

Bericht zum Forschungsprojekt

Gesundes und effizientes Arbeiten im Active Office

Wirkung auf die kognitive Leistungsfähigkeit und die korrespondierende Gehirnaktivität, elektrokardiographische Aktivität und elektromyographische Aktivität

Dr. Diana Henz/Prof. Dr. Wolfgang Schöllhorn
Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaft
Institut für Sportwissenschaft
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Deutschland

1. Zusammenfassung

Aktuelle wissenschaftliche Studien belegen einen positiven Einfluss von Bewegung auf die physische und psychische Gesundheit sowie auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Bisher gibt es nur wenige systematische Studien zur Wirkung von Bewegungen auf die Gehirnaktivität während der Bearbeitung kognitiver Aufgaben, die durch bewegte Arbeitsumgebungen herbeigeführt werden. Von besonderem Interesse ist hierbei die Wirkung auf die elektrische Gehirnaktivität, die über das Elektroenzephalogramm (EEG) gemessen wird, dessen Veränderung durch Arbeiten in bewegten Arbeitsumgebungen ein objektiver Indikator für psychophysiologische Wachheitszustände, die Leistungsbereitschaft des kognitiven Systems, Stress und Motivation liefern kann. Beim EEG gibt die Zusammensetzung der verschiedenen EEG-Frequenzbänder (insbesondere der Theta-, Alpha-, Beta- und Gamma-Bereich) Aufschluss über die unterschiedlichen psychophysiologischen Wachheits- und Aktivierungszustände während des Arbeitens. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurden Effekte des Arbeitens in einer bewegungsfördernden Büroumgebung im Active Office im Unterschied zu einer konventionellen statischen Büroumgebung auf das psychophysiologische Wachheitsniveau, die kognitive Leistungsfähigkeit und die damit einhergehende Gehirnaktivität, elektrokardiographische Aktivität (EKG) und elektromyographische Aktivität (EMG) im Hals- und Schulterbereich in einer zweiwöchigen Interventionsstudie untersucht. Die Ergebnisse der physiologischen Messungen (EEG, EKG, EMG), der Leistungs- und Verhaltensdaten sowie der subjektiven Befindlichkeit belegen Vorteile des Arbeitens im Active Office gegenüber einer statischen Büroumgebung. Die positiven Effekte sind bereits während einer einmaligen Anwendung beobachtbar und werden nach einer zweiwöchigen Intervention verstärkt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen Ergebnisse aus vorhergehenden Studien zur positiven Wirkung von bewegungsfördernden Arbeitsumgebungen und legen die Empfehlung nahe, bewegungsfördernde Büroumgebungen im Bereich der Gesundheitsförderung und Prävention einzusetzen.

2. Einleitung und theoretischer Hintergrund zur Wirkung von Bewegung auf die Gehirnaktivität

Aktuelle wissenschaftliche Studien belegen einen positiven Einfluss von Bewegung auf die physische und psychische Gesundheit sowie auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Neben der kurzfristigen Wirkung von großmotorischen Alltags- und Sportbewegungen auf die Gehirnaktivität sind vor allem mittelfristige Interventionseffekte von Bewegung auf die kognitive Leistungsfähigkeit (Kurz- und Langzeitgedächtnis, Aufmerksamkeits- und Konzentrationsfähigkeit, Intelligenz, Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung, Motivation, Kreativität, psychisches Selbstkonzept, Stressbewältigung) Gegenstand der Untersuchungen. Bisher gibt es nur wenige systematische Studien zu mittelbaren und unmittelbaren Effekten von Mikrobewegungen auf die Gehirnaktivität während der Bearbeitung kognitiver Aufgaben, die durch bewegte Arbeitsumgebungen herbeigeführt werden. Von besonderem Interesse ist hierbei die Wirkung auf die elektrische Gehirnaktivität, die über das EEG gemessen wird, dessen Veränderung durch Arbeiten in bewegten Arbeitsumgebungen objektive Indikatoren für psychophysiologische Wachheitszustände, die Leistungsbereitschaft des kognitiven Systems, Stress und Motivation liefern kann. Beim EEG gibt die Zusammensetzung der verschiedenen EEG-Frequenzbänder (insbesondere der Theta-, Alpha-, Beta- und Gamma-Bereich) Aufschluss über die unterschiedlichen psychophysiologischen Wachheitszustände während des Arbeitens. Die Alpha-Aktivität (8-13 Hz) ist die häufigste Form der Grundaktivität und wird vor allem bei geschlossenen Augen in den okzipitalen und parietalen Gehirnarealen gemessen, kann aber auch bei geöffneten Augen unter entspannten Zuständen auftreten. Die Beta-Aktivität (13-30 Hz) tritt meist präzentral und frontal auf und ist ein Indikator für Wachheit. Aufgrund der großen Bandbreite wird das Beta-Band in drei Bereiche mit korrelierenden psychophysiologischen Zuständen separiert: während der Beta-1 Bereich (13-15 Hz) noch durch eine entspannte, nach außen gerichtete Aufmerksamkeit gekennzeichnet ist, geht der Beta-2 (15-21 Hz) Bereich mit einer erhöhten Wachheit, der Beta-3 Bereich (21-30 Hz) mit einer Überaktivierung und Stressempfinden einher. Relevant für das geplante Projekt ist vor allem eine Aktivierung im Beta-Bereich: für gute Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistungen ist eine Gehirnaktivierung im Betabereich optimal. Eine gesteigerte Alpha-Aktivität ist Indikator für einen entspannten Wachzustand, der insbesondere bei kreativen Prozessen und in Regenerationsphasen auftritt. Die Theta-Aktivität ist ein Indikator für internalisierte Aufmerksamkeits- sowie Gedächtnisprozesse im Gehirn, die zum Lernen von neuen Inhalten beitragen.

Wissenschaftliche Studien konnten eine kurzfristige Wirkung von großmotorischen Alltags- und Sportbewegungen auf die Gehirnaktivität zeigen, wobei eine Steigerung der Alpha-Aktivität nach moderater Intensität, eine Steigerung im Beta-Bereich nach hoher

Trainingsintensität zu beobachten ist (Brümmer et al., 2011; Crabbe & Dishman, 2004). Die Veränderung der Gehirnaktivität durch körperliche Bewegung erklärt außerdem die positiven Effekte auf das psychische Befinden. Nach körperlichem Training wurde eine verstärkte Beta-Aktivität als Indikator für größere kortikale Aktivierung einhergehend mit einer Verbesserung des Befindens beobachtet (Moraes et al., 2007; 2011). Während zu der Wirkung von großmotorischen Bewegungen auf das Spontan-EEG bereits wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, gibt es bisher wenige Studien zum Effekt von feinmotorischen Bewegungen, etwa wie sie bei der Haltungskontrolle beim Sitzen auf bewegten Stühlen auftreten.

Dem vorliegenden Forschungsprojekt gingen eine Reihe von wissenschaftlichen Studien zur Wirkung von Bewegungen beim Sitzen und Gehen auf die Gehirnaktivität, elektrokardiographische Aktivität und kognitive Leistungsfähigkeit voraus, die in der Abteilung Trainings- und Bewegungswissenschaft des Sportinstituts der Universität Mainz durchgeführt wurden. Eine experimentelle Laborstudie belegt einen positiven Effekt von bewegtem Sitzen auf Swopper auf die kurz- und langfristige Konzentrationsfähigkeit sowie die korrespondierende Gehirnaktivität. Beim Arbeiten auf Swopper zeigt sich im Unterschied zum Arbeiten auf einem statischen Testhocker sowie einem konventionellen Bürostuhl ein größeres Arbeitsvolumen einhergehend mit einer größeren Präzision hinsichtlich der Konzentrationsleistung. Anhand der korrespondierenden EEG-Aktivität lässt sich ein verstärktes Auftreten von Theta-, Alpha- und Beta-Wellen bei Arbeiten auf Swopper aufzeigen. Die größere Komplexität des EEG-Signals, die durch bewegtes Sitzen auf Swopper auftritt, ermöglicht dem menschlichen Organismus eine größere Adaptationsfähigkeit an zu bewältigende Arbeitsaufgaben und Stresssituationen.

In einer Feldstudie konnte bei ADHS-Patienten im Jugendalter eine konzentrationsförderliche Wirkung durch dynamisches Sitzen festgestellt werden. Die Patienten bearbeiteten einen 20-minütigen Konzentrationstest zur ADHS-Diagnostik sowie Mathematikaufgaben unter einer dynamischen und einer statischen Sitzbedingung. Bei dynamischem Sitzen wurden bessere Konzentrations- und damit einhergehend Mathematikleistungen erzielt als bei statischem Sitzen. Ferner wurde ein verbessertes subjektives Befinden von Seiten der Probanden bei dynamischem Sitzen berichtet (Henz & Schöllhorn, 2016).

Neben der positiven Wirkung von bewegtem Sitzen auf die Konzentrationsfähigkeit konnte in mehreren Studien aufgezeigt werden, dass bewegtes Sitzen einen positiven Einfluss auf die mathematische Lösungskompetenz hat (Deyer, Henz, Schöllhorn & Oldenburg, 2015; Mankowski, Henz, Oldenburg & Schöllhorn, 2015). Die Probanden zeigten sich bessere Leistungen in den Bereichen Algebra, Geometrie und Numerik sowie in der psychischen Befindlichkeit hinsichtlich der Wachheit und Motivation (Henz, Schöllhorn & Oldenburg,

2014) unter bewegtem Sitzen. Die EEG-Aktivierungsmuster belegen, dass durch bewegtes Sitzen eine effizientere Aufgabenbearbeitung möglich ist: Bewegtes Sitzen fördert das visuell-räumliche Vorstellungsvermögen bei Algebra und Geometrie sowie hochkonzentriertes Verarbeiten von Kopfrechenaufgaben, was sich in einer stärkeren Theta- und Alpha-Aktivität in den visuellen, somatosensorischen und motorischen Gehirnarealen zeigt (Henz, Oldenburg & Schöllhorn, 2015a; Henz, Oldenburg & Schöllhorn, 2015b).

Eine positive Wirkung auf das kardiovaskuläre System bei Arbeiten an bewegten Stühlen und Tischen konnte in einer Studie von Enders, Henz und Schöllhorn (2014) belegt werden. Neben besseren kurz- und langfristigen Konzentrationsleistungen zeigte sich eine größere Herzratenvariabilität in einer bewegten Arbeitsumgebung, die aus einer Kombination von bewegten Stühlen und Tischen bestand, als Indikator für eine bessere Anpassungsfähigkeit des menschlichen Organismus. Die Probanden berichteten geringeres Monotonie- und Müdigkeitsempfinden. Mussten die Probanden unter großem Zeit- und Leistungsdruck Aufgaben bearbeiten, so ermöglichte dynamisches Sitzen eine Anpassung des Organismus an die gestellten Arbeitsanforderungen, wobei eine anfängliche Erhöhung der Herzrate bei dynamischem Sitzen als Indikator für eine stärkere Aufgabenfokussierung zu beobachten ist (Mankowski, Henz, Oldenburg & Schöllhorn, 2015).

In einer weiteren Studie wurde die Wirkung von Gehen auf ebenem Boden und auf Terrasensa® auf die EEG-Aktivität, sowie die Wirkung auf die Gleichgewichtsfähigkeit und die subjektive Befindlichkeit untersucht (Maus, Henz, Eekhoff & Schöllhorn, 2015; Maus, Henz & Schöllhorn, 2015). Bereits nach 15-minütigem Gehen auf dem unebenen Boden der Terrasensa®-Platten zeigt sich eine stärkere Theta- und Alpha-Aktivität. Die Zunahme der Theta- der Alpha-Aktivität ist im somatosensorischen Cortex an den Elektroden P3 und P4 signifikant ($p < .05$) und indiziert eine veränderte sensorische Informationsverarbeitung und internalisierte Aufmerksamkeitsprozesse, die durch Gehen auf unebenem Boden ausgelöst werden.

