebracht wurden. Die Unterarme befanden sich abschließend in waagrechter Position auf den Armstützen und die Position des Ellenbogens schloss auf den Drucksensor D ab (vgl. Abb. 2).

Mit der Hand des nicht-dominanten Armes war die Drucktaste zur Beantwortung der kognitiven Aufgabe mit Mittel- und Zeigefinger auslösbar (vgl. Abb. 3).

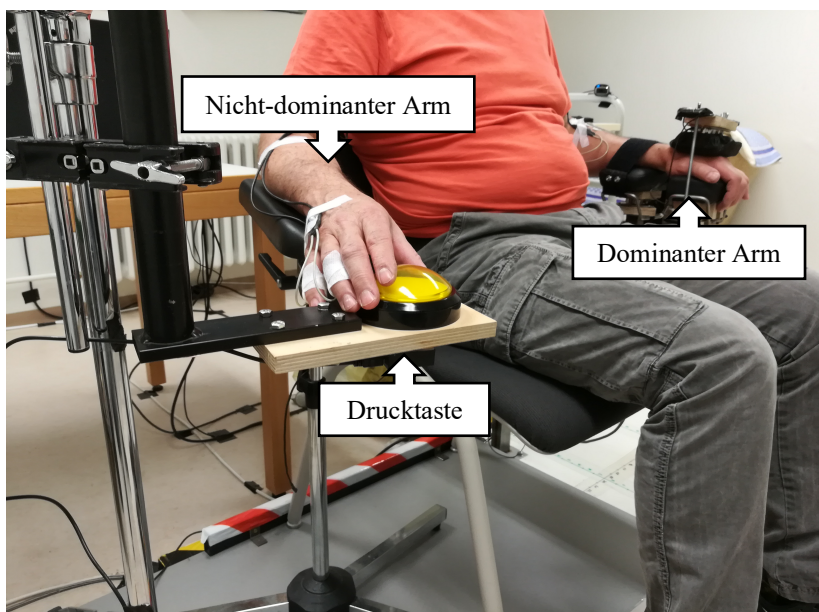


Abbildung 3: Seitlich-schräge Ansicht der Stütze des nicht-dominanten Arms mit Drucktaste

Die zu lösende motorische und kognitive Aufgabe wurde auf einem Monitor dargestellt, welcher 150 cm vom Studienteilnehmenden entfernt aufgestellt wurde (s. Abb. 4). Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit und Vermeidung zusätzlicher Belastungen im

Bereich der Halswirbelsäule wurde die Höhe des Monitors bei allen Versuchspersonen mit einem Stativ so justiert, dass die Oberkante des Monitors auf Augenhöhe der Versuchsperson eingestellt war. Sowohl die Darstellung der kognitiven wie auch motorischen Aufgabe auf dem Monitor erfolgte mithilfe der Software Force & Brain© des IASV.

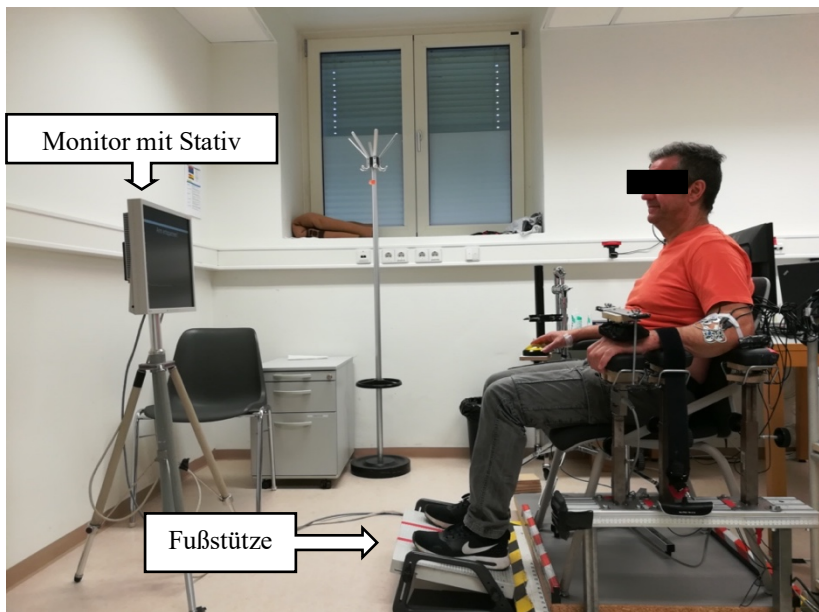


Abbildung 4: Seitliche Ansicht der Institutseigenen Messvorrichtung mit Probanden

2.3.2 Vorbereitung der Messung und Organisation der Messtage

Die Studienteilnehmenden kamen innerhalb eines Zeitraums von bis zu 16 Tagen dreimal in das Arbeitsphysiologische Labor des IASV (vgl. Abb. 1). Die Messungen des zweiten und dritten Tages fanden stets während der gleichen Tageshälfte jeweils am Vormittag oder Nachmittag statt.

Tag 1 - Übungstag

Wie in Abbildung 1 gezeigt, nahm der erste Tag insgesamt 60 Minuten in Anspruch und diente als Übungstag sowie zur Besprechung der organisatorischen Rahmenbedingungen. Nach Eintreffen der Versuchsperson erfolgte zunächst die Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien, gefolgt von einer mündlichen Aufklärung über den Datenschutz und der Studieninhalte mitsamt Teilnahmebedingungen. Anschließend wurde die

teilnehmende Person gebeten eine Einverständniserklärung zu unterzeichnen. An diesem ersten Termin erfolgte auch die Erhebung von anthropometrischen und persönlichen Angaben per Fragebogen. Nachdem per Los die Reihenfolge der Untersuchungsbedingungen für die beiden Messtage gezogen wurden, nahm die Versuchsperson in der Messapparatur Platz. Hier erfolgte eine Einübung der motorischen und kognitiven Aufgaben über einen Zeitraum von 10 Minuten. Dabei wurde der Versuchsperson die Möglichkeit eingeräumt, sich mit jeder Kombination der dualen Belastung (vgl. 2.3.3) über einen Zeitraum von jeweils 2,5 Minuten vertraut zu machen. Dies diente einem Eingewöhnen an die zu erwartenden Messungen und dem Erreichen einer stabilen Versuchsbedingung für die kommenden Untersuchungstage.

Tag 2 und 3 - Messtage

Am zweiten und dritten Tag wurden die eigentlichen Versuche über einen Gesamtzeitraum von jeweils 210 Minuten durchgeführt (vgl. Abb. 1). Der Zeitraum zwischen beiden Terminen betrug mindestens ein und maximal sieben Tage. Das Protokoll war dabei für beide Tage identisch und abgesehen von der Reihenfolge der Untersuchungsbedingungen unterschied sich der Ablauf beider Tage nicht. Ehe die Versuchsperson für die eigentliche Messung vorbereitet wurde, erfolgte eine Eingewöhnungsphase. In dieser konnte die teilnehmende Person unter dem Anforderungsniveau $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (vgl. 2.3.3) einen fünfminütigen Probelauf der motorischen und kognitiven Aufgabe absolvieren. Anschließend wurde die Probandin oder der Proband im Hinblick auf die zu erhebenden physiologischen Parameter vorbereitet und Normalisierungs- und Maximalkraftmessungen der unterschiedlichen Kennmuskeln durchgeführt. Zur Etablierung einer Baseline des EKG-Signals wurde im Anschluss der Normalisierungsmessungen über fünf Minuten an der bewegungslos und entspannt sitzenden Versuchsperson eine Ruhemessung durchgeführt. Wie in Abbildung 1 dargestellt, begann anschließend die Messphase, welche pro Tag in zwei Messabschnitte über 30 Minuten mit simultaner kognitiver und motorischer Anforderung unterteilt war. Beide Messabschnitte unterschieden sich bezüglich des Schweregrades der motorischen und kognitiven Anforderungen. Getrennt wurden beide Messabschnitte von einer Erholungsphase von 45 Minuten. Zu Beginn dieser Erholungsphase saß die

Versuchspersonen zunächst weiterhin für 10 Minuten in der Messvorrichtung und es erfolgten drei Maximalkraftmessungen der Handgelenksex tensoren.

Anschließend konnte sich der Studienteilnehmende für 25 Minuten in einen Sessel setzen, während ein Entspannungs video gezeigt wurde. Als zusätzliche entspannende Maßnahme wurde ein Wärmekissen auf die Schultergürtel- und Unterarmmuskulatur gelegt. Ebenfalls wurde zu Beginn der Erholungsphase zur körperlichen Stärkung ein Müsliriegel angeboten. Für die letzten 10 Minuten der Erholungsphase setzte sich der Teilnehmende erneut in die Messvorrichtung und es wiederholten sich die Maximalkraftmessungen. Nach Durchführung einer erneuten Ruhemessung über 5 Minuten begann der zweite Messabschnitt der Messung. Nach deren Beendigung verharrte die Versuchsperson weitere 10 Minuten in der Messvorrichtung zur erneuten Erhebung von drei Maximalkräften. Danach war die Messung abgeschlossen und die Versuchsperson verließ das Labor.

2.3.3 Zusammensetzung der Dual-Task

Im Sinne des Dual-Task-Paradigmas wurde eine motorische Tracking-Aufgabe sowie kognitiver n-back-Test konzipiert, um eine duale Belastung darzustellen. Sowohl für die kognitive wie auch die motorische Aufgabe wurden zwei Schwierigkeitsstufen definiert. Tabelle 1 (Tab.) fasst die daraus resultierenden vier Kombinationsmöglichkeiten und unterschiedlichen Anforderungsniveaus zusammen. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ analysiert.

Tabelle 1: Kombinationen der motorischen und kognitiven Aufgaben. $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ sind die Untersuchungsbedingungen, welche im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden

| Abkürzung | Anforderungsniveau Motorische Aufgabe | Anforderungsniveau Kognitive Aufgabe |
|--------------------------------------|--|---|
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ | Leicht | Leicht |
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ | Leicht | Schwer |
| $M_{\text{schwer}}K_{\text{leicht}}$ | schwer | leicht |
| $M_{\text{schwer}}K_{\text{schwer}}$ | Schwer | schwer |

Abbildung 5 visualisiert beispielhaft und schematisch die zu bewältigende leichte und schwere kognitive Aufgabe. Im Rahmen der leichten kognitiven Aufgabe K_{leicht} wurde von den Versuchspersonen erwartet, anzuzeigen wenn eine vor Beginn der Messungen vorgegebene Zahl auf dem Monitor erschien. Unter der Untersuchungsbedingung K_{schwer} mussten die Studienteilnehmenden hingegen zwei gepaarte Zahlen, welche von einer zufälligen Zahl getrennt wurden, erkennen. Somit entsprach K_{schwer} einem 2-back-Test, bei dem ein Zahlenmuster (zwei identische Zahlen getrennt von einer zufälligen Zahl) erkannt werden musste.

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Leichte kognitive Aufgabe: | 43 | 69 | 41 | 16 | 62 | 58 | 76 | 91 | 41 |
| Schwere kognitive Aufgabe: | 61 | 22 | 61 | 68 | 31 | 83 | 58 | 45 | 58 |

Abbildung 5: Schematische beispielhafte Darstellung der kognitiven Aufgabe. Die Zahlen wurden jeweils für 2 Sekunden während der Versuche nacheinander über den vorgegebenen Kraftverlauf eingespielt. Die rot dargestellten Ziffern veranschaulichen die zu erkennende Zahl oder das Zahlenmuster im Rahmen der leichten (K_{leicht}) oder schweren (K_{schwer}) kognitiven Aufgabe

Die Ziffern wurden für zwei Sekunden nacheinander über den Kraftverlauf eingeblendet (s. Abb. 6). Durch möglichst schnelles Betätigen des Druckknopfs mit der nicht-dominanten Hand erfolgte das Anzeigen der gewünschten Zahl oder Zahlenkombination. Die Zahlenabfolge war bei sämtlichen Bedingungen und für alle Studienteilnehmenden identisch. Der motorische Anteil der Dual-Task bestand aus einer Tracking-Aufgabe. Ziel der Versuchsteilnehmenden war es hier einem vorgegebenen Kraftverlauf in Form eines Trapezes möglichst präzise zu Folgen (s. Abb. 6). Die rote Linie stellt das nachzufahrende Trapez, die gelben Punkte beispielhaft die gemessene Kraft einer Person dar. Über den Zug- und Drucksensor A waren die Versuchspersonen durch eine isometrische Dorsalextension des Handgelenks der dominanten Hand in der Lage den Verlauf der eigenen Kraftlinie in vertikaler Richtung zu modifizieren.

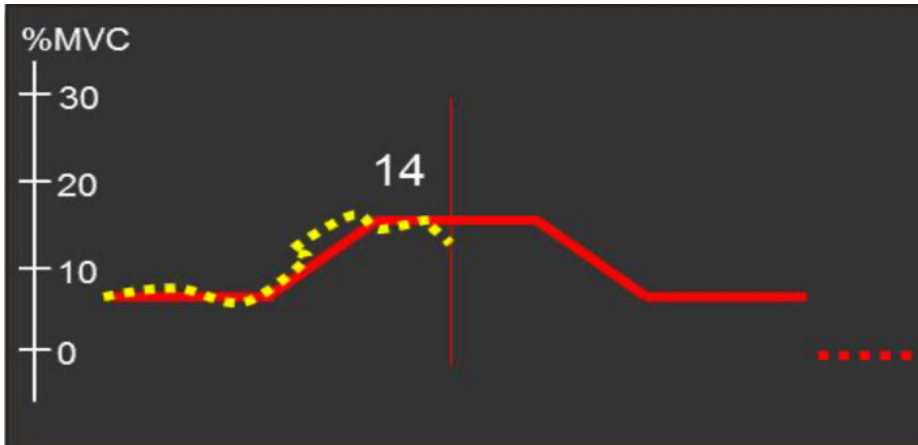


Abbildung 6: Beispielhafter Kraftverlauf. Die rote Linie präsentiert die Kraftvorgabe, die gelben Punkte die aufgebrachte Kraft der isometrischen Dorsalextension des Handgelenks der Teilnehmenden. Die roten Punkte visualisieren ein kurzes Pausenintervall. Die "14" ist Teil der kognitiven Aufgabe. %MVC beschreibt die prozentuale Maximalkraft. Quelle: Studienunterlagen des IASV

Die Tracking-Aufgabe erfolgte in intermittierenden Abschnitten von 25 Sekunden, unterbrochen von kurzen Pausenintervallen von 5 Sekunden (welche durch rote Punkte visualisiert wurden; vgl. Abb. 6). Während dieser kurzzeitigen Unterbrechung der motorischen Aufgabe wurde die kognitive Aufgabe nicht pausiert.

Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit wurden über alle in Tabelle 1 gezeigten Kombinationsmöglichkeiten stets ein identischer trapezförmiger Verlauf der Kraftvorgabe verwendet. Der geometrischen Form eines Trapezes folgend, setzte sich der vorgegebene Kraftverlauf innerhalb eines Trapezes aus fünf Bereichen mit jeweils einer Dauer von 5 Sekunden zusammen (drei konstante Kraftvorgaben und jeweils eine auf- sowie absteigende Kraftvorgabe). Die Kraftanforderung dieser fünf Bereiche orientierte sich an den individuellen Maximalkräften der Versuchspersonen, welche durch isometrische Extension des Handgelenks des dominanten Arms erhoben wurden. Während der leichten motorischen Aufgabe (M_{leicht}) betrug die vorgegebene Kraft zwischen 4% bis 9% der MVC, welche zuvor über Kraftsensor B gemessen wurde.

2.3.4 Organisation der Messabschnitte

Eine Messphase unterteilte sich in zwei Messabschnitte mit einer Dauer von jeweils 30 Minuten (s. Abb. 1). Die schematische Abbildung 7 veranschaulicht, wie sich ein

Messabschnitt wiederum aus 6 Blöcken von jeweils 5 Minuten zusammensetzte. Während eines Blocks wurden die Versuchspersonen über einen Zeitraum von 4min 15s einer gleichzeitigen motorischen und kognitiven Belastung ausgesetzt. Das Absolvieren der motorischen Aufgabe erfolgte innerhalb eines Blocks intermittierend, da der vorgegebene und sich wiederholende Kraftverlauf über 25 Sekunden dargestellt und von kurzen Pausen mit einer Dauer von 5 Sekunden unterbrochen wurde (vgl. 2.3.3). Der n-back-Test wurde während eines Blocks durchgängig eingeblendet. Innerhalb eines Blocks über 4,25 min wurden somit 8,5 Zyklen der dualen Belastung durchgeführt. Während der verbleibenden 45 Sekunden am Ende des Blocks wurden die Teilnehmenden zunächst zu ihrer subjektiven geistigen wie auch muskulären Beanspruchung befragt. Für die Beantwortung wurden den Versuchspersonen 15 Sekunden Zeit gegeben, währenddessen sollte jedoch weiterhin der eingeblendete Kraftverlauf nachverfolgt werden. An den daran anschließenden 20 Sekunden wurde ein Kraftverlauf mit Beanspruchung von 7% bis 12% der Maximalkraft ohne begleitende kognitive Aufgabe angezeigt. Der 5-Minutenblock endete schließlich mit einer isometrischen Kontraktion mit 5% der Maximalkraft der Dorsalextensoren des dominanten Handgelenks über eine Dauer von 10 Sekunden. Zusätzlich erfolgte jeweils vor dem ersten und dem vierten sowie nach dem sechsten 5-Minutenblock jeweils die mehrfache Erhebung der Maximalkraft durch Dorsalextension des Handgelenks. Vor Durchführung dieser isometrischen Maximalkontraktionen wurde der Unterarm mithilfe eines Gurts temporär mit einer Zugkraft von 10 kg (kontrolliert mittels einer Kofferwaage) fixiert.

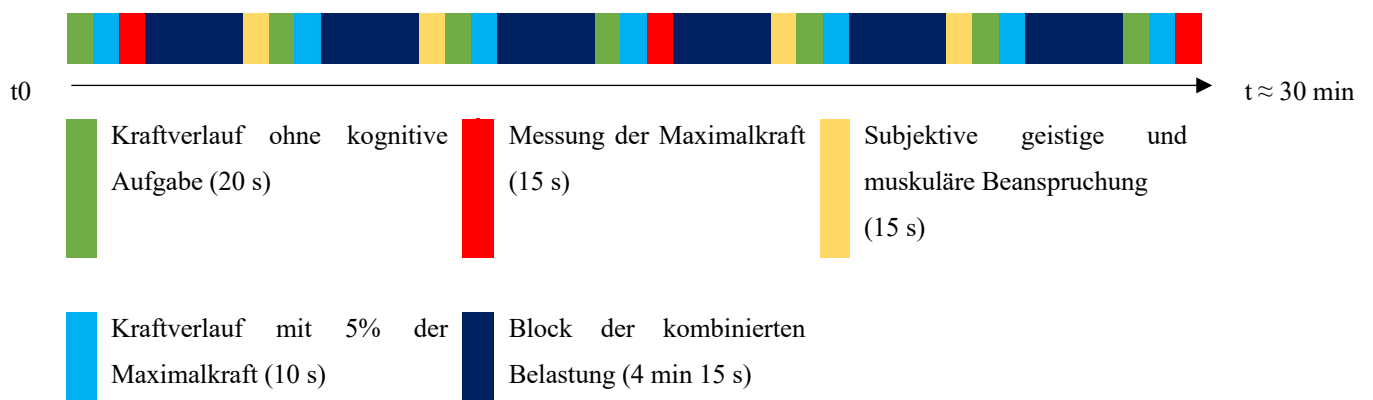


Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Messabschnitts über 30 Minuten.

