
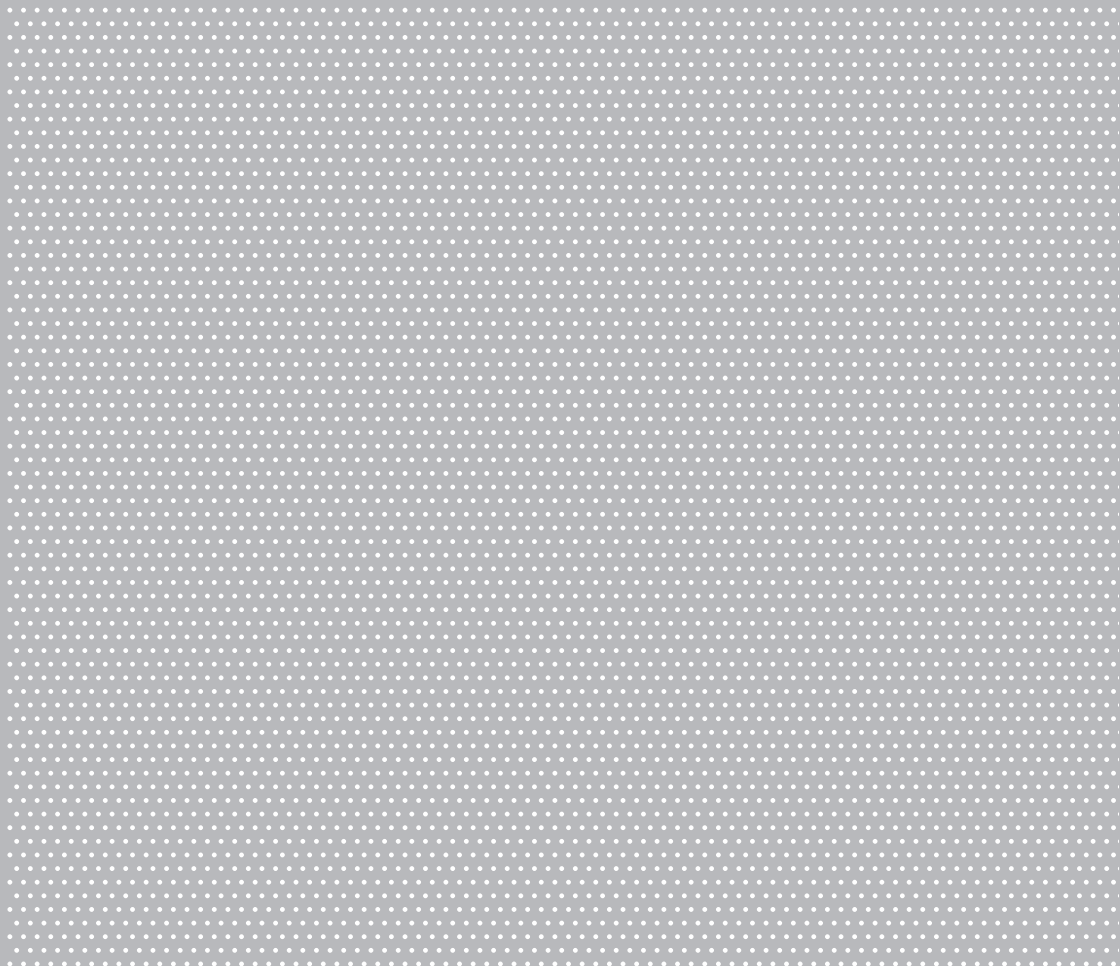


4/2014

## IFA Report



# Untersuchung von dynamischen Büroarbeitsplätzen



Verfasst von: Juliane Botter<sup>1</sup>, Eva-Maria Burford<sup>1</sup>, Dianne Commissaris<sup>2</sup>, Reinier Könemann<sup>2</sup>,  
Suzanne Hiemstra-van Mastrigt<sup>2</sup>, Marjolein Douwer<sup>2</sup>, Britta Weber<sup>1</sup>, Rolf Peter Ellegast<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung,  
Sankt Augustin, Deutschland

<sup>2</sup> TNO Work and Employment, Hoofddorp, Niederlande

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)  
Mittelstr. 51  
10117 Berlin  
Telefon: 030 288763800  
Telefax: 030 288763808  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)

– Juli 2014 –

Publikationsdatenbank: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

ISBN: 978-3-86423-110-0  
ISSN: 2190-7994

## Kurzfassung

### Untersuchung von dynamischen Büroarbeitsplätzen

Durch die stete Reduktion der physischen Arbeitslast und die steigende Anzahl an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen sind zunehmend mehr Beschäftigte von physischer Inaktivität am Arbeitsplatz betroffen. Die möglichen Folgen können Muskel-Skelett- und Herz-Kreislauf-Beschwerden sein. Meist können die negativen Folgen nicht allein durch eine aktive Freizeitgestaltung ausgeglichen werden, sodass eine Erhöhung der physischen Aktivität am Arbeitsplatz angestrebt werden sollte. Daher wurden verschiedene Konzepte zu „dynamischen Büroarbeitsplätzen“ entwickelt, die leichte physische Aktivität mit der Ausführung von Bürotätigkeiten verbinden. Zwei dieser dynamischen Arbeitsplätze (Laufband und Sitzergometer) wurden in der vorliegenden Untersuchung mit je zwei Intensitäten sowie als Referenz ein konventioneller Sitz- und ein Steharbeitsplatz in einer Laborstudie getestet. Hierbei wurden je fünf standardisierte Bürotätigkeiten ausgeführt. Zwölf Versuchspersonen (je sechs männlich und weiblich) nahmen freiwillig an der Studie teil, wobei diese die Arbeitsstationen und die dort zu erledigenden Tätigkeiten in einer randomisiert festgelegten Reihenfolge bearbeiteten. Die Erfassung der Körperhaltungen und physischen Aktivität sowie von Muskelaktivität (*M. erector spinae* und

*M. trapezius p. descendens*), Herzfrequenz und Energieumsatz erfolgte mithilfe des CUELA-Messsystems. Die Arbeitsleistung der fünf Tätigkeiten wurde dokumentiert. Die subjektive Einschätzung der Arbeitsleistung und die Meinung der Untersuchten zu den Arbeitsstationen wurden mittels Fragebögen erhoben. Die Ergebnisse zeigen, dass die Körperhaltung an den dynamischen Arbeitsstationen vergleichbar zu denen an den jeweiligen konventionellen Gegenstücken ist. Im Vergleich zum konventionellen Sitzarbeitsplatz sind die Werte der Muskelaktivität nur für wenige Tätigkeiten an den anderen Arbeitsstationen signifikant höher, die der physischen Aktivität, Herzfrequenz und des Energieumsatzes hingegen in den meisten Fällen an den dynamischen Arbeitsstationen signifikant höher. Eine signifikant verringerte Arbeitsleistung lässt sich nur für die Mausebnutzung an der Laufbandarbeitsstation mit höherer Intensität nachweisen. Die subjektive Meinung der Versuchspersonen zu den dynamischen Arbeitsstationen fällt unterschiedlich aus. Eine unzureichende Akzeptanz liegt für die Arbeitsleistung an den dynamischen Arbeitsstationen vor.

## Abstract

### Study of dynamic office workstations

Owing to the continual decline in physically strenuous work and the growing number of office and VDU workplaces, increasing numbers of workers are affected by a lack of physical activity at work. Possible consequences of this include musculoskeletal and cardiovascular disorders. In most cases, the negative consequences cannot be compensated for solely by more active leisure activities. Greater physical activity at work should therefore be made an objective. For this reason, a number of concepts have been developed for „dynamic office workstations“ which combine light physical activity with the performance of office tasks. In the present study, two such dynamic workstations (a treadmill and a semi-recumbent exercise machine) were tested in a laboratory study each at two intensities, together with a conventional seated and a standing workstation serving as controls. Five standardized office tasks were performed in each case. Twelve volunteer test subjects (six male, six female) took part in the study and worked at the workstations and on the tasks to be completed in a randomized order. The CUELA system of computer-assisted measurement and long-term analysis of

musculo-skeletal workloads was used to record the body postures physical activity, muscle activity (*M. erector spinae* and *M. trapezius p. descendens*), heart rate and metabolic rate. The work performance for the five tasks was documented. The subjective impression of the work performance and the test subjects' opinions of the workstations were recorded by means of questionnaires. The results show the body postures at the dynamic workstations to be comparable to those at their conventional equivalents. Compared to those for the conventional seated workstation, the values for muscle activity at the other workstations are significantly higher only for a small number of tasks; conversely, the values for the physical activity, heart rate and metabolic rate are in most cases significantly higher at the dynamic workstations. A significantly reduced work performance can be shown only for use of the mouse with higher intensity at the treadmill workstation. The test subjects' subjective impressions of the dynamic workstations differed. The work performance at the dynamic workstations met with insufficient acceptance.

## Résumé

### Étude sur les postes de travail de bureau dynamiques

Du fait de la diminution constante de la charge de travail physique et du nombre croissant de postes de travail de bureau et sur écran, de plus en plus d'employés sont concernés par l'inactivité physique au travail. Celle-ci peut entraîner des troubles musculo-squelettiques et cardiovasculaires. Ces effets négatifs ne pouvant pas, dans la plupart des cas, être compensés uniquement par des loisirs actifs, l'objectif devrait être donc d'accroître l'activité physique au poste de travail. Différents concepts de « postes de travail de bureau dynamiques » ont donc été élaborés, qui combinent une légère activité physique avec l'exécution de travaux de bureau. Dans le cadre de la présente étude, deux de ces postes de travail dynamiques (tapis de marche et ergomètre assis) ont été testés en laboratoire, avec deux intensités différentes chacun, et comparés à deux postes de travail conventionnels – un assis et un debout – pris comme référence. Cinq activités de bureau standardisées devaient être effectuées à chaque poste de travail. Douze personnes volontaires (six hommes et six femmes) ont participé à l'étude, en passant d'un poste de travail à l'autre et en y effectuant les activités prévues selon un ordre aléatoire. La saisie des postures corporelles et de l'activité physique, ainsi que de l'activité

musculaire (*M. erector spinae* et *M. trapezius p. descendens*), de la fréquence cardiaque et de la dépense énergétique, a été effectuée à l'aide du système de mesure CUELA. Le rendement pour chacune des cinq activités a été consigné. Les participants ont été interrogés par questionnaires sur leur évaluation subjective de leur rendement et sur la manière dont ils avaient perçu les différents postes de travail. Il ressort des résultats que la posture corporelle aux postes de travail dynamiques ne diffère pas sensiblement de celle des postes conventionnels correspondants. Comparées à celles relevées aux postes de travail assis conventionnels, les valeurs correspondant à l'activité musculaire ne sont significativement plus élevées que pour peu d'activités effectuées aux autres postes de travail. En revanche, l'activité physique, la fréquence cardiaque et la dépense énergétique sont, dans la plupart des cas, sensiblement plus élevées aux postes de travail dynamiques. La seule baisse de rendement a été constatée pour l'utilisation de la souris au poste de travail équipé d'un tapis de marche réglé à une intensité plus élevée. L'avis subjectif des participants à propos des postes de travail dynamiques est très partagé. Ils considèrent toutefois comme insuffisant le rendement aux postes de travail dynamiques.

## Resumen

### Estudio sobre puestos de trabajo dinámicos en la oficina

Debido a la constante reducción del esfuerzo físico en el trabajo y el número creciente de puestos de trabajo en oficina y frente a una pantalla de ordenador, cada vez es mayor el número de empleados afectados por la inactividad física en el puesto de trabajo. Las consecuencias posibles son, por ejemplo, molestias de tipo esquelético-muscular y trastornos cardiovasculares. Por lo general, las consecuencias negativas de la inactividad no pueden compensarse simplemente llevando una vida activa en el tiempo libre, de modo que deberían tomarse medidas para elevar el nivel de actividad física en el puesto de trabajo. Para ello se han desarrollado diversos conceptos para crear «puestos de trabajo dinámicos en oficinas», que combinan una ligera actividad física con la ejecución de las tareas de oficina. Dos de esos puestos de trabajo dinámicos (cinta y ergómetro con asiento) se han analizado en el presente estudio de laboratorio con dos intensidades para cada uno así como en referencia a un puesto de trabajo convencional para trabajar de pie o sentado. En este contexto se realizaron con cada aparato cinco tareas de oficina estandarizadas. Doce sujetos experimentales (seis hombres y seis mujeres) participaron voluntariamente en dicho estudio, utilizando las estaciones de trabajo y efectuando las tareas necesarias en un orden determinado aleatoriamente. El registro de las posturas corporales y la actividad física así como de la

actividad muscular (músculo erector de la columna y porción descendente del trapecio), la frecuencia cardíaca y el gasto energético se efectuó con la ayuda del sistema de medición CUELA. Asimismo se documentó el rendimiento en las cinco actividades realizadas. La apreciación subjetiva del rendimiento y la opinión de los sujetos del estudio sobre las estaciones de trabajo se recogieron mediante unos cuestionarios. Los resultados muestran que la postura corporal en las estaciones de trabajo dinámicas es comparable a la de sus equivalentes convencionales en cada caso. En comparación a un puesto de trabajo sentado convencional, los niveles de actividad muscular en las otras estaciones de trabajo fue solo significativamente más elevado en unas pocas actividades, mientras que en la mayoría de los casos los niveles de actividad física, frecuencia cardíaca y gasto energético resultaron significativamente más elevados en los puestos de trabajo dinámicos. Solo en la estación de trabajo de cinta se ha comprobado que con el aumento de la intensidad se reduce significativamente el rendimiento respecto al uso del ratón. La opinión subjetiva de los sujetos del experimento respecto a las estaciones de trabajo dinámicas es diversa. No existe una aceptación suficiente respecto al rendimiento en las estaciones de trabajo dinámicas.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Methode</b> .....	<b>11</b>
2.1	Versuchspersonen.....	11
2.2	Arbeitsplätze.....	11
2.2.1	Spezifikationen der untersuchten Arbeitsplätze.....	11
2.2.2	Bestimmung der Intensitäten der dynamischen Arbeitsplätze .....	12
2.3	Erfassungen und Bewertungen von Körperkinematik, muskulärer und physischer Aktivität, Herzfrequenz und Energieumsatz .....	12
2.3.1	Erfassung und Bewertung der Körperhaltung und Körperkinematik.....	12
2.3.2	Erfassung und Bewertung der muskulären Aktivität.....	13
2.3.3	Erfassung und Bewertung der Herzfrequenz und des Energieumsatzes.....	14
2.4	Beschreibung und Leistungskriterien der Tätigkeiten .....	14
2.5	Erfassung der subjektiven Einschätzungen .....	16
2.6	Ablauf und Aufbau der Untersuchung .....	16
2.7	Datenverarbeitung und statistische Analyse .....	17
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>19</b>
3.1	Ermittlung vergleichbarer Intensitäten der dynamischen Arbeitsplätze.....	19
3.2	Ergebnisse der Körperhaltung und Körperkinematik.....	19
3.3	Muskuläre Aktivität: Messergebnisse.....	20
3.4	Physischen Aktivität: Messergebnisse .....	22
3.5	Ergebnisse der Herzfrequenzmessung.....	23
3.6	Ergebnisse des Energieumsatzes.....	24
3.7	Ergebnisse der Arbeitsleistung.....	24
3.8	Ergebnisse der subjektiven Beurteilungen .....	26
3.8.1	Subjektive Beurteilung der Müdigkeit und Anstrengung .....	26
3.8.2	Subjektive Beurteilung des Komforts und Diskomforts.....	27
3.8.3	Subjektive Beurteilung der Körperhaltung und Gesundheit .....	28
3.8.4	Subjektive Beurteilung der Arbeitsleistung .....	28
3.8.5	Subjektive Beurteilung der Alltagstauglichkeit und Benutzungsdauer .....	28
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>35</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>37</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>41</b>
<b>Anhang</b> .....		<b>43</b>
A	Informationen für Versuchspersonen .....	45
B	Fragebögen .....	45
C	Daten und Ergebnisse.....	59





# 1 Einleitung

In den letzten Jahren gewann die physische Aktivität als Indikator für einen gesunden Lebensstil mehr und mehr an Bedeutung. Gleichzeitig stellt die physische Inaktivität ein zunehmendes Problem in der Arbeitswelt dar. Durch die stete Reduktion der physischen Arbeitslast und die steigende Anzahl an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen sind zunehmend mehr Beschäftigte von physischer Inaktivität am Arbeitsplatz betroffen, bei der es zu langandauernden sitzenden Zwangshaltungen kommen kann. Die physische Arbeitsbelastung wird an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen durch das traditionelle ergonomische Modell „weniger ist besser“ zu weit reduziert [1]. Das Modell geht von einem gestörten Gleichgewicht zwischen Arbeitsbelastungen und der individuellen Kapazität eines Beschäftigten durch Überlastung aus. Das Gleichgewicht kann beispielsweise durch das Handhaben schwerer Lasten, das Arbeiten in belastenden Körperhaltungen, das Arbeiten in Situationen mit sich wiederholenden Arbeitsschritten mit hoher Frequenz oder das Einwirken von Ganzkörpervibrationen gestört sein. Hier kann eine Entlastung durch ergonomische Maßnahmen solche Belastungen reduzieren. Für die 18 Millionen Menschen an Büro- und Bildschirmarbeitsplätzen in Deutschland [2] müssen andere präventive Maßnahmen eingeleitet werden, denn sie sind keiner physischen Überlastung ausgesetzt. Ihr Gleichgewicht zwischen Arbeitsbelastung und der individuellen Kapazität kann von einer physischen Unterbelastung oder auch physischen Inaktivität gekennzeichnet sein. Hier werden Maßnahmen zur Erhöhung