3. Ziele und Fragestellungen des vorliegenden Forschungsprojekts

Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts ist es, die Wirkung von kurz- und längerfristigem Arbeiten im Active Office auf die kognitive Leistungsfähigkeit, psychologische Parameter und auf die Gehirnaktivität, kardiovaskuläre Aktivität und elektromyographische Aktivität zu überprüfen. Durch eine alltagsnahe Simulation eines Arbeitstages mit unterschiedlichen Aufgaben wurde unter kontrollierten Laborbedingungen eine wissenschaftliche Überprüfung der positiven Wirkung des Active Office im Vergleich zu einer konventionellen Arbeitsumgebung auf

- Parameter der kognitiven Leistungsfähigkeit, insbesondere die kurz- und langfristige Konzentrationsfähigkeit, Problemlösefähigkeit
- das arbeitsbezogene psychische Empfinden (Wachheit/Müdigkeit, Anstrengung, Empfinden von Monotonie, Stresserleben)
- die damit einhergehende Gehirnaktivität, kardiovaskuläre Aktivität und muskuläre Aktivität

überprüft.

Fragestellungen:

1. Zeigt sich eine Verbesserung hinsichtlich der kognitiven Leistungsfähigkeit durch Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer konventionellen statischen Büroumgebung?
2. Zeigen sich Unterschiede hinsichtlich des subjektiven Empfindens (Wachheit, Anstrengung, Ermüdung, Empfinden von Monotonie) während und nach der Arbeit im Active Office?
3. Wie sehen Verläufe unterschiedlicher physiologischer Parameter aus, insbesondere das EEG als objektiver Indikator für psychophysiologische Wachheits- und Bewusstseinszustände (Konzentrationsfähigkeit, Stress, Ermüdung, Entspannung), das EKG als Indikator für physiologischen und mentalen Stress während des Arbeitens, und das EMG zur Anzeige von Belastungs- und Ermüdungserscheinungen der Muskulatur beim Arbeiten im Active Office und einer konventionellen Arbeitsumgebung?
4. Findet durch dynamisches Arbeiten im Active Office eine stärkere Synchronisierung der Gehirnaktivität statt, die gesundes Arbeiten und die kognitive Leistungsfähigkeit fördert?
5. Lassen sich Trainingseffekte bei längerfristigem Arbeiten im Active Office feststellen?

4. Forschungsmethodik

4.1 Probanden

In der vorliegenden Studie wurden $N = 24$ Probanden (12 weiblich, 12 männlich; Durchschnittsalter 25,8 Jahre) getestet, davon 12 Probanden im Active Office und 12 Probanden in einer konventionellen statischen Büroumgebung.

4.2 Messmethodik

4.2.1 Physiologische Daten

Zur Erfassung der physiologischen Daten kamen folgende messtechnischen Verfahren zum Einsatz:

1) Elektroenzephalographie (EEG): Mittels des 32-Kanal-Micromed-EEG-Systems wurde nach dem internationalen 10-20-System die EEG-Spontanktivität während und nach den psychophysiologischen Tests anhand unterschiedlicher Frequenzbänder (Theta, Alpha, Beta, Gamma) erhoben. Von besonderer Bedeutung ist hier der Alpha-Bereich (8-13 Hz) als Indikator eines entspannten Wachzustands sowie der Beta-Bereich (14-30 Hz), der bei einer kortikalen Aktivierung vorzufinden ist. Der Theta-Bereich (4-7 Hz) indiziert internalisierte Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisprozesse, wie sie etwa beim Lösen von komplexen Aufgaben erforderlich sind. Gamma-Aktivität (31-70 Hz) zeigt Prozesse der Informationsverarbeitung und synaptischen Reorganisation an. In der vorliegenden Studie wurden frequenz- und lokalisationsabhängige Parameter der elektrischen Aktivierung erhoben.

2) Elektrokardiographie (EKG): Das EKG wurde als Kontrollvariable für die EEG-Aktivität von vier Elektroden abgeleitet. Eine systematische Veränderung der elektrokardiographischen Aktivität geht mit Veränderungen in der EEG-Gehirnaktivität einher. So werden Veränderungen in der Gehirnaktivität bei kognitiver und körperlicher Belastung über die elektrokardiographische Aktivität vermittelt. In der Studie wurden zeit- (Herzrate) und frequenzabhängige Parameter (LF: low-frequency Anteile der Herzratenvariabilität (HRV); HF: high-frequency Anteile der HRV; ratio LF/HF: Verhältnis von low-frequency und high-frequency Anteilen der HRV) der elektrokardiographischen Aktivität erhoben.

3) Elektromyographie (EMG): Das EMG wurde erhoben, um die Grundspannung der Muskulatur in Abhängigkeit von der Arbeitsumgebung (dynamisch, statisch) zu erfassen. Die Aktivität der Halsstrecker- (splenius capitis) und Schultermuskulatur (trapezius pars descendens) wurde über jeweils zwei Elektroden erfasst.

4.2.2 Verhaltens- und Leistungsdaten

Zur Ermittlung der kognitiven Leistungsfähigkeit wurden standardisierte psychometrische Verfahren aus dem Bereich der Arbeitsergonomie eingesetzt:

- Kurzfristige Aufmerksamkeitsfähigkeit: D2-R Test
- Langfristige Aufmerksamkeitsfähigkeit (Vigilanz): Macworth-Clock Test

4.2.3 Subjektive Befindlichkeit

Zur Erfassung der subjektiven psychophysiologischen Befindlichkeit wurden jeweils im Rahmen des Vor- und Nachtests folgende psychometrischen Kennwerte erhoben:

- Subjektive Befindlichkeit: Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)
- Müdigkeit: Karolinska Sleepiness Scale (KSS)

4.3 Experimentelles Design

Der experimentelle Aufbau im Active Office ist in Abbildung 1 dargestellt. Zur Überprüfung der Effekte auf die kognitive Leistungsfähigkeit und die Gehirnaktivität wurde eine Experimental- (Active Office) und eine Kontrollgruppe (konventionelle statische Arbeitsumgebung) getestet. Ein alltagsnaher Arbeitstag mit 4,0 Stunden wurde mit wechselnden Aufgaben unter kontrollierten Laborbedingungen über einen Zeitraum von zwei Wochen simuliert. In einem längsschnittlichen Design arbeiteten die Probanden den Zeitraum von zwei Wochen zu je fünf Tagen in einer der experimentellen Bedingungen. Die Versuchspersonen führten standardisierte Arbeitsaufgaben, in denen unterschiedliche Bereiche der kognitiven Leistungsfähigkeit angesprochen wurden (siehe oben), sowie Alltagstätigkeiten im Büro (Bearbeitung von E-Mails, Prüfen von Texten, Rechenaufgaben etc.) am Bildschirm und in Papierform aus, wobei die EEG-, EKG- und EMG-Aktivität vor, während und nach dem Arbeiten in der Experimental- und Kontrollbedingung gemessen wurde. Die Aufgaben wurden randomisiert, d. h. in zufälliger Reihenfolge bearbeitet, um Zeiteffekte durch eine gleichbleibende Reihenfolge der Aufgaben sowie Ermüdungseffekte zu vermeiden.

In einem Prä-Posttest Design wurde jeweils am ersten und letzten Arbeitstag eine Messung der physiologischen, Verhaltens- und leistungsbezogenen sowie psychologischen Parameter vorgenommen. An den verbleibenden Tagen arbeiteten die Probanden ohne Messapparatur.



Abbildung 1: Experimenteller Aufbau der EEG-Testung im Active Office.

4.4 Datenanalyse

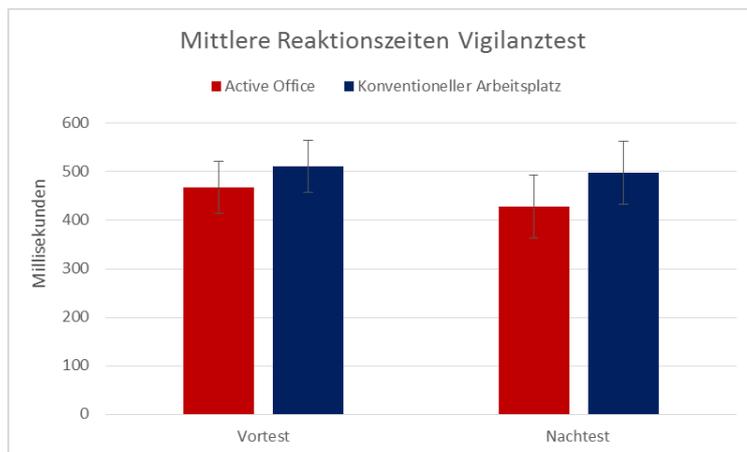
Die neurophysiologischen und elektrokardiographischen Daten wurden mit der Matlab-basierten EEG-Software EEGLab einer Vorauswertung (Artefaktbereinigung, independent component analysis [ICA]) und einer anschließenden vertieften Auswertung mittels Spektralanalyse unterzogen. Für die Aufbereitung der EMG-Daten wurde mittels Matlab jeweils der prozentuale Anteil der maximalen Streckung (% MVC) errechnet. Die EEG-, EKG- und EMG-Daten wurden abschließend mit inferenzstatistischen Verfahren (Varianzanalysen) aufbereitet.

5. Ergebnisse

5.1 Verhaltensdaten: Aufmerksamkeitstestung

Die Ergebnisse der Aufmerksamkeitstestung (kurzfristige Aufmerksamkeit, langfristige Aufmerksamkeit/Vigilanztest) sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Die statistischen Analysen belegen bessere Leistungen sowohl im Bereich der kurz- als auch langfristigen Aufmerksamkeitsleistung beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung (Signifikanzniveau jeweils $p < 0.05$).

A



B

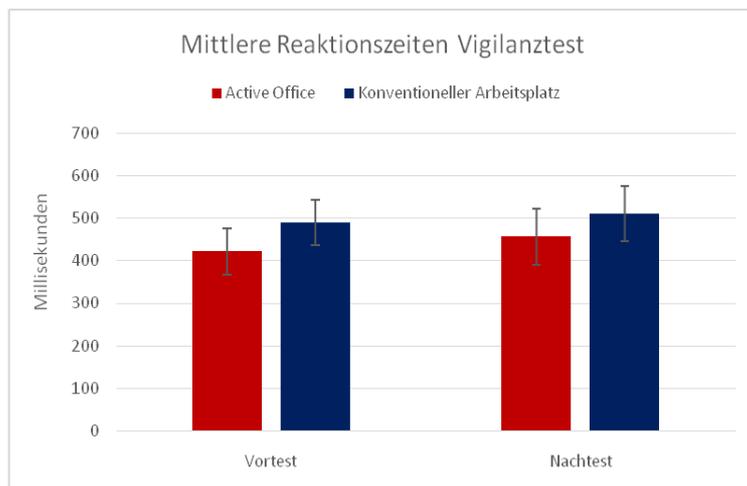
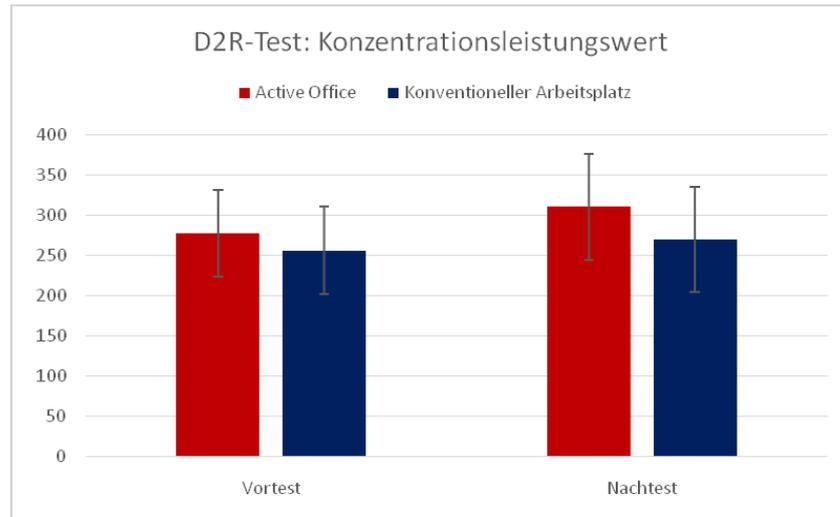


Abbildung 2A-B: Ergebnisse (Mittelwerte und Standardabweichungen) des Vigilanztests beim Arbeiten im Active Office und in einer statischen Büroumgebung. **A** Erster Testtag. **B** Nach der zweiwöchigen Intervention. Die Daten des Vigilanztests belegen eine bessere Leistung (geringere Reaktionszeiten) beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung.