2.4 Messverfahren

2.4.1 Messung der Reaktionszeit

Die Vermittlung der Reaktion auf das Erkennen der gewünschten Zahlenkombination im Rahmen des n-back-Tests erfolgte durch Betätigen einer Drucktaste (Large Dome Button, ITB CompuPhase, s. Abb. 3) mit 98 mm Durchmesser. In der späteren Datenaufbereitung erfolgte über diese vermittelte Reaktion die Berechnung der Reaktionszeit (vgl. 2.5). Es wurde während der Versuchsdurchführung darauf geachtet, dass die Versuchspersonen während der Messabschnitte stets die Hand entspannt auf den Druckknopf abgelegt hatten. Dieser war via USB mit einem PC verbunden, über welchen das Dual-Task-Programm abgespielt wurde. Besagter PC war ebenfalls über eine LAN-Schnittstelle mit den Messverstärkern (s. 2.4.2) verbunden. Die Konfiguration der Drucktaste erfolgte mit einem herstellereigenen Konfigurationsprogramm und die Datenspeicherung mittels der Software Force & Brain© (Eigenentwicklung am IASV).

2.4.2 Messung der abgegebenen Kraft

Die Aufzeichnung der Zugkraft, welche über eine isometrische Dorsalextension abgegeben wurde, erfolgte durch den hochauflösenden Kraftsensor A (TedeA-Huntleigh Model 615, Genauigkeitsklasse 0,1%, Vishay Precision Group, USA; vgl. Abb. 1). Dieser war an zwei Messverstärker (DMS-Messverstärker, Thumedi GmbH & Co. KG, DE und AMS42-LAN16fx, BMC Messsysteme GmbH, DE) gekoppelt. Die Kommunikation zwischen AMS42-LAN16fx und PC erfolgte dabei über eine LAN-Verbindung. Die Aufzeichnung erfolgte mit einer Abtastfrequenz von 8 Hz. Auch für die Kraftmessung erfolgte die Datenspeicherung mittels der Software Force & Brain©.

2.5 Datenaufbereitung

Unter Anwendung von MATLAB Version R2020a (The MathWorks Inc.) wurde ausgehend von Synchronisationsmarkern die Berechnung von Phasen mit einheitlicher Phasenlänge durchgeführt. Aus den Datenpunkten dieser Berechnungsphasen erfolgte die Kalkulation der Kennwerte und als Ergebnis wurde eine Datei in Microsoft Excel® 2010 Version 14 (Microsoft Corporation) erstellt, welche in JMP® Version 16 (SAS Institute Inc.) weiterbearbeitet wurde. Die Grenzen der Berechnungsphasen ergaben sich aus den

Blöcken der dualen kognitiven und physischen Belastung, welche sich im Verlauf eines Messabschnitts à 30 Minuten mehrfach identisch wiederholte. Die Synchronisationsmarker wurden zuvor individuell und im Rahmen der Messung für jede Versuchsperson gesetzt.

Die motorische Genauigkeit im Sinne einer motorisch-koordinativen Fähigkeit der Studienteilnehmenden, wurde innerhalb der definierten Berechnungsphasen durch die vertikale Abweichung des eigenen Kraftverlaufs von der vorgegebenen trapezförmigen Soll-Kraftkurve bestimmt. Abbildung 8 visualisiert die mittleren 3 Sekunden des Plateauabschnitts eines Trapezes mit konstanter Kraftvorgabe, welcher in der Berechnung berücksichtigt wurde. Für die einzelnen Datenpunkte innerhalb der 3 Sekunden wurde die Differenz der erbrachten Kraft von der vorgegebenen Zielkraft berechnet und ein Mittelwert der Abweichung für jeden der einzelnen 6 Blöcke eines Messabschnitts gebildet. Sowohl das erste wie auch letzte Trapez eines Blocks wurde aufgrund mehrfacher Ausreißer nicht in der Berechnung des Mittelwerts berücksichtigt.

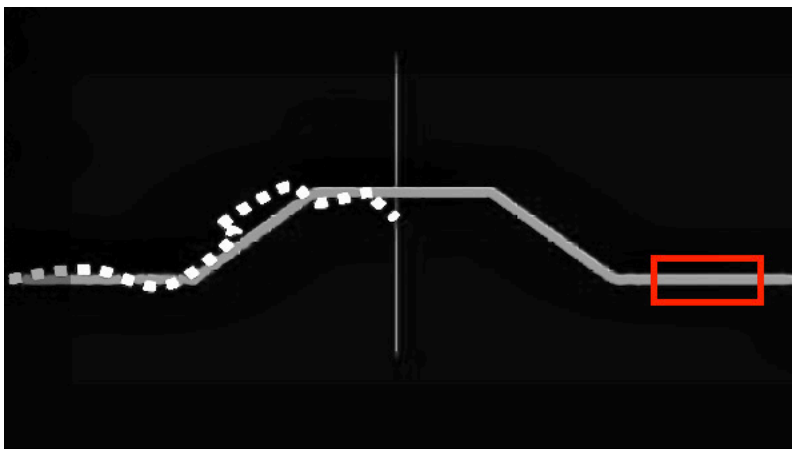


Abbildung 8: Beispielhafter Kraftverlauf. Die weiße durchgehende Linie präsentiert die Kraftvorgabe, die Punkte die aufgebrachte Kraft während der Dorsalextension des Handgelenks. Der rote Kasten visualisiert beispielhaft die mittleren 3 Sekunden des Plateaus, in welchem die mittlere Abweichung der applizierten Kraft vom vorgegebenen Kraftniveau berechnet wurde. Quelle: Überarbeitet nach Studienunterlagen des IASV

Die mittlere Abweichung der Differenz der vorgegebenen Zielkraft und der durch Kraftsensor A gemessenen Kraft in einem Block definierte den Parameter „*motorische Genauigkeit*“, welcher im Rahmen der statistischen Auswertung untersucht wurde.

Es zeigten sich mehrfache Ausreißer unmittelbar nach Änderung des vorgegebenen Kraftniveaus bei Übergang der ab- beziehungsweise aufsteigenden Kraftvorgaben in die Plateaus des Trapezes. Es erfolgte daher der Entschluss, anstatt der vollständigen 5 Sekunden der Plateauphase die mittleren 3 Sekunden zu berücksichtigen (vgl. Abb. 8). Die Entscheidung das letzte Plateau eines Trapezes zu wählen, wurde aufgrund der Tatsache getroffen, dass in diesem Abschnitt unter beiden relevanten Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ die gleiche Anzahl an visuellen Reizen (welche eine Reaktion hervorrufen sollten) gezeigt wurden. Auf diese Weise wurde die Vergleichbarkeit der motorischen Genauigkeit in Abhängigkeit der kognitiven Anforderung zwischen beiden Untersuchungsbedingungen gewährleistet. Die unterschiedliche Anzahl visueller Reize in Abhängigkeit der Untersuchungsbedingungen in den anderen Abschnitten der Trapeze, war auf einen Programmierfehler in der Konzeption der kognitiven Aufgabe der Dual-Task-Bedingungen zurückzuführen. Es wurden ebenfalls Berechnungsphase definiert, deren Begrenzung durch die 5 Minuten andauernden Blocks bestimmt wurden. Diese enthielten die Datenpunkte, welche das Auftreten des Reizes der kognitiven Aufgabe markierten. Ausgehend von diesen Ereignissen wurde ein Zeitfenster von 2 Sekunden für eine Reaktion auf den kognitiven Reiz definiert. Die Schnelligkeit der Reaktionen im Rahmen der kognitiven Aufgabe innerhalb des Zeitfensters definierte den Parameter „*Reaktionszeit*“ der Probandinnen und Probanden und zeigte die Performanz während des n-back-Test an. Aufgrund der zuvor abgegebenen Maximalkraft und der damit verbundenen vorhergehenden Fixierung des Unterarms zeigten sich mehrfache Ausreißer während Block 4 des Messabschnitts. Dieser wurde daher für alle Studienteilnehmenden aus der Auswertung ausgeschlossen.

2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte unter Anwendung von JMP® Version 16 (SAS Institute Inc.) und SPSS® Version 27 (IBM Corporation).

2.6.1 Statistische Testverfahren

Zur Überprüfung von signifikanten Effekten der unabhängigen Variablen erfolgte die Durchführung einer dreifaktoriellen Mixed ANOVA. Dabei sollten mögliche Auswirkungen des zeitlichen Verlaufs, des Geschlechts sowie Untersuchungsbedingungen auf die Reaktionszeit wie auch motorische Genauigkeit untersucht werden. Dafür wurde der Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ und die Innersubjektfaktoren „Bedingung“ und „Block“ definiert und Effekte auf die Reaktionszeit und motorischen Genauigkeit untersucht. Bei signifikanten Interaktionseffekten erfolgte eine post-hoc Untersuchung mittels Tukey's Honest Significance Test zur weitergehenden Analyse der Interaktionen zwischen den einzelnen Faktorstufen. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Vor Berechnung der ANOVA erfolgte die Überprüfung der notwendigen Voraussetzungen.

Die Überprüfung auf Normalverteilung erfolgte numerisch durch Berechnung des Shapiro-Wilk-Tests (vgl. Anhang 1) und graphisch durch Beurteilung der Verteilung mit Sichtung der Q-Q-Diagramme und Histogramme. Sowohl für die Reaktionszeit wie auch motorische Genauigkeit war die Normalverteilung der Daten nicht für alle Untergruppen gegeben (die Untergruppen ergaben sich nach Einteilung der Daten der Versuchspersonen gemäß Geschlecht, Bedingung und Block). Es erfolgte daher eine dekadische Logtransformation der abhängigen Variablen. Anschließend wurden Schiefe und Kurtosis (vgl. Anhang 2 und 3) der transformierten Variablen berechnet. Die Z-Standardisierung der Schiefe und Kurtosis zeigten, von einer Untergruppe der motorischen Genauigkeit abgesehen, für sämtliche anderen Untergruppen Z-Werte zwischen -1,96 und 1,96. Trotz weiterhin signifikanten Shapiro-Wilk-Test nach Logtransformation in jeweils zwei Untergruppen der Reaktionszeit und motorischen Genauigkeit (vgl. Anhang 1), kann nach Sichtung der Q-Q-Diagramme und Histogramme der transformierten Variablen sowie orientierend nach Kim (2013) unter Berücksichtigung des Z-Werts in den Untergruppen von einer Normalverteilung ausgegangen werden (Kim, 2013). Bezüglich der fehlenden Normalverteilung für eine Untergruppe ($M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ /männliches Geschlecht/Block 6) der motorischen Genauigkeit sei auf die Robustheit der Mixed ANOVA gegen diese geringe Verletzung dieser Annahme hingewiesen (Glass et al., 1972; Harwell et al., 1992).

Die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Untergruppen war laut Levene-Test für die logtransformierten Variablen der Reaktionszeit und motorischen Genauigkeit gegeben ($p > 0,05$). Ebenfalls war eine Homogenität der Kovarianzmatrizen gemäß Box-Test gegeben ($p > 0,05$).

2.6.2 Deskriptive Statistik

Zur Darstellung der Reaktionszeit und motorischen Genauigkeit während der Messabschnitte erfolgte die Berechnung des Medians sowie des 25. und 75. Quartils der nicht-transformierten Variablen. Die deskriptiven Darstellungen erfolgten in Abhängigkeit der Untersuchungsbedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ sowie des Geschlechts der Studienteilnehmenden. Um eine Aussage der Ergebnisse über den zeitlichen Verlauf der Messung abzugeben, erfolgt ebenfalls eine Darstellung in Abhängigkeit der einzelnen 5-Minutenblöcke der Messung. Die graphische Darstellung erfolgte mittels Box-Plots der nicht-logtransformierten Variablen.

Sämtliche Ausreißer wurden hinsichtlich ihrer Ursache im Rahmen der Datensichtung untersucht. Die in den Abbildungen noch dargestellten Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden daher nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Der Ausschluss von einzelnen Ausreißern erfolgte, wenn diese auf eine Störung von außen zurückzuführen waren. Solche Störungen wurde im Zuge der Messungen durch hinterlegte Kommentare und Störmarkern im Messablauf gekennzeichnet und im Rahmen der Datensichtung analysiert. So führten beispielsweise bei unterschiedlichen Probandinnen und Probanden ein Vorbeugen der Versuchsperson, das Verrutschen der Hand mit anschließender Neupositionierung, das Reden eines Teilnehmenden oder das Verrutschen des Pullovers zu Ausreißern, welche ausgeschlossen wurden. In einem Fall wurde eine nicht plausible, sehr stark erniedrigte Reaktionszeit aufgezeichnet, welche ebenfalls ausgeschlossen wurden.

3 Ergebnisse

3.1 Kollektiv der Versuchsteilnehmenden

Insgesamt nahmen 54 Versuchspersonen an der Studie teil. Tabelle 2 stellt die Gründe dar, welche nach Prüfung der Ausschlusskriterien zum Ausschluss von sieben Teilnehmenden von der weiteren Auswertung führten; letztendlich wurden somit 47 Probandinnen und Probanden in die Auswertung eingeschlossen. Tabelle 3 fasst die anthropometrischen Daten dieser weiblichen und männlichen Versuchsteilnehmenden über beide Altersgruppen hinweg zusammen.

Tabelle 2: Teilnehmenden-Identifikatoren und Begründung des Ausschlusses

| Teilnehmenden-Identifikator | Ausschlussbegründung |
|-----------------------------|---|
| ID 3 | Übermüdung |
| ID 7 | Erhöhter Body-Mass-Index |
| ID 37 | Ausbleibendes Erscheinen am letzten Versuchstag |
| ID 39 | Schmerzen aufgrund einer Rhizarthrose |
| ID 42 | Ausbleibendes Erscheinen nach erstem Versuchstag |
| ID 50 | Technischer Fehler bei Aufzeichnung der Messdaten |
| ID 52 | Schwindel und Kopfschmerzen nach erstem Versuchstag |

Tabelle 3: Studienpopulation. Versuchspersonenanzahl und anthropometrische Daten zu Alter, Gewicht, und Körpergröße. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Minimum und Maximum

| | Männliche Versuchspersonen (N = 24) | Weibliche Versuchspersonen (N = 23) |
|---|--|--|
| Alter [Jahre] | 42 (18 – 67) | 40 (21 – 66) |
| Gewicht [kg] | 75 (57 – 90) | 64 (50 – 83) |
| Körpergröße [cm] | 177 (170 – 197) | 165 (157 – 179) |
| Anzahl Teilnehmender in der jüngeren Alterskohorte (18 – 27 Jahre) | 12 | 12 |
| Anzahl Teilnehmender in der älteren Alterskohorte (50 – 67 Jahre) | 12 | 11 |

3.2 Einfluss der Inner- und Zwischensubjektfaktoren auf die Reaktionszeit

Nachfolgend werden mögliche Interaktions- und Haupteffekte der Innersubjektfaktoren „Untersuchungsbedingung“ und „Block“ (Aufgabendauer) sowie des Zwischensubjektfaktors „Geschlecht“ auf die Reaktionszeit [ms] dargestellt. Für diese abhängige Variable wurden Mediane sowie Interquartilsabstände berechnet. Diese werden sowohl über den zeitlichen Verlauf der Messungen sowie in Abhängigkeit des Geschlechts und der Untersuchungsbedingung aufgezeigt.

3.2.1 Untersuchung statistisch signifikanter Interaktionseffekte auf die Reaktionszeit

Wie in Tabelle 4 ersichtlich, wurde die Reaktionszeit in Abhängigkeit von Geschlecht, Untersuchungsbedingung und der Aufgabendauer („Block“) untersucht. Es liegen keine statistisch signifikanten Interaktionen zwischen den Faktoren vor. Ebenfalls zeigen weder der Effekt „Geschlecht“ noch „Block“ eine Signifikanz auf, jedoch ist ein statistisch

signifikanter Haupteffekt der Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ auf die Reaktionszeit ($F(1, 133) = 134,52, p < 0,0001$) nachweisbar (vgl. Tab. 4).

Tabelle 4: Test der festen Effekte auf die Reaktionszeit, durchgeführt nach dekadischer Logtransformation der Variablen

| Faktor | Anzahl Parameter | Freiheitsgrade | Freiheitsgrade Nenner | F-Wert | p-Wert |
|----------------------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|----------|
| Bedingung | 1 | 1 | 133 | 134,52 | <0,0001* |
| Geschlecht | 1 | 1 | 43,88 | 0,54 | 0,4644 |
| Bedingung*Geschlecht | 1 | 1 | 133 | 0,46 | 0,4995 |
| Block | 1 | 1 | 133 | 1,32 | 0,2525 |
| Bedingung*Block | 1 | 1 | 133 | 2,58 | 0,1104 |
| Geschlecht*Block | 1 | 1 | 133 | 0,67 | 0,4137 |
| Bedingung*Geschlecht*Block | 1 | 1 | 133 | 1,20 | 0,2753 |

3.2.2 Einfluss der kognitiven Aufgabe auf die Reaktionszeit

Abbildung 9 veranschaulicht die signifikant schnellere Reaktionszeit in der Dual-Task-Situation bei Bearbeitung der weniger anspruchsvollen kognitiven Aufgabe K_{leicht} . Der Median der gemittelten individuellen Reaktionszeiten der Versuchspersonen weist eine Differenz von 154 ms zwischen den Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ auf.

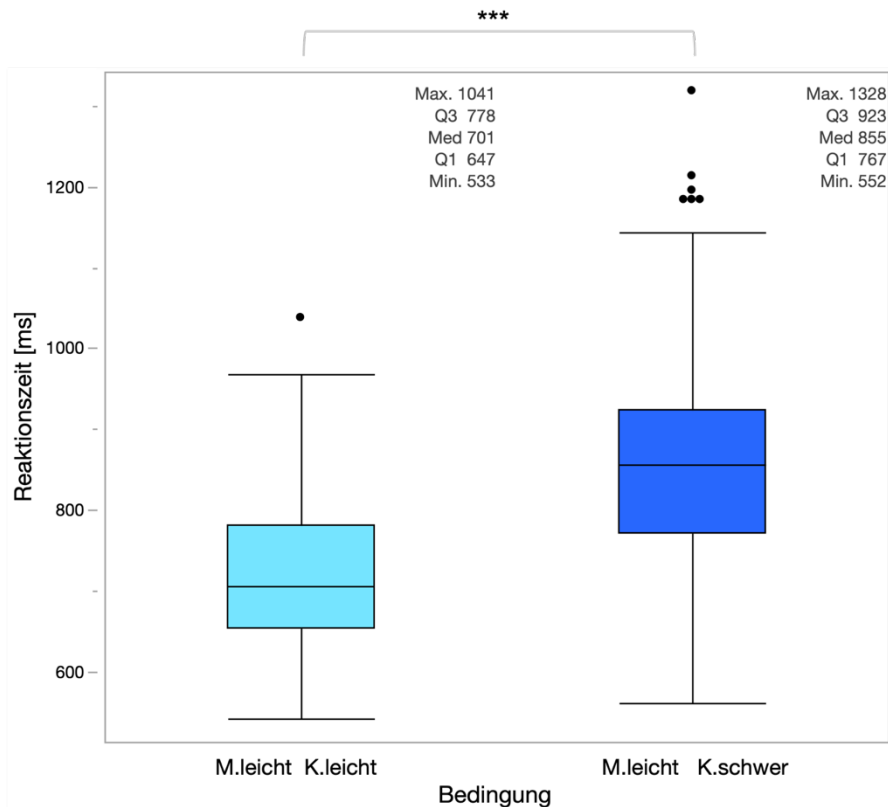


Abbildung 9: Median (Med), oberes Quartil (Q3), unteres Quartil (Q1), Maximum (Max.) und Minimum (Min.) der Reaktionszeiten [ms] in Abhängigkeit der Messbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Reaktionszeit während Block 6 oder Block 1 einer Versuchsperson. Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. *** zeigt den signifikanten Unterschied gemäß Ergebnis der Mixed ANOVA an

3.2.3 Untersuchung der Reaktionszeit im zeitlichen Verlauf

Abbildung 10 visualisiert den Median der gemittelten individuellen Reaktionszeiten der Versuchspersonen über den vollständigen Messverlauf in Bezug auf die 4,25 min andauernden Blöcke und aufgeteilt nach den Untersuchungsbedingungen. Wenngleich kein statistisch signifikanter Unterschied im Vergleich von Block 1 zu Block 6 vorliegt, zeigt sich eine Zunahme der Reaktionszeit von Block 2 auf Block 3 in $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, welche sich im nachfolgenden Verlauf auf erhöhtes Niveau stabilisiert. So beträgt die Differenz des Medians zwischen Beginn und Ende der Messung (Block 6 und Block 1) 14,45 ms (s. Tab. 5). Eine vergleichbare Entwicklung ist bei Bearbeitung der anspruchsvolleren

kognitiven Aufgabe im Rahmen von $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ nicht erkennbar. Hier zeigt sich nach einer Zunahme des Medians von Block 1 auf Block 2 im Folgenden zeitlichen Verlauf unter Schwankungen eine tendenzielle Reduktion der Reaktionszeit (vgl. Abb. 10). In der Gegenüberstellung von Block 6 und Block 1 liegt der Median der Reaktionszeit hier wieder näher dem Ausgangsniveau mit einer zeitlichen Differenz von 8,3 ms. Wie in Tabelle 5 und Abbildung 10 ersichtlich, stellt sich bei beiden Bedingungen unter Schwankungen ein zunehmender Interquartilsabstand dar.