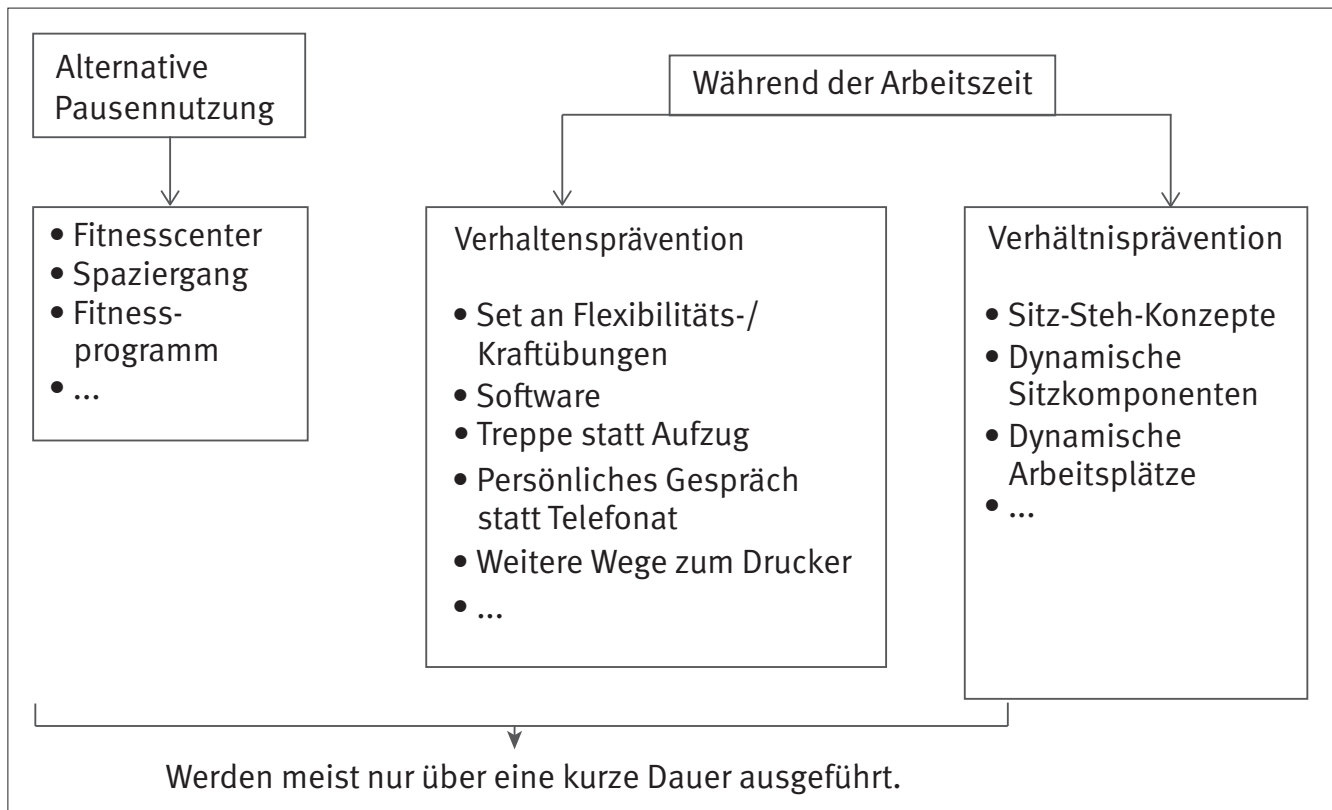
der physischen Aktivität benötigt [1], um so eine optimale Arbeitsbelastung zu schaffen.

Die möglichen Auswirkungen von physischer Inaktivität und langandauernden sitzenden Zwangshaltungen können Kurz- und Langzeitfolgen sein [1]. Zu den Kurzzeiteffekten gehört u. a. der Verlust der Ausdauer und Leistungsfähigkeit [3]. Langzeitfolgen sind z. B. das erhöhte Risiko von chronischen Erkrankungen, wie beispielsweise kardiovaskuläre Erkrankungen [4], Typ-II-Diabetes [5] und Muskel-Skelett-Beschwerden im oberen Rücken und Nackenbereich [6].

Meist können die negativen Folgen langandauernder sitzender Haltungen nicht allein durch eine aktive Freizeitgestaltung ausgeglichen werden [7], weshalb die physische Aktivität im Arbeitsalltag erhöht werden sollte. Zur Erhöhung der Aktivität können zwei übergeordnete Gruppen von Maßnahmen unterschieden werden: Erstens eine „alternative (Mittags-)Pausennutzung“ und zweitens „Maßnahmen während der Arbeitszeit“. Eine schematische Darstellung findet sich in Abbildung 1.

In die erste Gruppe gehören z. B. Spaziergänge während der Mittagspause [8], Fitnessprogramme [9] oder Besuche im Fitnesscenter. Die zweite Gruppe kann in Verhaltens- und Verhältnisprävention gegliedert werden. In der Gruppe der Verhaltensprävention können Kurzpausen eingelegt werden, in denen die

Abbildung 1:  
Schema der Maßnahmen zur Erhöhung der physischen Aktivität am Arbeitsplatz



Arbeit für Flexibilitäts-, Lockerungs- und/oder Kraftübungen unterbrochen wird [10]. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Arbeitsabläufe umzugestalten, sodass z. B. die Treppe anstelle des Aufzugs genutzt wird [11], die Fragen an den Kollegen nicht per E-Mail oder Telefon, sondern persönlich besprochen werden oder der Drucker am Ende des Ganges und nicht der im Nachbarraum genutzt wird [12]. Zur Gruppe „Verhältnisprävention“ gehören z. B. dynamische Konzepte, die anstelle von konventionell gestalteten Büroarbeitsplätzen implementiert werden, wie z. B. der Einsatz von besonders dynamischen Bürostühlen [13 bis 15], die Nutzung von Gymnastikbällen als Sitzmöglichkeit oder von Sitz-Steh-Konzepten [16 bis 18]. Die Maßnahmen „alternative Pausennutzung“, und „Verhaltensprävention“ mögen positive Auswirkungen haben, jedoch sind diese Maßnahmen in ihrer Dauer meist nur auf einen Bruchteil des Arbeitstages beschränkt und ändern den Charakter der physisch inaktiven Arbeit nicht. Die Maßnahmen der Gruppe „Verhältnisprävention am Arbeitsplatz“ versuchen den Kern des Problems zu verändern. Verschiedene Studien qualifizierten hierbei z. B. die Erhöhung der Wirbelsäulenbewegung [19] und die Reduktion der Beinschwellung durch erhöhte Beinbewegung [15]. Im Vergleich zu einem konventionellen Bürostuhl führte jedoch keines der alternativen Sitzkonzepte zu einer signifikanten Veränderung der Muskelaktivität [13; 20 bis 22] oder der physischen Aktivität [13].

Das Ziel, die physische Aktivität am Arbeitsplatz nachhaltig zu erhöhen, verfolgten in den letzten Jahren verschiedene Konzepte zu „dynamischen Büroarbeitsplätzen“ auf dem Markt. Diese können auch zur Gruppe „Verhältnisprävention am Arbeitsplatz“ gezählt werden. Sie bieten die Möglichkeit, die Büroarbeit in Verbindung mit leichter physischer Aktivität stationär auszuführen (z. B. [23 bis 25]). Bereits 1989 erforschten *Edelson* und *Danoffz* [26] die Kombination von Büroarbeit und physischer Aktivität auf einem Laufband. Ähnliche Konzepte dieser Art und weiterführende Forschungen folgten jedoch erst ab dem Jahre 2007 mit der Kombination von Büroarbeit und Gehen [1; 24; 27 bis 30], Büroarbeit und Steppen [31] sowie Büroarbeit und Fahrrad fahren [1; 23]. Hier wurden Aspekte herausgestellt, die der Gesundheit dienen, wie die Erhöhung des Energieumsatzes, sodass dieser zur Vermeidung der mit physischer Inaktivität verbundenen Adipositas beitragen kann [24], die verbesserte Gesundheit des Muskel-Skelett-Systems [1] oder auch die Reduktion des Stresslevels [27]. Neben den positiven Effekten

auf die Gesundheit berichten Studien ebenso über die Effekte auf die Arbeitsleistung. Für die Kombination aus Büroarbeit und Fahrradfahren zeigten sich erhöhte Fehlerraten für die höheren Geschwindigkeiten [1]. Für die Kombination von Büroarbeit und Gehen werden Computertätigkeiten, die genaue Hand- bzw. Fingerkoordination bedürfen, wie Abtipptätigkeiten und Mauseingabe, langsamer und mit einer erhöhten Fehlerrate ausgeführt [1; 28; 30; 32], wohingegen die Arbeitsleistung von Computertätigkeiten, die mit erhöhter mentaler Beanspruchung einhergehen, gleich gut ausgeführt werden. Generell berichten Studien über einen positiven Effekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit durch physische Aktivität [33].

Bislang lag der Schwerpunkt der Studien über die Auswirkung von physischer Aktivität durch dynamische Büroarbeitsplätze auf der Arbeitsleistung oder grundlegenden physiologischen Effekten, jedoch blieben Körperhaltung und Kinematik weitestgehend unerforscht. Ebenso erfolgte bisher keine umfassende Erhebung und Analyse von objektiven Messdaten und subjektiver Meinung.

Das Ziel dieser Untersuchung ist die Erforschung der Effekte von physischer Aktivität durch zwei unterschiedliche dynamische Büroarbeitsplätze auf Körperhaltung und physiologische Kenngrößen, wie muskuläre Aktivität, physische Aktivität, Herzfrequenz und Energieumsatz während der Ausübung von Büroarbeit. Des Weiteren wurde die Arbeitsleistung dokumentiert und die subjektive Meinung der Versuchspersonen mittels Fragebögen erhoben. Um den Effekt zu quantifizieren, wurden die Messdaten mit denen von einem konventionellen Sitz- und einem konventionellen Steharbeitsplatz verglichen. Die übergeordnete Frage der Untersuchung lautete:

„Führen die dynamischen Arbeitsplätze im Vergleich zu konventionellen Arbeitsplätzen zu einer Veränderung der Körperhaltung und verschiedener physiologischer Parameter sowie der Arbeitsleistung und der subjektiven Meinung?“

Um diese Frage zu beantworten, führte das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) in Zusammenarbeit mit dem niederländischen Institut TNO Work and Employment systematische Laboruntersuchungen durch.

## 2 Methode

### 2.1 Versuchspersonen

Die Versuchspersonen wurden innerhalb des IFA ausgewählt. Die Kriterien zur Teilnahme umfassten ein Mindestalter von 18 Jahren und mehrjährige Erfahrungen in Büro- und Bildschirmarbeit. Ebenso wurden Freiwillige mit chronischen oder akuten Erkrankungen von den Untersuchungen ausgeschlossen und auf eine breit gestreute Anthropometrie innerhalb des Versuchspersonkollektives wurde geachtet. An den Laboruntersuchungen nahmen zwölf Personen (Beschäftigte an Computer- und Bildschirmarbeitsplätzen), davon sechs männlichen und sechs weiblichen Geschlechts, teil. Die Teilnahme war freiwillig und unentgeltlich, zudem konnte die Untersuchung zu jeder Zeit ohne Begründung abgebrochen werden. Zehn der zwölf Beteiligten, davon fünf männliche und fünf weibliche, stimmten der Datenerhebung der muskulären Aktivität zu. In Tabelle 1 finden sich die Daten aller Personen sowie des Subkollektives der Erfassung der muskulären Aktivität. Nach eigenen Angaben verbringen die zwölf Versuchspersonen eine mittlere Dauer von 5,8 ( $\pm 1,5$ ) Stunden pro Tag am Computer und sitzen 6,5 ( $\pm 0,7$ ) Stunden des Tages am Arbeitsplatz. Lediglich eine Person nutzte vor der Untersuchung einen dynamischen Arbeitsplatz für einen kurzen Zeitraum.

Tabelle 1:  
Daten aller zwölf Versuchspersonen und der zehn des Subkollektives der EMG-Messung (EMG: Elektromyografie); BMI: Body Mass Index

	Alle	EMG-Subkollektiv
Geschlecht	6 weiblich, 6 männlich	5 weiblich, 5 männlich
Alter in Jahren	38,7 ( $\pm 11,4$ )	36,9 ( $\pm 11,0$ )
Größe in m	1,71 ( $\pm 0,08$ )	1,70 ( $\pm 0,09$ )
Gewicht in kg	75,0 ( $\pm 15,4$ )	75,7 ( $\pm 16,4$ )
BMI in kg/m <sup>2</sup>	25,5 ( $\pm 11,4$ )	26,0 ( $\pm 4,8$ )

### 2.2 Arbeitsplätze

#### 2.2.1 Spezifikationen der untersuchten Arbeitsplätze

Zwei konventionelle Arbeitsplätze, ein sitzender und ein stehender, sowie zwei kommerziell erhältliche dynamische Arbeitsplätze wurden ausgewählt und getestet. Die dynamischen Arbeitsplätze waren ein Laufband (Laufbandarbeitsplatz, im Folgenden: LB), der Treadmill Desk TR1200-DT5 der Fa. LifeSpan, und ein Sitzergometer (Sitzergometerarbeitsplatz, im Folgenden: SE), ein halbliegender elliptischer Trainer, die LifeBalance Station der Fa. RightAngle. Beide Arbeitsplätze sind in Abbildung 2 dargestellt.

Am unteren Rand des Laufbandarbeitsplatzes befindet sich eine Armauflage mit einem daran befestigten Bedienelement. Die Maße der Armauflage betragen 100 · 8 cm und die Maße des Bedienelements 40 · 6 cm. Der Sitz des Sitzergometers

entspricht in seiner Form und seinem Design in etwa einem gewöhnlichen Bürostuhl. Er hat keine Armauflagen und ist zur Seite drehbar, um das Hinsetzen zu erleichtern. Er lässt sich in 14 Schritten zu je 2,5 cm verstellen. Die Rückenlehne des Stuhls ist in zwei Stufen einstellbar. Das Bedienelement ist 35 · 25 cm und kann am Tisch befestigt werden. Die Einstellmöglichkeiten des Sitzes und die Querstreben des Tisches (Abbildung 2, unten) führten dazu, dass der Sitz in einigen Fällen nicht optimal eingestellt werden konnte. Ein Überblick über die technischen Daten der beiden dynamischen Arbeitsstationen ist in Tabelle 2 gelistet.

Abbildung 2:  
Untersuchte dynamische Büroarbeitsplätze; oben: Treadmill Desk (Quelle: TNO Work and Employment, Hoofddorp, Niederlande), unten: LifeBalance Station (mit freundlicher Genehmigung von Ph. D. Christoph Leonhard)



Tabelle 2:  
Technische Daten der dynamischen Arbeitsstationen Treadmill Desk und LifeBalance Station

Parameter	Treadmill Desk	LifeBalance Station
Gerätemaße (Länge · Breite · Höhe) in cm	188 · 119 · 13,5 (Laufbandmaß: 143 · 51)	125 · 57 · 115
Tischmaße (Länge · Breite) in cm	119 · 79	120 · 80
Tischhöhe in cm	92 bis 132	65 bis 125
Anpassung der Tischhöhe	manuell, Stufenhöhe: 2,5 cm	elektrisch, stufenlos
Geeignete Körpergrößen in cm	147 bis 223	152 bis 198
Maximales Benutzergewicht in kg	159	150
Geschwindigkeits-/ Widerstandsanpassung	0,6 bis 6,4 km/h, einstellbar in Schritten von 0,1 km/h	Level 1 bis 24, 20 bis 65 Umdrehungen pro Minute (frei wählbar, laut Hersteller ca. 2 bis 200 Watt)
Benutzungsparameter der Konsole	Zeit, Schritte, Kalorien, Distanz, Geschwindigkeit	Zeit, Kalorien, Distanz, Geschwindigkeit, Widerstand, Herzfrequenz (via Polar Pulsuhr)
Benutzerdatenspeicher	ein Benutzer	30 Benutzer

Alle Arbeitsplätze waren mit einem herkömmlichen Computer, Tastatur und Maus ausgestattet. Für den konventionellen Sitzarbeitsplatz verwendeten die Versuchspersonen einen Bürostuhl der Fa. Comforto (D7773), für das Laufband den mitgelieferten manuell höhenverstellbaren Tisch und für die anderen Arbeitsstationen einen elektrisch höhenverstellbaren Tisch der Fa. Haworth (TC600USD Tischsystem).

**2.2.2 Bestimmung der Intensitäten der dynamischen Arbeitsplätze**

Beide dynamische Arbeitsstationen wurden mit je zwei unterschiedlichen Intensitäten getestet: der Laufbandarbeitsplatz mit einer Geschwindigkeit von 0,6 und 2,5 km/h und der Sitzergometerarbeitsplatz mit einem Widerstandslevel von 4 und 12 mit jeweils 40 Umdrehungen pro Minute (RPM), was laut Hersteller einer Leistung von 12 bzw. 17 Watt entspricht. Die Auswahl der Intensitäten beruht auf einer Voruntersuchung mit vier Versuchspersonen, davon zwei weiblich und zwei männlich, deren Belastungen über Herzfrequenz bei verschiedenen Intensitäten auf Laufband- und Sitzergometerarbeitsplatz erfasst wurden. Die getesteten Geschwindigkeiten auf dem Laufband waren 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 und 5,0 km/h und die Intensitätslevel auf dem Sitzergometer 4, 8, 10, 12, 14, 16, 18 und 20. Bei 40 Umdrehungen pro Minuten entsprechen die Intensitätslevel den folgenden Leistungen in Watt: 9, 13, 15, 17, 23, 29, 35 und 41.