A



B

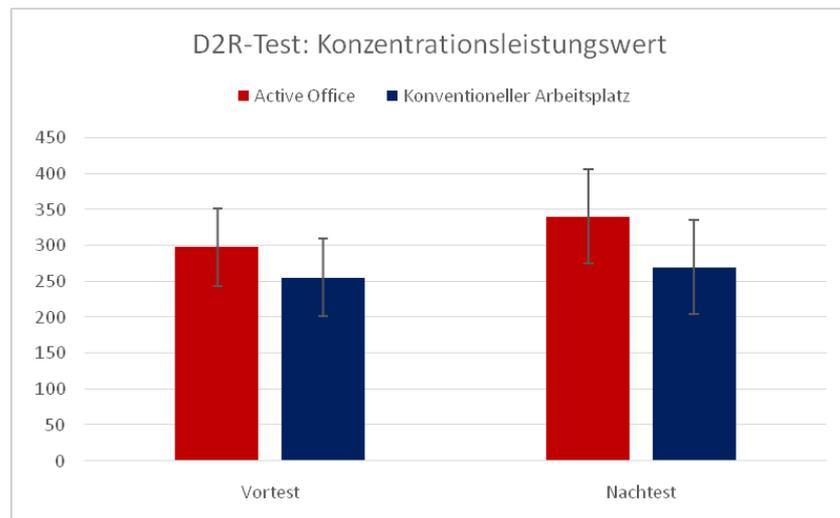


Abbildung 3A-B: Ergebnisse (Mittelwerte und Standardabweichungen) des Aufmerksamkeitstests D2-R beim Arbeiten im Active Office und in einer statischen Büroumgebung. **A** Erster Testtag. **B** Nach der zweiwöchigen Intervention. Die Daten der Aufmerksamkeitstestung belegen eine bessere Leistung (geringere Reaktionszeiten) beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung.

5.2 EEG

5.2.1 Aufmerksamkeitstestung

Die Ergebnisse der Aufmerksamkeitstestung (kurzfristige Aufmerksamkeit, langfristige Aufmerksamkeit/Vigilanztest) sind in Abbildungen 4 bis 7 dargestellt. Die statistischen Analysen belegen Trainingseffekte sowohl im Bereich der kurz- als auch langfristigen Aufmerksamkeitsleistung beim Arbeiten im Active Office in allen vier Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta und Gamma). Bei der langfristigen Konzentrationstestung in der statischen Büroumgebung sind Trainingseffekte im Theta-Band, jedoch nicht in den Frequenzbändern Alpha, Beta und Gamma beobachtbar. Bei der kurzfristigen Konzentrationstestung ist ein Rückgang der Aktivierung in allen vier Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta und Gamma) zu beobachten. Nach der zweiwöchigen Intervention findet eine Lateralisierung der Gehirnaktivität mit stärkerer Aktivität auf der rechten Seite statt, während beim Arbeiten im Active Office nach der zweiwöchigen Intervention sowohl die rechte als auch die linke Gehirnhälfte aktiviert werden. Das statistische Signifikanzniveau liegt jeweils bei $p < 0.05$.

5.2.2 Büroaufgaben

Die Ergebnisse der Büroarbeitsaufgaben sind in Abbildungen 8 und 9 dargestellt. Die statistischen Analysen belegen eine stärkere Aktivierung im Theta- und Alpha-Band beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung (statistisches Signifikanzniveau jeweils $p < 0.05$). Ferner ist ein Trainingseffekt beim Arbeiten im Active Office nach einer zweiwöchigen Intervention in allen Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta und Gamma), in der statischen Büroumgebung im Beta-Band, jedoch nicht im Theta-, Alpha- und Gamma-Band beobachtbar (statistisches Signifikanzniveau jeweils $p < 0.05$).

Active Office: Vigilanztest(Macworth-Clock-Test)

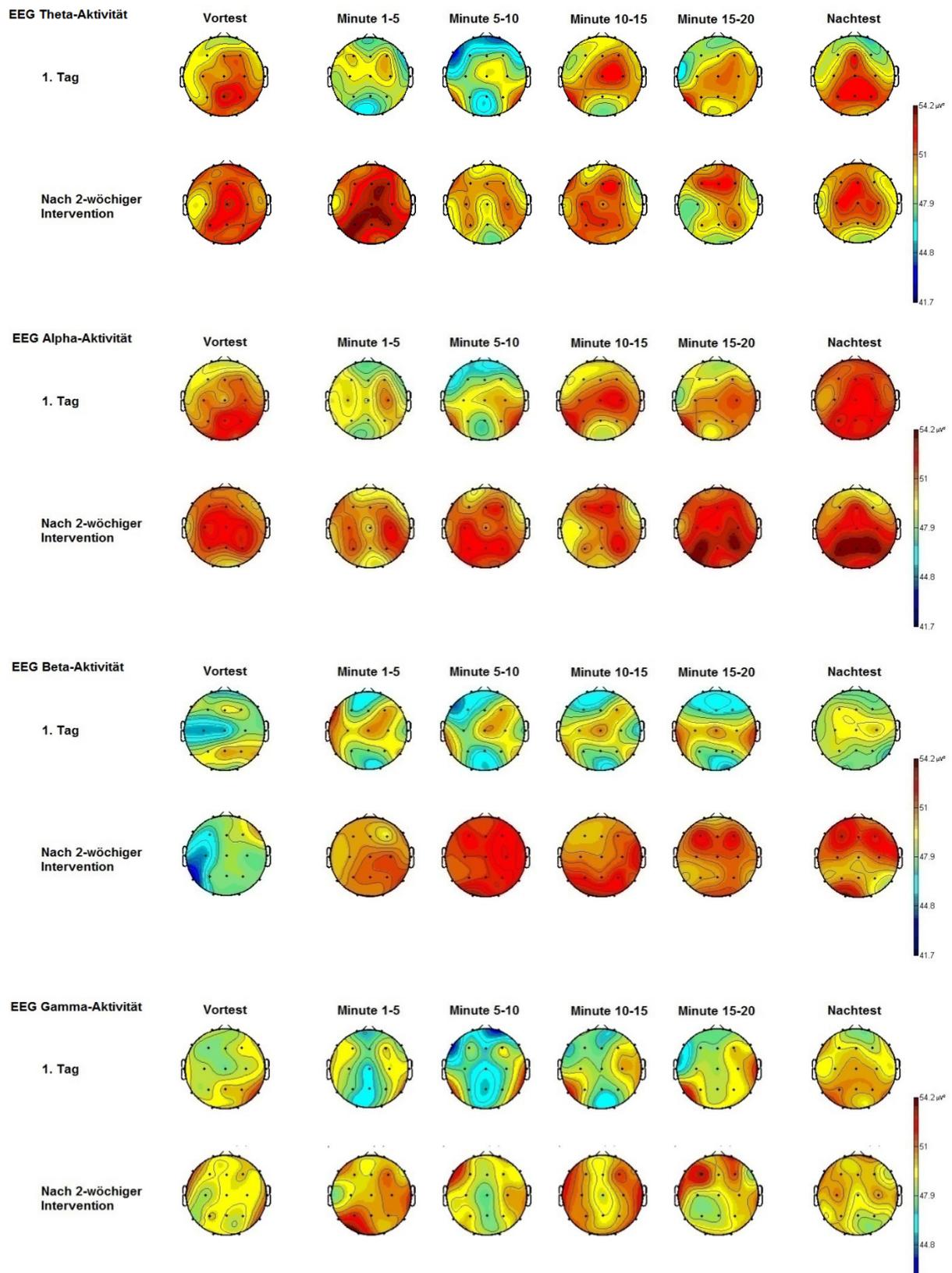


Abbildung 4: EEG-Daten des Vigilanztests beim Arbeiten im Active Office am ersten Testtag und nach der zweiwöchigen Intervention. Die EEG-Daten belegen Trainingseffekte beim Arbeiten im Active Office in allen vier Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta, Gamma).

Statischer Arbeitsplatz: Vigilanztest (Macworth-Clock-Test)