Tabelle 5: Deskriptive Parameter der gemittelten individuellen Reaktionszeiten (RZ) der Versuchspersonen bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s über den zeitlichen Verlauf der Messung, aufgeteilt nach den Belastungsbedingungen $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau) und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau). Nicht-logarithmierte Variable, Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$

| Block | Bedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ | | Bedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ | |
|-------|--|------------------------------|--|------------------------------|
| | Median [ms] RZ | Interquartilsabstand [ms] RZ | Median [ms] RZ | Interquartilsabstand [ms] RZ |
| 1 | 698,44 | 88,22 | 851,2 | 130,43 |
| 2 | 696,22 | 115,24 | 881,17 | 196,8 |
| 3 | 713,89 | 121,57 | 858,71 | 185,4 |
| 5 | 710,57 | 123,78 | 865,25 | 218,17 |
| 6 | 712,89 | 156,78 | 859,5 | 172,13 |

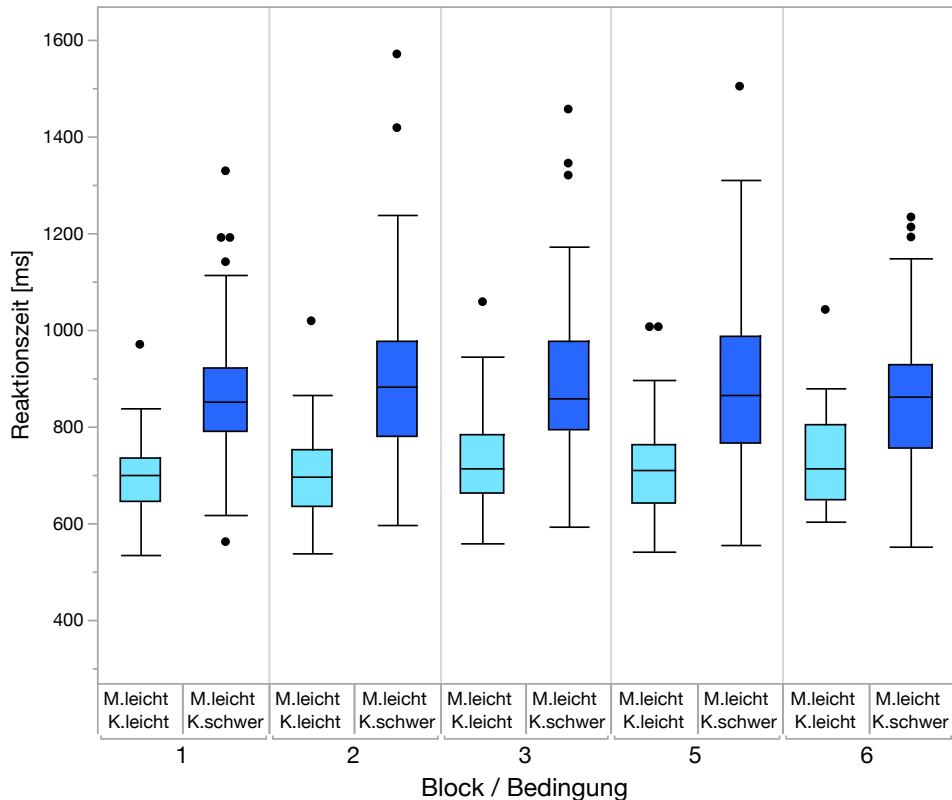


Abbildung 10: Entwicklung der Reaktionszeiten [ms] in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs einer Messung bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s, aufgeteilt nach den Bedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Reaktionszeit einer Versuchsperson während eines Blocks. Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen

3.2.4 Untersuchung der Reaktionszeit in Abhängigkeit des Geschlechts

Das Geschlecht zeigt keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit. Gleichwohl ist unter beiden Untersuchungsbedingungen ein niedrigerer Median der Reaktionszeit der männlichen Versuchsteilnehmenden gegenüber den Teilnehmerinnen (vgl. Tab. 6) sichtbar. Unter der Untersuchungsbedingung mit höheren kognitiven Anforderungsniveau zeigt sich eine Differenz des Medians von 53 ms und unter der Bedingung mit niedrigen kognitiven Niveau eine Differenz von 26,15 ms zwischen den Geschlechtern.

Abbildung 11 visualisiert unter beiden Untersuchungsbedingungen einen geringeren Interquartilsabstand für die Probandinnen im Vergleich zu den Probanden.

Tabelle 6: Deskriptive Parameter der gemittelten individuellen Reaktionszeiten (RZ) der Versuchspersonen, geschlechterabhängig nach Frauen (W) und Männern (M). Aufgeteilt nach den Belastungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau) und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau). Nicht-logarithmierte Variable, Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$

| | Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ | | Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ | |
|-------------------------|--|------------------------------|--|------------------------------|
| Geschlecht Teilnehmende | Median [ms] RZ | Interquartilsabstand [ms] RZ | Median [ms] RZ | Interquartilsabstand [ms] RZ |
| M | 684,50 | 150,31 | 825,20 | 147,50 |
| W | 710,65 | 102,08 | 878,20 | 123,58 |

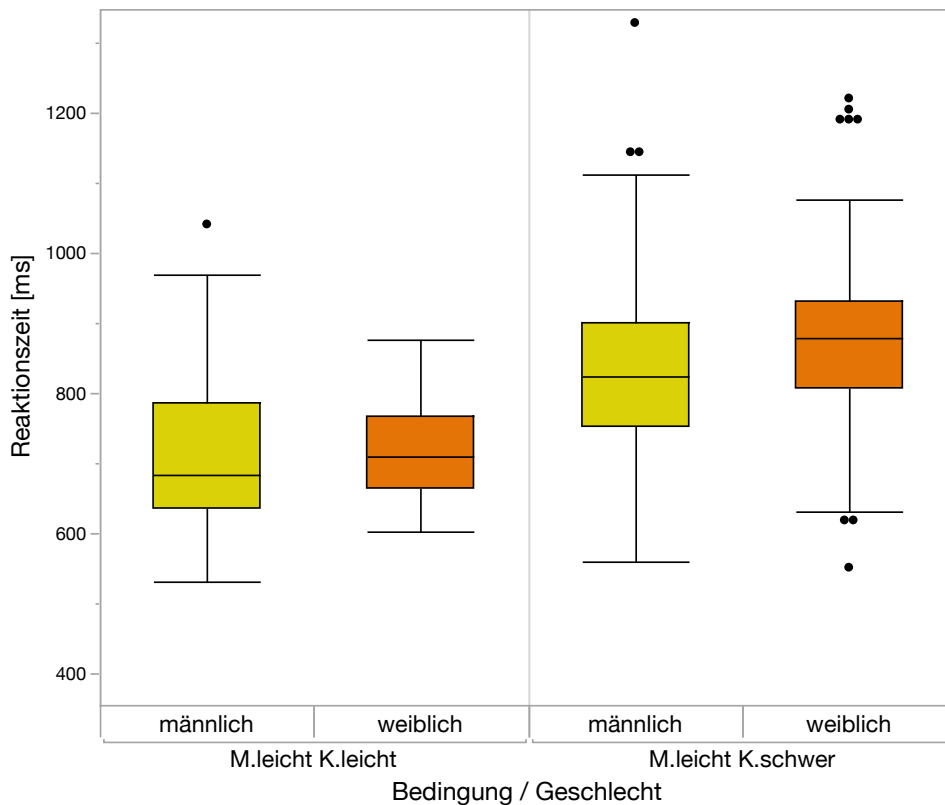


Abbildung 11: Geschlechterabhängige Reaktionszeiten [ms] der 23 Frauen und 24 Männer, aufgeteilt nach den Bedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Reaktionszeit einer Versuchsperson während Block 6 oder Block 1. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen

3.2.5 Zusammenfassung der Reaktionszeitanalyse

Es konnte ein signifikanter Effekt der beiden Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ auf die Reaktionszeit gezeigt werden. Dabei betrug die Differenz der Reaktionszeiten zwischen beiden Untersuchungsbedingungen 154 ms. Weiterhin ergab sich eine deskriptiv längere Reaktionszeit der weiblichen im Vergleich zu den männlichen Teilnehmenden, welche sich jedoch nicht mit einer statistischen Signifikanz erhärten ließ. Ebenfalls konnte kein signifikanter Effekt der Aufgabendauer festgestellt werden, gleichwohl wurde in der deskriptiven Analyse für beide Untersuchungsbedingungen im Vergleich zwischen Beginn und Ende der Messung eine Tendenz zu einer längeren Reaktionszeit am Ende der Messung beobachtet.

Es erfolgte ebenfalls die Berechnung der Mixed ANOVA mit der nicht logtransformierten Variable, wobei die hier genannten Ergebnisse bestätigt wurden (vgl. Anhang 4).

3.3 Einfluss der Inner- und Zwischensubjektfaktoren auf die motorische Genauigkeit

Nachfolgend werden mögliche Interaktions- und Haupteffekte der unabhängigen Parameter „Geschlecht“, „Untersuchungsbedingung“ und „Block“ (Aufgabendauer) auf die motorische Genauigkeit in Form der mittleren Abweichung der abgegebenen Kraft vom vorgegebenen Kraftverlauf [N] dargestellt. Auch hier wurde für den abhängigen Parameter Mediane sowie Interquartilsabstände berechnet, welche sowohl über den zeitlichen Verlauf der Messungen sowie in Abhängigkeit des Geschlechts und Untersuchungsbedingungen aufgezeigt werden.

3.3.1 Untersuchung statistisch signifikanter Interaktionseffekte auf die motorische Genauigkeit

Tabelle 7 zeigt, dass ein statistisch signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Untersuchungsbedingungen ($M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$) und Geschlecht ($F(1, 135) = 10,08, p < 0,01$) vorliegt. Ebenfalls ist ein signifikanter Haupteffekt der Aufgabendauer „Block“ ($F(1, 135) = 8,76, p < 0,01$) feststellbar.

Tabelle 7: Test der festen Effekte auf die motorische Genauigkeit, durchgeführt nach dekadischer Logtransformation der Variable

| Faktor | Anzahl Parameter | Freiheitsgrade | Freiheitsgrade Nenner | F-Wert | p-Wert |
|----------------------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|----------|
| Bedingung | 1 | 1 | 135 | 31,83 | <0,0001* |
| Geschlecht | 1 | 1 | 45 | 5,32 | 0,0257* |
| Bedingung*Geschlecht | 1 | 1 | 135 | 10,08 | 0,0019* |
| Block | 1 | 1 | 135 | 8,76 | 0,0036* |
| Bedingung*Block | 1 | 1 | 135 | 0,04 | 0,8487 |
| Geschlecht*Block | 1 | 1 | 135 | 1,41 | 0,2363 |
| Bedingung*Geschlecht*Block | 1 | 1 | 135 | 0,04 | 0,8451 |

Tabelle 8 stellt den Tukey's Honest Significance Test (Tukey-HSD) zur weitergehenden post-hoc Untersuchung der signifikanten Interaktion „Bedingung*Geschlecht“ dar. Das Ergebnis des Tukey-HSD zeigt einen signifikanten Unterschied der motorischen Genauigkeit zwischen den männlichen Versuchspersonen unter der Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ im Vergleich zu den Probandinnen unter den Bedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ ($0,21, p < 0,05$) und $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ ($0,26, p < 0,01$). Ebenfalls zeigt das Ergebnis des Tukey-HSD unter den männlichen Studienteilnehmenden einen signifikanten Unterschied der motorischen Genauigkeit unter der Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ im Vergleich zu $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ ($0,17, p < 0,0001$) (vgl. Tab. 8 und Abb. 12).

Tabelle 8: Tukey-HSD, Liste der sortierten Differenzen. Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Faktorstufen Untersuchungsbedingung ($M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$) sowie Geschlecht (männliche (M) und weibliche (W) Teilnehmende). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Stichprobengröße $N = 47$

| Kategorie | - Kategorie | Differenz [N] | Std.-Fehlerdiff. [N] | KI unten [N] | KI oben [N] | p-Wert |
|--|--|---------------|----------------------|--------------|-------------|--------------------|
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, M | $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, W | 0,26 | 0,07 | 0,08 | 0,43 | 0,0012* |
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, M | $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, W | 0,21 | 0,07 | 0,03 | 0,39 | 0,0120* |
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, M | $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, M | 0,17 | 0,03 | 0,10 | 0,24 | <0,0001* |
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, M | $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, W | 0,09 | 0,07 | -0,09 | 0,27 | 0,5564 |
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, W | $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, W | 0,05 | 0,03 | -0,02 | 0,12 | 0,3142 |
| $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, M | $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, W | 0,04 | 0,07 | -0,13 | 0,22 | 0,9276 |

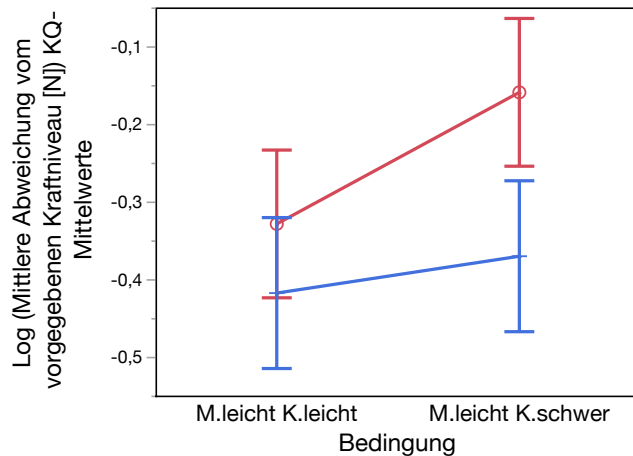


Abbildung 12: Vergleichende Darstellung der mittleren Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftniveau als Kleinste-Quadrate-Mittelwerte (KQ-Mittelwerte) der Untergruppen nach dekadischer Logtransformation der Variable in Abhängigkeit von $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$, aufgeteilt nach Geschlecht (rot = männliche Teilnehmende, blau = weibliche Teilnehmende). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau.

3.3.2 Untersuchung der motorischen Genauigkeit in Abhängigkeit von Geschlecht und Untersuchungsbedingung

Tabelle 9 und Abbildung 13 stellen den Median der individuellen mittleren Abweichungen der aufgebrauchten Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf der Versuchspersonen dar.

Für die signifikante Interaktion „Bedingung*Geschlecht“ zeigt das Ergebnis des Tukey-HSD sowohl signifikante Unterschiede der motorischen Genauigkeit zwischen den Geschlechtern wie auch zwischen beiden Untersuchungsbedingungen der männlichen Versuchspersonen an (vgl. 3.3.1) Im Vergleich zwischen den Geschlechtern und Untersuchungsbedingungen ist eine Differenz von 0,19 N zwischen Frauen und Männern unter der Untersuchungsbedingung mit höheren kognitiven Anforderungsniveau statistisch nachweisbar, mit einer größeren Genauigkeit der weiblichen Versuchspersonen. Ebenfalls liegt eine statistisch signifikante Differenz von 0,17 N innerhalb der männlichen Teilnehmenden zwischen den Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ vor. Männliche Versuchspersonen sind dabei unter der Bedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ signifikant genauer als unter $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$. Weiterhin ist ein Unterschied von 0,2 N zwischen männlichen Teilnehmenden unter der Bedingung

$M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ und den Probandinnen unter der Bedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ statistisch nachzuweisen (vgl. Tab. 9 und Abb. 13); auch hier kann eine größere Genauigkeit der weiblichen Versuchspersonen beobachtet werden. Insgesamt ergibt sich der niedrigste Median bei den weiblichen Studienteilnehmenden unter der Untersuchungsbedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und der höchste Median für die männlichen Versuchspersonen unter der Untersuchungsbedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$.

Tabelle 9: Deskriptive Parameter der motorischen Genauigkeit (MG), geschlechterabhängig nach 23 Frauen (W) und 24 Männern (M) und aufgeteilt nach den Belastungsbedingungen $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau

| | Bedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ | | Bedingung $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$ | |
|-------------------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|
| Geschlecht Teilnehmende | Median [N] MG | Interquartilsabstand [N] MG | Median [N] MG | Interquartilsabstand [N] MG |
| M | 0,40 | 0,35 | 0,57 | 0,44 |
| W | 0,37 | 0,29 | 0,38 | 0,42 |

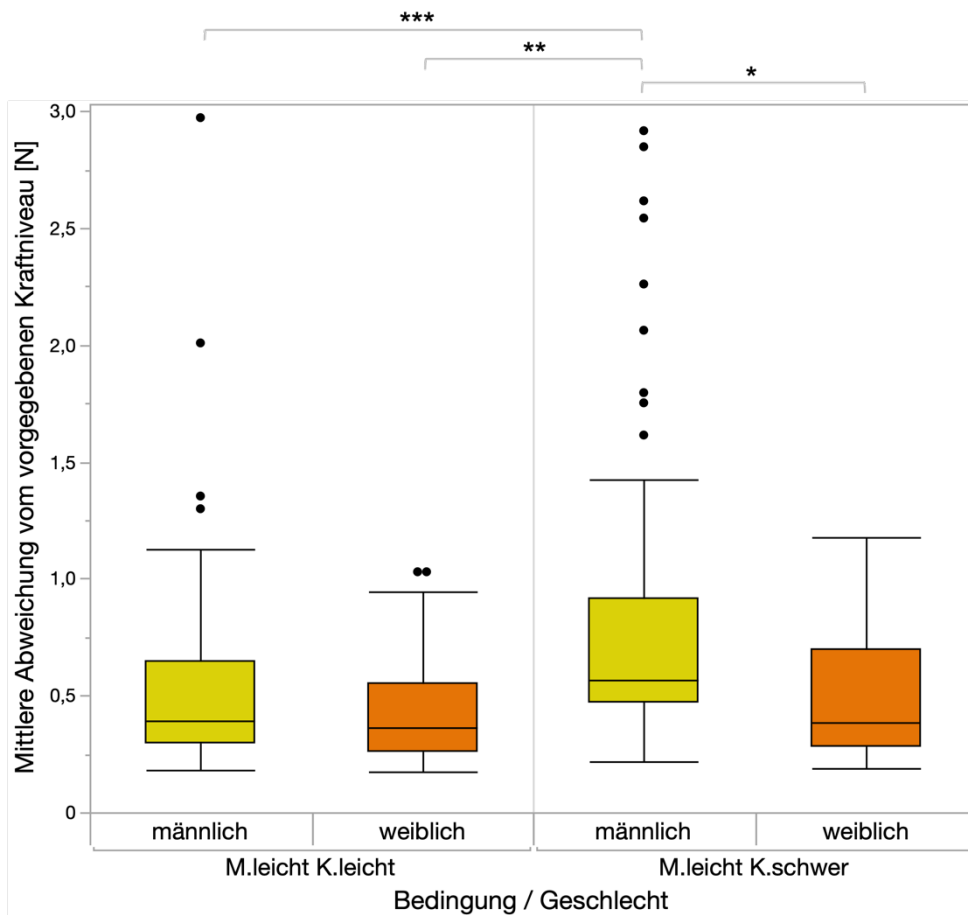


Abbildung 13: Bedingungsabhängige ($M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$ und $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$) mittlere Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf der 23 Frauen und 24 Männer (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}K_{\text{leicht}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}K_{\text{schwer}}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Abweichung einer Versuchsperson während Block 6 oder Block 1. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. ***, ** und * zeigen signifikante Unterschiede gemäß Ergebnis der Mixed ANOVA an

3.3.3 Untersuchung der motorischen Genauigkeit im zeitlichen Verlauf

Es liegt ein statistisch signifikanter Haupteffekt der Aufgabendauer auf die motorische Genauigkeit vor. Tabelle 10 veranschaulicht in der Gegenüberstellung von Block 1 und Block 6 zwischen Beginn und Ende der Messung eine Differenz des Medians von 0,02 N sowie eine Verringerung des Interquartilsabstands im zeitlichen Verlauf.