Zu Beginn wurde die Ruheherzfrequenz auf dem Rücken liegend über zwei Minuten gemessen. Danach absolvierten die Versuchspersonen die gewählten Intensitäten auf dem Laufband und dem Sitzergometer für je zwei Minuten. Während des Tests waren die Personen angehalten, sich ausschließlich auf die physische Aktivität zu konzentrieren und weder zu sprechen noch andere Tätigkeiten auszuüben. Ihre Herzfrequenz (HF) wurde in die mittlere relative Herzfrequenzerhöhung (rel. HF) in Prozent umgerechnet:

$$\text{rel. HF} = \left( \frac{\text{HF}_{\text{Arbeit}} - \text{HF}_{\text{Ruhe}}}{\text{HF}_{\text{Ruhe}}} \right) \cdot 100 \tag{1}$$

**2.3 Erfassungen und Bewertung von Körperkinematik, muskulärer und physischer Aktivität, Herzfrequenz und Energieumsatz**

**2.3.1 Erfassung und Bewertung der Körperhaltung und Körperkinematik**

Die Erfassung der Körperhaltungen und der Körperkinematik erfolgte mit dem CUELA-Messsystem (CUELA: Computerunterstützte Erfassung und Langzeitanalyse muskuloskelettaler Belastungen). Das CUELA-System ist „ein mobiles Messsystem zur objektiven Erfassung von Belastungen auf das Muskel-Skelett-System“ [34] und wird zur Analyse von individuellen und arbeitsbezogenen Belastungen an verschiedenen Arbeitsplätzen eingesetzt.

Die Sensoren des in dieser Studie verwendeten CUELA-Systems (Abbildung 3) können mithilfe von Gurten auf der Kleidung der Versuchsperson angebracht werden und bestehen aus Gyroskopen und Accelerometern. In Abbildung 4 ist die Positionierung der Sensoren schematisch dargestellt. In Tabelle 3 sind die Lokalisationen und Freiheitsgrade der verwendeten Sensoren gelistet.

Abbildung 3:  
CUELA-Sensoren im Größenvergleich mit und ohne Schutzhülle

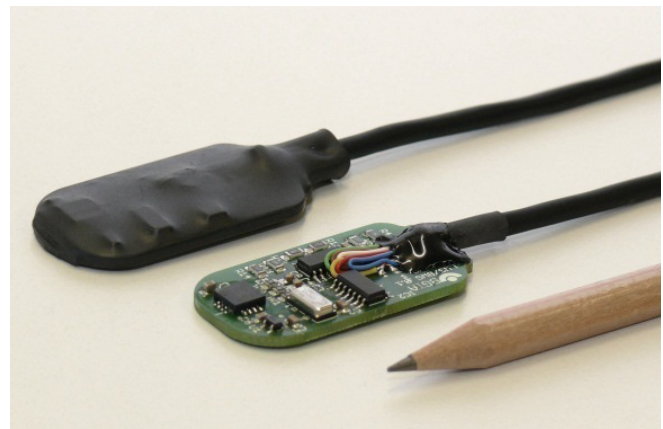


Abbildung 4:  
Positionierung der Sensoren des CUELA-Systems

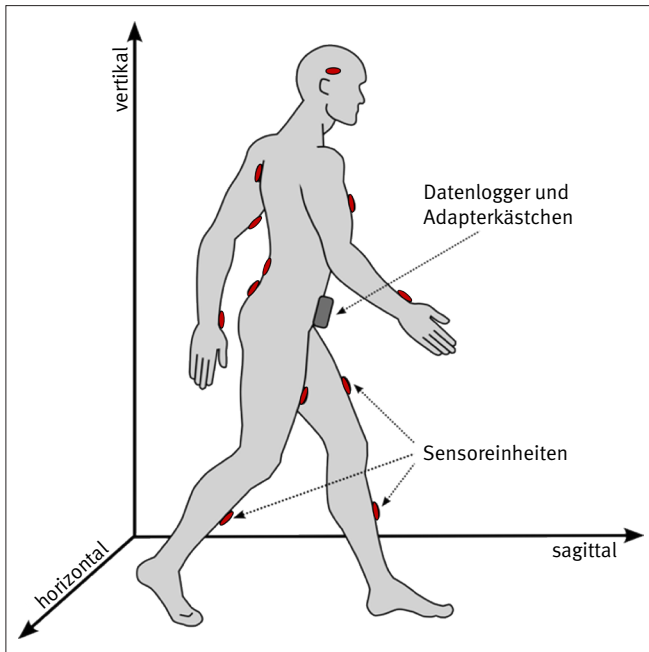


Tabelle 3:  
Lokalisation am Körper, Anzahl und Freiheitsgrade der verwendeten Sensoren des CUELA-Systems; Th3: dritter Thoraxwirbel, L1: erster Lendenwirbel und L5/S1: lumbosakraler Übergang

Lokalisation am Körper	Anzahl	Freiheitsgrade
Kopf	2	Sagittale und laterale Inklination
Brustwirbelsäule Th3	1	
Lendenwirbelsäule L1	1	
Lendenwirbelsäule L5/S1	1	
Oberarm links/rechts	2	Lage im Raum
Unterarm links/rechts	2	
Oberschenkel links/rechts	2	
Unterschenkel links/rechts	2	

Die Werte der Körperhaltung/-bewegung entlang der sagittalen Ebenen sind für Inklination oder Flexion positiv und negativ für Extension. Für die Werte der Körperhaltung/-bewegung entlang der koronalen Ebenen sind sie für laterale Flexionen nach rechts positiv und nach links negativ. Die Berechnung der Rumpfneigung bzw. -seitneigung und der Rückenkrümmung erfolgte über die Mittelung bzw. Differenzbildung:

$$\text{Rumpfneigung} = \frac{\text{BWS} + \text{LWS}}{2} \quad (2)$$

$$\text{Rückenkrümmung} = \text{BWS} - \text{LWS}$$

mit

BWS: Brustwirbelsäule,  
LWS: Lendenwirbelsäule

Die Auswertung der Körperhaltung fokussierte sich auf den Rücken und Kopf, um die jeweiligen Unterschiede der

dynamischen gegenüber den konventionellen Arbeitsstationen quantifizieren zu können.

Mithilfe der Beschleunigungssignale der CUELA-Messungen wurde ein Index der physischen Aktivität (PAI; Physical Activity Intensity) berechnet [34]. Der PAI liefert Aussagen über den Grad der Bewegung bzw. über die vorherrschende Statik in einzelnen Körpersegmenten oder im gesamten Körper. Zur PAI-Berechnung in WIDAAN (WinkelDatenAnalyse), der Auswertesoftware von CUELA, wurden alle gemessenen Beschleunigungen verwendet. Hierbei wurde zunächst die Vektorlänge des 3D-Beschleunigungsvektors für jedes Segment zu allen Zeitpunkten bestimmt. Danach erfolgte eine Hochpassfilterung, um ausschließlich die dynamischen Anteile des Signals zu erhalten. Abschließend wurde ein gleitender quadratischer Mittelwert über  $T = 150$  (bei einer Aufnahmezeit von 50 Hz sind dies drei Sekunden) berechnet (siehe [34]).

Die Berechnung des Gesamtkörper-PAI beruht auf der Massenverteilung der Körpersegmente auf der Grundlage biomechanischer Modelle von [35]

$$(\text{PAI}_{\text{Gesamt}} = 0,4 \sum \text{PAI}_{\text{Oberkörper}} + 0,4 \sum \text{PAI}_{\text{Beine}} + 0,2 \sum \text{PAI}_{\text{Arme}}).$$

Die PAI-Werte sind in Vielfachen der Erdbeschleunigung ( $\%g = 100 \cdot g = 100 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$ ) angegeben.

### 2.3.2 Erfassung und Bewertung der muskulären Aktivität

Um den Effekt der dynamischen Arbeitsplätze auf die Muskulatur zu quantifizieren, wurde die muskuläre Aktivität mittels Oberflächenelektromyografie des *M. erector spinae* und *M. trapezius p. descendens* beidseitig erfasst. Hier kamen der Biomonitor ME6000 (Fa. Mega Electronics Ltd.) sowie vorverstärkte Silber/Silberchlorid-Nassgel-Elektroden (Blue Sensor N der Fa. Ambu) zum Einsatz. Nach der Reinigung der betreffenden Körperstellen wurden zwei Mess- und eine Referenzelektrode auf der Haut der Versuchsperson platziert. Die Anbringung der Messelektroden erfolgte für den *M. trapezius* auf halber Länge der Linie von Schulter zum Halswirbel C7, beidseits symmetrisch zur Wirbelsäule [36]. Für den *M. erector spinae* erfolgte die Anbringung 3 bis 4 cm neben dem Lendenwirbel L1 [37], ebenfalls beidseits und symmetrisch zur Wirbelsäule. Nach der Funktionsüberprüfung aller Elektroden wurden die Elektroden und Kabel nach Empfehlungen des SENIAM-Projekts<sup>1</sup> mit Tape (Fa. Kintex) fixiert. Die Abtastfrequenz zur Erfassung der Messdaten betrug 100 Hz. Zur Normalisierung der individuellen muskulären Aktivität auf die maximale willkürliche Kontraktion (engl.: maximum voluntary contraction, MVC) griffen die Versuchspersonen für den *M. trapezius* auf einem Stuhl sitzend unter dessen Sitzfläche und zogen gegen den statischen Widerstand ihre Schultern, wie dies für sie maximal möglich war, nach oben. In einer auf dem Bauch liegenden Position mit nach vorne bzw. hinten ausgestreckten Armen und Beinen sollten die Versuchspersonen gegen einen statischen Widerstand ihre Arme und Beine vom Boden abheben. Jede der beiden Übungen wurde drei Mal hintereinander ausgeführt.

<sup>1</sup> SENIAM: Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles, [www.seniam.org](http://www.seniam.org)



## 2 Methode

Unter Bildung des fließenden Mittelwertes aus den Rohdaten der Messungen zur muskulären Aktivität mit einem fortlaufenden Zeitfenster von 0,5 s erfolgte die Standardisierung auf die jeweilige maximale willkürliche Kontraktion der Versuchspersonen in Prozent (%MVC) über Gl. (3):

$$\%MVC = \frac{\text{Messwert} - \text{Minimum}}{\text{Maximum} - \text{Minimum}} \cdot 100 \quad (3)$$

Aus den drei MVC-Übungen wurde jeweils das Maximum für die verschiedenen Muskeln gewählt.

### 2.3.3 Erfassung und Bewertung der Herzfrequenz und des Energieumsatzes

Der Parameter Herzfrequenz diente als Indikator der individuellen Herz-Kreislauf-Beanspruchung. Die Datenerfassung erfolgte mit der Pulsuhr RS400 der Fa. Polar und mit einer Abtastfrequenz von 1 Hz. Über die Ruheherzfrequenz ( $HF_{\text{Ruhe}}$ ) und die maximale Herzfrequenz ( $HF_{\text{max}}$ ) konnte zur Normalisierung der Herzfrequenz die individuelle Herzfrequenzreserve (HRR) über die Gl. (4) [38] berechnet werden:

$$\%HRR = \frac{(HF_{\text{gemessen}} - HF_{\text{Ruhe}})}{(HF_{\text{max}} - HF_{\text{Ruhe}})} \cdot 100 \quad (4)$$

Die Ruheherzfrequenzmessungen fanden auf dem Bauch liegend über eine Mindestdauer von fünf Minuten statt. Die maximale Herzfrequenz ( $HF_{\text{max}}$ ) wurde über Gl. (5) gemäß [39] berechnet:

$$HF_{\text{max}} = 206,9 - (0,67 \cdot \text{Alter}) \quad (5)$$

Zur Abschätzung des Einflusses auf den Stoffwechsel wurde auf der Basis der Herzfrequenz der Energieumsatz für jede Arbeitsstation über die Formel nach [40] verwendet. Jedoch ist diese Formel zur Abschätzung von hohen Energieumsätzen entwickelt und führt für niedrige Energieumsätze zu einer Überschätzung des berechneten Energieumsatzes [41]. Die Ergebnisse der Berechnung aus den Herzfrequenzdaten der Untersuchung zeigten für alle Arbeitsstationen eine relativ geringe Anstrengung. Deshalb wurde für die konventionellen Arbeitsplätze ein Referenzwert aus früheren Untersuchungen mit ähnlichen Bedingungen verwendet und für die dynamischen Arbeitsstationen ein geräte- und intensitätsspezifischer Korrekturfaktor eines kleinen Subkollektives berechnet [42]. Das Kollektiv bestand aus einer weiblichen und einer männlichen Versuchsperson, die auch beide an den Hauptuntersuchungen teilnahmen. Die Korrekturfaktoren beruhen auf indirekter Kalorimetrie, einer Atemgasanalyse mit dem Gerät MetaMax 3B der Fa. Cortex.

## 2.4 Beschreibung und Leistungskriterien der Tätigkeiten

Die ausgewählten Tätigkeiten bestanden aus standardisierten Bürotätigkeiten und umfassten die Bereiche Textverarbeitung, Lesen, Telefonieren, Mausearbeiten und verschiedene kognitive

Tätigkeiten. Alle Aufgaben bearbeiteten die Versuchspersonen in einer randomisierten Reihenfolge.

Für die Textverarbeitungsaufgabe kopierten sie einen Text von der oberen Hälfte des Bildschirms in die untere Hälfte. Die hierbei erfasste Arbeitsleistung waren getippte Zeichen und getippte Fehler. Die Versuchspersonen sollten für die Lesetätigkeit einen Text lesen, der zur Kontrolle des aufmerksamen Lesens ungefähr alle 100 Wörter einen Buchstabenverdrehler (z. B. „Aktivittä“ statt „Aktivität“) enthielt. Hierbei galten gelesene Wörter und erkannte Fehler als Bewertungsrichtlinie. Für das nachgestellte Telefonat las eine Person den Versuchspersonen einen kurzen Abschnitt eines Textes vor, den diese dann einer zweiten Person über das Telefon wiedergaben. Bewertungskriterien waren die gesprochene Anzahl der Wörter und Fehler sowie die subjektive Beurteilung der Sprachqualität anhand der MOS-Skala (MOS: Mean Opinion Score). Die MOS-Skala nach [43] besteht aus fünf Bewertungspunkten für gestörte Sprachqualität, die in Tabelle 4 aufgelistet sind.

Tabelle 4:  
MOS-Skala zur Bewertung der Sprachqualität

Bewertung	Sprachqualität	Grad der Störung
5	Ausgezeichnet	Unbemerkbar
4	Gut	Wahrnehmbar, aber nicht störend
3	Angemessen	Wahrnehmbar und etwas störend
2	Dürrftig	Störend, aber nicht unangenehm
1	Unbefriedigend	Sehr störend und unangenehm

Die Dauer der Abtipp-, Lese- und Telefontätigkeit betrug jeweils fünf Minuten; die Texte für die Aufgaben waren auf einem vergleichbaren Niveau und keine Versuchsperson bearbeitete einen Text zweimal.

Die Mausetätigkeiten gliederten sich in zwei Tätigkeiten, eine mit einem zufälligen Stimulus (Random Circles) und eine andere mit einem festdefinierten Stimulus (Multi Direction), auf den die Versuchspersonen reagieren sollten.

Die beiden Mausnutzungstätigkeiten beruhten auf den Gesetzen von [44] und die Dauer beider Aufgaben betrug insgesamt etwa zweieinhalb Minuten. Bei der ersten der beiden Mausnutzungstätigkeiten mit dem zufälligen Stimulus erscheinen 100 Kreise, auf die die Versuchsperson mit der Maus klicken sollte. Die Kreise waren willkürlich über den gesamten Bildschirm verteilt und unterschiedlich groß. Der Ort und die Größe des jeweils nächsten Kreises wurden durch den Rand des nächsten Kreises angezeigt. Abbildung 5 zeigt zwei Teilaufgaben der ersten Mausnutzungstätigkeit.

Bei der zweiten Mausnutzungstätigkeit (Multi Direction) verteilten sich insgesamt 104 Kreise auf vier im Radius ansteigenden Kreisringen (je 26 Kreise pro Kreisring). Der nächste von der Testperson anzuklickende Kreis erschien auf dem Kreisring jeweils gegenüberliegend zum vorherigen (Abbildung 6).