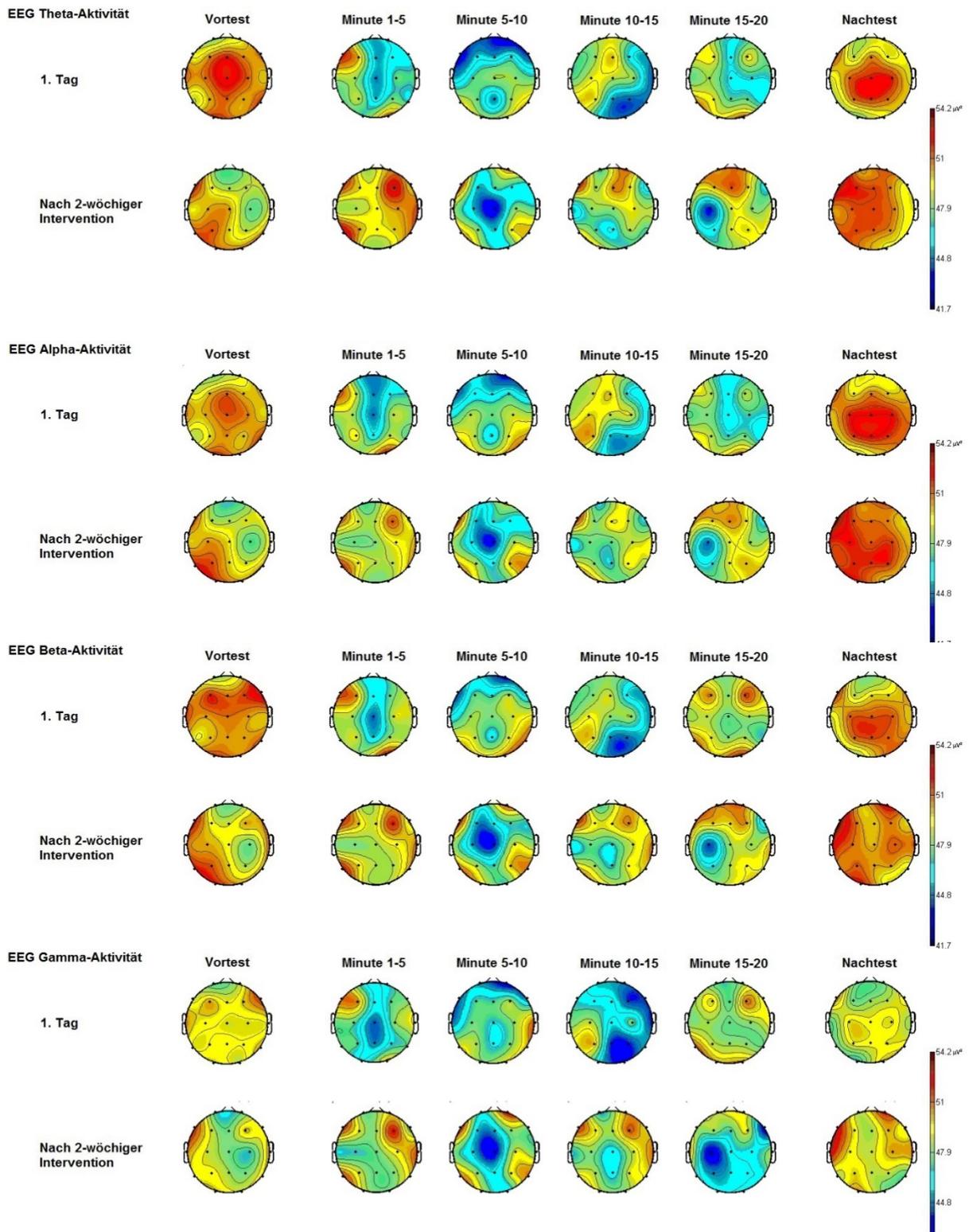


Abbildung 5: EEG-Daten des Vigilanztests beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung am ersten Testtag und nach der zweiwöchigen Intervention. Die EEG-Daten belegen Trainingseffekte beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung im Theta-Band, jedoch nicht in den Frequenzbändern Alpha, Beta und Gamma.

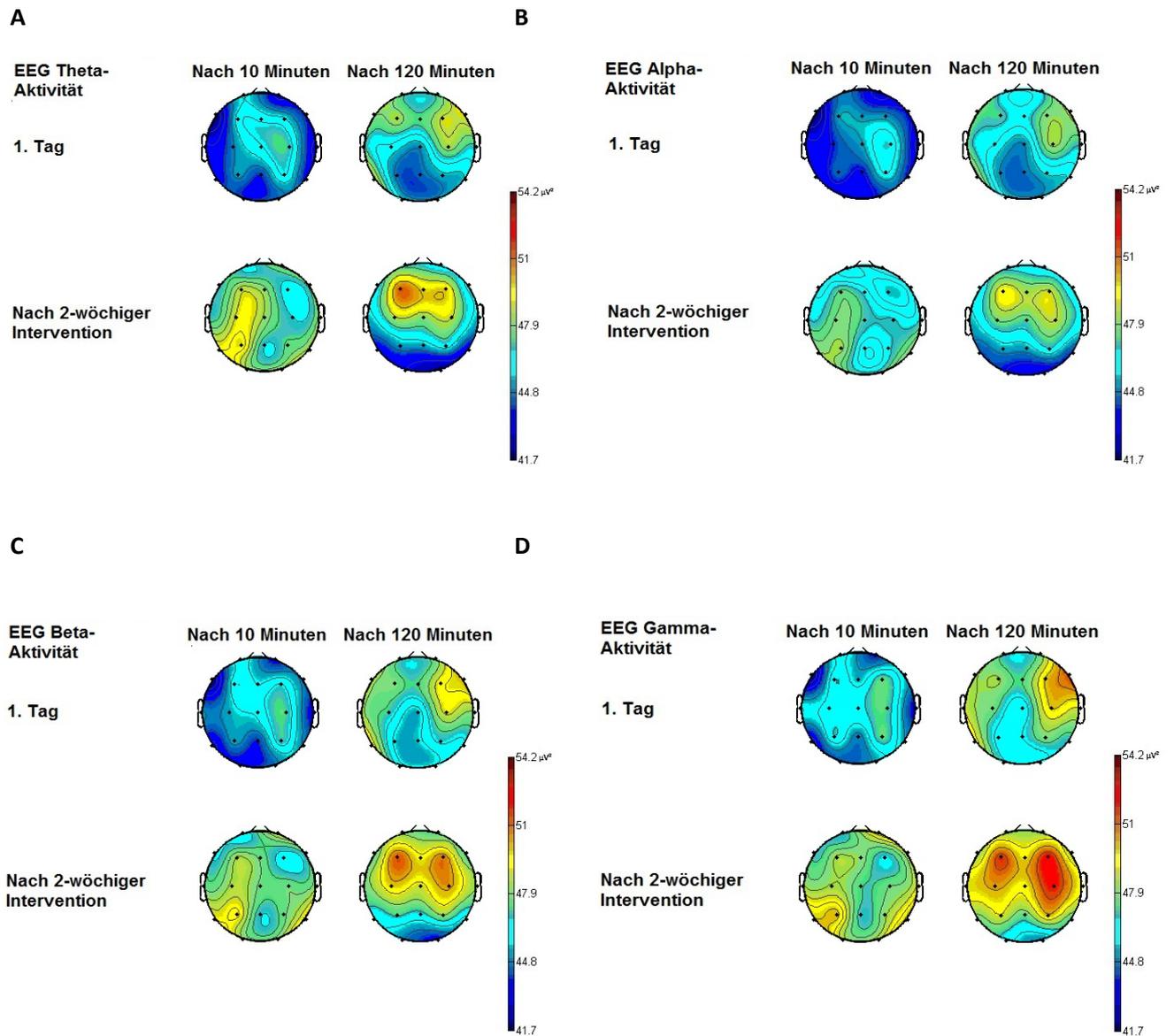


Abbildung 6A-D: EEG-Daten des D2-R-Tests beim Arbeiten im Active Office am ersten Testtag und nach der zweiwöchigen Intervention. Die EEG-Daten belegen Trainingseffekte beim Arbeiten im Active Office in allen vier Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta und Gamma).

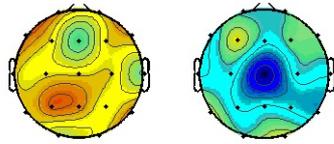
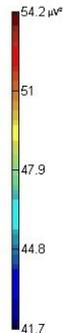
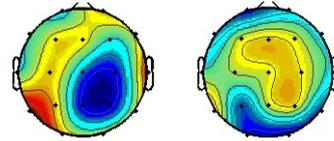
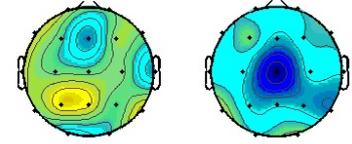
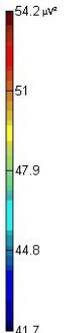
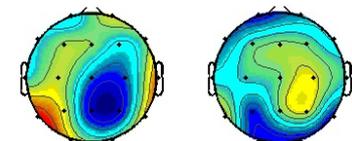
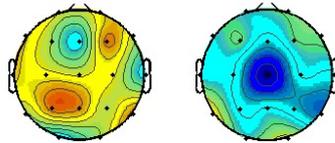
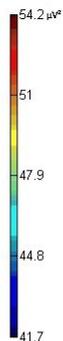
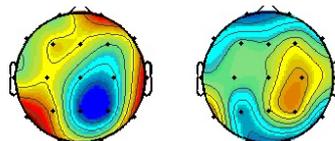
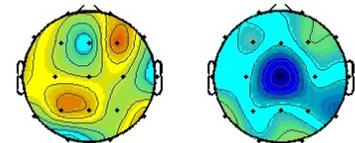
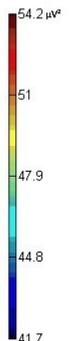
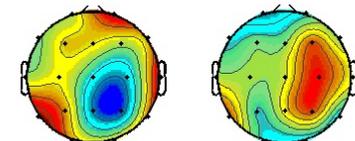
A**EEG Theta-Aktivität****1. Tag****Nach 10 Minuten** **Nach 120 Minuten****Nach 2-wöchiger Intervention****B****EEG Alpha-Aktivität****1. Tag****Nach 10 Minuten** **Nach 120 Minuten****Nach 2-wöchiger Intervention****C****EEG Beta-Aktivität****1. Tag****Nach 10 Minuten** **Nach 120 Minuten****Nach 2-wöchiger Intervention****D****EEG Gamma-Aktivität****1. Tag****Nach 10 Minuten** **Nach 120 Minuten****Nach 2-wöchiger Intervention**

Abbildung 7A-D: EEG-Daten des D2-R-Tests beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung am ersten Testtag und nach der zweiwöchigen Intervention. Die EEG-Daten belegen einen Rückgang der Aktivität in allen Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta und Gamma) am ersten Testtag beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung sowie eine Lateralisierung der Gehirnaktivität nach der zweiwöchigen Intervention in allen vier Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta und Gamma).

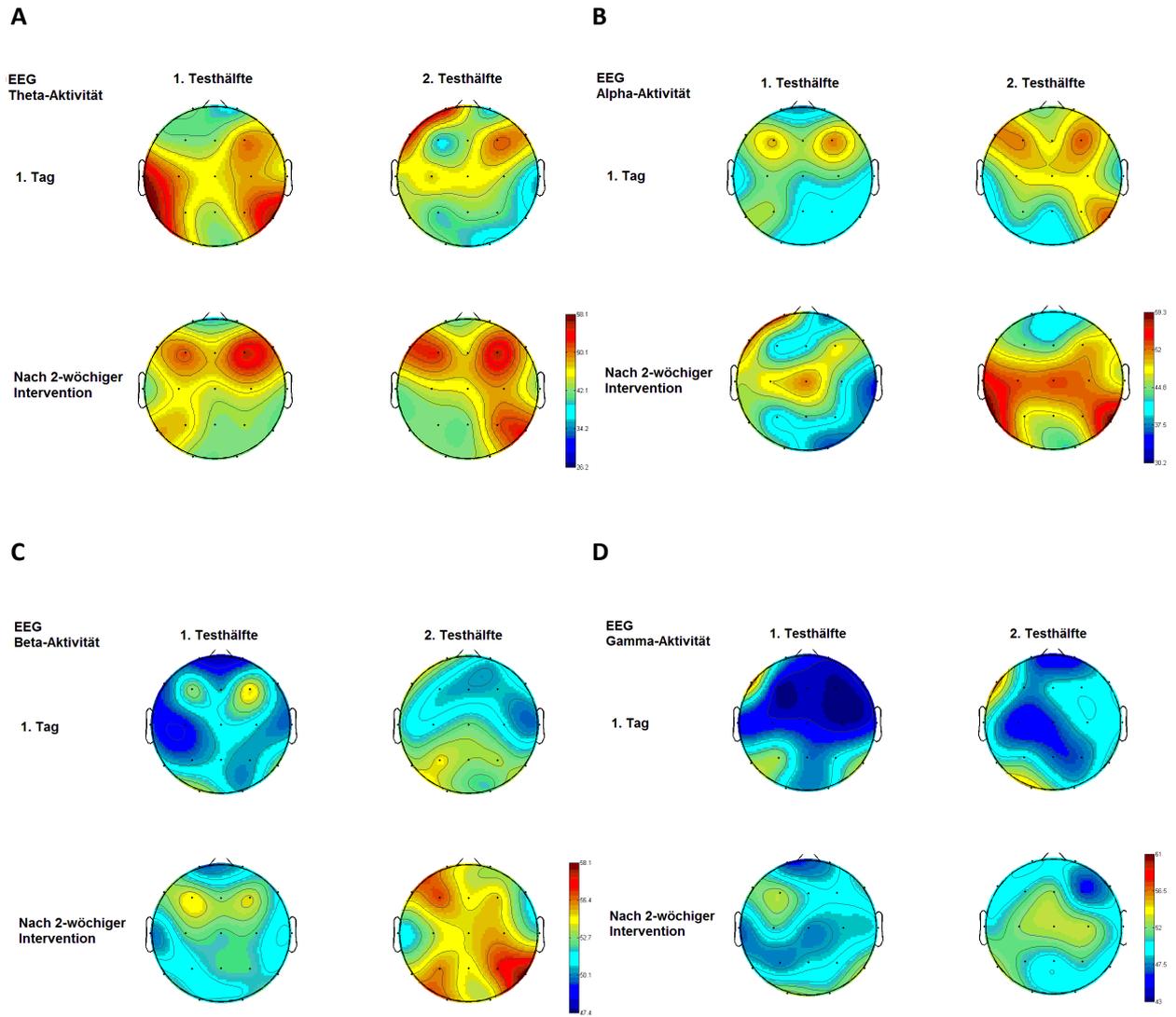


Abbildung 8A-D: EEG-Daten der Bearbeitung der Büroaufgaben im Active Office in der ersten und zweiten Testhälfte am ersten Testtag und nach der zweiwöchigen Intervention. Die EEG-Daten belegen einen Trainingseffekt in allen Frequenzbändern (Theta, Alpha, Beta und Gamma).