Tabelle 10: Deskriptive Parameter der motorischen Genauigkeit (MG) in Form der individuellen mittleren Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf der Messung bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s. Stichprobengröße N = 47 (nicht-logarithmierte Variable)

| Block | Median [N] MG | Interquartilsabstand [N] MG |
|-------|---------------|-----------------------------|
| 1 | 0,45 | 0,43 |
| 2 | 0,43 | 0,36 |
| 3 | 0,46 | 0,32 |
| 5 | 0,42 | 0,27 |
| 6 | 0,43 | 0,35 |

Über die Aufgabendauer und in Bezug auf die Blöcke zu jeweils 4,25 Minuten, visualisiert Abbildung 14 den Median der individuellen mittleren Abweichungen der abgegebenen Kraft vom vorgegebenen Kraftverlauf der Versuchspersonen.

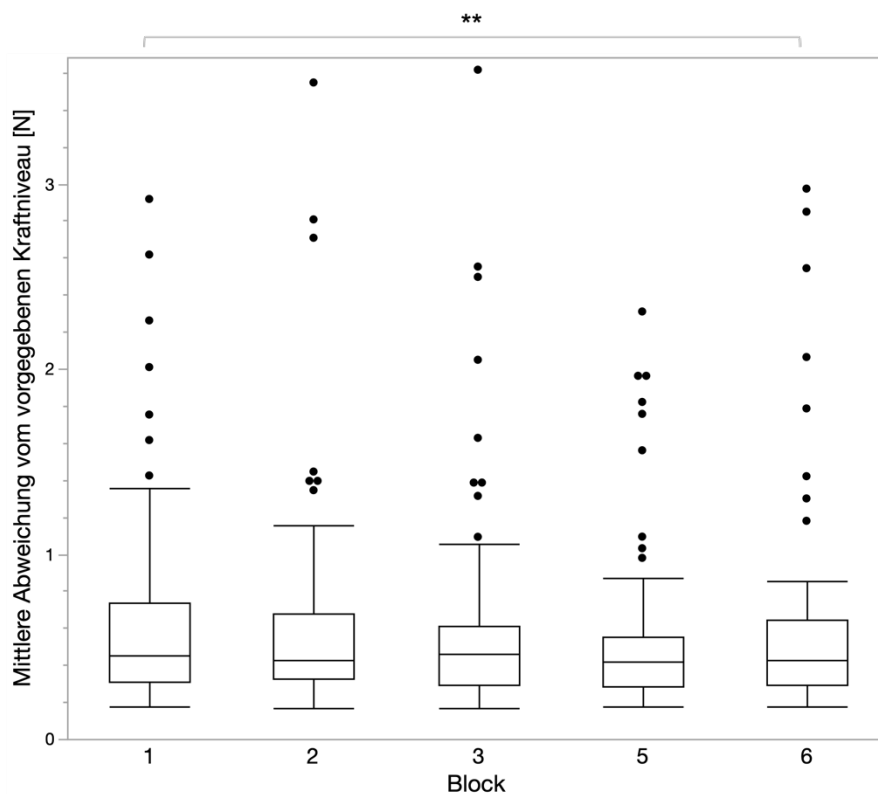


Abbildung 14: Mittlere Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf einer Messung in Abhängigkeit der Blöcke zu jeweils 4 min 15 s (nicht-logarithmierte Variable). Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Abweichung einer Versuchsperson während eines Blocks. Stichprobengröße $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen

Getrennt nach den Untersuchungsbedingungen zeigen Tabelle 11 und Abbildung 15 für die Untersuchungsbedingung mit niedrigen kognitiven Anforderungsniveau eine stetige Verringerung des Medians von Block 1 bis Block 5 auf; hier lässt sich eine Differenz des Medians von 0,04 N zwischen Beginn und Ende der Messung (Block 1 gegen Block 6) darstellen. Eine ähnliche Entwicklung ist unter dem höheren kognitiven Anforderungsniveau K_{schwer} nicht erkennbar. Von Block 1 auf Block 2 ist hier eine Verringerung des Medians zu verzeichnen, im weiteren zeitlichen Verlauf zeigt sich jedoch keine weitere eindeutige Tendenz der motorischen Genauigkeit. Zwischen Beginn und Ende der Messung ist unter der Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ eine Differenz der motorischen Genauigkeit von 0,1 N festzustellen.

Tabelle 11: Deskriptive Parameter der motorischen Genauigkeit (MG) in Form der individuellen mittleren Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf der Messung bezogen auf die einzelnen Blöcke zu jeweils 4 min 15 s, aufgeteilt nach den Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau) und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau). Stichprobengröße pro Bedingung $N = 47$ (nicht-logarithmierte Variable)

| Block | Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ | | Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ | |
|-------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
| | Median [N] MG | Interquartilsabstand [N] MG | Median [N] MG | Interquartilsabstand [N] MG |
| 1 | 0,41 | 0,30 | 0,60 | 0,58 |
| 2 | 0,38 | 0,25 | 0,47 | 0,51 |
| 3 | 0,36 | 0,28 | 0,48 | 0,37 |
| 5 | 0,34 | 0,23 | 0,47 | 0,38 |
| 6 | 0,37 | 0,28 | 0,50 | 0,38 |

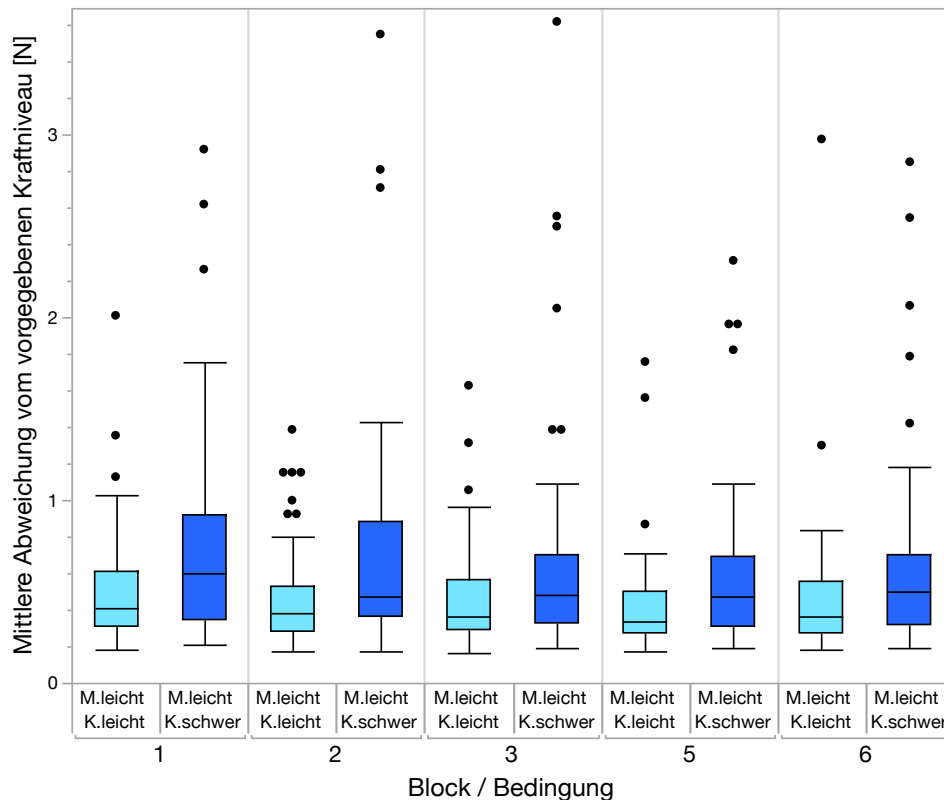


Abbildung 15: Mittlere Abweichung der abgegebenen Kraft [N] vom vorgegebenen Kraftverlauf über den zeitlichen Verlauf einer Messung in Abhängigkeit der Blöcke zu jeweils 4 min 15 s, aufgeteilt nach den Bedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ (nicht-logarithmierte Variable). $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch und kognitiv leichten Anforderungsniveau. $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$: Untersuchungsbedingung mit motorisch leichten und kognitiv schweren Anforderungsniveau. Ein Datenpunkt entspricht der mittleren Abweichung einer Versuchsperson während eines Blocks. Stichprobengröße $N = 47$. Dargestellte Ausreißer sind auf intra- und interindividuelle Ursachen zurückzuführen und wurden nicht aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen

3.3.4 Zusammenfassung der Analyse der motorischen Genauigkeit

Es konnte ein signifikanter Interaktionseffekt der beiden Untersuchungsbedingungen und des Geschlechts der Versuchspersonen („Bedingung*Geschlecht“) auf die motorische Genauigkeit nachgewiesen werden. Es war dabei ein signifikanter Unterschied der motorischen Genauigkeit der männlichen Versuchspersonen unter der Versuchsbedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ im Vergleich zu den Probandinnen unter den Bedingungen mit höheren und niedrigen kognitiven Anforderungsniveau zu beobachten. Die weiblichen Versuchspersonen zeigten hierbei in ihren motorischen Ausführungen eine statistisch signifikant geringere Abweichung als die männlichen Versuchspersonen. Ebenfalls konnte unter den männlichen Studienteilnehmenden ein signifikanter

Unterschied zwischen der Untersuchungsbedingung mit höheren im Vergleich zum niedrigen kognitiven Anforderungsniveau beobachtet werden. Die männlichen Teilnehmenden zeigten dabei eine statistisch signifikant höhere motorische Genauigkeit unter der Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$. In Bezug auf den Median der individuellen mittleren Abweichungen der abgegebenen Kraft vom vorgegebenen Kraftverlauf der Versuchspersonen, konnte eine Differenz von 0,19 N zwischen Frauen und Männern unter der Untersuchungsbedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ beobachtet werden. Ebenfalls wurde eine Differenz von 0,17 N innerhalb der männlichen Teilnehmenden zwischen der Untersuchungsbedingung mit höheren kognitiven Anforderungsniveau im Vergleich zum niedrigen kognitiven Anforderungsniveau gezeigt. Daneben ließ sich ein Unterschied von 0,2 N zwischen weiblichen Teilnehmenden unter der Untersuchungsbedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und den männlichen Probanden unter $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ statistisch nachweisen. Darüber hinaus wurde ein signifikanter Effekt der Aufgabendauer statistisch nachgewiesen: Im zeitlichen Verlauf konnte eine Zunahme der motorischen Genauigkeit dargestellt werden, so dass die Versuchspersonen am Ende der Messung (Block 6) eine signifikant höhere Genauigkeit zeigten als zu Beginn (Block 1). In der Analyse der motorischen Genauigkeit erfolgte ebenfalls die Berechnung der Mixed ANOVA mit der nicht logtransformierten Variable (vgl. Anhang 5).

4 Diskussion

Bezugnehmend auf den aktuellen Forschungsstand werden nun die Erkenntnisse aus der Datenanalyse dieser Studie diskutiert. Hierbei sollen auch mögliche Folgen einer dualen Belastung in Form einer negativen psychische Beanspruchung sowie Implikationen einer Einschränkung der motorischen Genauigkeit für reale Arbeitsumgebungen dargestellt werden.

4.1 Interaktionseffekte auf die motorische Genauigkeit

In der Analyse der motorischen Genauigkeit im Rahmen der Dual-Task-Bedingungen, konnte ein signifikanter Interaktionseffekt der beiden Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ sowie des Geschlechts der Versuchspersonen beobachtet werden (vgl. 3.3). Die Auswertung der motorischen Genauigkeit der Tracking-Aufgabe M_{leicht} erfolgte hierbei durch Berechnung der vertikalen Abweichung der abgegebenen Kraft von der vorgegebenen konstanten Kraftvorgabe in Höhe von 4% der Maximalkraft im Plateauabschnitt eines Trapezes (vgl. Abb. 8).

Männliche, im Gegensatz zu weiblichen, Versuchspersonen zeigten unter der Dual-Task-Bedingung mit hohem kognitiven Anforderungsniveau eine signifikant größere Ungenauigkeit in ihren motorischen Ausführungen als unter einem niedrigen kognitiven Anforderungsniveau (vgl. Tab. 8 und Tab. 9). Die beobachtete Abnahme der Genauigkeit der Bewegungsausführung bei Veränderung des Anforderungsniveaus einer simultanen kognitiven Aufgabe war kohärent zu Erkenntnissen anderer Arbeitsgruppen.

So wurde bei einer Untersuchung unter Anwendung des Dual-Task-Paradigmas von Brustio et al. (2017) ebenfalls der Einfluss unterschiedlicher kognitiver Schwierigkeitsgrade einer Aufgabe auf die motorische Funktion überprüft. Bei Vergleich deren Ergebnisse mit der Analyse der hier vorliegenden Arbeit muss jedoch die unterschiedliche Konzeption des Versuchsaufbaus berücksichtigt werden: In der Forschungsarbeit von Brustio et al. (2017) absolvierten die Versuchspersonen keine Tracking-Aufgabe, sondern drei komplexe Bewegungsabläufe jeweils allein und in Begleitung von Zahlenaufgaben in zwei Schwierigkeitsgraden (Brustio et al., 2017). Es konnten dabei im Vergleich zwischen der Dual-Task- und Single-Task-Bedingungen sowie im Vergleich zwischen den unterschiedlichen Dual-Task-Situationen, bei erhöhtem

Schwierigkeitsgrad der kognitiven Aufgabe eine signifikante Verschlechterung der Bewegungsausführungen beobachtet werden (Brustio et al., 2017). Wie bereits in der Einleitung genannt, wurde in den meisten anderen gesichteten Dual-Task-Studien lediglich der Einfluss eines kognitiven Belastungsniveaus auf Parameter der motorischen Genauigkeit einer Bewegungsausführung mit einer Kontrollbedingung ohne kognitive Belastungskomponente verglichen. Ein möglicher Einfluss unterschiedlicher kognitiver Anforderungsniveaus wurde hingegen häufig nicht untersucht. Dies erschwerte teilweise den direkten Vergleich mit den Ergebnissen der hier vorliegenden Arbeit.

So untersuchte eine Arbeitsgruppe den Einfluss einer akustischen kognitiven Aufgabe, bei der Teilnehmende zwischen zwei Tonfrequenzen unterscheiden mussten, auf eine Tracking-Aufgabe; die Dual-Task-Bedingung wurde hierbei mit der Kontrollbedingung ohne duale Belastung verglichen (Broeker et al., 2020). Hierbei zeigte sich eine Reduktion der Genauigkeit einer Bewegungsausführung bei Kombination mit der akustischen Aufgabe, wobei die eingesetzte Tracking-Aufgabe mit einem Joystick ohne Angabe eines geforderten Kraftniveaus als prozentueller Anteil der MVC absolviert wurde (Broeker et al., 2020). Wenngleich in dieser Forschungsarbeit somit nicht die Auswirkung unterschiedlicher kognitiver Schwierigkeitsgrade berücksichtigt und ebenfalls eine andere Tracking-Aufgabe angewendet wurde, so ließ sich dennoch eine negative Beeinflussung des motorischen Parameters durch die gleichzeitige Ausführung einer kognitiven Aufgabe nachweisen. Neben der genannten Untersuchung von Broeker et al. musste in einer weiteren Dual-Task-Studie ein vorgegebenes Kraftniveau durch isometrische Kontraktion in Kombination mit Ausführung einer kognitiven Aufgabe gehalten werden (Temprado et al., 2015). Im Rahmen der kognitiven Aufgabe wurde dabei mit dem linken Fuß auf einen akustischen Ton hin reagiert, wobei sowohl die motorische wie auch kognitive Aufgabe jeweils alleine und in Kombination durchgeführt wurde (Temprado et al., 2015). Obwohl das Kraftniveau der isometrischen Kontraktionen mit 10% und 50% der MVC in der Untersuchung von Temprado et al. (2015) höher waren als das Kraftniveau der hier vorgestellten Untersuchung und teilweise andere Muskelgruppen beansprucht wurden, bestätigt auch deren Arbeit eine negative Beeinflussung der motorischen Ausführung durch eine kognitive Aufgabe.

Die Resultate der Studie von Mehta und Agnew (2011) stehen im Gegensatz zu den Analyseergebnissen der motorischen Genauigkeit männlicher Versuchspersonen dieser

Arbeit. Im Rahmen des Dual-Task-Paradigmas erfolgte dabei im motorischen Anteil der Aufgabenstellung eine isometrische Kontraktion unterschiedlicher Muskelgruppen des dominanten Arms, wobei ein vorgegebenes Kraftniveau so stabil wie möglich gehalten werden sollte (Mehta & Agnew, 2011). Im Gegensatz zur genannten Arbeit von Temprado et al., wurde in diesem Studiendesign jedoch mehrere Kraftniveaus implementiert (5%, 25%, 45%, 65% und 85% der MVC), welche jeweils in Kombination mit einer kognitiven Aufgabe gehalten werden mussten (Mehta & Agnew, 2011). Im Rahmen der kognitiven Aufgabe wurde nach einem zufälligen Muster Farbwörter in unterschiedlichen Farben auf einen Monitor dargestellt, wobei die Teilnehmenden verbal angeben mussten, in welcher Farbe die Worte dargestellt wurden („*Stroop color word test*“) (Mehta & Agnew, 2011). Im Vergleich zwischen der Dual-Task- und Single-Task-Bedingung, waren die aufgezeichneten Schwankungen der applizierten Kraft zwar insbesondere bei sehr niedrigen und hohen Kraftniveaus am höchsten. Bei einem Kraftniveau von 5% der MVC, welcher mit dem eingesetzten Kraftniveau der hier vorgelegten Arbeit vergleichbar ist, konnte allerdings kein signifikanter Unterschied der motorischen Performance zwischen der Dual- und Single-Task-Bedingung beobachtet werden (Mehta & Agnew, 2011). Da die Kontraktionen lediglich 10 Sekunden gehalten werden mussten, führten die Autorinnen dies auf eine zu kurze Aufgabendauer zurück (Mehta & Agnew, 2011).