Abbildung 5:  
Erste Mausnutzungsaufgabe mit blauen aktuellen Kreisen und dem türkis umrahmten nächsten Kreis

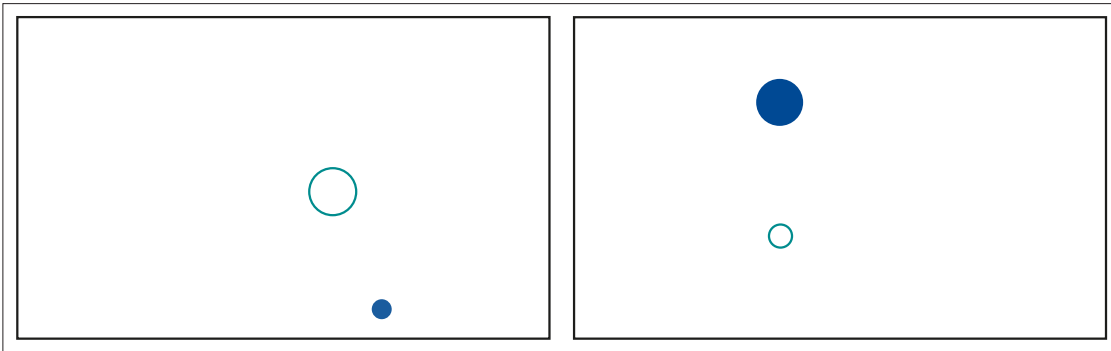
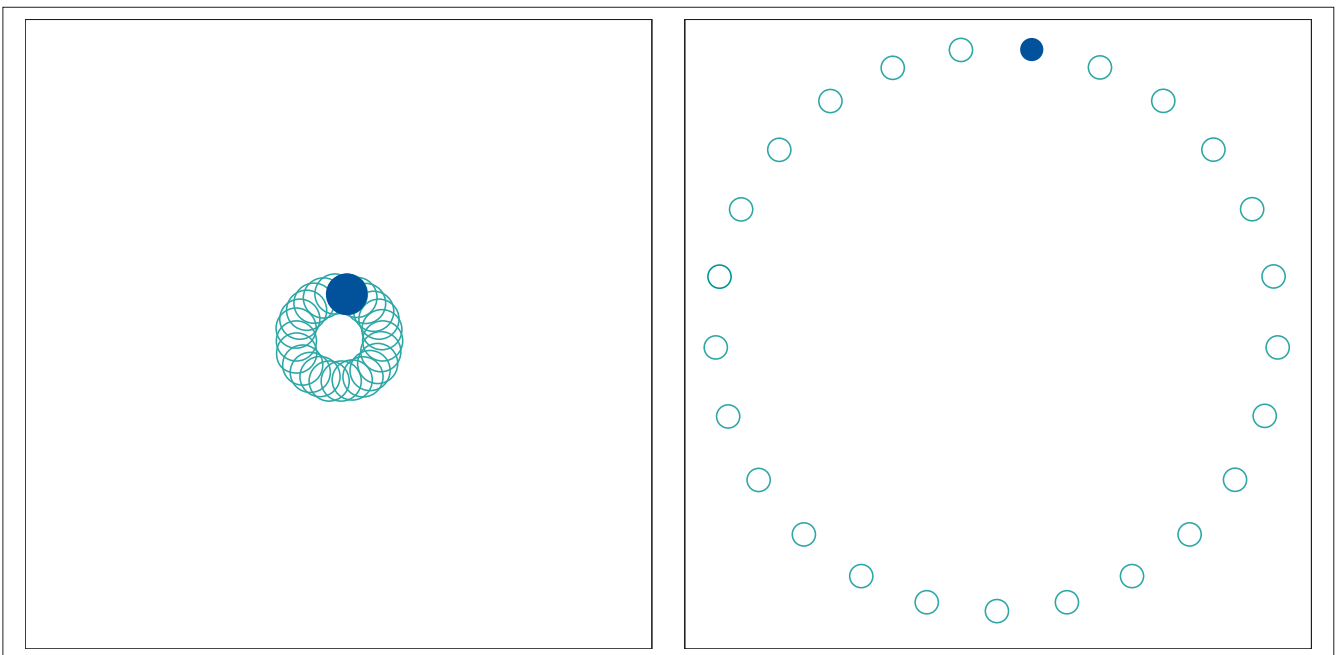


Abbildung 6:  
Zweite Mausnutzungsaufgabe mit zwei Kreisringen und dem nächsten Kreis (in Blau)



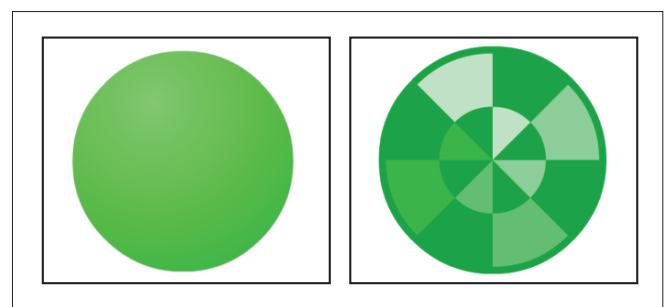
Die Software (Hillcrest Labs MotionStudio, Version 3.4.0) der Mausnutzungstätigkeit gab eine durchschnittliche Geschwindigkeit sowie einen Score, der Genauigkeit und Geschwindigkeit beschreibt, aus.

Die kognitiven Tätigkeiten stammten von der Website [www.cognitivefun.net](http://www.cognitivefun.net) (Stand: 2012) und sollten die Aufmerksamkeit („Go/No-go“ nach [45]), Wahrnehmung („Fast counting“ nach [46]), Reaktion („Eriksen Flanker“ nach [47]) und das Kurzzeitgedächtnis („N-back“ nach [48]) stimulieren. Die Dauer aller kognitiven Tätigkeiten betrug zusammen ungefähr sechseinhalb Minuten. Für die Go-/No-go-Aufgabe erhielt die Versuchsperson 20 Stimuli, auf die sie reagieren oder nicht reagieren sollte. Abbildung 7 zeigt die beiden Stimuli.

Für die Aufgabe „Fast counting“ sollte die Versuchsperson die Anzahl kleiner schwarzer Kreise erfassen (Abbildung 8), die zwischen vier und sieben lag. Reagierte sie innerhalb von 1,5 Sekunden nicht mit der Eingabe einer Zahl, so wurde die nächste Anzahl an Kreisen eingeblendet und der Durchgang als Fehler gewertet. Die Aufgabe wurde nach 40 Durchläufen beendet.

Die Versuchsperson erhielt im Eriksen-Flanker-Test zwei verschiedene Stimuli. Im Zentrum des Bildschirms erscheinen Pfeile, deren Richtung (links oder rechts) die Versuchsperson über die Tastatur eingeben musste. Die Erfassung der Pfeilrichtung wurde durch umliegende Pfeile, deren Anzahl und Richtung (links oder rechts) nicht festgesetzt war, erschwert (Abbildung 9). Die Aufgabe endet nach 20 Durchläufen.

Abbildung 7:  
Go-/No-go-Aufgabe: Stimulus, auf den die Versuchspersonen reagieren sollten (links) bzw. nicht reagieren sollten (rechts)



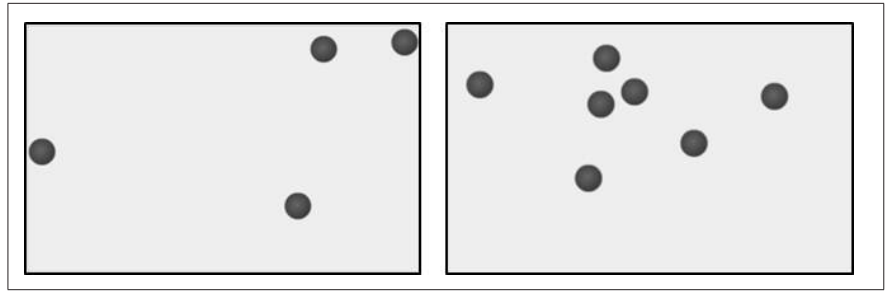


Abbildung 8:  
Zwei Beispiele der Tätigkeit „Fast counting“

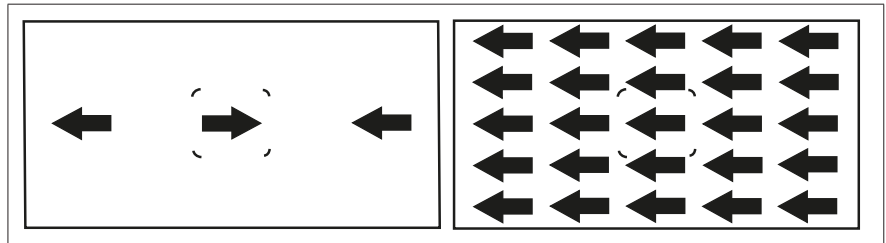
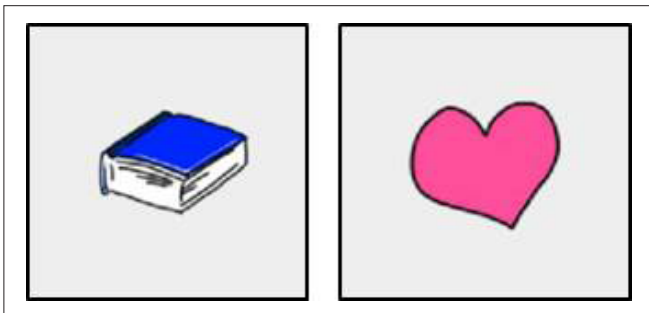


Abbildung 9:  
Eriksen-Flanker-Test mit zwei Beispielen

Für den N-back-Test, den Memory-Test, sollte sich die Versuchsperson die jeweils letzten zwei Bilder einer fortlaufenden Bilderreihe merken. War das aktuelle Bild identisch mit dem vorletzten Bild, sollte sie dies durch einen Mausklick bestätigen. Zwei Bilder der Bilderfolge, die nach 45 Bildern beendet wurde, sind in Abbildung 10 zu erkennen.

Für jede der fünf kognitiven Tätigkeiten gab die Software den korrekten prozentualen Anteil der bearbeiteten Aufgaben sowie eine durchschnittliche Bearbeitungszeit aus.

Abbildung 10:  
Zwei Bilder der Bilderreihenfolge



## 2.5 Erfassung der subjektiven Einschätzungen

Die subjektive Einschätzung der Arbeitsleistung und die Meinung der Versuchspersonen zu den Arbeitsstationen wurde mittels Fragebögen erhoben und dokumentiert. Die Fragen zu Beginn der Messreihe umfassten persönliche Daten (Alter, Größe, Gewicht), Trainingszustand sowie die Dauer, die durchschnittlich pro Tag im Sitzen und mit Computerarbeiten verbracht wurde. Zudem wurden die Versuchspersonen befragt, ob sie bereits dynamische Arbeitsstationen (außerhalb dieser Studie) benutzt hatten, welche Erwartungen sie generell an die dynamischen Arbeitsstationen und an ihre Arbeitsleistung hatten. Vor und nach jeder Arbeitsstation sollte die Versuchsperson ihre Beschwerden, die sie in verschiedenen Körperregionen verspürt, anhand einer Skala (0: keine Beschwerden, 10: extrem

stark, nahezu maximal) einschätzen. Zudem wurde die körperliche und geistige Müdigkeit erfragt, die auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 7 (extrem) einzuordnen war. Nach jeder Arbeitsstation sollten Fragen zu Komfort, Bequemlichkeit und der empfundenen Anstrengung sowie zur Qualität der Arbeit beantwortet werden. Die Meinung zur Alltagstauglichkeit der Arbeitsstationen und zur Kombination von physischer Aktivität und Bürotätigkeiten wurde erfragt. Eine abschließende Gesamtbeurteilung der dynamischen Arbeitsstationen umfasste Fragen zur bevorzugten und am wenigsten bevorzugten Arbeitsstation sowie den jeweiligen Gründen. Die Bewertung der Beurteilung erfolgte teils über die Mittelwertbildung über alle Angaben für jede Arbeitsstation oder die Darstellung über Säulendiagramme.

Alle Fragen sollten immer im Vergleich zum derzeit individuellen Arbeitsplatz beantwortet werden. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 18 bis 23 (siehe Seite 27 ff.) als Säulendiagramme dargestellt, wobei die gesamte Länge der Säule der Anzahl der Versuchspersonen entspricht. Die Anzahl der Antworten zu einem Punkt der Skala ist entsprechend der Legende eingefärbt, positive Antworten erscheinen in einer grünlichen und negative in einer rötlichen Färbung.

## 2.6 Ablauf und Aufbau der Untersuchung

Alle Versuchspersonen wurden vor Beginn der Untersuchungen über Ziel und Ablauf der Studie informiert, sie unterschrieben eine Einverständniserklärung und bearbeiteten den ersten Teil des Fragebogens (persönliche Angaben). Im Anschluss wurden sie mit dem CUELA-System, EMG und Herzfrequenzmonitor ausgestattet. Danach führten sie die Kalibrationen für das CUELA-System sowie die MVC-Übungen für *M. trapezius* und *M. erector spinae* aus und die Ruheherzfrequenz im Liegen wurde aufgezeichnet. Vor Beginn der Untersuchung wurden die Arbeitsplätze für jede Person nach ergonomischen Richtlinien eingestellt. Alle bekamen genügend Zeit, sich an jede der Tätigkeiten und Arbeitsstationen zu gewöhnen. Nachdem die Versuchsperson sich an die verschiedenen Anforderungen gewöhnt hatte und die Herzfrequenz sich in einem stationären Zustand befand, begann die eigentliche Datenaufzeichnung und sie bearbeitete



alle Tätigkeiten an einer der Stationen. Die Reihenfolge der Arbeitsstationen und der dort zu erledigenden Tätigkeiten wurde jeweils randomisiert festgelegt. Vor und nach jeder Arbeitsstation beantwortete die Versuchsperson spezifische Fragen zur jeweiligen Arbeitsstation und bekam eine Erholungspause. Die komplette Zeit der Datenerfassung wurde auf Video dokumentiert und alle Anfangs- und Endzeiten sowie die Arbeitsleistungen wurden notiert.

Die Untersuchungen wurden an einem Labor-Büroarbeitsplatz bestehend aus einer Konstruktion mit einer Decke und drei Wänden sowie zwei Spiegelrasterleuchten durchgeführt (Abbildung 11). Der Versuchsperson standen für alle Stationen ein 19-Zoll-Bildschirm, ein Telefon, eine handelsübliche Tastatur und Maus sowie für den Laufbandarbeitsplatz ein manuell höhenverstellbarer Tisch (höhenverstellbar von 92 bis 132 cm) und für den Sitzergometerarbeitsplatz, das konventionelle Sitzen und Stehen ein elektrisch höhenverstellbarer Tisch (höhenverstellbar von 65 bis 125 cm) zur Verfügung, um damit eine individuelle Anpassung des Arbeitsplatzes zu gewährleisten.

Die Hälfte der Messungen fand am Vormittag und die andere Hälfte am Nachmittag statt. Die Reihenfolge der Arbeitsstationen sowie der Tätigkeiten war stets randomisiert, sodass keine Versuchsperson den gleichen Ablauf hatte.

Abbildung 11:  
Büroarbeitsplatz mit den beiden dynamischen Arbeitsstationen



## 2.7 Datenverarbeitung und statistische Analyse

Die Auswertung der mit dem CUELA-Messsystem erfassten Daten erfolgte mit der zugehörigen Software WIDAAN. In die Software wurden die Videos, die Herzfrequenzdaten und die Daten der muskulären Aktivität importiert. Nach der Synchronisation aller Daten konnten Intervalle für die verschiedenen Arbeitsstationen und Tätigkeiten gesetzt werden, um diese bearbeiten und analysieren zu können. Die Software ermöglichte die automatisierte Normalisierung der Daten und die Berechnung der Frequenzverteilung sowie weiterer deskriptiver und charakteristischer Daten für Körperhaltung, muskuläre und physische Aktivität, Herzfrequenz und Energieumsatz für die Intervalle der Tätigkeiten sowie der Arbeitsstationen. Die Weiterverarbeitung und Erstellung von Tabellen und Grafiken erfolgte mit Microsoft Excel (Version 2010).

Für die statistische Analyse wurde die Software SPSS (Version 20) verwendet und ANOVAs mit Messwiederholungen (Allgemeines Lineares Modell, ALM) durchgeführt. Diese kamen zum Einsatz, um die Haupteffekte der Innersubjektfaktoren Arbeitsstation (sechs Stationen) und Tätigkeit (fünf Tätigkeiten) sowie der Interaktion aus beiden Innersubjektfaktoren (Arbeitsstation · Tätigkeit) auf ein Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$  zu überprüfen. So konnte in einem ersten Schritt geprüft werden, ob es zu Unterschieden zwischen den Mittelwerten der Innersubjektfaktoren Arbeitsstation und Tätigkeit sowie der Interaktion aus beiden Innersubjektfaktoren (Arbeitsstation · Tätigkeit) kam. In paarweisen multiplen Vergleichen wurde abschließend getestet, ob sich die Mittelwerte der dynamischen Arbeitsstationen gegenüber den konventionellen Arbeitsstationen unterschieden. Hierbei wurde die Korrektur nach *Bonferroni* für das Problem resultierend aus den multiplen Vergleichen angewendet. Die Station konventionelles Sitzen wurde als Referenz gesetzt und mit allen anderen Stationen (konventionelles Stehen, Sitzergometerarbeitsplatz mit niedriger und hoher Intensität, Laufbandarbeitsplatz mit niedriger und hoher Intensität) verglichen. Aufgrund von Ähnlichkeiten in der Körperhaltung wurde zudem das konventionelle Stehen mit dem Laufbandarbeitsplatz (niedrige und hohe Intensität) auf Signifikanz untersucht.



# 3 Ergebnisse

## 3.1 Ermittlung vergleichbarer Intensitäten der dynamischen Arbeitsplätze

Die Mittelwerte der relativen Herzfrequenz über der Ruheherzfrequenz sind in Abbildung 12 dargestellt.