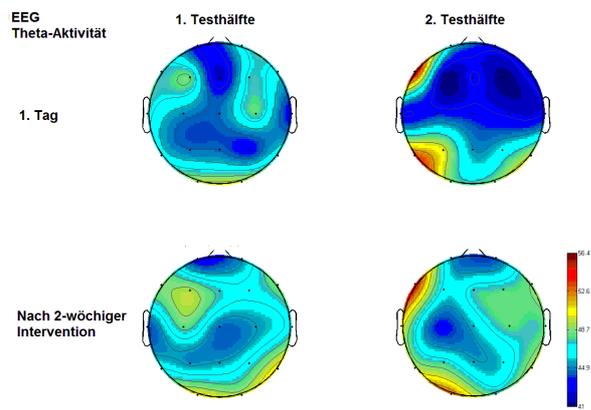
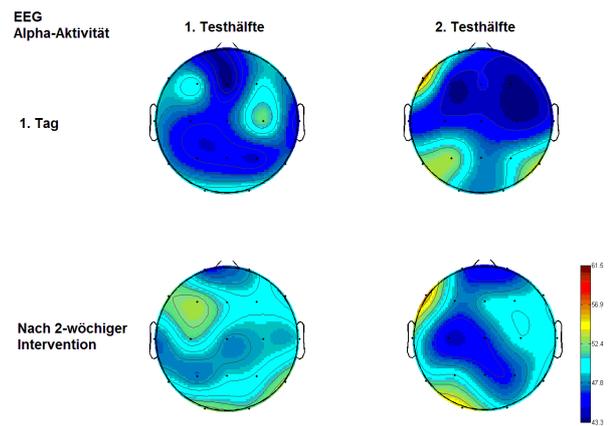
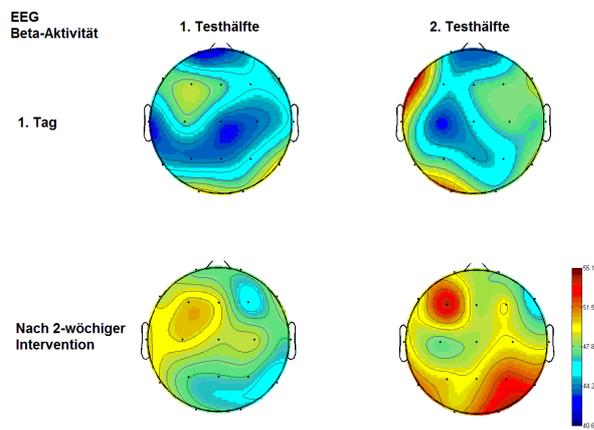
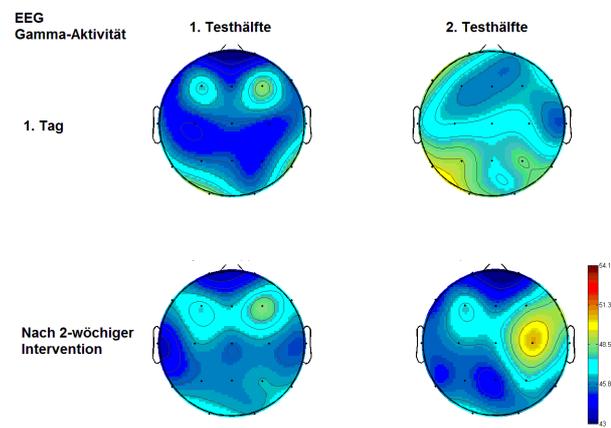
A**B****C****D**

Abbildung 9A-D: EEG-Daten der Bearbeitung der Büroaufgaben in der statischen Büroumgebung in der ersten und zweiten Testhälfte am ersten Testtag und nach der zweiwöchigen Intervention. Die EEG-Daten belegen einen Trainingseffekt im Beta-Band, jedoch nicht in den Frequenzbändern Theta, Alpha und Gamma.

5.2 Herzratenvariabilität

Die Ergebnisse der elektrokardiographischen Aktivität (kurzfristige Aufmerksamkeit, langfristige Aufmerksamkeit/Vigilanztest) sind in den Abbildungen 10 bis 12 dargestellt. Die statistischen Analysen belegen, dass die HRV geringer sowie das Verhältnis von LF- und HF-Anteilen des EKG-Signals beim Arbeiten an kognitiven Aufgaben im Active Office geringer sind als in der statischen Büroumgebung. Ferner belegen die EKG-Daten einen positiven Trainingseffekt für die HRV und das Verhältnis LF/HF beim Arbeiten im Active Office nach der zweiwöchigen Intervention. Die LF-Anteile des EKG-Signals sind beim Arbeiten im Active Office geringer als in der statischen Büroumgebung. Ferner ist ein Trainingseffekt nach der zweiwöchigen Intervention im Active Office mit einer Abnahme des LF-Anteils beobachtbar. Das statistische Signifikanzniveau liegt jeweils bei $p < 0.05$.

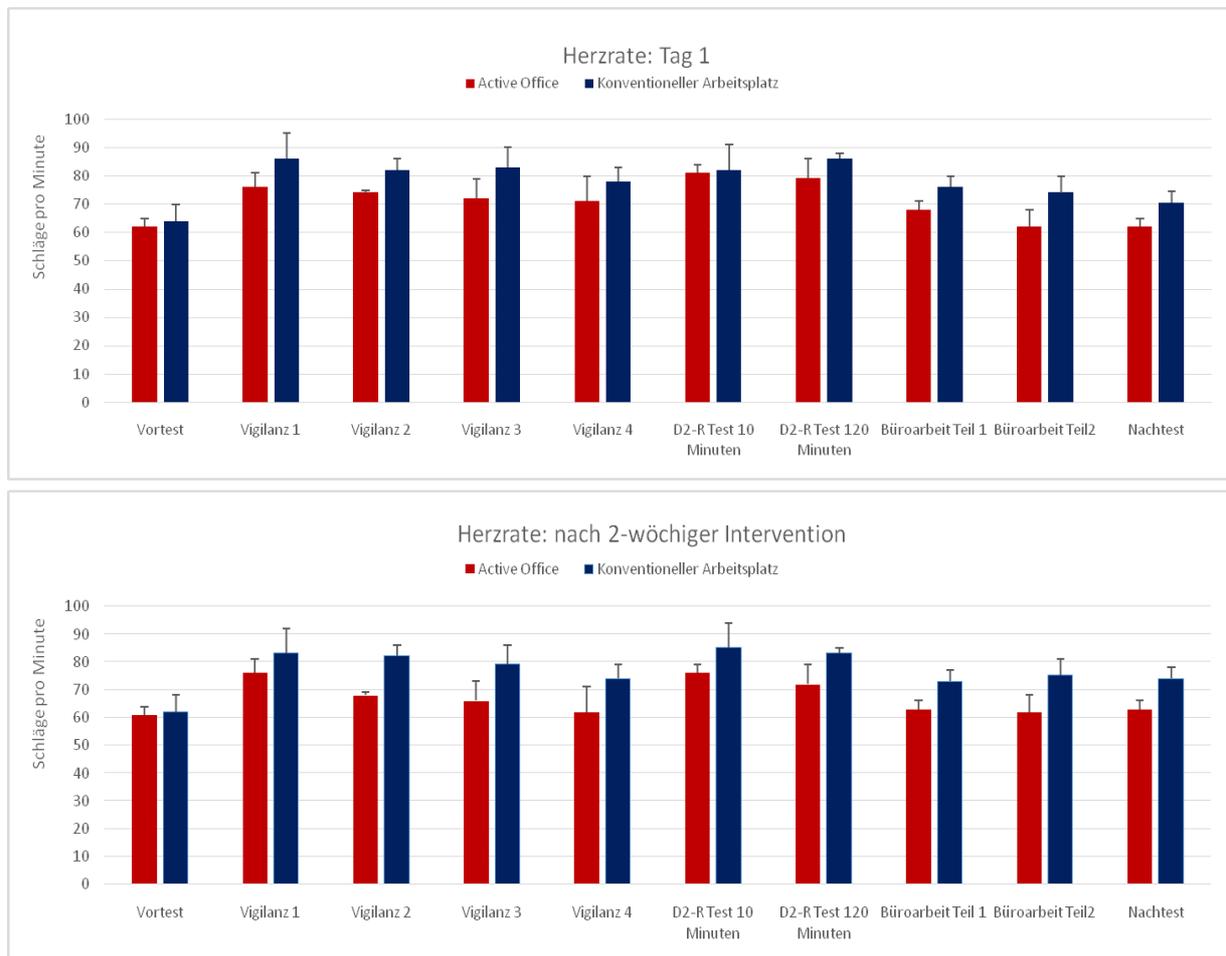


Abbildung 10: Mittlere Herzrate und Standardabweichungen der Testung im Active Office und in der statischen Büroumgebung. Die EKG-Daten belegen geringere Schlagzahlen beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu der statischen Büroumgebung. Positive Trainingseffekte sind nach der zweiwöchigen Intervention im Active Office zu beobachten.