Wenngleich die Dual-Task-Studie von Mehta und Agnew (2011) eine andere Aussage liefert als das Ergebnis der motorischen Genauigkeit der männlichen Versuchspersonen dieser Arbeit, bestätigt sie die Beobachtung über die motorische Genauigkeit in Abhängigkeit des kognitiven Anforderungsniveaus der weiblichen Versuchsteilnehmenden. So wurde auch in der Analyse der hier vorgelegten Arbeit kein signifikanter Unterschied der motorischen Genauigkeit zwischen den kognitiven Anforderungsniveaus der beiden Dual-Task-Bedingungen für die Probandinnen gezeigt (vgl. Tab. 8 und Tab. 9). Die Geschlechterverteilung des Kollektivs der Teilnehmenden waren sowohl in der hier vorgestellten Arbeit mit Einschluss von 23 Frauen und 24 Männer wie auch in der Untersuchung von Mehta und Agnew (2011) (Einschluss von 9 Frauen und 8 Männer) nahezu ausgeglichen und vergleichbar. In einer weiteren Studie der Arbeitsgruppe Mehta wurde ein anderes Dual-Task-Paradigma konzipiert, bei welchem über eine Schulterabduktion isometrische Kontraktionen in Höhe von 15%,

35% und 55% der MVC gehalten werden mussten; im Sinne einer Kontroll- und Dual-Task-Bedingung erfolgte dies sowohl in Abwesenheit wie auch in Anwesenheit einer kognitiven Rechenaufgabe (Mehta & Agnew, 2012). Einer der definierten abhängigen Parameter war ebenfalls die motorische Performance durch Aufzeichnung der Fluktuation der applizierten Kraft, wobei auch hier im Vergleich der Single- und Dual-Task-Situation kein signifikanter Unterschied dieser Messgröße beobachtet wurde (Mehta & Agnew, 2012). Die Geschlechterverteilung war durch Teilnahme einer gleichen Anzahl Frauen und Männer ausgewogen. Wenngleich die untersuchten Kraftniveaus und Muskelgruppen andere waren als in der hier vorgestellten Arbeit, so wurde dennoch der fehlende Einfluss einer kognitiven Aufgabe für die weiblichen Teilnehmenden bestätigt. Als eine Erklärung hierfür wurde eine möglicherweise nicht ausreichende Sensitivität des Messaufbaus angeführt (Mehta & Agnew, 2012).

4.2 Beeinflussung der motorischen Genauigkeit aufgrund einer Stressreaktion

Ein erklärender Ansatz für die beobachtete signifikante Verschlechterung der motorischen Genauigkeit der männlichen Versuchspersonen, war möglicherweise eine negative psychische Beanspruchung der Studienteilnehmenden im Sinne einer Stressreaktion. In einer unveröffentlichten Auswertung unterschiedlicher Parameter der Herzratenvariabilität (HRV) des Studienkollektivs der hier vorgestellten Arbeit im Rahmen des übergeordneten Gesamtprojekts, konnten statistisch signifikante Unterschiede der Messgrößen der HRV für die Untersuchungsbedingungen mit leichten und schweren kognitiven Anforderungsniveau nachgewiesen werden (Lange, 2019). Bereits in vorhergehenden anderen Forschungsarbeiten wurde für Stress ein Zusammenhang mit einer Veränderung der HRV beobachtet (Hjortskov et al., 2004), wobei in mehreren Studien eine signifikante Reduktion statistischer Größen der HRV in Stresssituationen beobachtet werden konnten (Tharion et al., 2009; Visnovcova et al., 2014). Orientierend an den Daten der HRV des übergeordneten Gesamtprojekts der hier vorgestellten Arbeit, führte somit eine gesteigerte kognitive Belastung bei unveränderter motorischer Beanspruchung zu einer Stressreaktion der Teilnehmenden (Lange, 2019). In einer Reihe anderer Arbeiten konnte bei den Versuchspersonen ebenfalls Stress im Rahmen einer Dual-Task-Untersuchung durch die zusätzliche Bearbeitung einer

kognitiven Aufgabe ausgelöst werden. Eine Stressinduktion wurde dabei mittels Erhebung unterschiedlicher Parameter wie der Bestimmung des Speichelcortisols (Yoon et al., 2009) oder der subjektiven Beanspruchung durch Fragebögen und Bestimmung der Herzratenvariabilität (Mehta & Agnew, 2012) überprüft. So erfolgte neben der Untersuchung einer möglichen Beeinflussung der motorischen Performance durch eine kognitive Aufgabe in der erwähnten Arbeit von Mehta und Agnew aus dem Jahre 2012 ebenfalls die Evaluation mehrerer Parameter einer Stressreaktion (Mehta & Agnew, 2012). Mehta und Agnew (2012) bestätigten die Stressinduktion durch eine kognitive Aufgabe im Rahmen ihrer Dual-Task-Studie durch Nachweis einer signifikant verringerten HRV sowie den Aussagen der Studienteilnehmenden gemäß einem Fragebogen (Mehta & Agnew, 2012). In einer anderen Forschungsarbeit wurden die Versuchsteilnehmenden ebenfalls während einer Dual-Task-Bedingung sowohl einer kognitiven wie auch motorischen Belastung ausgesetzt und diese mit einer Single-Task-Bedingung verglichen (Yoon et al., 2009). Hierbei wurde eine Stressinduktion im Rahmen der Dual-Task-Bedingung durch Nachweis eines signifikant erhöhten Speichelcortisolspiegels sowie einer visuellen Analogskala bestätigt (Yoon et al., 2009). Dies war, wie in der Einleitung bereits skizziert, auf eine vermehrte Cortisol Freisetzung im Rahmen einer physiologischen Stressantwort zurückzuführen (vgl. 1.2.4). Bei den implementierten kognitiven Aufgaben der beiden genannten Studien handelte es sich um Rechenaufgaben (Mehta & Agnew, 2012; Yoon et al., 2009).

Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge, liegt eine negative Beeinflussung der motorischen Bewegungsausführung auch in der hier vorgestellten Arbeit durch eine Stressinduktion nahe, welche in Abhängigkeit des Anforderungsniveaus der kognitiven Aufgabe ausgelöst wurde. Diese Schlussfolgerung wird insbesondere durch die Tatsache unterstrichen, dass eine Vielzahl von Forschungsarbeiten eine Assoziation zwischen einer negativen Beeinflussung der Motorik und Stress beobachten (vgl. 1.2.6). Dieser Zusammenhang wurde dabei sowohl bei Experimenten an Tieren (Faraji et al., 2011; Kirkland et al., 2012; Lepicard et al., 2003; Metz et al., 2003; Metz et al., 2005; Smith et al., 2008; Zucchi et al., 2010) wie auch an Menschen (Maki & McIlroy, 1996; Yoshie et al., 2009) beobachtet.

4.3 Weitere erklärende Ansätze einer Beeinflussung der motorischen Genauigkeit unter Berücksichtigung der Reaktionszeit

Neben der unter 4.2 vorgestellten Erläuterung, wonach die beobachtete Beeinflussung der motorischen Bewegungsausführung in Abhängigkeit des kognitiven Anforderungsniveaus auf eine Stressreaktion zurückzuführen sein könnte, müssen auch andere Erklärungsansätze berücksichtigt werden.

So wurde die Dual-Task-Interferenz und ein nachgewiesener Interaktionseffekt in einer EEG-Studie auf eine kognitive Ressourcenallokation durch die Teilnehmenden zurückgeführt (Liebherr et al., 2018). Hierbei absolvierten die Versuchspersonen keine Tracking-Aufgabe, sondern nahmen in der motorischen Aufgabe einen Einbeinstand ein oder saßen im niedrigen motorischen Anforderungsniveau auf einem Stuhl (Liebherr et al., 2018). Dennoch können gewisse Parallelen zu der hier vorgestellten Arbeit gezogen werden, da neben einer motorischen Komponente in den Dual-Task-Bedingungen ebenfalls zwei kognitive Anforderungsniveaus eingesetzt wurden (Liebherr et al., 2018). Unter Berücksichtigung der Kapazitätstheorie nach Kahneman (1973) oder der multiplen Ressourcentheorie nach Wickens (2008) kann die beobachtete Einschränkung der motorischen Genauigkeit der männlichen Teilnehmenden ebenfalls auf Tatsache zurückzuführen sein, dass die geforderten Ressourcen die zur Verfügung stehende kognitive Kapazität überstieg. Dies führte in der Folge zu einer Einteilung der Ressourcenkapazität durch die Versuchspersonen. Dementsprechend besteht die Möglichkeit, dass männliche Versuchspersonen einen Großteil ihrer Aufmerksamkeit unter der Dual-Task-Bedingung mit hohem kognitiven Anforderungsniveau dem n-back-Test widmeten, was in der Folge zu einer qualitativen Einschränkung der motorischen Ausführung führte.

Da die motorische Tracking-Aufgabe außerdem repetitive Muster auf einem eher niedrigen Anforderungsniveau mit 4% bis 9% der MVC präsentierte, könnte ebenfalls Langeweile und eine damit verbundene Vernachlässigung des motorischen Aspekts der Dual-Task zu Einschränkungen der motorischen Bewegungsausführung geführt haben (Welford, 1973).

4.4 Implikationen einer Beeinflussung der motorischen Genauigkeit für die Arbeitswelt

Durch die Einordnung der beobachteten negativen Beeinflussung der motorischen Genauigkeit in der hier vorgestellten Dual-Task-Untersuchung mit den Erkenntnissen chirurgischer Simulationsstudien, ergeben sich relevante Implikationen für Arbeitsumgebungen des medizinischen Sektors und damit auch für die Patientensicherheit. So wurde in einer Simulationsstudie eine negative Beeinflussung der motorischen Präzision während einer Appendektomie bei simultaner Bearbeitung von Rechenaufgaben beobachtet (Gao et al., 2019). Andere Arbeiten zeigten hingegen während simulierten chirurgischen Eingriffen eine erhöhte Fehlerrate aufgrund von Ablenkungen durch Pager und Telefonanten (Murji et al., 2016) oder eine Verlängerung der Operationsdauer bei unerfahrenen Chirurgen bei gleichzeitiger Bearbeitung von Rechenaufgaben (Goodell et al., 2006). In den genannten Simulationsstudien führten Studenten oder Chirurgen unterschiedlicher Disziplinen bei gleichzeitiger Beantwortung von Rechenaufgaben entweder laparoskopische Übungen (Goodell et al., 2006) oder eine laparoskopische Appendektomie durch (Gao et al., 2019). In der Arbeit von Murji et al. (2016) erfolgte im Simulator hingegen die Durchführung einer laparoskopischen Salpingektomie bei simultaner wiederholter klinischer Befragung des Gynäkologen über einen Pager (Murji et al., 2016). Ein direkter Vergleich zwischen der hier vorgestellten arbeitsphysiologischen Dual-Task-Studie und den chirurgischen Simulationsstudien ist aufgrund abweichender methodischer Konzeption erschwert. Dennoch kann von einer Bestätigung der unter 4.3 geschilderten Interpretation einer negativen Beeinflussung der motorischen Genauigkeit aufgrund simultaner kognitiver Belastung durch die genannten Simulationsstudien ausgegangen werden. Die Bedeutung der beobachteten Einschränkung der motorischen Genauigkeit in Abhängigkeit des simultanen kognitiven Anforderungsniveaus für die Patientensicherheit ergibt sich dabei auch aufgrund der Tatsache, dass die Aufmerksamkeit von Chirurgen in einer Beobachtungsstudie während 53,8% des Zeitumfangs in Multitasking-Tätigkeiten gebunden war (Göras et al., 2019).

4.5 Ursachen für geschlechterspezifische Unterschiede der motorischen Genauigkeit

In der Untersuchung des geschilderten Interaktionseffekts konnte ein geschlechterspezifischer Unterschied der motorischen Genauigkeit beobachtet werden. Demnach waren Männer in ihren motorischen Ausführungen unter der Bedingung mit hohem kognitiven Anforderungsniveau signifikant ungenauer als Frauen unter beiden Dual-Task-Bedingungen (vgl. Tab. 9). Aufgrund einer insgesamt heterogenen Datenlage nach Sichtung der aktuellen Literatur bezüglich geschlechterabhängigen Multitasking-Unterschieden (vgl. 1.2.9), insbesondere unter Berücksichtigung des Dual-Task-Paradigmas, konnte keine eindeutige Hauptursache gefunden werden, welche diese Differenz erklärte.

Die signifikant ungenauere motorische Bewegungsausführung der Männer im Vergleich zu den Frauen stand im Widerspruch zu den Ergebnissen von Lui und Wong (2020), welche in einer Hauptkomponentenanalyse zeigten, dass Männer durch den kognitiven Prozess der Antwortauswahl weniger eingeschränkt wurden als Frauen (Lui & Wong, 2020). Laut Pashler (1994) ist dieser kognitive Vorgang gemäß des zentralen Engpass-Modells eine wichtige Ursache für beobachtete Dual-Task-Interferenzen (Pashler, 1994). Somit erscheint es widersprüchlich, dass Frauen in der hier vorgestellten Studie in ihren motorischen Ausführungen genauer waren als Männer.

Eine Erklärung für den geschlechterabhängigen Unterschied könnte das implementierte Dual-Task-Design der vorgestellten Studie sein. So wurde in mehrfachen Studien beobachtet, dass dem Studiendesign und Versuchsaufbau eine zentrale Rolle bei der Beobachtung geschlechterabhängiger Unterschiede zukamen. Beispielhaft sei die Dual-Task-Studie von Mäntylä (2013) genannt, welcher einen n-back-Test mit der simultanen Überwachung von drei Uhren mit fortlaufenden Ziffern kombinierte und von den Versuchspersonen bei Auftreten einer bestimmten Zahlenkombination erwartet wurde eine Bestätigung abzugeben (Mäntylä, 2013). Der Erkenntnis folgend, wonach zeitliche Beziehungen kognitiv in räumlichen Zusammenhängen repräsentiert werden (Casasanto & Boroditsky, 2008) und weil der spezielle Versuchsaufbau von Mäntylä (2013) ein hohes Maß an zeitlicher Koordination erforderte, wurde das Ergebnis der männlichen Teilnehmenden auf ihr besseres räumliches Vorstellungsvermögen zurückgeführt (Mäntylä, 2013). Somit bestand ebenfalls die Möglichkeit, dass der konzipierte Dual-

Task-Versuchsaufbau der hier vorgestellten Studie zum Vorteil der weiblichen Versuchspersonen gereichte.

Eine weitere Begründung für das bessere Ergebnis der Frauen könnten ebenfalls unterschiedliche Vorerfahrungen sein, welche die Versuchspersonen auf die Durchführung der Dual-Task-Aufgaben unter Laborbedingungen übertragen konnten. So wurde beispielsweise in einer anderen Arbeit die besseren Ergebnisse der männlichen Teilnehmenden unter anderem auf ihre regelmäßige Beschäftigung mit Videospiele zurückgeführt (Hambrick et al., 2010). Im Vergleich muss jedoch berücksichtigt werden, dass der berichtete Versuchsaufbau von Hambrick et al. (2010) keine motorische Aufgabe enthielt. Stattdessen lösten die Studienteilnehmenden simultan Gedächtnis- und Rechenaufgaben, während gleichzeitig auf bestimmte visuelle und akustische Signale reagiert werden musste (Hambrick et al., 2010). Gemäß der multiplen Ressourcentheorie nach Wickens (2008) müsste hierbei somit mit anderen Einschränkungen gerechnet werden, als im Dual-Task-Paradigma der hier vorgestellten Studie. Hinzu kommt die Tatsache, dass durch Selbstauskunft von Studienteilnehmenden wiederholt ermittelt wurde, dass sich Männer in ihrer Freizeit häufiger mit Videospiele beschäftigten als Frauen (Hambrick et al., 2010; Lui et al., 2021). Da in der hier vorgelegten Arbeit die weiblichen und nicht die männlichen Teilnehmenden eine signifikant höhere motorische Genauigkeit zeigten, erscheinen Vorteile durch spezielle Vorerfahrungen in Form einer regelmäßigen Beschäftigung mit Videospiele unwahrscheinlich. Allerdings wiesen Frauen in anderen Untersuchungen größere Erfahrungswerte im simultanen Umgang mit anderen Multimediabereichen wie Instant-Messenger, Musikanwendungen oder regelmäßigem Umgang im Internet auf (Lui et al., 2021), welche ihnen einen Vorteil in der hier vorgestellten Studie gebracht haben könnten. Insgesamt muss einschränkend jedoch erwähnt werden, dass nicht alle Forschungsarbeiten geschlechtsspezifische Unterschiede der Dual-Task-Performanz auf Vorerfahrungen zurückführen konnten (Lui et al., 2021). Der Kapazitätstheorie von Kahneman (1973) folgend, kann die Verteilung und Zuweisung der limitierten kognitiven Kapazität durch eine Versuchsperson bei Ausführung mehrerer paralleler Aktivitäten relativ frei erfolgen, allerdings ist diese zur Verfügung stehende Kapazität und Aufmerksamkeit begrenzt (Kahneman, 1973). Dieser Theorie folgend, ergibt sich eine weitere mögliche Ursache für den beobachteten Unterschied der Geschlechter, wenn man die Analyse der Reaktionszeiten im Rahmen

der kognitiven Aufgaben berücksichtigt. Wenngleich der Unterschied nicht statistisch signifikant wurde, konnte dennoch beobachtet werden, dass Frauen unter beiden Dual-Task-Bedingungen eine langsamere Reaktionszeit zeigten als Männer (vgl. Tab. 6). Die größere Ungenauigkeit der Bewegungsausführungen im Rahmen der motorischen Aufgabe ließe sich somit auf unterschiedliche Schwerpunktsetzungen der Ressourcenallokation zurückführen: Demnach widmeten weibliche Versuchspersonen einen größeren Anteil ihrer Aufmerksamkeit der motorischen Aufgabe, während Männer im Rahmen von $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ ihren Fokus auf die kognitive Aufgabe legten.

4.6 Motorische Genauigkeit im zeitlichen Verlauf

In der Analyse der motorischen Genauigkeit zeigte der zeitliche Verlauf der Aufgabenausführung einen Haupteffekt, so dass im Vergleich zwischen Beginn (Block 1) und Ende (Block 6) der Messungen eine signifikant genauere Bewegungsausführungen der Versuchspersonen beobachtet werden konnte (vgl. Tab. 7 und Tab. 11). Die Abnahme der Abweichungen vom vorgegebenen Kraftniveau über den zeitlichen Verlauf der Messung war am ehesten auf einen Lerneffekt der Versuchspersonen zurückzuführen. Frith und Lang (1979) setzten in ihrer Forschungsarbeit unterschiedliche vorhersehbare und nicht vorhersehbare Tracking-Aufgaben ein, um mögliche Lerneffekte der motorischen Bewegungsausführung zu untersuchen (Frith & Lang, 1979). Wenngleich es sich um keine Dual-Task-Untersuchung handelte und die Ausführung der Aufgaben über einen Joystick erfolgte, können dennoch gewisse Parallelen zwischen der hier vorgelegten Arbeit und der Studie von Frith und Lang (1979) gezogen werden. So wurde auch dort unter anderem eine Tracking-Aufgabe eingesetzt, bei der ein repetitives Muster nachverfolgt werden musste (Frith & Lang, 1979). Auch in der hier vorgestellten Arbeit wiederholten sich alle 5 Sekunden gleichförmige Trapeze im zeitlichen Verlauf der Aufgabenausführung. Durch das Erkennen sich wiederholender Muster fand demnach ein Lernvorgang statt, bei dem ein eigenes „motorisches Programm“ zur Bewegungsausführung entwickelt wurde, wodurch signifikante Verbesserungen der motorischen Genauigkeit erreicht werden konnten (Frith & Lang, 1979). Diese Schlussfolgerung über das Ausbilden motorischer Programme zur Lösung sich wiederholender und einheitlicher Muster lässt sich ebenfalls auf die Analyse der vorliegenden Arbeit übertragen.