Für die Hauptuntersuchung wurden die niedrigen Intensitäten gewählt: Für das Sitzergometer L4 bei 30 bis 40 RPM – wie vom Hersteller für Büroarbeit empfohlen; für das Laufband 0,6 km/h. Beides ruft eine ähnliche Anstrengung hervor. L12 und 2,5 km/h wurden als höhere Intensitäten gewählt, da diese eine größere Anstrengung im Vergleich zu den niedrigen hervorrufen und die Anstrengung immer noch vergleichbar ist, die Intensität jedoch nicht zu hoch und noch für Büroarbeit geeignet scheint.

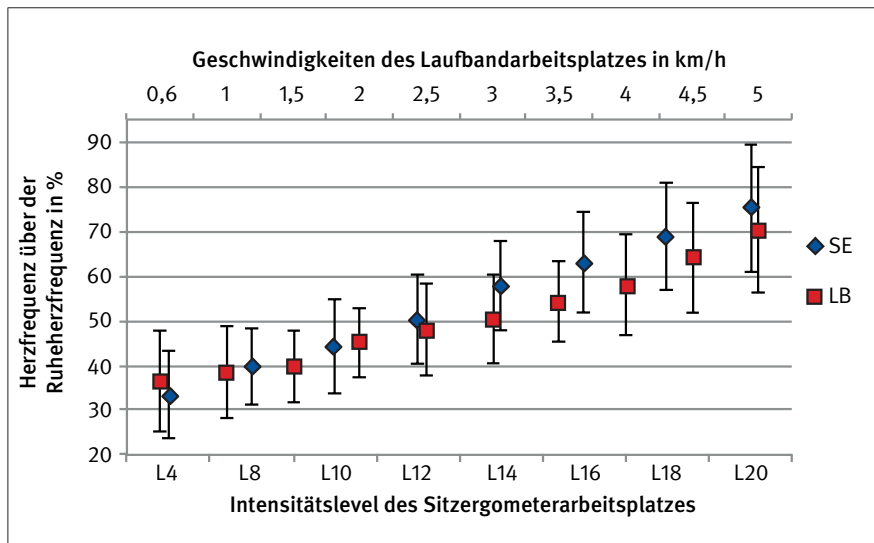


Abbildung 12: Mittelwerte der relativen Herzfrequenz in Prozent über vier Versuchspersonen für verschiedene Intensitäten auf Sitzergometer- und Laufbandarbeitsplatz; L: Level

## 3.2 Ergebnisse der Körperhaltung und Körperkinematik

Die Ergebnisse der Körperhaltung für Kopfneigung nach vorne, BWS<sup>2</sup>-Neigung nach vorne, LWS<sup>3</sup>-Neigung nach vorne, Rumpfneigung nach vorne, Rumpfsseitneigung und Rückenkrümmung für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen sind in Tabelle 5 dargestellt. In der Tabelle finden sich ebenso die Ergebnisse der statistischen Analyse, die Vergleiche der Innersubjektfaktoren<sup>4</sup> und die paarweisen multiplen Vergleiche (signifikante Effekte mit \* gekennzeichnet) des konventionellen Sitzarbeitsplatzes mit allen anderen Arbeitsstationen und des konventionellen Steharbeitsplatzes mit beiden Intensitäten des Laufbandarbeitsplatzes. Signifikante Effekte (in Tabelle 5 ff. **fett** gedruckt) für den Faktor Arbeitsstation zeigen sich für das 95-Perzentil der Kopfneigung, das 50- und 95-Perzentil der Rumpfneigung und Rumpfsseitneigung, jedoch ist die Post-hoc-Analyse der paarweisen Vergleiche nicht signifikant. Alle Perzentile der L5-Neigung und der Rückenkrümmung zeigen sowohl Signifikanz für den Faktor Arbeitsstation als auch für die paarweisen Vergleiche Sitzen gegen Stehen und Sitzen gegen beide Laufbandstationen.

Die L5-Neigung weist für alle untersuchten Arbeitsstationen negative Werte auf, die für das 50-Perzentil zwischen -3,7° (Laufbandarbeitsplatz mit niedriger Intensität) und -33,3° (Sitzergometerarbeitsplatz mit niedriger Intensität) variieren. Die Krümmung des Rückens ist für das 50-Perzentil am geringsten für den Laufbandarbeitsplatz mit niedriger Intensität mit 12,4° und am größten für den Sitzergometerarbeitsplatz mit niedriger Intensität mit 42,6°.

Der Effekt der Tätigkeiten ist für alle untersuchten Körperwinkel außer für das 50-Perzentil der BWS-Neigung, L5-Neigung, Rumpfneigung, Rumpfsseitneigung und Rückenkrümmung signifikant. Der Effekt für „Arbeitsstation · Tätigkeit“ war lediglich für das 95-Perzentil der Kopfneigung und der Rückenkrümmung signifikant.

2 BWS: Brustwirbelsäule

3 LWS: Lendenwirbelsäule

4 Arbeitsstation, Tätigkeit und „Arbeitsstation · Tätigkeit“

### 3 Ergebnisse

Tabelle 5:

Mittelwerte der Körperwinkel über zwölf Versuchspersonen für die (5-) 50- und 95-Perzentile der konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen sowie Ergebnisse der statistischen Analyse; SE1: Sitzergometerarbeitsplatz niedrige Intensität, SE2: Sitzergometerarbeitsplatz hohe Intensität, LB1: Laufbandarbeitsplatz niedrige Intensität, LB2: Laufbandarbeitsplatz hohe Intensität, SD: Standardabweichung, A · T: Arbeitsstation · Tätigkeit, BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule

Perzentil	Arbeitsplatz						Arbeitsstation	Sitzen versus					Stehen versus		Tätigkeit	A · T			
	Konventionell sitzen	stehen	SE1	SE2	LB1	LB2		Stehen	SE1	SE2	LB1	LB2	LB1	LB2					
<b>Kopfneigung nach vorne in °</b>																			
50 (SD)	9,4 (8,1)	11,1 (8,6)	4,8 (9,2)	4,7 (10,1)	7,7 (10,0)	9,3 (8,0)	0,070									◀ 0,001	0,094		
95 (SD)	13,2 (9,3)	15,4 (9,3)	9,6 (10,4)	10,1 (10,6)	14,2 (12,3)	16,2 (11,1)	<b>0,042</b>									◀ 0,001	<b>0,002</b>		
<b>BWS-Neigung nach vorne in °</b>																			
50 (SD)	8,6 (11,8)	5,6 (7,0)	9,1 (6,5)	10,0 (7,2)	8,5 (6,9)	8,7 (4,2)	0,415										0,095	0,225	
95 (SD)	10,7 (12,0)	8,5 (8,7)	11,1 (6,6)	12,0 (6,8)	13,3 (7,7)	12,1 (4,9)	0,596										<b>0,042</b>	0,086	
<b>LWS L5-Neigung nach vorne in °</b>																			
5 (SD)	-29,6 (17,3)	-9,4 (9,1)	-34,7 (16,5)	-33,1 (17,9)	-6,6 (8,4)	-9,4 (10,5)	◀ 0,001	*			*	*					<b>0,037</b>	0,361	
50 (SD)	-28,6 (17,3)	-7,6 (9,2)	-33,3 (16,3)	-31,4 (17,7)	-3,7 (8,3)	-6,5 (10,4)	◀ 0,001	*			*	*						0,184	0,509
95 (SD)	-27,1 (17,5)	-5,6 (9,2)	-31,9 (16,1)	-29,6 (17,3)	-0,5 (8,1)	-3,9 (10,4)	◀ 0,001	*			*	*						<b>0,038</b>	0,390
<b>Rumpfneigung nach vorne in °</b>																			
50 (SD)	-10,2 (12,9)	-1,2 (6,6)	-12,2 (9,5)	-10,8 (11,1)	2,4 (5,4)	1,1 (5,6)	◀ 0,001											0,080	0,453
95 (SD)	-8,6 (13,2)	0,9 (7,4)	-10,8 (9,5)	-9,3 (10,8)	5,9 (5,8)	3,6 (5,9)	◀ 0,001											<b>0,025</b>	0,200
<b>Rumpfseitneigung nach rechts in °</b>																			
50 (SD)	1,0 (2,8)	-1,4 (3,1)	-2,0 (2,8)	-1,5 (2,3)	0,7 (1,9)	1,3 (2,3)	<b>0,001</b>											0,103	0,493
95 (SD)	1,8 (2,9)	-0,1 (3,2)	-0,7 (2,7)	0,1 (2,7)	3,6 (2,2)	4,7 (3,1)	◀ 0,001											◀ 0,001	0,168
<b>Rückenkrümmung nach vorne in °</b>																			
50 (SD)	37,3 (15,1)	13,6 (10,6)	42,6 (15,7)	41,4 (15,4)	12,4 (10,6)	15,4 (11,3)	◀ 0,001	*			*	*						0,241	0,050
95 (SD)	39,1 (15,3)	16,4 (11,2)	45,2 (15,6)	44,0 (16,1)	16,5 (11,2)	18,7 (11,2)	◀ 0,001	*			*	*						0,097	<b>0,049</b>

### 3.3 Muskuläre Aktivität: Messergebnisse

Die Ergebnisse der muskulären Aktivitätsmessung sind für den *M. erector spinae* links und rechts als Boxplot in Abbildung 13 und für den *M. trapezius* links und rechts in Abbildung 14 mit der zugehörigen Statistik in Tabelle 6 dargestellt.

Der Faktor Arbeitsstation zeigt für den *M. trapezius* links für das 50-, 75- und 95-Perzentil sowie für den *M. trapezius* rechts für den Mittelwert, das 25-, 50-, 75- und 95-Perzentil Signifikanz. Jedoch zeigte nur der *M. trapezius* rechts für die Vergleiche konventionelles Sitzen und Laufbandarbeitsplatz mit niedriger Intensität für das 75- und 95-Perzentil, für den Vergleich konventionelles Sitzen und Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität für den Mittelwert, das 50-, 75- und 95-Perzentil sowie für den

Vergleich konventionelles Stehen und Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität für 25-, 50- und 95-Perzentil Signifikanz.

Die EMG-Messungen lieferten über alle untersuchten Tätigkeiten mittlere Muskelaktivitäten mit Werten unter 5 %MVC (konventioneller Sitzarbeitsplatz) und zwischen 5 und 10 %MVC (konventioneller Steharbeitsplatz, SE mit niedriger und hoher Intensität und LB mit niedriger Intensität). Lediglich der Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität führte zur mittleren muskulären Aktivität beider Muskeln (links) von knapp über 10 %MVC.

Der Mittelwert und das 25-Perzentil des *M. erector spinae* links ist für den Innersubjektfaktor Tätigkeit sowie das 75- und 95-Perzentil des *M. trapezius* links signifikant. Für den Mittelwert, das 50- und 95-Perzentil des *M. trapezius* rechts zeigt sowohl der Faktor Tätigkeit als auch der Interaktionsfaktor „Arbeitsstation · Tätigkeit“ Signifikanz.

Abbildung 13:

Boxplot-Diagramm der Mittelwerte über zehn Versuchspersonen des Mittelwertes (Raute), 5-, 25-, 50-, 75- und 95-Perzentsils der EMG-Werte in %MVC des *M. erector spinae* links und rechts für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen

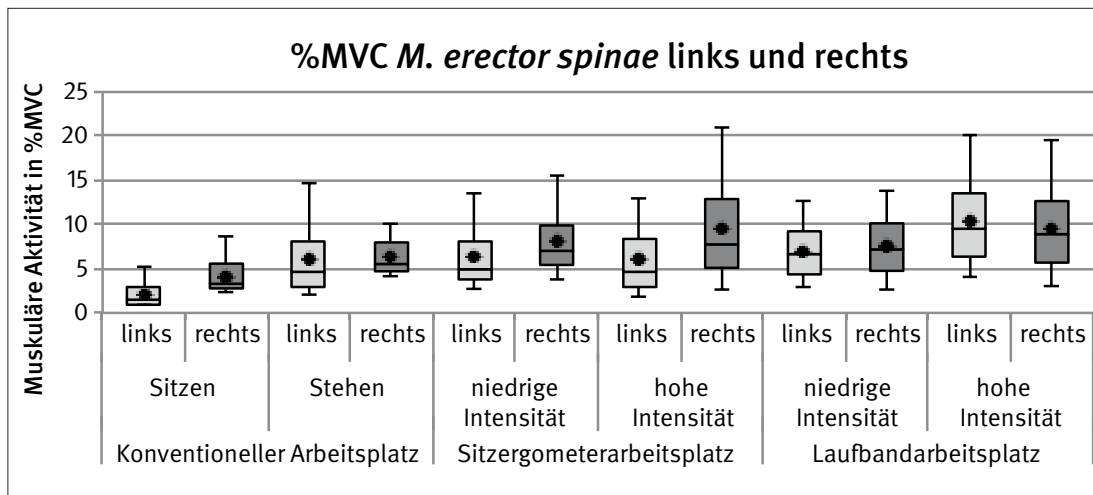
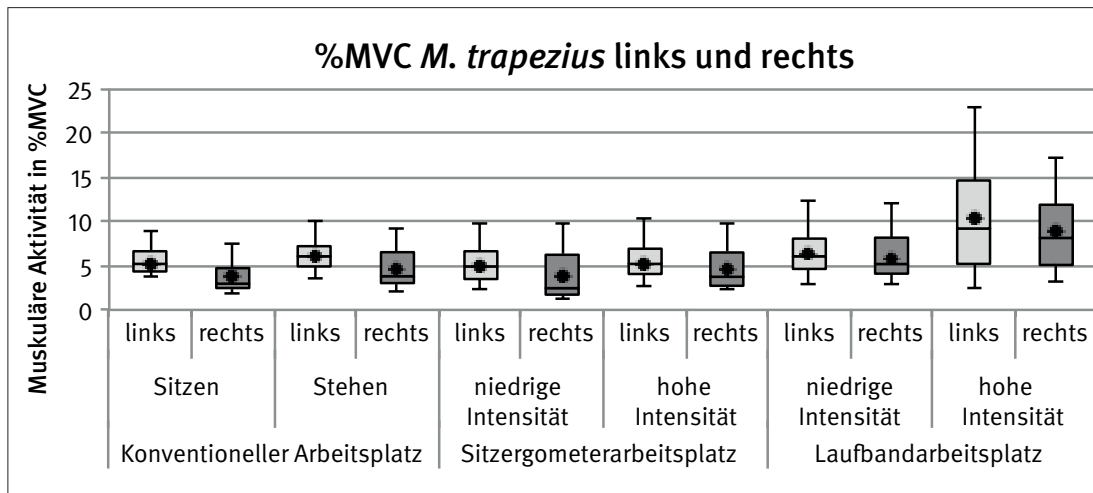


Abbildung 14:

Boxplot-Diagramm der Mittelwerte über zehn Versuchspersonen des Mittelwertes (Raute), 5-, 25-, 50-, 75- und 95-Perzentsils der EMG-Werte in %MVC des *M. trapezius* links und rechts für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen



### 3 Ergebnisse

Tabelle 6:

Signifikanzen für die Parameter Mittelwert (MW), 5-, 25-, 50-, 75- und 95-Perzentil der muskulären Aktivität in %MVC des *M. erector spinae* links und rechts für die Ergebnisse aus den Abbildungen 13 und 14; Abkürzungen siehe Tabelle 5

	Perzentil	Arbeitsstation	Sitzten versus					Stehen versus		Tätigkeit	A · T
			Stehen	SE1	SE2	LB1	LB2	LB1	LB2		
<i>M. erector spinae</i> links	MW	0,078								<b>0,037</b>	0,309
	5	0,474								0,333	0,527
	25	0,116								<b>0,023</b>	0,450
	50	0,069								0,023	0,380
	7	0,069								0,107	0,238
	95	0,247					*			0,250	0,293
<i>M. erector spinae</i> rechts	MW	0,222								0,104	0,420
	5	0,564								0,376	0,427
	25	0,523								0,090	0,417
	50	0,272								0,065	0,453
	75	0,191								0,124	0,391
	95	0,098								0,251	0,388
<i>M. trapezius</i> links	MW	0,073								0,060	0,158
	5	0,451								0,188	0,262
	25	0,108								0,083	0,227
	50	<b>0,048</b>								0,069	0,244
	75	<b>0,044</b>								<b>0,040</b>	0,267
	95	<b>0,024</b>								<b>0,033</b>	0,169
<i>M. trapezius</i> rechts	MW	<b>0,001</b>					*			<b>0,003</b>	<b>0,003</b>
	5	0,344								0,355	0,206
	25	<b>0,013</b>							*	0,057	0,125
	50	<b>0,002</b>					*		*	<b>0,015</b>	<b>0,031</b>
	75	<b>0,001</b>				*	*			0,003	0,008
	95	<b>&lt; 0,001</b>				*	*		*	<b>0,004</b>	<b>0,013</b>

### 3.4 Physische Aktivität: Messergebnisse

Der Faktor Arbeitsstation ist für alle in Tabelle 7 gelisteten PAI-Parameter signifikant. Die paarweisen Vergleiche zwischen konventionellem Sitzen und Stehen zeigen für alle Parameter außer für das 95-Perzentil LWS L5 keine Signifikanz, ebenso nicht für den Vergleich konventionelles Sitzen gegen Sitzergometer mit niedriger Intensität für BWS 50- und 95-Perzentil sowie LWS L5 und Arme 95-Perzentil. Für die Vergleiche des konventionellen Sitzarbeitsplatzes mit der niedrigen und hohen Intensität des Sitzergometerarbeitsplatzes zeigen die 95-Perzentilwerte der Sensoren Kopf und LWS L1 keine Signifikanz. Für den Vergleich von konventionellem Stehen mit beiden Intensitäten des Laufbandes sind alle Parameter außer dem 95-Perzentil des Kopfes signifikant.