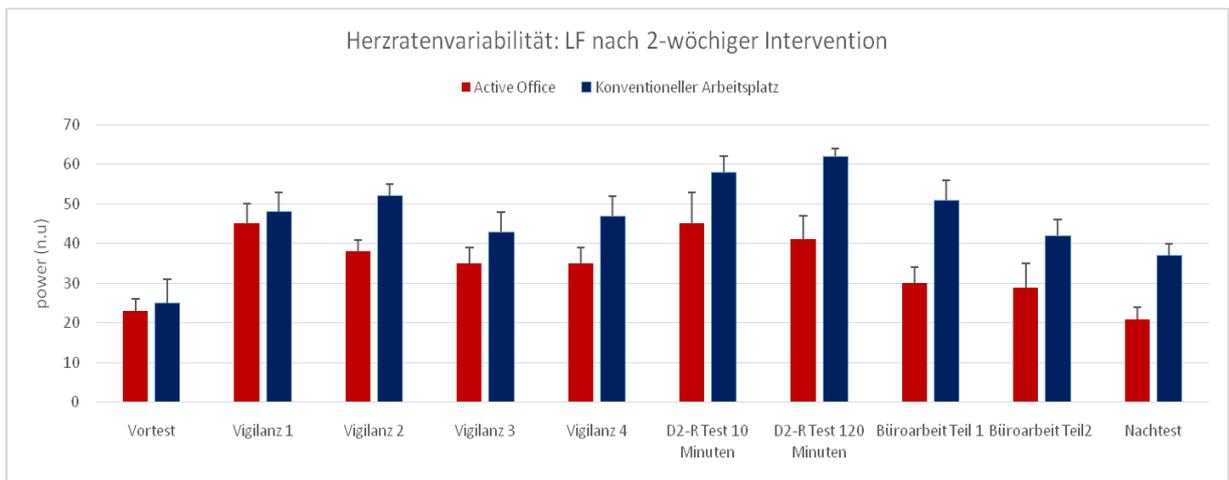
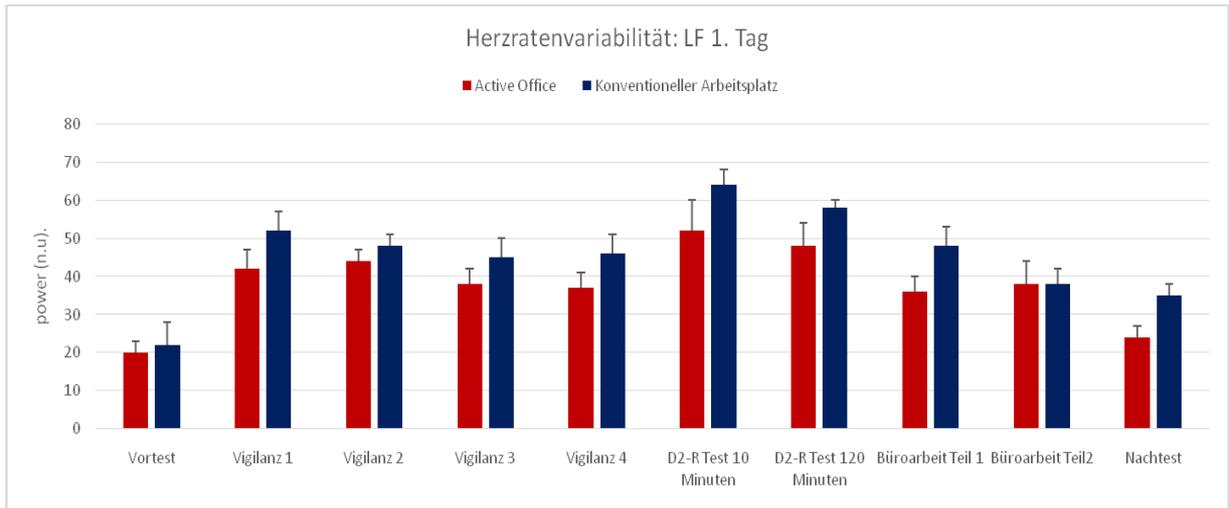


Abbildung 11: HRV-Frequenzanalyse im LF-Bereich der Testung im Active Office und in der statischen Büroumgebung. Die Daten zeigen geringere LF-Anteile beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu der statischen Büroumgebung. Positive Trainingseffekte sind nach der zweiwöchigen Intervention für den Parameter LF im Active Office zu beobachten.

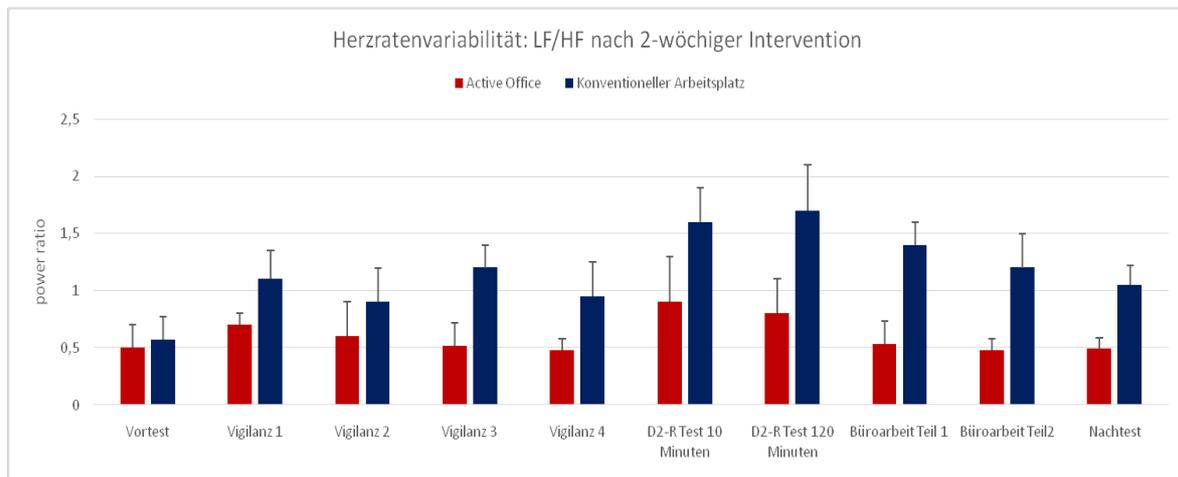
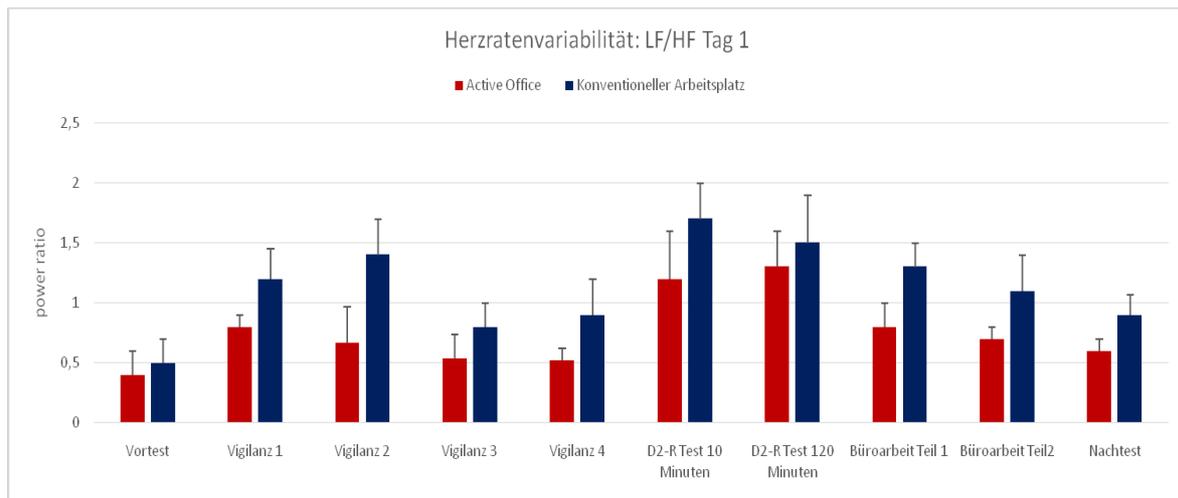


Abbildung 12: HRV-Frequenzanalyse Verhältnis von LF/HF der Testung im Active Office und in der statischen Büroumgebung. Die Daten zeigen ein günstigeres Verhältnis von LF/HF beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu der statischen Büroumgebung. Ferner sind positive Trainingseffekte nach der zweiwöchigen Intervention für das Verhältnis von LF/HF im Active Office zu beobachten.

5.3 Elektromyographische Aktivität

Die Ergebnisse der elektromyographischen Aktivität für die Hals- und Schultermuskulatur sind in den Abbildungen 13 und 14 dargestellt. Kleinere Werte belegen eine stärkere Streckung der Halsmuskulatur bzw. eine geringere kompensatorische Aktivität der Schultermuskulatur. Die statistischen Analysen belegen eine stärkere Streckung der Halsmuskulatur und geringere kompensatorische Aktivität der Schultermuskulatur beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu der statischen Büroumgebung. Nach der zweiwöchigen Intervention ist ein positiver Trainingseffekt beim Arbeiten im Active Office beobachtbar. Das statistische Signifikanzniveau liegt jeweils bei $p < 0.05$.

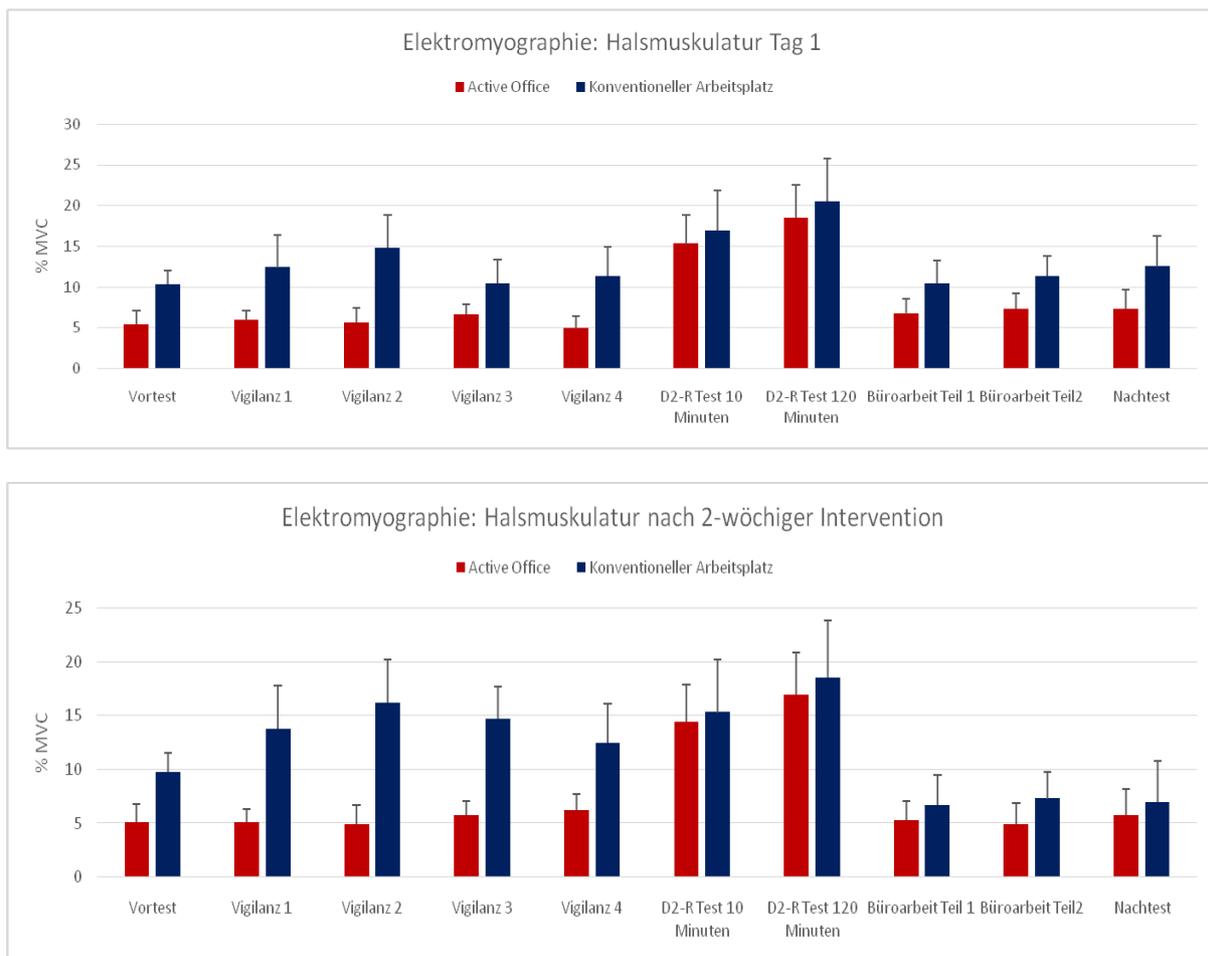


Abbildung 13: EMG-Daten der Halsmuskulatur der Testung im Active Office und in der statischen Büroumgebung. Die EMG-Daten belegen eine stärkere Streckung der Halsmuskulatur beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zur statischen Büroumgebung. Ferner sind positive Trainingseffekte nach der zweiwöchigen Intervention im Active Office zu beobachten.