Obwohl kein Interaktionseffekt zwischen Untersuchungsbedingungen und zeitlichen Verlauf gezeigt werden konnte, so fiel in der deskriptiven Betrachtung auf, dass sich unter der Untersuchungsbedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ im zeitlichen Verlauf von Block 1 auf Block 2 tendenziell eine Verbesserung ergab. Diese stabilisierte sich in den nachfolgenden Blöcken mit leichten Schwankungen, so dass am Ende im Vergleich zwischen Block 1 und Block 6 die beobachtete Differenz der motorischen Genauigkeit zu Stande kam. Eine mögliche Erklärung für diesen beobachteten Verlauf mit einer ausgeprägten initialen Verbesserung zu Beginn der Messung mit anschließender Stabilisierung, war die Nutzung und Abänderung bereits verinnerlichter motorischer Bewegungsabläufe durch die Versuchspersonen für die neue Aufgabenstellung, während parallel neue motorischen Programme entwickelt wurden (Frith et al., 1986).

4.7 Effekt der Untersuchungsbedingungen auf die Reaktionszeiten

Es konnte ein signifikanter Effekt der Untersuchungsbedingungen auf die Reaktionszeit im Zuge der Bearbeitung des n-back-Tests beobachtet werden. Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen unter der Dual-Task-Bedingung mit erhöhten kognitiven Anforderungsniveau (K_{schwer} entsprechend einem 2-back-Test) eine signifikant längere Reaktionszeit aufweisen als unter einem niedrigen kognitiven Anforderungsniveau (K_{leicht} entsprechend einem 0-back-Test) (vgl. Abb. 9). In der Konzeption des n-back-Tests wurde hierbei zwischen den eingeblendeten Zahlen ein Intervall von 2000ms eingesetzt. In einer Reihe von n-back-Studien konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Länge der ermittelten Reaktionszeiten auf einen Stimulus mit dem Schweregrad der n-back-Aufgabe korrelierten (Gajewski et al., 2018; Jonides et al., 1997; Szmalec et al., 2011). Wenngleich es sich bei den genannten Studien nicht um Dual-Task-Untersuchungen handelte, so sind deren Erkenntnisse dennoch auf die hier vorgestellte Dual-Task-Untersuchung übertragbar. So wurden in mehreren Arbeiten ebenfalls 0- und 2-back-Bedingungen untersucht (Gajewski et al., 2018; Jonides et al., 1997) und auch vergleichbare Intervalle von 2500ms zwischen den Reizen gesetzt (Jonides et al., 1997; Szmalec et al., 2011). In einer der gesichteten Studien wurde hingegen ein Intervall von 1200ms implementiert (Gajewski et al., 2018). Auch in jenen Arbeiten, in denen die einfachste Bedingung einen 1-back-Test darstellte, konnte die Beobachtung gemacht werden, dass die ermittelten Reaktionszeiten mit dem kognitiven Schwierigkeitsgrad

zunahmen (Rac-Lubashevsky & Kessler, 2016; Szmalec et al., 2011). Unter dem Arbeitsgedächtnis wird ein kognitives System verstanden, welches sowohl für die Speicherung wie auch aktive Auseinandersetzung und Verarbeitung von wahrgenommenen Informationen verantwortlich ist (Diamond, 2013). Im Rahmen anpassender Vorgänge in dieser Auseinandersetzung werden ebenfalls bereits gespeicherte Informationen um neue Wissensinhalte ergänzt und durch das Erstellen von Verknüpfungen Zusammenhänge erkannt (Diamond, 2013). Anwendungsbeispiele des Arbeitsgedächtnis sind dabei beispielsweise die Lösung von Rechenaufgaben oder das Erkennen von Informationszusammenhängen. Dabei beeinflussen unterschiedliche Prozesse des Arbeitsgedächtnis die Ausführung des n-back-Test, als Beispiele seien das Einbinden neuer Wissensinhalte oder das wiederholte kognitive Vergleichen von gespeicherten Informationen mit neuen Eindrücken genannt (Szmalec et al., 2011). Die erhöhten Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis führten somit im Rahmen des 2-back-Test zu schlechteren Ergebnissen in Form einer signifikant längeren Reaktionszeit in der hier vorgestellten Studie.

4.8 Schlussfolgernde Einordnung der Erkenntnisse und Ausblick

Gemäß Untersuchungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz schreitet die Digitalisierung in Deutschland weiter voran (Büchel et al., 2022). Dabei birgt diese aus Sicht der Arbeitnehmenden nicht nur Chancen (Okkonen et al., 2019), sondern durch eine zunehmende Arbeitsverdichtung und zu verarbeitende Informationsmenge auch Risiken für die psychische Gesundheit (Böhm et al., 2016). Hierbei ist insbesondere das vermehrte Auftreten von Multitasking am Arbeitsplatz von Bedeutung, wobei ein relevanter Anteil der Arbeitnehmenden bereits unabhängig von der Digitalisierung im Sinne des Arbeitsbedingungsfaktors „Arbeitsintensität“ angab, häufig mehrere Aufgaben gleichzeitig erfüllen zu müssen (Rothe et al., 2017). Hinzu kommt, dass wiederholt eine Assoziation zwischen Multitasking und dem Auftreten von Stress beobachtet werden konnte (Tarafdar et al., 2011). Wie der Vergleich mit anderen Untersuchungen unter Laborbedingungen nahelegte, konnte auch in der hier vorgestellten Studie mögliche Hinweise auf das Auftreten von Stress im Rahmen einer Dual-Task-Situation bei Zunahme der kognitiven Belastung für die Versuchspersonen gezeigt werden. Insbesondere im Hinblick auf die Bedeutung und Prävalenz psychischer Störungen am

Arbeitsplatz (Rennert et al., 2021) sowie deren Zusammenhängen zu chronischer Stressexposition (Slavich & Irwin, 2014), sollten weitergehende Forschungen zu kombinierten Belastungen am Arbeitsplatz erfolgen. Dabei sollte durch Konzeption realitätsnäherer Bedingungen die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche Berufsfelder verbessert und auch die Erhebung physiologischer Stressparameter berücksichtigt werden.

Darüber hinaus lassen sich Implikationen der im Rahmen dieser Studie gezeigten signifikanten Einschränkung der motorischen Genauigkeit der männlichen Versuchspersonen für Arbeitsumgebungen des medizinischen Sektors ableiten. Hierbei muss beispielsweise das beträchtliche Auftreten von Multitasking während der chirurgischen Tätigkeit in Operationssälen berücksichtigt werden (Göras et al., 2019). Die hier dargestellte Analyse der Beeinflussung der motorischen Genauigkeit bei zunehmender kognitiver Beanspruchung in Dual-Task-Situationen ist insbesondere in Bezug auf mögliche Risiken der Patientensicherheit bedeutsam. Auch hier sind weitergehende Untersuchungen angeraten, wobei insbesondere unterschiedliche Dual-Task-Situationen mit verschiedenen kognitiven Anforderungsniveaus implementiert werden sollten.

4.9 Limitationen dieser Arbeit

4.9.1 Kollektiv der Versuchspersonen

Die Teilnehmenden wurden einer älteren (50-67 Jahre) und jüngeren Alterskohorte (18-27 Jahre) zugeordnet. Dies führte dazu, dass Versuchspersonen im mittleren Lebensalter und damit ein signifikanter Teil der Bevölkerung in dieser Studie nicht abgebildet wurden. Von bestimmten Dual-Task-Studien abgesehen, welche explizit den Einfluss unterschiedlicher Lebensalter evaluierten, wurde in der hier vorgelegten Arbeit jedoch im Vergleich ein breites Altersspektrum berücksichtigt. Die Auswertung von 47 Teilnehmenden war ebenfalls vergleichbar oder größer als das Kollektiv vieler anderer Dual-Task-Studien. Als Beispiele seien die Studien von Mehta und Agnew (2011) mit 17 Teilnehmenden und einem durchschnittlichen Lebensalter von 24 Jahren, der Arbeit von Liebherr et al. (2018) mit 20 Versuchspersonen und durchschnittlich 24 Jahren oder Temprado et al. (2015) mit 25 Teilnehmenden und durchschnittlich 23 Jahren genannt.

Wie auch andere Studien, welche geschlechterspezifische Unterschiede untersuchten, wurde auf eine ausgeglichene Geschlechterverteilung geachtet.

4.9.2 Vollfaktorielles Studiendesign der übergeordneten Gesamtstudie

Die Fallzahl der Teilnehmenden der hier vorgestellten Arbeit wurde durch das vollfaktorielle Design des übergeordneten Gesamtprojekts definiert: Demnach wurde die Rekrutierung nach erfolgreichem Einschluss von jeweils 24 Teilnehmenden in beide Alterskohorten abgeschlossen. In der hier vorgestellten Auswertung erfolgte jedoch die Untersuchung von geschlechts- und nicht altersspezifischen Unterschieden. Daher kann nicht von einem vollfaktoriellen Design in Bezug auf die Geschlechter ausgegangen werden.

4.9.3 Kognitive Aufgabe der Dual-Task-Bedingung

Der n-back-Test bietet den Vorteil, dass eine relativ einfache Variation der kognitiven Beanspruchung durch Anpassung des Faktors „n“ erfolgen kann (Jonides et al., 1997). Eine Störquelle in der Konzeption des n-back-Tests dieser Studie ergab sich jedoch aufgrund der Tatsache, dass zwischen den beiden Dual-Task-Bedingungen die Lokalisation der visuellen Reize, welche eine Reaktion hervorrufen sollten, nicht an den gleichen Stellen des Aufgabenverlaufs erfolgte. Um dennoch eine Vergleichbarkeit zwischen den Bedingungen zu gewährleisten, wurde die motorische Genauigkeit im letzten Plateau der Trapeze ausgewertet, da dort zwischen beiden Bedingungen eine identische Anzahl an visuellen Reizen gezeigt wurde. Eine weitere Limitierung lag in den definierten Parametern: Während viele Arbeiten sowohl die Reaktionszeit wie auch Fehlerrate in der Auswertung der n-back-Test-Performanz berücksichtigten (Gajewski et al., 2018; Jonides et al., 1997; Rac-Lubashevsky & Kessler, 2016; Szmalec et al., 2011), wurde in der vorliegenden Dual-Task-Studie nur die Reaktionszeit ausgewertet.

4.9.4 Motorische Aufgabe der Dual-Task-Bedingung

Die Generierung der individuellen Maximalkraft, welche das geforderte Kraftniveau der motorischen Aufgabe definierte, war auch von der jeweiligen Motivation der Versuchspersonen abhängig. Unter Umständen konnte in einzelnen Fällen daher nicht sichergestellt werden, dass das Kraftniveau der Tracking-Aufgabe dem tatsächlichen

anvisierten prozentuellen Anteil der MVC entsprach. Weiterhin nahmen die Studienteilnehmenden wie unter Kapitel 2.3.1 genannt in der Messvorrichtung Platz, wobei der Versuchsleitende stets auf eine vergleichbare Position der Hände achtete. Eine Fehlerquelle ergab sich jedoch, falls der Teilnehmende durch unwillkürliche Körperverschiebungen während der Untersuchung die dominante Hand neu positionierte. Dies führte zu einer veränderten Bewegungskontrolle während der Tracking-Aufgabe und könnte in solchen Fällen die Vergleichbarkeit zwischen den Individuen eingeschränkt haben. Weiterhin gaben die weiblichen Versuchspersonen durchschnittlich geringere Maximalkräfte ab als die männlichen. Dies könnte dazu geführt haben, dass durch den Versuchsaufbau die Schwankungen der applizierten Kraft der Männer mit einer höheren Sensitivität wahrgenommen wurden als für die Frauen. Als Parameter der motorischen Genauigkeit wurde außerdem lediglich die vertikale und nicht horizontale Abweichung vom vorgegebenen Kraftniveau berücksichtigt.

4.9.5 Fehlende Messung der subjektiven Beanspruchung

Im Rahmen der Auswertung der hier vorgelegten Arbeit wurden keine subjektiven Parameter einer psychischen Beanspruchung oder Stressreaktion berücksichtigt (beispielsweise durch Einsatz einer visuellen Analogskala). Im Vergleich zu anderen Arbeiten wurden ebenfalls in der hier vorgestellten Auswertung keine weiteren objektiven Parameter einer Stressreaktion wie die Bestimmung der HRV (Mehta & Agnew, 2012) oder des Speichelcortisols (Yoon et al., 2009) implementiert. Allerdings erfolgte eine Auswertung unterschiedlicher Parameter der HRV der Studienteilnehmenden in einer unveröffentlichten Arbeit des übergeordneten Gesamtprojekts (Lange, 2019).

5 Zusammenfassung

Im Rahmen der hier vorgestellten Dual-Task-Studie sollten folgende Fragestellungen beantwortet werden: Existiert ein Einfluss unterschiedlicher kognitiver Anforderungsniveaus auf die motorische Genauigkeit einer Bewegungsausführung und die Reaktionszeit? Lassen sich geschlechterspezifische Unterschiede in diesen abhängigen Parametern feststellen? Besteht eine Interaktion zwischen kognitiven Anforderungsniveau einer Aufgabe, dem zeitlichen Verlauf der Aufgabenausführung und dem Geschlecht auf die motorische Genauigkeit und die Reaktionszeit?

Hierfür wurde ein Dual-Task-Versuchsaufbau konzipiert, bei welchem die Studienteilnehmenden simultan eine motorische und kognitive Aufgabe bearbeiteten. Durch die Kombination von jeweils zwei Anforderungsniveaus ergaben sich vier unterschiedliche Untersuchungsbedingungen, wobei im Rahmen dieser Arbeit oben genannte Fragestellungen unter Berücksichtigung von zwei Dual-Task-Bedingungen ($M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$) untersucht wurden. Bei der motorischen Aufgabe handelte es sich um eine Tracking-Aufgabe und die Kraftanforderung orientierte sich an den zuvor abgeleiteten MVC der Teilnehmenden. Die Abgabe der eigenen Kraft erfolgte über eine Dorsalextension des Handgelenks der dominanten Hand. Die zu erfüllende kognitive Aufgabe war in Abhängigkeit der Untersuchungsbedingung ein 0-back-Test (K_{leicht}) oder 2-back-Test (K_{schwer}). Im Rahmen des n-back-Test wurde auf einen relevanten Reiz hin mit der nicht-dominanten Hand über eine Drucktaste eine Bestätigung abgegeben.

In der Auswertung der Reaktionszeit konnte ein statistisch signifikanter Haupteffekt der Untersuchungsbedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ nachgewiesen werden. Unter der Dual-Task-Bedingung mit erhöhten kognitiven Anforderungsniveau wiesen die Versuchspersonen dabei eine signifikant längere Reaktionszeit als unter einer niedrigen kognitiven Anforderung auf. Weder das Geschlecht noch der zeitliche Verlauf der Aufgabendauer zeigten eine Signifikanz auf und ebenfalls wurden keine statistisch signifikanten Interaktionseffekte beobachtet. Im Rahmen der Auswertung der motorischen Genauigkeit wurde ein statistisch signifikanter Interaktionseffekt (Bedingung*Geschlecht) nachgewiesen. In der weitergehenden post-hoc Analyse wurde dargestellt, dass die Männer unter der Untersuchungsbedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ eine

signifikant größere motorische Ungenauigkeit zeigten als die Frauen unter den Bedingungen $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ und $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$; ebenfalls waren die männlichen Teilnehmenden unter $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$ signifikant ungenauer als unter $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$. Außerdem wurde für den zeitlichen Verlauf der Aufgabenausführung („Block“) ebenfalls ein statistisch signifikanter Haupteffekt gezeigt. Im Rahmen der deskriptiven statistischen Untersuchung konnte hierbei dargestellt werden, dass die Versuchspersonen am Ende der Messung (Block 6) signifikant genauer waren als zu Beginn (Block 1).

Wie der Vergleich mit anderen Studien nahegelegt hat, konnte in der hier vorgestellten Arbeit unabhängig vom Geschlecht im zeitlichen Verlauf einer Untersuchung Hinweise auf einen Lerneffekt im Rahmen der motorischen Aufgabe gezeigt werden. Unter Berücksichtigung der HRV der Teilnehmenden aus einer nicht veröffentlichten Auswertung sowie der aktuellen Studienlage liefern die Ergebnisse dieser Studie, insbesondere für männliche Personen, mögliche Indizien auf ein potenzielles Risiko des Auftretens von Stress im Rahmen von Dual-Task-Situationen bei zunehmender kognitiver Belastung hin. Multitasking ist auch in der realen Arbeitswelt von Bedeutung, wobei ein beträchtlicher Anteil der Arbeitnehmenden im Sinne des Arbeitsbedingungsfaktors „Arbeitsintensität“ angab, häufig mehrere Aufgaben gleichzeitig erfüllen zu müssen (Rothe et al., 2017). Die Erkenntnisse dieser Arbeit und ihre Implikationen für die reale Arbeitswelt veranschaulichen die Relevanz der konsequenten Umsetzung von Arbeitsschutzmaßnahmen – dies auch unter Berücksichtigung der psychischen Gesundheit. Neben der Interpretation in Bezug auf eine mögliche negative psychische Beanspruchung weist die beobachtete Einschränkung der motorischen Genauigkeit in Abhängigkeit des kognitiven Anforderungsniveaus Implikationen für unterschiedliche Arbeitsfelder aus. Dies gilt insbesondere bei Einordnung der hier vorgestellten Analyse in die Erkenntnisse bezüglich der Arbeitsumgebung des medizinischen Sektors und der dortigen Prävalenz von Multitasking. Im Sinne der Patientensicherheit ergibt sich daher die Notwendigkeit einer weitergehenden Forschung zu kombinierten Belastungen am Arbeitsplatz. Insbesondere sollte durch Konzeption realitätsnäherer Bedingungen die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche Berufsfelder verbessert werden und weitere Dual-Task-Studien unter Berücksichtigung und Erhebung physiologischer Stressparameter erfolgen.