Das 50-Perzentil des Gesamt-PAI ist am geringsten für den konventionellen Steharbeitsplatz mit 0,8 %g und am größten für den Laufbandarbeitsplatz bei hoher Intensität (15,0 %g). Im Vergleich der Stationen „konventionelles Sitzen“ und „hohe Intensität des Laufbandarbeitsplatzes“ ist eine mehr als 17-fache Erhöhung des Gesamt-PAI zu verzeichnen. Der PAI der BWS ist für das 50-Perzentil im Vergleich konventionelles Sitzen (0,8 %g) und Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität (9,6 %g) um mehr als das 12-Fache erhöht. Die Mediane der LWS L1- und L5-Sensoren variieren von 0,8 %g (konventionelles Sitzen) bis zu 10,1 bzw. 10,9 %g (Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität), einer Erhöhung um das 12- bzw. 13-Fache.

Der Tätigkeitsfaktor ist für alle untersuchten Parameter und Perzentile signifikant. Der Interaktionsfaktor „Arbeitsstation · Tätigkeit“ ist für das 95-Perzentil des LWS L5 und der Beine sowie für den PAI-Gesamt nicht signifikant.

Tabelle 7:

Mittelwerte der physischen Aktivität [%g] über zwölf Versuchspersonen: 50- und 95-Perzentile für Gesamtkörper, Kopf, BWS, LWS L1, LWS L5, Arme und Beine für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen; Abkürzungen siehe Tabelle 5

Perzentil	Arbeitsplatz		Arbeitsstation				Arbeitsstation	Sitzen versus					Stehen versus		Tätigkeit	A · T
	Konventionell sitzen	stehen	SE1	SE2	LB1	LB2		Stehen	SE1	SE2	LB1	LB2	LB1	LB2		
<b>PAI Gesamt in mg</b>																
50 (SD)	0,9 (0,6)	0,8 (0,3)	4,0 (1,2)	4,6 (0,8)	3,7 (1,3)	15,0 (2,8)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	0,003	0,002
95 (SD)	1,6 (1,2)	2,0 (1,4)	5,2 (2,0)	5,4 (1,0)	5,3 (1,8)	17,1 (2,9)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	0,002	0,056
<b>PAI Kopf in mg</b>																
50 (SD)	0,7 (0,5)	0,7 (0,7)	1,4 (0,5)	2,5 (1,5)	2,9 (1,5)	8,9 (2,0)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	< 0,001	< 0,001
95 (SD)	2,1 (1,9)	2,1 (1,7)	2,3 (0,9)	4,4 (3,0)	5,1 (3,2)	11,0 (2,6)	< 0,001				*	*	*	*	< 0,001	< 0,001
<b>PAI BWS in mg</b>																
50 (SD)	0,8 (0,1)	0,8 (0,1)	1,0 (0,2)	1,2 (0,2)	2,3 (0,8)	9,6 (2,1)	< 0,001			*	*	*	*	*	0,001	0,008
95 (SD)	1,1 (0,3)	1,5 (0,8)	1,5 (0,7)	1,7 (0,5)	3,5 (1,2)	11,5 (2,1)	< 0,001			*	*	*	*	*	0,001	0,022
<b>PAI LWS L1 in mg</b>																
50 (SD)	0,8 (0,1)	0,8 (0,1)	1,0 (0,1)	1,2 (0,3)	2,5 (0,8)	10,1 (2,2)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	0,002	0,008
95 (SD)	1,1 (0,3)	1,5 (0,8)	1,2 (0,2)	1,5 (0,5)	3,9 (1,2)	12,2 (2,2)	< 0,001				*	*	*	*	< 0,001	0,039
<b>PAI LWS L5 in mg</b>																
50 (SD)	0,8 (0,1)	0,8 (0,1)	1,3 (0,4)	1,8 (0,6)	2,8 (0,9)	10,9 (2,9)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	0,006	0,019
95 (SD)	1,0 (0,2)	1,6 (0,9)	2,0 (1,6)	2,4 (0,9)	4,3 (1,3)	13,0 (3,0)	< 0,001	*		*	*	*	*	*	0,011	0,218
<b>PAI Arme in mg</b>																
50 (SD)	0,6 (0,4)	0,7 (0,4)	1,3 (0,7)	1,8 (0,9)	2,9 (0,9)	9,1 (2,1)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	< 0,001	< 0,001
95 (SD)	2,1 (1,8)	2,8 (2,2)	2,7 (2,1)	3,5 (1,8)	4,8 (1,51)	11,2 (2,1)	< 0,001			*	*	*	*	*	0,020	0,010
<b>PAI Beine in mg</b>																
50 (SD)	1,1 (1,3)	0,9 (0,4)	8,1 (2,6)	8,9 (1,9)	5,2 (2,2)	22,5 (4,5)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	0,001	0,013
95 (SD)	2,0 (2,7)	2,2 (2,0)	9,7 (3,1)	10,5 (2,3)	7,5 (3,0)	25,8 (4,8)	< 0,001		*	*	*	*	*	*	0,001	0,181

### 3.5 Ergebnisse der Herzfrequenzmessung

Die Ergebnisse der Herzfrequenzmessung, die mittlere Herzfrequenz in Schläge pro Minute (bpm) und die mittlere individuelle Herzfrequenzreserve in Prozent sowie die zugehörige Statistik sind in Tabelle 8 dargelegt. Die mittlere Herzfrequenz und Herzfrequenzreserve (HRR) weisen für den Faktor Arbeitsstation hohe Signifikanzen auf. Alle dynamischen Arbeitsstationen zeigen im Vergleich zum konventionellen Sitzen für die mittlere Herzfrequenz ebenfalls signifikant erhöhte Werte und die mittlere

HRR ist für fast alle Arbeitsstationen (Ausnahme: Sitzergometerarbeitsplatz mit niedriger Intensität) signifikant erhöht.

Für die dynamischen Arbeitsstationen reichen die mittleren Herzfrequenzen bzw. HRR von 81,4 bpm bzw. 14,3 % (Laufbandarbeitsplatz mit niedriger Intensität) bis 96,6 bpm bzw. 27,5 % (Sitzergometerarbeitsplatz mit hoher Intensität).

Der Faktor Tätigkeit ist weder für die mittlere Herzfrequenz noch für die mittlere HRR signifikant und der Interaktionsfaktor (Arbeitsstation · Tätigkeit) ist nur für die mittlere Herzfrequenz signifikant.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 8:

Mittelwerte über zwölf Versuchspersonen der mittleren Herzfrequenz (HF) und Herzfrequenzreserve (HRR) für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen; Abkürzungen siehe Tabelle 5

	Arbeitsplatz						Arbeitsstation	Sitzen versus				Stehen versus		Tätigkeit	A · T	
	Konventionell		SE1	SE2	LB1	LB2		Stehen	SE1	SE2	LB1	LB2	LB1			LB2
	Sitzen	Stehen														
Mittlere HF in bpm (SD)	74,8 (7,0)	79,8 (6,9)	86,8 (13,3)	96,6 (12,6)	81,4 (10,7)	91,4 (12,2)	< 0,001	*	*	*	*		*	0,071	<b>0,048</b>	
Mittlere HRR in % (SD)	9,4 (5,5)	14,2 (5,7)	20,0 (10,0)	27,5 (7,7)	14,3 (5,6)	23,6 (8,3)	< 0,001		*	*	*			0,086	0,055	

### 3.6 Ergebnisse des Energieumsatzes

In Tabelle 9 befinden sich die Signifikanztests für die Energieumsatzberechnung aus Abbildung 15. Der Faktor Arbeitsstation ist für den Mittelwert des Energieumsatzes signifikant.

Die Berechnung des Energieumsatzes in MET ergab für alle dynamischen Arbeitsstationen signifikant erhöhte mittlere Energieumsätze > 2 MET mit Ausnahme vom Laufbandarbeitsplatz mit

niedriger Intensität (1,8 MET). Hierbei liegt für das Sitzergometer mit hoher Intensität der höchste Energieumsatz mit 3,1 MET vor, mehr als das Doppelte im Vergleich zum konventionellen Sitzen (1,5 MET).

Der Faktor Tätigkeit ist für den mittleren Energieumsatz signifikant, wohingegen der Interaktionsfaktor „Arbeitsstation · Tätigkeit“ nicht signifikant ist.

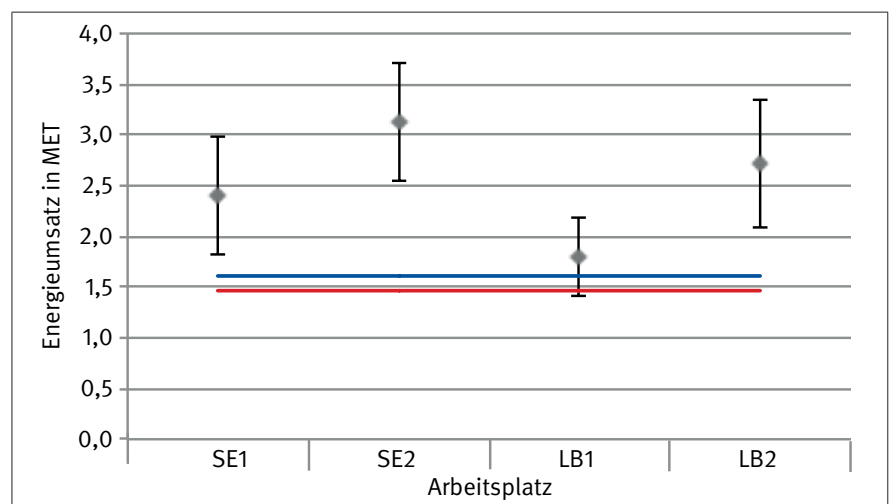
Tabelle 9:

Signifikanzen für den mittleren Energieumsatz (EU) für die Ergebnisse aus Abbildung 15, Abkürzungen siehe Tabelle 5

	Arbeitsstation	Sitzen versus				Stehen versus		Tätigkeit	A · T
		SE1	SE2	LB1	LB2	LB1	LB2		
EU in MET	< 0,001	*	*		*		*	<b>0,024</b>	0,073

Abbildung 15:

Mittelwerte über zwölf Versuchspersonen der Energieumsätze für die dynamischen Arbeitsstationen sowie Referenzwerte für konventionelles Sitzen (rote Linie) und konventionelles Stehen (blaue Linie); Abkürzungen siehe Tabelle 5



### 3.7 Ergebnisse der Arbeitsleistung

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung (Tabelle 10) zeigen für alle überprüften Parameter der textverarbeitenden Tätigkeiten (Abtipptätigkeit, Lesetätigkeit und Telefonat) keine Signifikanz für den Faktor Arbeitsstation. Des Weiteren ergaben die paarweisen Vergleiche des konventionellen Sitzarbeitsplatzes

mit dem konventionellen Steharbeitsplatz und den vier dynamischen Arbeitsstationen sowie der Vergleich des konventionellen Steharbeitsplatzes mit beiden Intensitäten des Laufbandarbeitsplatzes keine signifikanten Unterschiede.

Mit einigen Ausnahmen liegen die Ergebnisse der Arbeitsstationen für einzelne Parameter der drei Tätigkeiten auf einem



vergleichbaren Niveau. Ebenso liegen die teils hohen Standardabweichungen für die Tätigkeiten in einem ähnlichen Rahmen.

Für die Arbeitsleistung der beiden Mausnutzungstätigkeiten Random Circles und Multi Direction sind in Tabelle 11 die Reaktionszeit und der Score sowie die statistischen Ergebnisse aufgeführt. Hierbei weist der Faktor Arbeitsstation für alle untersuchten Parameter Signifikanzen auf. Für die Tätigkeit Random Circles ist der Score des Laufbandarbeitsplatzes mit hoher Intensität signifikant schlechter als der des konventionellen Sitzarbeitsplatzes. Auch für die Tätigkeit Multi Direction sind Score und Reaktionszeit des Laufbandarbeitsplatzes mit hoher Intensität signifikant schlechter als die des konventionellen Sitzarbeitsplatzes. Zudem zeigen sich für Reaktionszeit und Score des Laufbandarbeitsplatzes mit hoher Intensität sowie für

den Score des Laufbandarbeitsplatzes mit niedriger Intensität im Vergleich zum konventionellen Steharbeitsplatz signifikant schlechtere Ergebnisse.

Für die untersuchten Parameter der beiden Mausbenutzungsaufgaben erzielten die Versuchspersonen die jeweils schlechtesten Arbeitsleistungen am Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität.

Die Reaktionszeiten, die prozentualen Anteile der korrekten Antworten der kognitiven Tätigkeiten (Go/No-Go, Fast counting, Eriksen Flanker und Working Memory) sowie die Ergebnisse der statistischen Untersuchung sind in Tabelle 12 aufgeführt. Keine der kognitiven Tätigkeiten zeigt für den Faktor Arbeitsstation Signifikanz.

Tabelle 10:

Gemittelte Arbeitsleistung über zwölf Versuchspersonen der textverarbeitenden Tätigkeit: Anzahl der Zeichen/Wörter, der Fehler und den prozentualen Fehleranteil für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen sowie statistische Ergebnisse für die Arbeitsstation und der post-hoc-Vergleich mit \* für signifikante Effekte; Abkürzungen siehe Tabelle 5

Tätigkeit	Bewertungskriterium	Arbeitsplatz						Arbeitsstation	Sitzen versus					Stehen versus	
		Konventionell		SE1	SE2	LB1	LB2		Stehen	SE1	SE2	LB1	LB2	LB1	LB2
		Sitzen	Stehen												
Abtipp-tätigkeiten	Anzahl der Zeichen (SD)	884,4 (313,8)	908,2 (302,8)	839,2 (241,5)	885,7 (325,4)	855,7 (246,9)	815,8 (214,4)	0,210							
	Anzahl der Fehler (SD)	12,2 (10,8)	10,8 (8,7)	16,8 (18,0)	17,9 (13,4)	17,1 (24,3)	18,8 (20,8)	0,377							
Lese-tätigkeiten	Anzahl der Zeichen (SD)	6 628,6 (3 297,9)	6 808,3 (3 372,1)	6 902,8 (3 286,6)	6 849,6 (3 295,8)	6 556,3 (3 303,7)	7 070,0 (3 612,4)	0,676							
	Anzahl der Fehler (SD)	8,3 (4,4)	8,2 (3,4)	9,3 (4,0)	8,3 (2,8)	6,9 (3,3)	8,1 (2,4)	0,211							
Telefonat	Anzahl der Wörter (SD)	450,1 (47,3)	461,7 (38,1)	451,8 (46,2)	453,7 (45,0)	456,5 (32,8)	456,2 (40,6)	0,922							
	Anzahl der Fehler (SD)	27,7 (21,7)	28,8 (25,1)	29,5 (21,6)	27,0 (14,1)	28,2 (20,5)	28,9 (25,9)	0,963							

Tabelle 11:

Gemittelte Arbeitsleistung über zwölf Versuchspersonen der Mausbenutzungstätigkeit: Reaktionszeit und Score für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen sowie statistische Ergebnisse für die Arbeitsstation und post-hoc-Vergleich mit \* für signifikante Effekte; Abkürzungen siehe Tabelle 5

Tätigkeit	Bewertungskriterium	Arbeitsplatz						Arbeitsstation	Sitzen versus					Stehen versus	
		Konventionell		SE1	SE2	LB1	LB2		Stehen	SE1	SE2	LB1	LB2	LB1	LB2
		Sitzen	Stehen												
Random Circles	Reaktionszeit in ms (SD)	610,5 (101,9)	643,6 (112,4)	652,2 (110,8)	655,4 (103,6)	662,0 (105,2)	697,8 (114,4)	<b>0,027</b>							
	Score (SD)	1 162,9 (67,6)	1 147,3 (76,3)	1 140,3 (87,3)	1 119,4 (64,3)	1 109,0 (79,4)	1 074,7 (70,9)	<b>0,001</b>					*		
Multi Direction	Reaktionszeit in ms (SD)	696,0 (114,9)	706,1 (114,4)	715,9 (139,9)	726,7 (116,9)	748,8 (125,7)	804,7 (113,9)	<b>0,001</b>					*		*
	Score (SD)	1 240,6 (158,3)	1 243,8 (75,0)	1 181,5 (72,8)	1 175,5 (98,4)	1 165,4 (94,6)	1 034,3 (88,9)	<b>&lt; 0,001</b>					*	*	*

### 3 Ergebnisse

Tabelle 12:

Gemittelte Arbeitsleistung über zwölf Versuchspersonen der Mausbenutzungstätigkeit: Reaktionszeit und prozentualer Anteil der korrekten Antworten für die konventionellen und dynamischen Arbeitsstationen sowie statistische Ergebnisse für die Arbeitsstation und post-hoc-Vergleich mit \* für signifikante Effekte; Abkürzungen siehe Tabelle 5