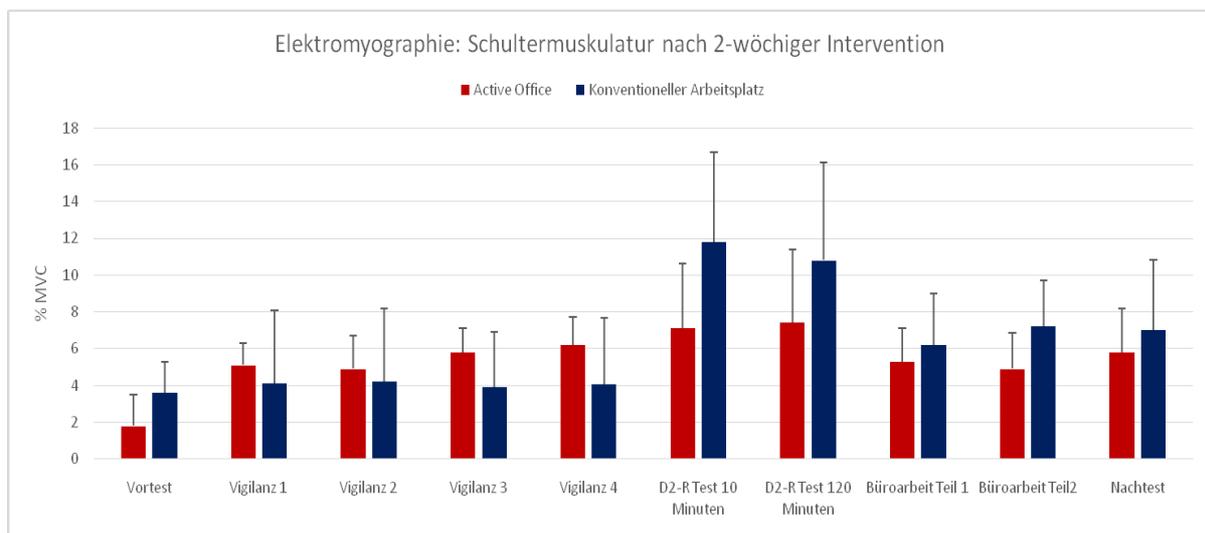
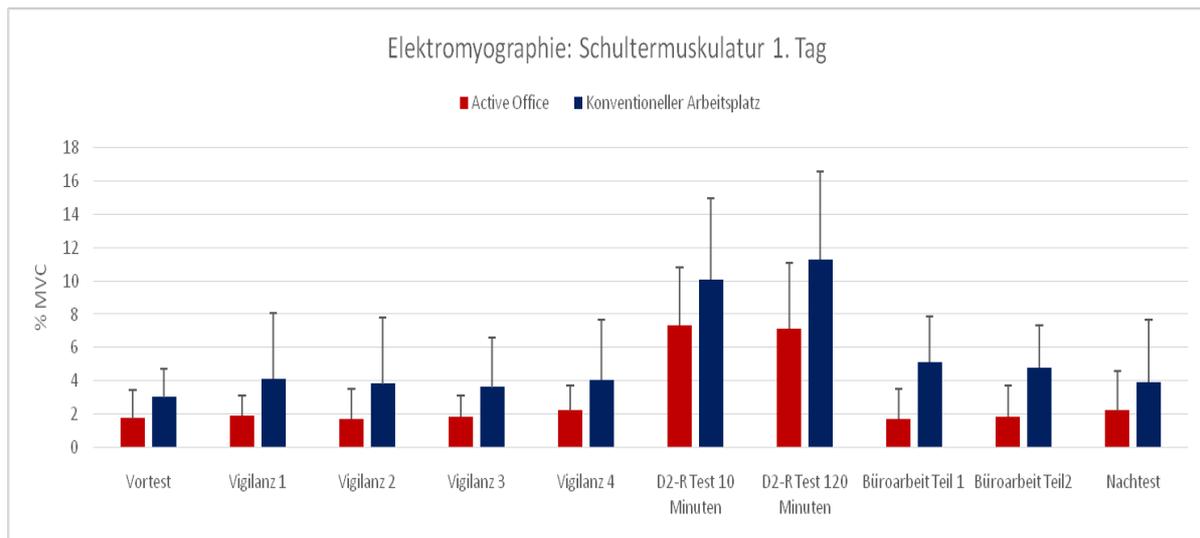
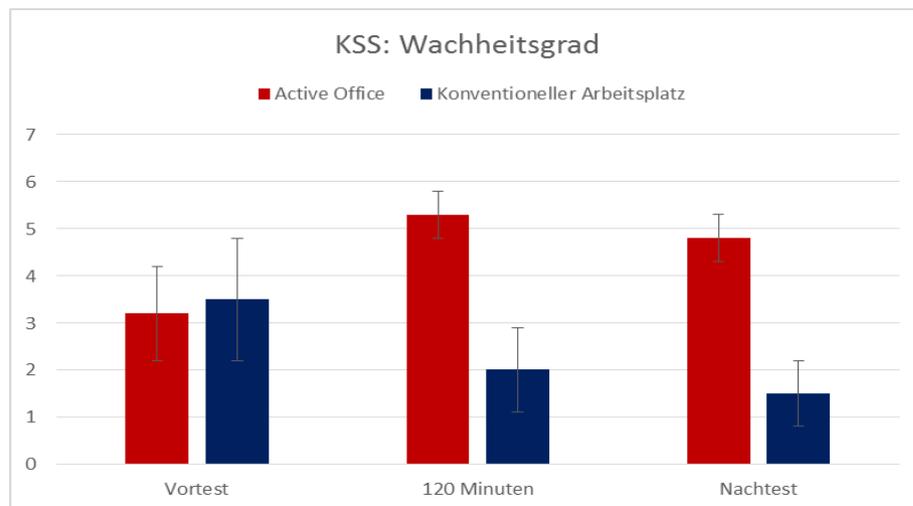


Abbildung 14: EMG-Daten der Schultermuskulatur der Testung im Active Office und in der statischen Büroumgebung. Die EMG-Daten belegen eine geringere kompensatorische Aktivität in der Schultermuskulatur beim Arbeiten im Active Office. Ferner sind positive Trainingseffekte nach der zweiwöchigen Intervention im Active Office zu beobachten.

5.4 Subjektive Befindlichkeit

Die Ergebnisse der Erfassung der subjektiven Befindlichkeit (Wachheitsgrad: Karolinska Sleepiness Scale; Stimmung/Wachheit/Ruhe-Unruheempfinden: Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen) sind in den Abbildungen 15 und 16 dargestellt. Die Ergebnisse der statistischen Analyse belegen eine größere Wachheit und bessere subjektive Befindlichkeit (bessere Stimmung, größeres Ruheempfinden) beim Arbeiten im Active Office als an einem konventionellen statischen Arbeitsplatz. Ferner belegen die statistischen Analysen positive Trainingseffekte beim Arbeiten im Active Office für beide psychometrischen Testverfahren. Das statistische Signifikanzniveau liegt hier jeweils bei $p < 0.05$.

A



B

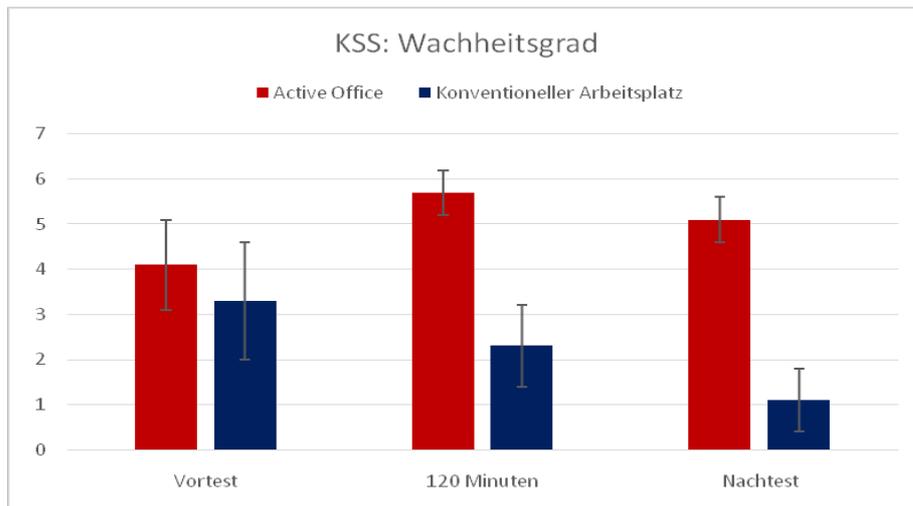
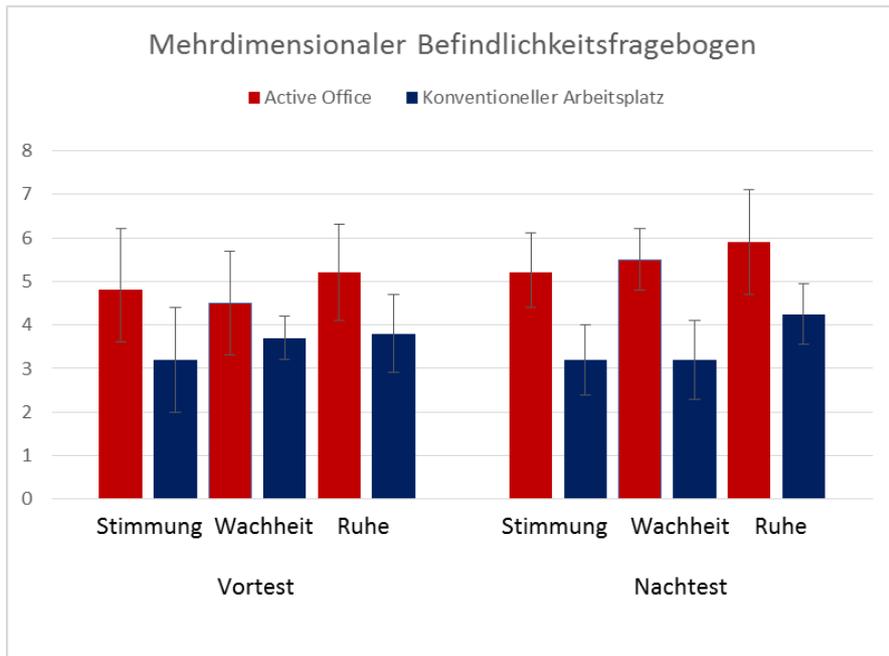


Abbildung 15A-B: Daten der Karolinska Sleepiness Scale (KSS) beim Arbeiten im Active Office und in einer statischen Büroumgebung beim Vor- und Nachtest und nach 120 Minuten. **A** Erster Testtag. **B** Nach zweiwöchiger Intervention. Die Daten belegen eine größere Wachheit nach 120 Minuten und beim Nachtest beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung. Nach der zweiwöchigen Intervention lassen sich Trainingseffekte beim Arbeiten im Active Office beobachten, d. h. eine Verbesserung der subjektiv empfundenen Wachheit ist beobachtbar.