Literaturverzeichnis

- Ahima, R., Krozowski, Z. & Harlan, R. (1991). Type I corticosteroid receptor-like immunoreactivity in the rat CNS: distribution and regulation by corticosteroids. *J Comp Neurol*, 313(3), 522-538. DOI: 10.1002/cne.903130312
- Ahima, R. S. & Harlan, R. E. (1990). Charting of type II glucocorticoid receptor-like immunoreactivity in the rat central nervous system. *Neuroscience*, 39(3), 579-604. DOI: 10.1016/0306-4522(90)90244-x
- Allman, J. M., Hakeem, A., Erwin, J. M., Nimchinsky, E. & Hof, P. (2001). The anterior cingulate cortex. The evolution of an interface between emotion and cognition. *Ann N Y Acad Sci*, 935(1), 107-117. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2001.tb03476.x
- Alonso, R., Chaudieu, I., Diorio, J., Krishnamurthy, A., Quirion, R. & Boksa, P. (1993). Interleukin-2 modulates evoked release of [3H] dopamine in rat cultured mesencephalic cells. *J Neurochem*, 61(4), 1284-1290. DOI: 10.1111/j.1471-4159.1993.tb13620.x
- An, X., Bandler, R., Öngür, D. & Price, J. L. (1998). Prefrontal cortical projections to longitudinal columns in the midbrain periaqueductal gray in macaque monkeys. *J Comp Neurol*, 401(4), 455-479.
- Anderson, G. S., Di Nota, P. M., Metz, G. A. S. & Andersen, J. P. (2019). The Impact of Acute Stress Physiology on Skilled Motor Performance: Implications for Policing. *Front Psychol*, 10, 2501. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.02501
- Andrews, B. & Wilding, J. M. (2004). The relation of depression and anxiety to life-stress and achievement in students. *Br J Psychol*, 95(4), 509-521. DOI: 10.1348/0007126042369802
- Bianchi, M., Clavenna, A., Bondiolotti, G. P., Ferrario, P. & Panerai, A. E. (1997). GM-CSF affects hypothalamic neurotransmitter levels in mice: involvement of interleukin-1. *Neuroreport*, 8(16), 3587-3590. DOI: 10.1097/00001756-199711100-00033
- Bleecker, M. L., Bolla-Wilson, K., Agnew, J. & Meyers, D. A. (1987). Simple visual reaction time: Sex and age differences. *Dev Neuropsychol*, 3(2), 165-172. DOI: 10.1080/87565648709540372
- Böhm, S., Bourovoy, K., Brzykcy, A., Kreissner, L. & Breier, C. (2016). Auswirkungen der Digitalisierung auf die Gesundheit von Berufstätigen: Eine bevölkerungsrepräsentative Studie in der Bundesrepublik Deutschland. St. Gallen: Universität St. Gallen.
- Bontis, N., Richards, D. & Serenko, A. (2011). Improving service delivery: Investigating the role of information sharing, job characteristics, and employee satisfaction. *The learning organization*, 18(3), 239-250. DOI: 10.1108/09696471111123289
- Brenscheidt, S., Siefer, A., Hinnenkamp, H., Hünefeld, L., Meyer, S.-C. & Backhaus, N. (2021). *Arbeitswelt im Wandel. Zahlen – Daten – Fakten* (1 Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication* (1 Aufl.). London: Pergamon Press.
- Broeker, L., Haeger, M., Bock, O., Kretschmann, B., Ewolds, H., Künzell, S. & Raab, M. (2020). How visual information influences dual-task driving and tracking. *Exp Brain Res*, 238(3), 675-687. DOI: 10.1007/s00221-020-05744-8

- Brosschot, J. F., Gerin, W. & Thayer, J. F. (2006). The perseverative cognition hypothesis: a review of worry, prolonged stress-related physiological activation, and health. *J Psychosom Res*, 60(2), 113-124. DOI: 10.1016/j.jpsychores.2005.06.074
- Brustio, P. R., Magistro, D., Zecca, M., Rabaglietti, E. & Liubicich, M. E. (2017). Age-related decrements in dual-task performance: Comparison of different mobility and cognitive tasks. A cross sectional study. *PLoS One*, 12(7), e0181698. DOI: 10.1371/journal.pone.0181698
- Büchel, J., Engels, B., Burstedde, A., Demary, V., Goecke, H., Kohlisch, E., Koppel, O., Mertens, A., Scheufen, M., Wendt, J., Bolwin, L., Ewald, J., Hünemeyer, V., Lichtblau, K., Schmitz, E. & Rammer, C. (2022). *Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland. Digitalisierungsindex 2021* (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Hrsg.). Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.
- Camarata, S. & Woodcock, R. (2006). Sex differences in processing speed: Developmental effects in males and females. *Intelligence*, 34(3), 231-252. DOI: 10.1016/j.intell.2005.12.001
- Casasanto, D. & Boroditsky, L. (2008). Time in the mind: using space to think about time. *Cognition*, 106(2), 579-593. DOI: 10.1016/j.cognition.2007.03.004
- Chrousos, G. P. (2009). Stress and disorders of the stress system. *Nat Rev Endocrinol*, 5(7), 374-381. DOI: 10.1038/nrendo.2009.106
- Cole, S. W., Arevalo, J. M. G., Takahashi, R., Sloan, E. K., Lutgendorf, S. K., Sood, A. K., Sheridan, J. F. & Seeman, T. E. (2010). Computational identification of gene-social environment interaction at the human IL6 locus. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107(12), 5681-5686. DOI: 10.1073/pnas.0911515107
- Demerouti, E., Bakker, A. B. & Fried, Y. (2012). Work orientations in the job demands-resources model. *J Manag Psychol*, 27(6), 557-575. DOI: 10.1108/02683941211252428
- Demerouti, E., Bakker, A. B., Nachreiner, F. & Schaufeli, W. B. (2001). The job demands-resources model of burnout. *J Appl Psychol*, 86(3), 499-512. DOI: 10.1037/0021-9010.86.3.499
- Deutzmann, R. (2008). Hormone. In A. Bob & K. Bob (Hrsg.), *Duale Reihe. Biochemie* (2 Aufl., S. 566-626). Stuttgart: Thieme.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annu Rev Psychol*, 64, 135-168. DOI: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- DIN EN ISO 10075-1. (2000). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Teil 1: Allgemeines und Begriffe* (DIN e.V., Hrsg.). Berlin: Beuth.
- Dykiert, D., Der, G., Starr, J. M. & Deary, I. J. (2012). Sex differences in reaction time mean and intraindividual variability across the life span. *Dev Psychol*, 48(5), 1262-1276. DOI: 10.1037/a0027550
- Faraji, J., Sutherland, R. J. & Metz, G. A. (2011). Stress precipitates functional deficits following striatal silent stroke: A synergistic effect. *Exp Neurol*, 232(2), 251-260. DOI: 10.1016/j.expneurol.2011.09.014
- Frith, C. D., Bloxham, C. A. & Carpenter, K. N. (1986). Impairments in the learning and performance of a new manual skill in patients with Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 49(6), 661-668. DOI: 10.1136/jnnp.49.6.661

- Frith, C. D. & Lang, R. J. (1979). Learning and reminiscence as a function of target predictability in a two-dimensional tracking task. *Q J Exp Psychol*, 31(1), 103-109. DOI: 10.1080/14640747908400710
- Gajewski, P. D., Hanisch, E., Falkenstein, M., Thönes, S. & Wascher, E. (2018). What Does the n-Back Task Measure as We Get Older? Relations Between Working-Memory Measures and Other Cognitive Functions Across the Lifespan. *Front Psychol*, 9, 2208. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.02208
- Gao, J., Liu, S., Feng, Q., Zhang, X., Jiang, M., Wang, L., Zhang, J. & Zhang, Q. (2019). Subjective and Objective Quantification of the Effect of Distraction on Physician's Workload and Performance During Simulated Laparoscopic Surgery. *Med Sci Monit*, 25, 3127-3132. DOI: 10.12659/msm.914635
- Glass, G. V., Peckham, P. D. & Sanders, J. R. (1972). Consequences of Failure to Meet Assumptions Underlying the Fixed Effects Analyses of Variance and Covariance. *Sage Journals*, 42(3), 237-288.
- Goodell, K. H., Cao, C. G. L. & Schwaitzberg, S. D. (2006). Effects of cognitive distraction on performance of laparoscopic surgical tasks. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 16(2), 94-98. DOI: 10.1089/lap.2006.16.94
- Göras, C., Olin, K., Unbeck, M., Pukk-Härenstam, K., Ehrenberg, A., Tessma, M. K., Nilsson, U. & Ekstedt, M. (2019). Tasks, multitasking and interruptions among the surgical team in an operating room: a prospective observational study. *BMJ Open*, 9(5), e026410. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-026410
- Grassi, G., Turri, C., Vailati, S., Dell'Oro, R. & Mancina, G. (1999). Muscle and skin sympathetic nerve traffic during the "white-coat" effect. *Circulation*, 100(3), 222-225. DOI: 10.1161/01.cir.100.3.222
- Grebe, K. M., Takeda, K., Hickman, H. D., Bailey, A. M., Embry, A. C., Bennink, J. R. & Yewdell, J. W. (2010). Cutting edge: Sympathetic nervous system increases proinflammatory cytokines and exacerbates influenza A virus pathogenesis. *J Immunol*, 184(2), 540-544. DOI: 10.4049/jimmunol.0903395
- Hambrick, D. Z., Oswald, F. L., Darowski, E. S., Rench, T. A. & Brou, R. (2010). Predictors of multitasking performance in a synthetic work paradigm. *Appl Cognit Psychol*, 24(8), 1149-1167. DOI: 10.1002/acp.1624
- Harwell, M. R., Rubinstein, E. N., Hayes, W. S. & Olds, C. C. (1992). Summarizing Monte Carlo Results in Methodological Research: The One- and Two-Factor Fixed Effects ANOVA Cases. *Sage Journals*, 17(4), 315-339.
- Hirsch, P., Koch, I. & Karbach, J. (2019). Putting a stereotype to the test: The case of gender differences in multitasking costs in task-switching and dual-task situations. *PLoS One*, 14(8), e0220150. DOI: 10.1371/journal.pone.0220150
- Hjortskov, N., Rissén, D., Blangsted, A. K., Fallentin, N., Lundberg, U. & Søgaard, K. (2004). The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *Eur J Appl Physiol*, 92(1), 84-89. DOI: 10.1007/s00421-004-1055-z
- Ingalhalikar, M., Smith, A., Parker, D., Satterthwaite, T. D., Elliott, M. A., Ruparel, K., Hakonarson, H., Gur, R. E., Gur, R. C. & Vermaa, R. (2014). Sex differences in the structural connectome of the human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 111(2), 823-828. DOI: 10.1073/pnas.1316909110
- Jain, A., Bansal, R., Kumar, A. & Singh, K. D. (2015). A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of

- medical first year students. *Int J Appl Basic Med Res*, 5(2), 124-127. DOI: 10.4103/2229-516x.157168
- Jamieson, J. P., Mendes, W. B., Blackstock, E. & Schmader, T. (2010). Turning the knots in your stomach into bows: Reappraising arousal improves performance on the GRE. *J Exp Soc Psychol*, 46(1), 208-212. DOI: 10.1016/j.jesp.2009.08.015
- Jasper, I., Roenneberg, T., Häußler, A., Zierdt, A., Marquardt, C. & Hermsdörfer, J. (2010). Circadian rhythm in force tracking and in dual task costs. *Chronobiol Int*, 27(3), 653-673. DOI: 10.3109/07420521003663793
- Joiko, K., Schmauder, M. & Wolff, G. (2010). *Psychische Belastung und Beanspruchung im Berufsleben. Erkennen – Gestalten* (BAuA, Hrsg. 5 Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Jonides, J., Schumacher, E. H., Smith, E. E., Lauber, E. J., Awh, E., Minoshima, S. & Koeppel, R. A. (1997). Verbal Working Memory Load Affects Regional Brain Activation as Measured by PET. *J Cogn Neurosci*, 9(4), 462-475. DOI: 10.1162/jocn.1997.9.4.462
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Kim, H.-Y. (2013). Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 38(1), 52-54. DOI: 10.5395/rde.2013.38.1.52
- Kirkland, S. W., Smith, L. K. & Metz, G. A. (2012). Task-specific compensation and recovery following focal motor cortex lesion in stressed rats. *J Integr Neurosci*, 11(1), 33-59. DOI: 10.1142/s0219635212500033
- Koch, I. & Brass, M. (2013). Task Switching – Maturation of a Paradigm. *Z Psychol*, 221(1), 1-4. DOI: 10.1027/2151-2604/a000124
- Koch, I., Poljac, E., Müller, H. & Kiesel, A. (2018). Cognitive structure, flexibility, and plasticity in human multitasking-An integrative review of dual-task and task-switching research. *Psychol Bull*, 144(6), 557-583. DOI: 10.1037/bul0000144
- Kuptsova, S. V., Ivanova, M. V., Petrushevsky, A. G., Fedina, O. N. & Zhavoronkova, L. A. (2015). Sex-related differences in task switching: An fMRI study. *Hum Physiol*, 41(6), 611-624. DOI: 10.1134/S0362119715050084
- Lange, R. (2019). *Herzfrequenz und Herzratenvariabilität bei simultaner psychischer und physischer Belastung: Einfluss der kognitiven Belastungsintensität und des Lebensalters (unveröffentlichte Bachelorarbeit, Medizintechnik)*. Tübingen: Eberhard-Karls-Universität Tübingen und Universität Stuttgart. Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung.
- Lepicard, E. M., Venault, P., Negroni, J., Perez-Diaz, F., Joubert, C., Nosten-Bertrand, M., Berthoz, A. & Chapouthier, G. (2003). Posture and balance responses to a sensory challenge are related to anxiety in mice. *Psychiatry Res*, 118(3), 273-284. DOI: 10.1016/S0165-1781(03)00069-6
- Leppink, E. W., Odlaug, B. L., Lust, K., Christenson, G. & Grant, J. E. (2016). The Young and the Stressed. Stress, Impulse Control, and Health in College Students. *J Nerv Ment Dis*, 204(12), 931-938. DOI: 10.1097/nmd.0000000000000586
- Liebherr, M., Weiland-Breckle, H., Grewe, T. & Schumacher, P. B. (2018). Cognitive performance under motor demands - On the influence of task difficulty and postural control. *Brain Res*, 1684, 1-8. DOI: 10.1016/j.brainres.2018.01.025

- Lueboonthavatchai, P. (2009). Role of stress areas, stress severity, and stressful life events on the onset of depressive disorder: a case-control study. *J Med Assoc Thai*, 92(9), 1240-1249.
- Lui, K. F. H. & Wong, A. C.-N. (2020). Multiple processing limitations underlie multitasking costs. *Psychol Res*, 84(7), 1946-1964. DOI: 10.1007/s00426-019-01196-0
- Lui, K. F. H., Yip, K. H. M. & Wong, A. C.-N. (2021). Gender differences in multitasking experience and performance. *Q J Exp Psychol (Hove)*, 74(2), 344-362. DOI: 10.1177/1747021820960707
- Majeres, R. L. (1999). Sex differences in phonological processes: Speeded matching and word reading. *Mem Cognit*, 27(2), 246-253. DOI: 10.3758/BF03211409
- Majeres, R. L. (2007). Sex differences in phonological coding: Alphabet transformation speed. *Intelligence*, 35(4), 335-346. DOI: 10.1016/j.intell.2006.08.005
- Maki, B. E. & McIlroy, W. E. (1996). Influence of arousal and attention on the control of postural sway. *J Vestib Res*, 6(1), 53-59.
- Maksymenko, S., Kokun, O., Topolov, I., Nemesh, O. & Flaherty, M. (2021). The Influence of occupational stress on employees' mental health. *Wiad Lek*, 74(11), 2818-2822.
- Malmo, R. B., Shagass, C. & Davis, J. F. (1951). Electromyographic studies of muscular tension in psychiatric patients under stress. *J Clin Exp Psychopathol*, 12(1), 45-66.
- Mäntylä, T. (2013). Gender differences in multitasking reflect spatial ability. *Psychol Sci*, 24(4), 514-520. DOI: 10.1177/0956797612459660
- Mäntylä, T., Coni, V., Kubik, V., Todorov, I. & Del Missier, F. (2017). Time takes space: selective effects of multitasking on concurrent spatial processing. *Cogn Process*, 18(3), 229-235. DOI: 10.1007/s10339-017-0799-4
- Mehta, R. K. & Agnew, M. J. (2011). Effects of concurrent physical and mental demands for a short duration static task. *Int J Ind Ergon*, 41(5), 488-493. DOI: 10.1016/j.ergon.2011.04.005
- Mehta, R. K. & Agnew, M. J. (2012). Influence of mental workload on muscle endurance, fatigue, and recovery during intermittent static work. *Eur J Appl Physiol*, 112(8), 2891-2902. DOI: 10.1007/s00421-011-2264-x
- Metz, G. A., Gonzalez, C. L. R., Piecharka, D. M. & Wishaw, I. Q. (2003). Acute alcohol administration improves skilled reaching success in intact but not 6-OHDA dopamine depleted rats: a subsystems analysis of the motoric and anxiolytic effects of alcohol. *Behav Brain Res*, 142(1-2), 167-174. DOI: 10.1016/s0166-4328(02)00420-5
- Metz, G. A., Jadavji, N. M. & Smith, L. K. (2005). Modulation of motor function by stress: a novel concept of the effects of stress and corticosterone on behavior. *Eur J Neurosci*, 22(5), 1190-1200. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2005.04285.x
- Moreno Fortes, A., Tian, L. & Huebner, E. S. (2020). Occupational Stress and Employees Complete Mental Health: A Cross-Cultural Empirical Study. *Int J Environ Res Public Health*, 17(10). DOI: 10.3390/ijerph17103629
- Murji, A., Luketic, L., Sobel, M. L., Kulasegaram, K. M., Leyland, N. & Posner, G. (2016). Evaluating the effect of distractions in the operating room on clinical decision-making and patient safety. *Surg Endosc*, 30(10), 4499-4504. DOI: 10.1007/s00464-016-4782-4

- Nikam, L. H. & Gadkari, J. V. (2012). Effect of age, gender and body mass index on visual and auditory reaction times in Indian population. *Indian J Physiol Pharmacol*, 56(1), 94-99.
- Okkonen, J., Vuori, V. & Palvalin, M. (2019). Digitalization Changing Work: Employees' View on the Benefits and Hindrances. In Á. Rocha, C. Ferrás & M. Paredes (Hrsg.), *Information Technology and Systems. Proceedings of ICITS 2019* (1 Aufl., Bd. 918, S. 165-176). Cham: Springer.
- Öngür, D., An, X. & Price, J. L. (1998). Prefrontal cortical projections to the hypothalamus in macaque monkeys. *J Comp Neurol*, 401(4), 480-505.
- Parent-Thirion, A., Biletta, I., Cabrita, J., Vargas, O., Vermeylen, G., Wilczynska, A. & Wilkens, M. (2017). *Sixth European Working Conditions Survey - Overview report (2017 update)* (Eurofound, Hrsg.). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Paridon, H. M. & Kaufmann, M. (2010). Multitasking in work-related situations and its relevance for occupational health and safety: Effects on performance, subjective strain and physiological parameters. *Eur J Psychol*, 6(4), 110-124. DOI: 10.5964/ejop.v6i4.226
- Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks: evidence for a central bottleneck. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 10(3), 358-377. DOI: 10.1037//0096-1523.10.3.358
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychol Bull*, 116(2), 220-244. DOI: 10.1037/0033-2909.116.2.220
- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F. & Liberzon, I. (2002). Functional Neuroanatomy of Emotion: A Meta-Analysis of Emotion Activation Studies in PET and fMRI. *NeuroImage*, 16(2), 331-348. DOI: 10.1006/nimg.2002.1087
- Rac-Lubashevsky, R. & Kessler, Y. (2016). Decomposing the n-back task: An individual differences study using the reference-back paradigm. *Neuropsychologia*, 90, 190-199. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.013
- Ren, D., Zhou, H. & Fu, X. (2009). *A Deeper Look at Gender Difference in Multitasking: Gender-Specific Mechanism of Cognitive Control*. Vorgetragen bei: 2009 Fifth International Conference on Natural Computation, Tianjian, China.
- Rennert, D., Kliner, K. & Richter, M. (2021). Arbeitsunfähigkeit. In F. Knieps & H. Pfaff (Hrsg.), *Krise Wandel Aufbruch. BKK Gesundheitsreport 2021* (S. 83-170). Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Richter, G. (2000). *Psychische Belastung und Beanspruchung. Streß, psychische Ermüdung, Monotonie, psychische Sättigung* (BAuA, Hrsg. 3 Aufl.). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Richter, M., Kliner, K. & Rennert, D. (2017). Ergebnisse der BKK Umfrage „Digitalisierung, Arbeit und Gesundheit“. In F. Knieps & H. Pfaff (Hrsg.), *Digitale Arbeit – Digitale Gesundheit. BKK Gesundheitsreport 2017* (S. 105-124). Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Richter, M., Kliner, K. & Rennert, D. (2021). Ambulante Versorgung. In F. Knieps & H. Pfaff (Hrsg.), *Krise Wandel Aufbruch. BKK Gesundheitsreport 2021* (S. 171-236). Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Rivolta, M. W., Stampalija, T., Casati, D., Richardson, B. S., Ross, M. G., Frasc, M. G., Bauer, A., Ferrazzi, E. & Sassi, R. (2014). Acceleration and deceleration