Tätigkeit	Bewertungs-kriterium	Arbeitsplatz						Arbeits-station	Sitzen versus					Stehen versus		
		Konventionell		SE1	SE2	LB1	LB2		Stehen	SE1	SE2	LB1	LB2	LB1	LB2	
		Sitzen	Stehen													
Go/No-Go	Reaktionszeit in ms (SD)	394,3 (57,6)	383,3 (82,6)	405,2 (48,4)	399,8 (58,5)	419,0 (59,8)	404,7 (41,8)	0,372								
	Korrekte Antworten in % (SD)	94,6 (5,6)	95,1 (5,9)	98,5 (3,0)	94,8 (3,2)	96,1 (4,9)	96,9 (3,1)	0,195								
Fast counting	Reaktionszeit in ms (SD)	997,6 (87,2)	978,2 (130,1)	959,8 (138,5)	929,8 (100,4)	983,2 (88,0)	939,0 (105,1)	0,152								
	Korrekte Antworten in % (SD)	80,5 (8,6)	80,0 (12,0)	82,1 (10,2)	82,5 (9,1)	80,3 (12,2)	84,6 (9,1)	0,497								
Eriksen Flanker	<b>Reaktionszeit in ms</b>															
	kongruent (SD)	494,6 (81,6)	470,9 (83,5)	497,0 (100,8)	472,3 (74,5)	487,4 (67,7)	474,6 (82,3)	0,488								
	inkongruent (SD)	545,4 (90,6)	516,0 (87,8)	555,3 (142,9)	514,5 (65,9)	520,7 (61,1)	523,4 (96,9)	0,324								
	Korrekte Antworten in % (SD)	99,2 (1,9)	97,9 (2,6)	98,3 (2,5)	98,3 (2,5)	98,8 (2,3)	98,3 (2,5)	0,657								
Working Memory	Reaktionszeit in ms (SD)	688,7 (112,3)	682,0 (136,8)	721,3 (106,8)	681,3 (114,7)	709,7 (113,4)	695,0 (136,3)	0,703								
	Korrekte Antworten in % (SD)	76,7 (11,7)	79,8 (17,2)	74,9 (8,5)	83,1 (10,0)	84,8 (9,9)	76,6 (11,6)	0,141								

## 3.8 Ergebnisse der subjektiven Beurteilungen

### 3.8.1 Subjektive Beurteilung der Müdigkeit und Anstrengung

Abbildung 16 zeigt die Ergebnisse der subjektiven Beurteilung der Versuchspersonen zu ihrer empfundenen physischen und mentalen Müdigkeit, die sie auf einer Sieben-Punkte-Skala einschätzen sollten. Dargestellt sind die Differenzen der Punktmittelwerte der zwölf Personen zwischen den Beurteilungen vor und nach der Arbeit an den einzelnen Arbeitsstationen. Im Vergleich von konventionellem Sitzarbeitsplatz mit den dynamischen Arbeitsstationen lassen sich mit Ausnahme des Laufbandarbeitsplatzes mit hoher Intensität nur sehr geringe Unterschiede

in den Angaben feststellen. Nur am konventionellen Steharbeitsplatz empfinden die Versuchspersonen nach der Messung eine geringere körperliche und geistige Müdigkeit als vorher.

Anhand einer 15-Punkte-Skala sollten die Versuchspersonen die Anstrengung, die sie während der Benutzung der Arbeitsstationen empfanden, einschätzen. (Wie anstrengend war die Benutzung der Arbeitsstation? Versuchen Sie, sich während der Bewertung ausschließlich auf die Anstrengung und das Level der Anstrengung zu konzentrieren.) Durch eine Umrechnung der subjektiv eingeschätzten Anstrengung in eine korrespondierende Herzfrequenz nach [49] kann diese subjektive Abschätzung mit der erfassten Herzfrequenz der Versuchspersonen verglichen werden.

Abbildung 16: Differenz der Mittelwerte über alle zwölf Versuchspersonen der Angaben zur subjektiv empfundenen körperlichen (blau) und geistigen Müdigkeit (rot) vor und nach der Bearbeitung der Arbeitsstation (nachher-vorher) für alle Arbeitsstationen

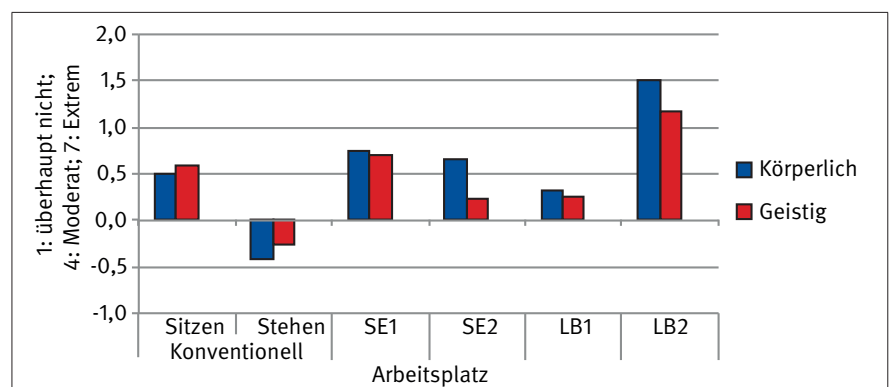


Abbildung 17 zeigt den Vergleich der Mittelwerte über zwölf Versuchspersonen der gemessenen Herzfrequenz und der subjektiven Beurteilung der Anstrengung. Der Unterschied zwischen subjektiv beurteilter und objektiv gemessener Anstrengung fällt für die beiden konventionellen Arbeitsstationen sehr gering aus.

Für die dynamischen Arbeitsstationen scheint eine subjektive Überschätzung der Anstrengung vorzuliegen, die für den Sitzergometerarbeitsplatz sowie die höheren Intensitäten zuzunehmen scheint.

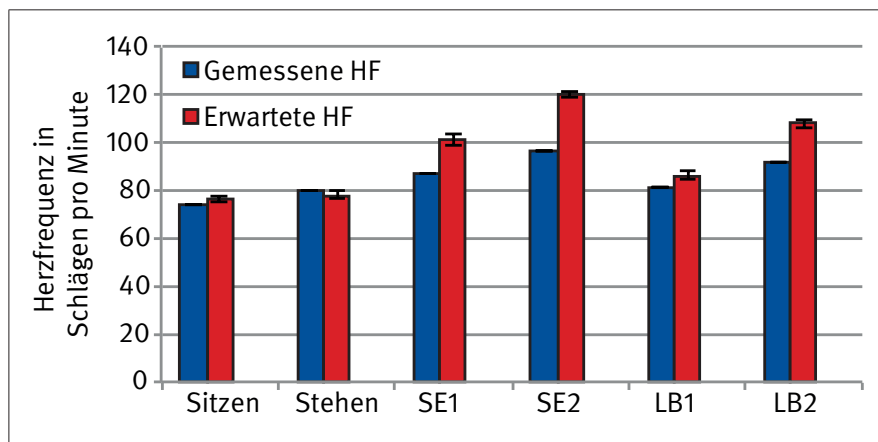


Abbildung 17: Vergleich der subjektiven Beurteilung der Anstrengung mit den gemessenen Daten der Herzfrequenz (HF), gemittelt über alle Versuchspersonen und Tätigkeiten

### 3.8.2 Subjektive Beurteilung des Komforts und Diskomforts

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse zur Aussage „Während der Benutzung der Arbeitsstation fühlte ich mich entspannter“ dargestellt. Die beste Bewertung liegt für das konventionelle Stehen vor und die schlechteste für den Sitzergometerarbeitsplatz mit niedriger Intensität. Auf dem Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität fühlten sich die meisten Personen nicht entspannt.

Abbildung 19 zeigt die Beurteilungen der Versuchspersonen zur Frage, wie bequem sie die Station empfunden haben. Hierbei liegt die beste Beurteilung für das Sitzen und die schlechteste für den Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität vor. Für den konventionellen Steharbeitsplatz und den Sitzergometerarbeitsplatz mit niedriger Intensität liegen ähnliche Bewertungen vor.

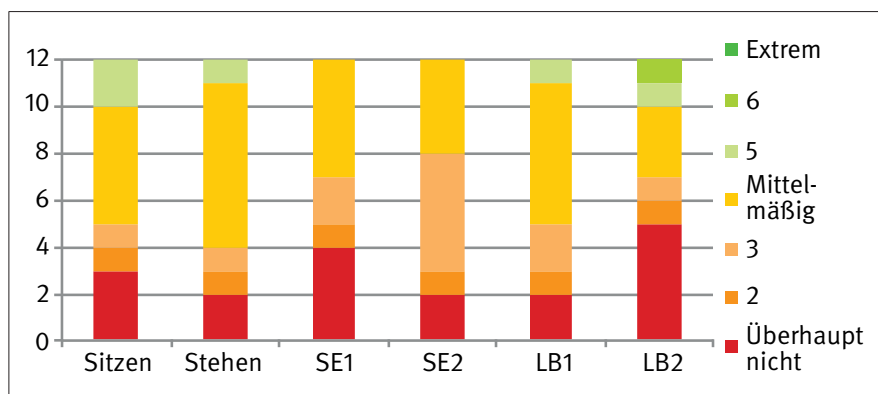


Abbildung 18: Subjektive Beurteilung der Aussage „Während der Benutzung der Arbeitsstation fühlte ich mich entspannter“ für alle Arbeitsstationen

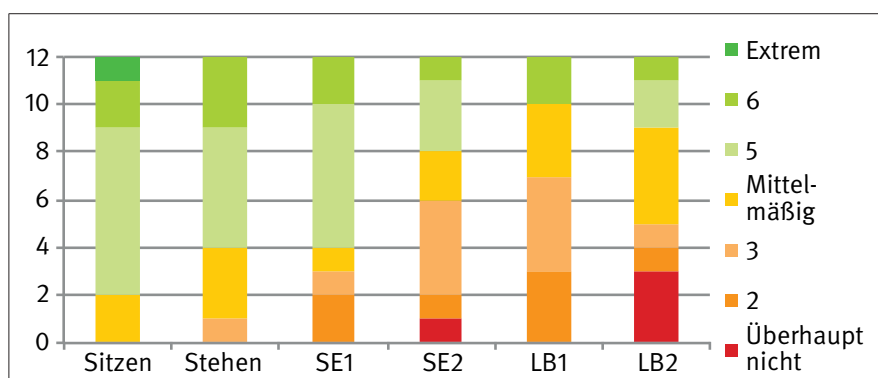


Abbildung 19: Subjektive Beurteilung der Aussage „Während der Benutzung der Arbeitsstation habe ich diese Station als bequem empfunden“

**3.8.3 Subjektive Beurteilung der Körperhaltung und Gesundheit**

Abbildung 20 zeigt die subjektive Beurteilung der Versuchspersonen zur Aussage „Ich denke, dass diese Arbeitsstation meine Körperhaltung verbessert“. Die beste Beurteilung liegt für das konventionelle Stehen und die schlechteste für den Sitzergometerarbeitsplatz mit hoher Intensität vor, wobei der konventionelle Sitzarbeitsplatz die zweitschlechteste Beurteilung erhielt.

Abbildung 20: Subjektive Beurteilung der Aussage „Ich denke, dass diese Arbeitsstation meine Körperhaltung verbessert“

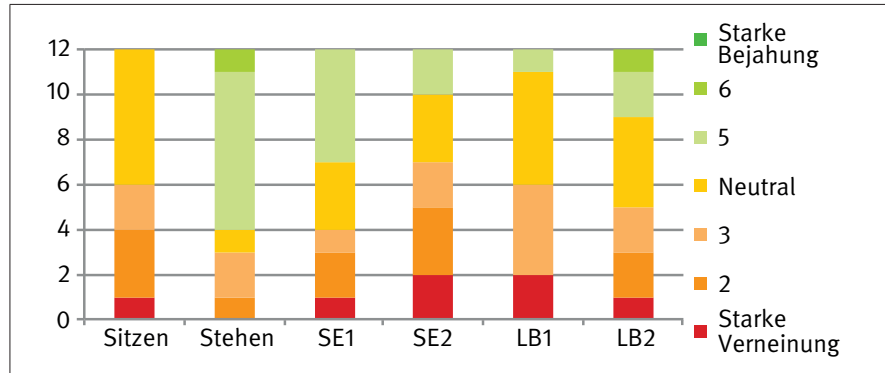
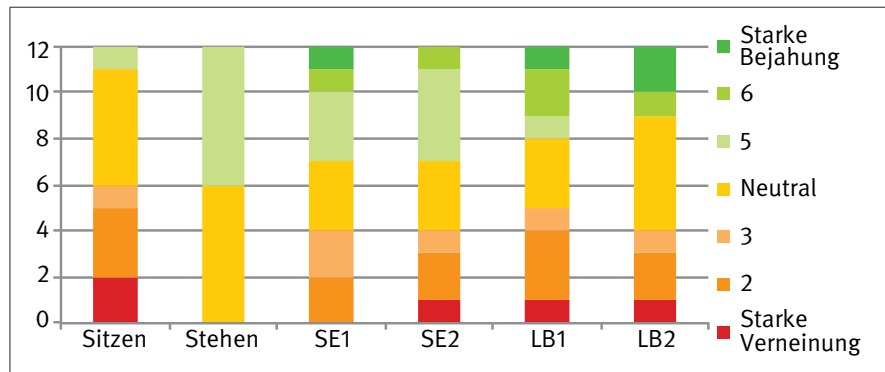


Abbildung 21: Subjektive Beurteilung der Aussage „Ich glaube meine Gesundheit würde sich verbessern, wenn mir diese Arbeitsstation zur Verfügung stünde“



**3.8.4 Subjektive Beurteilung der Arbeitsleistung**

Die Versuchspersonen sollten ihre Arbeitsleistung für die Lesetätigkeit, die Abtipptätigkeit und die Mauseinsatz nach Geschwindigkeit und Genauigkeit sowie die Durchführbarkeit eines Telefonats beurteilen. Tabelle 13 zeigt den Vergleich der subjektiven Beurteilung mit den objektiven Ergebnissen der Arbeitsleistung. Hierbei wurde jeweils die sitzende Arbeitsstation als 100 % gesetzt. Je höher die Prozentzahl, desto besser ist das Ergebnis.

Die subjektive Beurteilung der Geschwindigkeit und Genauigkeit der vier Tätigkeiten fällt für die dynamischen Arbeitsstationen sowie für die höheren Intensitäten im Vergleich zu den konventionellen Arbeitsstationen schlecht aus, besonders für den Laufbandarbeitsplatz mit hoher Intensität. Lediglich die Genauigkeit der Lesetätigkeit schätzen die Versuchspersonen für alle dynamischen Arbeitsstationen besser ein als für den konventionellen Sitzarbeitsplatz.

**3.8.5 Subjektive Beurteilung der Alltagstauglichkeit und Benutzungsdauer**

Abbildung 22 zeigt die Verteilung der subjektiven Meinung der Versuchspersonen zu einer möglichen Integration der Arbeitsstation in ihre Arbeitsumgebung. Die beste Beurteilung liegt mit Abstand für den konventionellen Sitz- und Steharbeitsplatz vor, wobei das Stehen besser beurteilt wurde. Zwischen Sitzergometer- und Laufbandarbeitsplatz liegen nur geringe Differenzen vor.

Die Versuchspersonen wurden befragt, wie oft pro Woche sie eine der Arbeitsstationen nutzen würden (Abbildung 23). Den konventionellen Sitzarbeitsplatz würde der überwiegende Teil der Befragten (neun Personen) jeden Tag nutzen. Jedoch vergaben sie die beste Beurteilung für den konventionellen Steharbeitsplatz, den bis auf eine Person alle zwei bis dreimal in der Woche oder jeden Tag nutzen würden. Im Vergleich der dynamischen Arbeitsstationen untereinander würde am häufigsten der Sitzergometerarbeitsplatz mit niedriger Intensität genutzt werden.