A



B

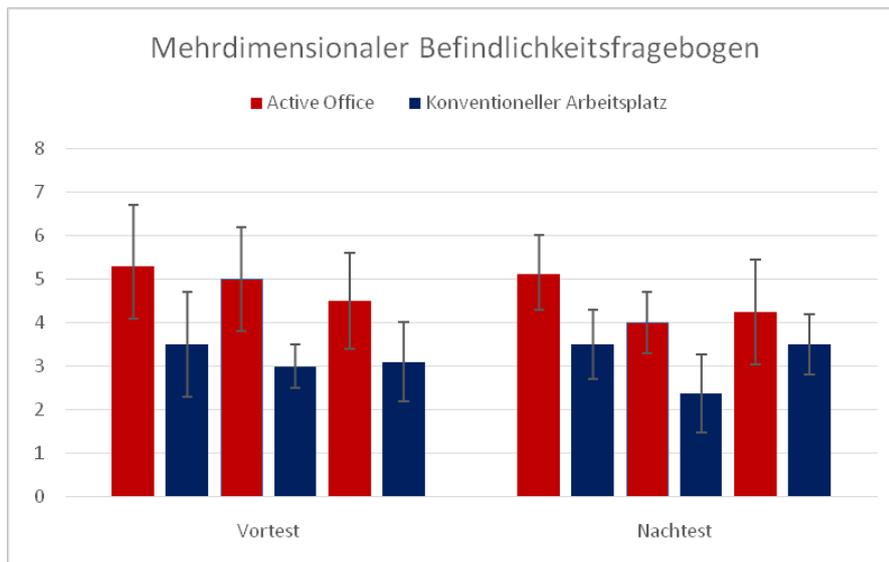


Abbildung 16A-B: Daten des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens beim Arbeiten im Active Office und in einer statischen Büroumgebung. **A** Erster Testtag. **B** Nach zweiwöchiger Intervention. Die Daten belegen verbesserte Stimmung, größere Wachheit sowie ein größeres Ruheempfinden im Vor- und Nachtest beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung. Nach der zweiwöchigen Intervention lassen sich Trainingseffekte beim Arbeiten im Active Office beobachten, d. h. eine Verbesserung der subjektiven Befindlichkeit ist beobachtbar.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Die Ergebnisse der physiologischen Messungen (EEG, EKG, EMG), Verhaltens- und Leistungsdaten sowie der subjektiven Befindlichkeit belegen Vorteile des Arbeitens im Active Office gegenüber einer konventionellen statischen Büroumgebung. Die EEG-Daten zeigen eine stärkere Aktivität im Theta-, Alpha- und Gamma-Band beim Arbeiten im Active Office im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung. Nach einer zweiwöchigen Intervention kann eine Zunahme der positiven Effekte auf der physiologischen Ebene, sowie der Verhaltens- und subjektiven Ebene beim Arbeiten im Active Office im Sinne eines Trainingseffekts belegt werden während beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung die meisten der erhobenen Parameter keine Veränderung zeigen.

Die EEG-Daten zeigen eine Zunahme der Theta-, Alpha- und Gamma Aktivität. Theta-Aktivität ist durch einen psychophysiologischen Zustand von internalisierter Konzentration gekennzeichnet, d. h. die Aufmerksamkeit ist zentriert. Alpha-Aktivität ist ein psychophysiologischer Indikator für Entspannung. Beta-Aktivität zeigt vor allem bei der kurz- und langfristigen Konzentrationstestung eine stärkere Bereitschaft des kognitiven Systems für Aufmerksamkeitsleistungen an. Gamma-Aktivität tritt ebenfalls bei der Konzentrationstestung auf, wobei diese ein Indikator für starke Konzentration und hohen Informationsfluss ist. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist die Beobachtung, dass beim Arbeiten im Active Office beide Gehirnhälften zeitgleich und stärker aktiviert werden als beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung. Dies konnte vor allem bei der Aufmerksamkeitstestung und bei der Bearbeitung der Büroaufgaben beobachtet werden.

Die EKG-Daten belegen eine stärkere Aktivität im HF-Bereich der HRV und eine geringere Aktivität im LF-Bereich der HRV an. Während der HF-Bereich Aktivität des parasympathischen Nervensystems anzeigt, ist der LF-Bereich Indikator für eine Aktivität des sympathischen Nervensystems und Aktivität des barorezeptorischen Systems. Sympathisches und parasympathisches Nervensystem sind Bestandteile des vegetativen Nervensystems, die antagonistische Funktionen haben, welche sich in den Parametern LF, HF und dem Verhältnis von LF/HF spiegeln.

Die EMG-Daten zeigen, dass Arbeiten im Active Office zu einer Aufrichtung der Körperhaltung führt. Die Ergebnisse belegen, dass die dynamische Büroumgebung zu einer Streckung der Halsmuskulatur führt. In der Folge muss die Schultermuskulatur weniger kompensatorisch wirken, so dass eine entspannte und aufrechte Haltung während des Arbeitens im Active Office möglich ist.

Die Verhaltens- und Leistungsdaten belegen Vorteile des Arbeitens im Active Office gegenüber einer statischen Büroumgebung mit geringeren Reaktionszeiten, besseren kurz-

und langfristigen Konzentrationsleistungen sowie einem verbesserten räumlichen Vorstellungsvermögen. Die EEG-Daten belegen die zugrundeliegenden neurophysiologischen Prozesse beim bewegten Arbeiten, die zu den verbesserten kognitiven Leistungen führen.

Die Daten zum subjektiven Befinden zeigen deutliche Vorteile des Arbeitens im Active Office gegenüber einer statischen Büroumgebung. Größere Wachheit, bessere Stimmung sowie eine größere subjektiv empfundene Ruhe beim Arbeiten auch an anspruchsvollen Aufgaben und Aufgaben unter Zeitdruck werden von den Probanden berichtet. Beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung kommt es zu einem Rückgang der Wachheit beim Nachtest im Vergleich zum Vortest.

Die Daten der physiologischen Messungen zeigen auf, welche neurophysiologischen Prozesse für eine bessere Arbeitsleistung und ein verbessertes subjektives Befinden beim Arbeiten im Active Office beitragen. Durch eine verstärkte Bewegung und sensorische Abwechslung sowie Stimulation durch die Active Floors werden im Unterschied zu einer statischen Büroumgebung mehr Gehirnareale aktiviert. Eine stärkere motorische Aktivität beim Arbeiten an kognitiven Aufgaben führt zu einer zusätzlichen Aktivierung der motorischen und somatosensorischen Gehirnareale. Beim Arbeiten in einer statischen Büroumgebung ist vor allem der frontale Cortex aktiv, der für eine Handlungssteuerung der kognitiven Aktivitäten und Aufmerksamkeitsprozesse verantwortlich ist. Wird der frontale Cortex über einen längeren Zeitraum aktiv, kann es zu einer stärkeren Ermüdung mit einem subjektiven Empfinden von Monotonie kommen. Die EEG-Daten der Testung der kurzfristigen Aufmerksamkeit zeigen sehr deutlich, dass zu Beginn der Arbeitszeit die EEG-Aktivität zwar geringfügig höher ist als beim Arbeiten im Active Office, jedoch nach 120 Minuten bereits ein starker Rückgang in der Beta- und Gamma-Aktivität zu beobachten ist, der auf einen Rückgang der Konzentrationsbereitschaft des Gehirns hindeutet. Bei der Testung im Active Office dagegen ist eine Zunahme der Beta- und Gamma-Aktivität nach 120 Minuten zu beobachten. Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist die Beobachtung, dass beim Arbeiten im Active Office beide Gehirnhälften zeitgleich aktiviert werden, während beim Arbeiten in der statischen Büroumgebung in vielen Testabschnitten nur eine Hälfte aktiv ist. In der Folge stützt dieses Ergebnis die Vermutung, dass durch Arbeiten im Active Office das Gehirn großflächiger aktiviert wird und somit Lösungen im Arbeitsprozess mit vielfältigeren Ressourcen stattfinden können. In der praktischen Konsequenz bedeutet das, dass kreative Lösungen beim Arbeiten im Active Office mit einer größeren Wahrscheinlichkeit stattfinden, Arbeitsabläufe weniger monoton erscheinen, da Aufgaben multisensorisch gelöst werden können, sowie eine größere Effizienz bei der Aufgabenbearbeitung zu erwarten ist.

Neben den oben beschriebenen leistungsbezogenen positiven Aspekten wird beim Arbeiten im Active Office der gesundheitliche Aspekt gefördert. Neben einer Gehirnaktivierung, bei der unter anderem auch die Alpha-Aktivität gefördert wird, die regenerative Prozesse anzeigt, belegen die Daten der elektrokardiographischen und elektromyographischen Testung gesundheitsbezogene Vorteile des Arbeitens im Active Office beim Vergleich mit einer statischen Büroumgebung. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen die Empfehlung nahe, bewegte Büroumgebungen im Arbeitsalltag zur Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit sowie zur Förderung der Gesundheit einzusetzen.

7. Literaturangaben

- Brümmer, V., Schneider, S., Abel, T., Vogt, T., & Strüder, H. K. (2011). Brain cortical activity is influenced by exercise mode and intensity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(10), 1863-1872.
- Crabbe, J.B., & Dishman, R.K. (2004). Brain electrocortical activity during and after exercise: A quantitative synthesis. *Psychophysiology*, 41, 563-574.
- Deyer, F., Henz, D., Schöllhorn, W.I., & Oldenburg, R. (2015). Wirkung bewegungsinduzierender Sitzmöbel im Unterricht auf die Lösungsfähigkeit bei Algebra und die Befindlichkeit. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015*. Münster: Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Enders, F., Henz, D., & Schöllhorn, W.I. (2014). Effects of complexity of postural control affordances on attentional performance and heart rate variability. In A.C. Schütz, K. Drewing & K. Gegenfurtner (Eds.), *Abstracts of the 56th Conference of Experimental Psychologists 2014* (p. 63). Lengrich: Pabst Science Publishers.
- Henz, D., Schöllhorn, W.I., & Oldenburg, R. (2014). Bessere Mathematikleistungen durch bewegtes Sitzen? Eine EEG-Studie. In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014* (S. 523-526). Münster: Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Henz, D., Oldenburg, R., & Schöllhorn, W.I. (2015a). Does bodily movement enhance mathematical performance? Behavioral and neurophysiological evidence. *Proceedings of the 9th Congress on European Research on Mathematics Education 2015*.
- Henz, D., Oldenburg, R., & Schöllhorn, W.I. (2015b). Förderung visuell-räumlicher Verarbeitungsstrategien bei Algebra und Geometrie durch Bewegung: eine EEG-Studie. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015*. Münster: Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Henz, D., & Schöllhorn, W.I. (2016). Förderung mathematischer Lösungskompetenzen durch bewegtes Sitzen bei ADHS-Patienten im Jugendalter. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2016*. Münster: Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Mankowski, J.K., Henz, D., Oldenburg, R., & Schöllhorn, W.I. (2015). Effects of dynamic postural control on mathematical performance and heart rate variability. In C. Bermeitinger, A. Mojzisch & W. Greve (Eds.), *Abstracts of the 57th Annual Conference on Experimental Psychology 2015* (p. 160). Lengrich: Pabst Science Publisher.

Maus, J., Henz, D., Eekhoff, A., & Schöllhorn, W.I. (2015). Influence of different grounds during walking on cortical activity. *Proceedings of the 20th Congress of the European College of Sport Science 2015, Malmö.*

Maus, J., Henz, D., & Schöllhorn, W.I. (2015). Effects of walking on uneven grounds on EEG activity. In C. Bermeitinger, A. Mojzisch & W. Greve (Eds.), *Abstracts of the 57th Annual Conference on Experimental Psychology 2015* (p. 165). Lengerich: Pabst Science Publisher.