- capacity of fetal heart rate in an in-vivo sheep model. *PLoS One*, 9(8), e104193. DOI: 10.1371/journal.pone.0104193
- Rothe, I., Adolph, L., Beermann, B., Schütte, M., Windel, A., Grewer, A., Lenhardt, U., Michel, J., Thomson, B. & Formazin, M. (2017). *Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Wissenschaftliche Standortbestimmung* (BAuA, Hrsg. 1 Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Salanova, M., Llorens, S. & Cifre, E. (2013). The dark side of technologies: Technostress among users of information and communication technologies. *Int J Psychol*, 48(3), 422-436.
- Sato, T., Suzuki, E., Yokoyama, M., Semba, J., Watanabe, S. & Miyaoka, H. (2006). Chronic intraperitoneal injection of interferon-alpha reduces serotonin levels in various regions of rat brain, but does not change levels of serotonin transporter mRNA, nitrite or nitrate. *Psychiatry Clin Neurosci*, 60(4), 499-506. DOI: 10.1111/j.1440-1819.2006.01538.x
- Segall, M. A. & Crnic, L. S. (1990). An animal model for the behavioral effects of interferon. *Behav Neurosci*, 104(4), 612-618. DOI: 10.1037//0735-7044.104.4.612
- Slavich, G. M. & Irwin, M. R. (2014). From stress to inflammation and major depressive disorder: a social signal transduction theory of depression. *Psychol Bull*, 140(3), 774-815. DOI: 10.1037/a0035302
- Slavich, G. M., Way, B. M., Eisenberger, N. I. & Taylor, S. E. (2010). Neural sensitivity to social rejection is associated with inflammatory responses to social stress. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107(33), 14817-14822. DOI: 10.1073/pnas.1009164107
- Smith, L. K., Jadavji, N. M., Colwell, K. L., Pehudoff, K. S. & Metz, G. A. (2008). Stress accelerates neural degeneration and exaggerates motor symptoms in a rat model of Parkinson's disease. *Eur J Neurosci*, 27(8), 2133-2146. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2008.06177.x
- Stab, N. & Schulz-Dadaczynski, A. (2017). Arbeitsintensität: Ein Überblick zu Zusammenhängen mit Beanspruchungsfolgen und Gestaltungsempfehlungen. *Z. Arb. Wiss.*, 71(1), 14-25. DOI: 10.1007/s41449-017-0048-9
- Statistisches Bundesamt. (2015). Krankheitskosten. Kosten nach Krankheitsklassen und Geschlecht in Euro je Einwohner. Abgerufen am 21.04.2022. Verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankheitskosten/Tabellen/krankheitsklassen-geschlecht.html>
- Stephoe, A., Hamer, M. & Chida, Y. (2007). The effects of acute psychological stress on circulating inflammatory factors in humans: A review and meta-analysis. *Brain Behav Immun*, 21(7), 901-912. DOI: 10.1016/j.bbi.2007.03.011
- Stoet, G., O'Connor, D. B., Conner, M. & Laws, K. R. (2013). Are women better than men at multi-tasking? *BMC Psychol*, 1, 18. DOI: 10.1186/2050-7283-1-18
- Strobach, T. & Wozidlo, A. (2015). Young and Older Adults' Gender Stereotype in Multitasking. *Front Psychol*, 6, 1922. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01922
- Szameitat, A. J., Hamaida, Y., Tulley, R. S., Saylik, R. & Otermans, P. C. (2015). "Women Are Better Than Men"-Public Beliefs on Gender Differences and Other Aspects in Multitasking. *PLoS One*, 10(10), e0140371. DOI: 10.1371/journal.pone.0140371

- Szmales, A., Verbruggen, F., Vandierendonck, A. & Kemps, E. (2011). Control of interference during working memory updating. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 37(1), 137-151. DOI: 10.1037/a0020365
- Tarafdar, M., Tu, Q., Ragu-Nathan, T. S. & Ragu-Nathan, B. S. (2011). Crossing to the dark side: examining creators, outcomes, and inhibitors of technostress. *Commun ACM*, 54(9), 113-120. DOI: 10.1145/1995376.1995403
- Temprado, J.-J., Vieluf, S., Bricot, N., Berton, E. & Sleimen-Malkoun, R. (2015). Performing Isometric Force Control in Combination with a Cognitive Task: A Multidimensional Assessment. *PLoS One*, 10(11), e0142627. DOI: 10.1371/journal.pone.0142627
- Tharion, E., Parthasarathy, S. & Neelakantan, N. (2009). Short-term heart rate variability measures in students during examinations. *Natl Med J India*, 22(2), 63-66.
- Thayer, J. F. & Sternberg, E. (2006). Beyond heart rate variability: vagal regulation of allostatic systems. *Ann Y Acad Sci*, 1088(1), 361-372. DOI: 10.1196/annals.1366.014
- Trägner, U. (2006). *Arbeitszeitschutzrechtliche Bewertung der Intensität von Arbeitsleistungen unter besonderer Berücksichtigung der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofes zum Bereitschaftsdienst* (1 Aufl.). Konstanz: Hartung-Gorre.
- Tsang, S. N. H. & Chan, A. H. S. (2018). Tracking and discrete dual task performance for different visual spatial stimulus-response mappings with focal and ambient vision. *Appl Ergon*, 67, 39-49. DOI: 10.1016/j.apergo.2017.09.004
- Ursin, H. & Eriksen, H. R. (2004). The cognitive activation theory of stress. *Psychoneuroendocrinology*, 29(5), 567-592. DOI: 10.1016/s0306-4530(03)00091-x
- Visnovcova, Z., Mestanik, M., Javorka, M., Mokra, D., Gala, M., Jurko, A., Calkovska, A. & Tonhajzerova, I. (2014). Complexity and time asymmetry of heart rate variability are altered in acute mental stress. *Physiol Meas*, 35(7), 1319-1334. DOI: 10.1088/0967-3334/35/7/1319
- Welford, A. T. (1973). Stress and performance. *Ergonomics*, 16(5), 567-580. DOI: 10.1080/00140137308924547
- Weltgesundheitsorganisation. (2006). Constitution of the World Health Organization. Abgerufen am 18.05.2022. Verfügbar unter https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/publications/basic-documents-constitution-of-who179f0d3d-a613-4760-8801-811dfce250af.pdf?sfvrsn=e8fb384f_1&download=true
- Weltgesundheitsorganisation. (2019). Psychische Gesundheit – Faktenblatt. Abgerufen am 18.05.2022. Verfügbar unter https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/404853/MNH_FactSheet_DE.pdf
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Hum Factors*, 50(3), 449-455. DOI: 10.1518/001872008X288394
- Wöhrmann, A. M., Gerstenberg, S., Hünefeld, L., Pundt, F., Reeske-Behrens, A., Brenscheidt, F. & Beermann, B. (2016). *Arbeitszeitreport Deutschland 2016* (BAuA, Hrsg. 1 Aufl.). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

- Yoon, T., Keller, M. L., De-Lap, B. S., Harkins, A., Lepers, R. & Hunter, S. K. (2009). Sex differences in response to cognitive stress during a fatiguing contraction. *J Appl Physiol (1985)*, 107(5), 1486-1496. DOI: 10.1152/jappphysiol.00238.2009
- Yoshie, M., Kudo, K., Murakoshi, T. & Ohtsuki, T. (2009). Music performance anxiety in skilled pianists: effects of social-evaluative performance situation on subjective, autonomic, and electromyographic reactions. *Exp Brain Res*, 199(2), 117-126. DOI: 10.1007/s00221-009-1979-y
- Yuan, L., Kong, F., Luo, Y., Zeng, S., Lan, J. & You, X. (2019). Gender Differences in Large-Scale and Small-Scale Spatial Ability: A Systematic Review Based on Behavioral and Neuroimaging Research. *Front Behav Neurosci*, 13, 128. DOI: 10.3389/fnbeh.2019.00128
- Ziegler, M. G. (2004). 50 - Psychological Stress and the Autonomic Nervous System. In D. Robertson, I. Biaggioni, G. Burnstock & P. A. Low (Hrsg.), *Primer on the Autonomic Nervous System* (2 Aufl., S. 189-190). San Diego: Academic Press.
- Zucchi, F. C. R., Matthies, N.-F., Badr, N. & Metz, G. A. (2010). Stress-induced glucocorticoid receptor activation determines functional recovery following ischemic stroke. *Exp & Trans Stroke Med*, 2, 18. DOI: 10.1186/2040-7378-2-18

Anhang

Anhang 1: Shapiro-Wilk-Test für die für jede Untergruppe

| Untergruppe | Reaktionszeit | | Motorische Genauigkeit | |
|---|--|--|--|--|
| | p-Wert, Variable nicht transformiert | p-Wert, dekadische Logtransformation | p-Wert, Variable nicht transformiert | p-Wert, dekadische Logtransformation |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, männlich, Block 1 | ,2410 | ,7877 | ,0003* | ,6292 |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, männlich, Block 6 | ,0101* | ,0391* | ,0001* | ,0104* |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, weiblich, Block 1 | ,5932 | ,7676 | ,0012* | ,1874 |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{leicht}}$, weiblich, Block 6 | ,5317 | ,6283 | ,0124* | ,1201 |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, männlich, Block 1 | ,0348* | ,2351 | ,0001* | ,1406 |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, männlich, Block 6 | ,5504 | ,9628 | ,0001* | ,0107* |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, weiblich, Block 1 | ,4690 | ,7326 | ,0097 | ,0510 |
| Bedingung $M_{\text{leicht}}K_{\text{schwer}}$, weiblich, Block 6 | ,0395* | ,0295* | ,0008* | ,1030 |

Anhang 2: Schiefe und Kurtosis mit Standartfehler der abhängigen Variablen motorische Genauigkeit nach dekadischer Logtransformation für jede Untergruppe

| Untergruppe | Schiefe | Standartfehler Schiefe | Kurtosis | Standartfehler Kurtosis |
|---|---------|------------------------|----------|-------------------------|
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , männlich, Block 1 | ,572 | ,472 | -,152 | ,918 |
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , männlich, Block 6 | 1,523 | ,472 | 3,223 | ,918 |
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , weiblich, Block 1 | ,588 | ,481 | -,439 | ,935 |
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , weiblich, Block 6 | ,228 | ,481 | -1,249 | ,935 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , männlich, Block 1 | ,572 | ,472 | -,529 | ,918 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , männlich, Block 6 | ,797 | ,472 | ,279 | ,918 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , weiblich, Block 1 | ,032 | ,481 | -1,465 | ,935 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , weiblich, Block 6 | ,681 | ,481 | ,398 | ,935 |

Anhang 3: Schiefe und Kurtosis mit Standardfehler der abhängigen Variable Reaktionszeit nach dekadischer Logtransformation für jede Untergruppe

| Untergruppe | Schiefe | Standardfehler Schiefe | Kurtosis | Standardfehler Kurtosis |
|---|---------|------------------------|----------|-------------------------|
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , männlich, Block 1 | ,501 | ,472 | ,282 | ,918 |
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , männlich, Block 6 | ,824 | ,472 | -,031 | ,918 |
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , weiblich, Block 1 | ,305 | ,481 | -,389 | ,935 |
| Bedingung M _{leicht} K _{leicht} , weiblich, Block 6 | ,037 | ,481 | -,899 | ,935 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , männlich, Block 1 | ,366 | ,472 | 1,175 | ,918 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , männlich, Block 6 | ,199 | ,481 | -,024 | ,935 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , weiblich, Block 1 | -,013 | ,481 | -,132 | ,935 |
| Bedingung M _{leicht} K _{schwer} , weiblich, Block 6 | ,508 | ,481 | 1,192 | ,935 |

Anhang 4: Test der festen Effekte auf die Reaktionszeit, durchgeführt mit nicht-logarithmierten Variablen

| Faktor | Anzahl Parameter | Freiheitsgrade | Freiheitsgrade Nenner | F-Wert | p-Wert |
|----------------------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|---------|
| Bedingung | 1 | 1 | 132,80 | 132,27 | <,0001* |
| Geschlecht | 1 | 1 | 43,68 | 0,44 | 0,5130 |
| Bedingung* Geschlecht | 1 | 1 | 132,80 | 0,91 | 0,3409 |
| Block | 1 | 1 | 132,80 | 1,02 | 0,3137 |
| Bedingung*Block | 1 | 1 | 132,80 | 2,14 | 0,1463 |
| Geschlecht*Block | 1 | 1 | 132,80 | 0,93 | 0,3378 |
| Bedingung*Geschlecht*Block | 1 | 1 | 132,80 | 1,30 | 0,2560 |

Anhang 5: Test der festen Effekte auf die motorische Genauigkeit, durchgeführt mit nicht-logarithmierter Variable. Bis auf den Haupteffekt „Block“ zeigte sich kein Unterschied in den Signifikanzen (vgl. Tab. 7). Der grenzwertig signifikante Haupteffekt „Block“ ($F(1, 135) = 2,93, p = ,09$) bestätigt dabei das Ergebnis, der mit den dekadisch logtransformierten Variablen berechneten Mixed ANOVA.

| Faktor | Anzahl Parameter | Freiheitsgrade | Freiheitsgrade Nenner | F-Wert | p-Wert |
|----------------------------|------------------|----------------|-----------------------|--------|---------|
| Bedingung | 1 | 1 | 135 | 20,57 | <,0001* |
| Geschlecht | 1 | 1 | 45 | 5,31 | 0,0259* |
| Bedingung*Geschlecht | 1 | 1 | 135 | 9,05 | 0,0031* |
| Block | 1 | 1 | 135 | 2,93 | 0,0893 |
| Bedingung*Block | 1 | 1 | 135 | 0,10 | 0,7518 |
| Geschlecht*Block | 1 | 1 | 135 | 0,26 | 0,6141 |
| Bedingung*Geschlecht*Block | 1 | 1 | 135 | 0,02 | 0,8933 |

Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde am Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung zunächst unter der Betreuung von Frau Prof. Dr. med. Monika Rieger und dem Mentorat von Herrn PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber und nach einem Betreuungswechsel unter der Betreuung von Herrn PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber durchgeführt.

Die Konzeption der Gesamtstudie erfolgte durch Herrn PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber und Herrn Dipl.- Sportwiss. Florestan Wagenblast, M.Sc., im Rahmen dessen laufenden Promotionsvorhabens an der Medizinischen Fakultät Tübingen. Ebenfalls waren Frau Prof. Dr. med. Monika A. Rieger und Herr Dipl.-Ing. Robert Seibt in der Konzeption involviert. Die vorliegende Arbeit ist Teil dieses größeren Gesamtprojektes.

Nach Einarbeitung durch Herrn Florestan Wagenblast und Frau Angelika Schenk, M.Sc. wurden 32 Messtage (von insgesamt 154 Messtagen), welche im Rahmen des Gesamtprojekts stattfanden von mir in Zusammenarbeit mit Frau Angelika Schenk und Herrn Dr. med. Ralph Christian Sanzinska durchgeführt. Die Rekrutierung von fünf Teilnehmenden erfolgte durch mich.

Die statistische Auswertung wurde von mir nach Anleitung und in Abstimmung mit Herrn PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber durchgeführt. Ehe die statistische Auswertung erfolgte, wurde die Berechnung der Kennwerte der Reaktionszeit, welche durch Betätigung einer Drucktaste (Large Dome Button, ITB CompuPhase) definiert wurde, und der motorischen Genauigkeit, welche über den Kraftsensor A (TedeA-Huntleigh Model 615, Genauigkeitsklasse 0,1%, Vishay Precision Group, USA) erhoben wurde, durchgeführt. Die Berechnung dieser Kennwerte aus den Rohdaten erfolgte durch Julia Gabriel, M.Sc. (das programmierte Skript ist auf den Servern des IASV hinterlegt). Mit Ausnahme der Abbildung 6 und Abbildung 8, wurde alle in dieser Arbeit dargestellten Abbildungen, Fotografien und Tabellen von mir persönlich erstellt.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig, nach Anleitung durch Herrn PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber, verfasst und keine weiteren als die von mir angegebenen

Quellen verwendet zu haben. Eine Rückmeldung zu Teilen des Manuskripts erhielt ich darüber hinaus von Herrn Florestan Wagenblast, M.Sc.

Nachfolgend sollen die Personen und ihre wissenschaftlichen Arbeiten mit den entsprechenden Fragestellungen genannt werden, welche am Gesamtprojekt beteiligt waren. Dies soll meinen Eigenanteil am Gesamtprojekt ersichtlich machen sowie meine Arbeit in den Gesamtkontext einordnen:

Florestan Wagenblast, M.Sc.; Forschungsfrage des Gesamtprojektes als Teil des Promotionsvorhabens: Arbeitsgestaltung bei arbeitsbedingten psychischen Belastungen auf arbeitsphysiologischer Grundlage: Methodenentwicklung und experimentelle Erkenntnisse zu kombinierten psychischen und physischen Belastungen

Ralph Christian Sanzinska, Dr. med.; Einfluss von kombinierter physischer und psychischer Belastung auf Surrogatparameter eines erhöhten Risikos für Beschwerden in der Nackenmuskulatur

Jonas Winter, B.Sc. (Medizintechnik); Ermüdungsverhalten der Muskulatur bei kombinierter physischer und kognitiver Beanspruchung: Einfluss des kognitiven und physischen Anforderungsniveaus

Rebecca Lange, B.Sc. (Medizintechnik); Herzfrequenz und Herzratenvariabilität bei simultaner psychischer und physischer Belastung: Einfluss der kognitiven Belastungsintensität und des Lebensalters

Helena Schittenhelm, B.Sc. (Medizintechnik); Einfluss des Lebensalters auf die psychophysische Beanspruchungsreaktion bei kombinierter physischer und psychischer Belastung - Entwicklung des Studiendesigns.

Thomas Dietrich Wolff-Hohberg; Einfluss des kognitiven Anforderungsniveaus auf Aspekte der motorischen Präzision und kognitiven Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung des Geschlechts

Tübingen, den 01.09.2022

[Unterschrift]

Danksagung

Als erstes möchte ich meinen Dank an meinen Doktorvater Herrn PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber richten. Er unterstützte mich durch regelmäßige Besprechungen zur Konzeption, Strukturierung, Durchführung und statistischen Auswertung der Arbeit sowie in der Aneignung einer wissenschaftlichen Arbeitsweise durch konstruktive Ratschläge.

Mein besonderer Dank gilt ebenfalls Frau Prof. Dr. med. Monika Rieger für die Möglichkeit meine Dissertationsarbeit an Ihrem Institut durchzuführen und für Ihre Unterstützung im Verlauf der Projektbearbeitung.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Herrn Dipl.- Sportwiss. Florestan Wagenblast, M.Sc. Nach Einarbeitung durch ihn erlernte ich die praktische Versuchsdurchführung und wir standen in der Bearbeitung meiner Forschungsfragen in hilfreichem und regem Gedankenaustausch.

Frau Julia Gabriel, M.Sc. danke ich für die freundliche Hilfe durch Berechnung der Kennwerte aus den Rohdaten der Versuche.

Ebenfalls möchte ich meinen Dank an Frau Angelika Schenk, M.Sc. ausdrücken für das Einarbeiten in die Versuchsdurchführungen und für die Mitwirkung an deren praktischer Durchführung.

Herrn Dipl.-Ing. Robert Seibt danke ich für die wertvolle Unterstützung bei technischen Fragen der Versuchsdurchführung und der institutseigenen Messvorrichtung.

Zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium erst ermöglichten und mich in allen Lebenslagen unterstützen. Danken möchte ich ebenfalls meiner Freundin Luise die mich in meinem Dissertationsvorhaben moralisch unterstützte und mir mit ihrer wissenschaftlichen Expertise durch konstruktive Hinweise zur Seite stand.