Tabelle 13:

Relative Arbeitsleistung bezogen auf das konventionelle Sitzen im Vergleich für die objektive und subjektive eingeschätzte Arbeitsleistung für die Mausbenutzungsaufgabe, die Abtipp-, Lese- und Teleföntätigkeit, gemittelt über alle zwölf Versuchspersonen für alle Arbeitsstationen; Abkürzungen siehe Tabelle 5

Tätigkeit	Beurteilungskriterium in %		Arbeitsplatz					
			Konventionell		SE1	SE2	LB1	LB2
			Sitzen	Stehen				
Abtippfähigkeit	Geschwindigkeit	Objektiv	100,0	102,7	94,9	100,1	96,7	92,2
		Subjektiv	100,0	95,1	81,6	73,8	73,8	54,4
	Genauigkeit	Objektiv	100,0	111,0	62,3	52,7	59,6	45,9
		Subjektiv	100,0	79,9	85,4	81,3	81,3	47,9
Lesefähigkeit	Geschwindigkeit	Objektiv	100,0	102,7	104,1	103,3	98,9	106,7
		Subjektiv	100,0	104,3	97,8	95,7	93,5	84,8
	Genauigkeit	Objektiv	100,0	98,8	99,2	100,1	83,6	96,3
		Subjektiv	100,0	98,0	100,0	102,0	104,0	110,0
Mausbenutzungsaufgabe	Geschwindigkeit	Objektiv	100,0	96,7	95,3	94,2	92,0	85,0
		Subjektiv	100,0	104,1	95,9	89,8	95,9	72,4
	Genauigkeit	Objektiv	100,0	99,5	96,6	95,5	94,6	87,7
		Subjektiv	100,0	95,9	89,8	77,6	79,6	49,0
Telefonfähigkeit	Genauigkeit	Objektiv	100,0	101,7	96,6	87,9	100,0	94,8
		Subjektiv	100,0	92,6	79,0	65,4	86,4	71,6

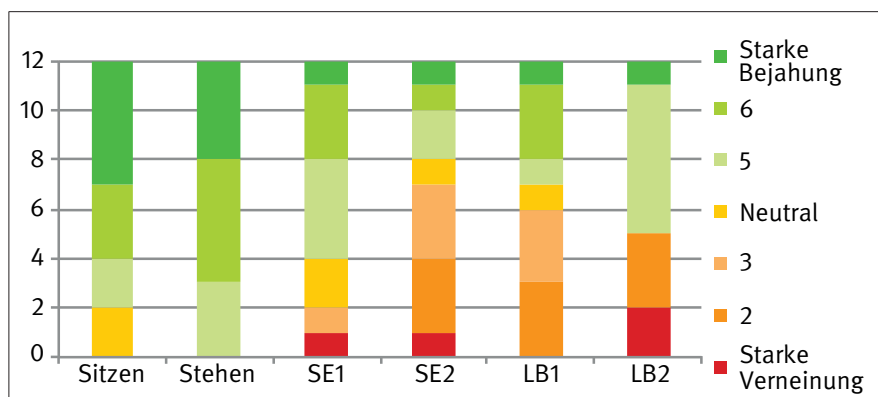


Abbildung 22: Subjektive Beurteilung der Aussage „Die Arbeitsstation wäre eine Möglichkeit für meinen Arbeitsplatz“

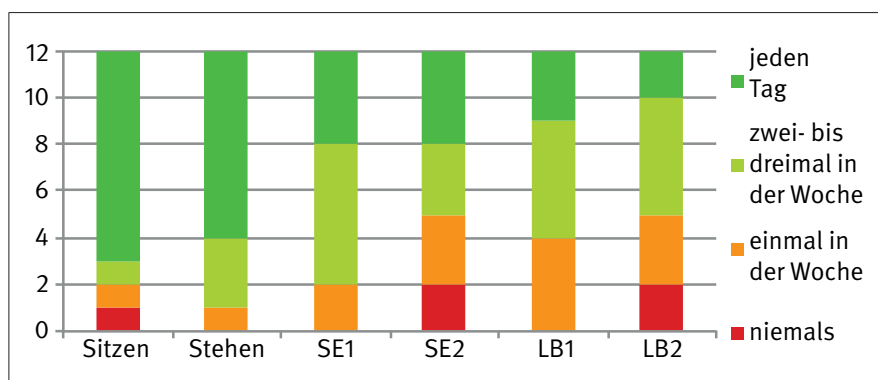


Abbildung 23: Subjektive Beurteilung der Aussage „Wenn ich Zugang zu dieser Arbeitsstation an meinem Arbeitsplatz hätte, würde ich sie ... benutzen“

Als Gründe gegen eine Integration der dynamischen Arbeitsstationen wurden vor allem der erhöhte Platzbedarf und die teils zu hohe Anstrengung für das gleichzeitige Ausführen von Büroarbeit genannt. Ebenso wurden die Akzeptanz durch Kolleginnen und Kollegen und die Anschaffung solcher Stationen durch den Arbeitgeber als kritisch angesehen. Als positiv empfanden die Versuchspersonen den bequemen Sitz des Sitzergometerarbeitsplatzes und die noch ähnliche Körperhaltung

zum konventionellen Sitzen in Kombination mit einer erhöhten physischen Aktivität. Ebenso bietet der Sitzergometerarbeitsplatz im Vergleich zum Laufbandarbeitsplatz mehr Ruhe und Balance im Körper, um Büroarbeiten besser ausführen zu können. Kritisiert wurde jedoch die unnatürliche Bewegung und die unzureichende Unterstützung des unteren Rückens während der Nutzung des Sitzergometers. Ebenso negativ wurden dessen geringe Einstellmöglichkeiten und den dadurch auf die Person

### 3 Ergebnisse

nicht optimal einstellbaren Arbeitsplatz angesehen. Die aufrechte Körperhaltung und die natürliche Bewegung am Laufbandarbeitsplatz empfanden die Versuchspersonen als positiv.

Jedoch erzeugte das Gehen eine zu große Unruhe im gesamten Körper, um die Büroarbeit noch ohne Einbußen in der Arbeitsleistung ausführen zu können.

## 4 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden zwei dynamische Arbeitsstationen für zwei verschiedene Intensitäten und fünf unterschiedliche Tätigkeiten evaluiert. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Arbeit an den dynamischen Arbeitsstationen die physische Aktivität, die Herzfrequenz und der Energieumsatz signifikant erhöht. Die muskuläre Aktivität der zwei untersuchten Rückenmuskeln blieb weitestgehend unbeeinflusst. Für die Körperhaltungen an den dynamischen Arbeitsstationen zeigten sich Ähnlichkeiten zur Körperhaltung an den konventionellen Gegenstücken. Bei der Befragung gaben die Versuchspersonen zu ihrer Arbeitsleistung beim Arbeiten an den dynamischen Arbeitsstationen an, dass sich diese verschlechtern würde. Die objektive Evaluation der Arbeitsleistung konnte diese subjektive Einschätzung nicht bestätigen: Nur für die Mausnutzung bei der höheren Intensität des Laufbandes lässt sich eine signifikant verringerte Geschwindigkeit um 16 % und eine signifikant verringerte Genauigkeit um 12 % nachweisen. Eine signifikant verbesserte Arbeitsleistung wurde jedoch für keinen der Arbeitsplätze im Vergleich zum konventionellen Sitzarbeitsplatz festgestellt. Im Allgemeinen stehen die Versuchspersonen den dynamischen Arbeitsstationen noch vorbehalten gegenüber, würden diese jedoch zum größten Teil mehrmals in der Woche benutzen, falls sie ihnen zur Verfügung stünden.

Im Vergleich zu den konventionellen Arbeitsplätzen führten nur die beiden Intensitäten des Laufbandarbeitsplatzes zu einer signifikanten Beeinflussung der muskulären Aktivität, wobei die Werte des *M. trapezius* über 5 %MVC lagen. Diese signifikant erhöhte muskuläre Aktivität ist nach [50] nicht charakteristisch für Computerarbeit. Ähnlich zu den Ergebnissen von [21; 51; 52] zeigte der *M. erector spinae* im Allgemeinen für sitzende Tätigkeiten relativ geringe Medianwerte. Alle signifikanten Unterschiede beider Muskeln liegen für den Laufbandarbeitsplatz vor. Die Dynamik des gesamten Körpers beim Gehen und die daraus resultierende Lageänderung des Schwerpunktes führen u. a. zur Instabilität der Versuchsperson und zu kleinen Bewegungen der oberen Extremitäten [35]. Um diese Instabilität und die Bewegung des Körpers für die teils genaue Hand-Arm-Koordination auszugleichen, scheint den Ergebnissen zufolge eine erhöhte muskuläre Aktivität notwendig zu sein.

Den vorliegenden Signifikanzen der Körperhaltungsanalyse nach zu urteilen, scheinen die dynamischen Arbeitsstationen ähnliche Körperhaltungen wie die jeweiligen konventionellen Gegenstücken hervorzurufen (konventionelles Sitzen und Sitzergometerarbeitsplatz, konventionelles Stehen und Laufbandarbeitsplatz). Die Ergebnisse der L5-Neigung für die sitzenden Stationen sind mit ungefähr  $-30^\circ$  vergleichbar mit den Ergebnissen von [21] und das Kippen des Beckens ist typisch für sitzende Haltungen, die auch in der IFA-Studie zu dynamischen Bürostühlen [13; 14] gemessen wurden (L5-Neigungswinkel zwischen  $-13$  und  $-20^\circ$ ).

Die geringen Unterschiede und die begrenzte Anzahl signifikanter Unterschiede in muskulärer Aktivität und Körperhaltung zeigen, dass Bürotätigkeiten an den dynamischen Arbeitsstationen

in ähnlichen Belastungs- und Beanspruchungsmustern ausgeführt werden können und diese daher prinzipiell auch bei ausdauernder Büroarbeit nicht zu einer Überforderung der beteiligten Muskelgruppen führen sollten.

Der Vergleich der PAI-Werte zeigt eine signifikante Erhöhung durch die dynamischen Arbeitsstationen im Vergleich zum konventionellen Sitzarbeitsplatz, wobei der PAI-Wert als ein solides Maß für die physische Aktivität angesehen werden kann [34]. Der Vergleich beider Intensitäten des Laufbandarbeitsplatzes führte zu deutlich erhöhten PAI-Werten. Für die beiden Intensitäten des Sitzergometerarbeitsplatzes wurden ähnliche Unterschiede erwartet, die sich in den Ergebnissen jedoch nicht zeigten. Die gleiche Anzahl an Umdrehungen pro Minute für beide Intensitäten des Sitzergometerarbeitsplatzes resultiert in vergleichbaren Beschleunigungswerten. Da die Berechnung der PAI-Werte auf den Beschleunigungssignalen der Sensoren beruht, kann der Unterschied der Intensitäten im Parameter PAI nicht genau abgebildet werden. Die geringen Differenzen, die sich dennoch in den Ergebnissen beider Intensitäten des Sitzergometerarbeitsplatzes zeigen, könnten auf den erhöhten Kraftaufwand, der für den höheren Widerstand benötigt wird, zurückgeführt werden. Trotz der unzureichenden Quantifizierung der physischen Aktivität ist eine signifikante Erhöhung der Werte im Vergleich zum konventionellen Sitzarbeitsplatz zu verzeichnen. In den Studien [13; 14] wurde keine signifikante Veränderung der PAI-Werte für den Vergleich von vier dynamischen Bürostühlen mit einem konventionellen Bürostuhl gefunden. Die dort untersuchten Bürostühle lagen in einer vergleichbaren Größenordnung, wohingegen die hier untersuchten dynamischen Arbeitsplätze im Vergleich zum Referenzarbeitsplatz (konventionelles Sitzen) eine signifikante Erhöhung mit teils zehnmal höheren PAI-Werten aufweisen.

Für die Ergebnisse der Herzfrequenz werden ähnliche Tendenzen für dynamische Büroarbeitsplätze in [1] berichtet. Auch wenn beide Studien nicht genau vergleichbar sind, stimmen die Aussagen, dass die dynamischen Arbeitsstationen die Herzfrequenz signifikant erhöhen, überein. Die hervorgerufene Herzfrequenzreserve (HRR) von unter 30 % kann als sehr geringe physische Aktivität eingestuft werden [3]. Da die dynamischen Arbeitsstationen für sehr geringe oder geringe Intensitäten vorgesehen sind sowie durch die ausgewählte Geschwindigkeit (Widerstand), waren diese Intensitäten zu erwarten. Dadurch, dass eine HRR von unter 30 % auf den dynamischen Arbeitsstationen erreicht wird, können die Richtlinien des American College of Sports Medicine (ACSM), die körperliche Aktivität von mindestens 30 Minuten im moderaten Intensitätsbereich von 40 bis 60 % HRR [38] vorsehen, nicht erreicht werden. Jedoch kann jede Art der physischen Aktivität zu einem gesundheitlichen Nutzen beitragen [5]. Physische Aktivität kann auch mit geringer Intensität einen kardiovaskulären Nutzen für gesunde Menschen und solche mit kardiovaskulären Problemen haben [53]. Der Nutzen von physischer Aktivität hängt nicht allein von deren Intensität ab, sondern auch vom Benutzer. So könnten beispielsweise dekontionierte Personen fitter werden und mehr



als andere von einem sehr geringen Intensitätslevel profitieren [5; 54]. Zudem sind die Arbeitsstationen für ein geringes Intensitätslevel an physischer Aktivität vorgesehen und es ist fraglich, ob Bürotätigkeiten bei einer moderaten Intensität weiterhin und ohne große Einbußen in der Arbeitsleistung ausgeführt werden könnten.

Sitzendes Verhalten wird mit einem ungefähren Energieverbrauch von 1 bis 1,5 MET beziffert [55]. Nach den Ergebnissen der Untersuchung kann der konventionelle Sitzarbeitsplatz hier eingestuft werden. Wie bereits in anderen Studien beschrieben [56], führte der konventionelle Steharbeitsplatz auch in der vorliegenden Untersuchung nicht zu einer signifikanten Erhöhung des Energieumsatzes. Die dynamischen Arbeitsstationen hingegen führen bis auf den Laufbandarbeitsplatz mit geringer Intensität zu einer signifikanten Erhöhung des Energieumsatzes verglichen mit dem konventionellen Sitzarbeitsplatz. Der Grundenergieumsatz umfasst alle Energieumsätze, ausgenommen den des Schlafens, Essens und der sportlichen Aktivität [57]. Da der größte Teil des Tages und die überwiegende Anzahl der Tage pro Woche auf der Arbeit verbracht wird, spielt die Arbeit eine entscheidende Rolle für den Grundenergieumsatz [24]. Hier könnten die dynamischen Arbeitsstationen einen ausschlaggebenden Beitrag leisten. Würden dynamische Büroarbeitsplätze in den Berufsalltag integriert, könnte diese leichte physische Aktivität zur Erhöhung des Grundenergieumsatzes beitragen. Bei gleichbleibender Energiebilanz kann ein zusätzlicher Energieverbrauch von 2 000 kcal pro Woche dazu beitragen, dass es bei den meisten Erwachsenen nicht zu einer ungesunden Gewichtszunahme kommt [58]. Um den Wert von 2 000 kcal zu erreichen, sollte eine 70 kg schwere Person den Laufbandarbeitsplatz mit geringer Intensität für 3,0 Stunden pro Tag oder den Sitzergometerarbeitsplatz mit hoher Intensität für 1,8 Stunden pro Tag verwenden. Nach den Empfehlungen von [38] sind  $\geq 500$  bis  $1\,000$  MET·min·Woche<sup>-1</sup> der Anteil an physischer Aktivität, der benötigt wird, um die Gesundheit und die körperliche Fitness zu verbessern [59]. Um die obere Grenze von  $1\,000$  MET·min·Woche<sup>-1</sup> zu erreichen, sind an fünf Arbeitstagen pro Woche  $200$  MET·min·Tag<sup>-1</sup> nötig. Dies bedeutet, dass der Laufbandarbeitsplatz mit niedriger Intensität für 1,9 Stunden pro Tag oder der Sitzergometerarbeitsplatz mit hoher Intensität für 1,1 Stunden pro Tag benutzt werden müsste.

Auch wenn die physische Aktivität nach den Ergebnissen der Herzfrequenz und des Energieumsatzes in ihrer Intensität gering erscheinen mag, gilt dennoch, dass jede Bewegung besser ist als keine [60]. Physische Aktivität mit einer geringen Intensität kann ebenso zu einem potenziellen gesundheitlichen Nutzen führen [24; 27; 61]. Hierbei ist dennoch zu erwähnen, dass jegliche Erhöhung der physischen Aktivität, sei es in der Dauer, der Häufigkeit oder der Intensität, zu einem größeren Nutzen für die Gesundheit führen kann [60]. Eine erhöhte physische Aktivität im Alltag könnte die Dosis-Wirkungs-Beziehung positiv beeinflussen und zu einem gesünderen Lebensstil führen.

Für eine mögliche Integration der dynamischen Arbeitsstationen in den Berufsalltag sollte auch die Arbeitsleistung betrachtet werden. Lediglich für die Mauseinsatzung war die Arbeitsleistung am Laufbandarbeitsplatz im Vergleich zu den konventionellen Arbeitsplätzen in der vorliegenden Untersuchung signifikant verringert. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen anderer

Studien zu dynamischen Büroarbeitsplätzen [30; 32; 62; 63]. Auch hier wird bei Tätigkeiten, die einer genauen Koordination der Hand bzw. Finger bedürfen, wie Tastatur- oder Mauseinsatzung, von einer erhöhten Fehlerrate sowie einer verringerten Arbeitsgeschwindigkeit berichtet. Bei Laufbandgeschwindigkeiten zwischen 1,3 und 3,2 km/h reduziert sich in den Studien die Mauseinsatzungsgeschwindigkeit um 6 bis 14 % und die Mauseinsatzungsgenauigkeit um 6 %. Diese reduzierte Arbeitsleistung könnte an der aus dem Gehen resultierenden erhöhten Bewegungen und Instabilität im gesamten Körper [35] liegen. Der natürliche Ausgleich dieser Bewegungen – normalerweise durch das Schwingen der Arme – wird durch die Büroarbeit gestört. Dies könnte zu einer ungewohnten Erhöhung der Oberkörperbewegung führen, die in einer Einschränkung der Feinmotorik resultieren würde [1]. Für eine parallel zu der vorliegenden Untersuchung durchgeführte Studie wurden für das Laufband mit hoher Intensität Einbußen in der Arbeitsleistung für die Geschwindigkeit (23 %) und die Genauigkeit (21 %) der Mauseinsatzung sowie für die Geschwindigkeit der Abtipptätigkeit (9 %) dokumentiert. In verschiedenen Studien zeigte sich analog zur vorliegenden Untersuchung kein signifikanter Einfluss auf die Arbeitsleistung einer Lesetätigkeit [62] sowie auf die Arbeitsleistung kognitiver Tätigkeiten [29; 30; 62; 63]. Der positive Effekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit, die physische Aktivität hervorrufen kann [33], konnte hier nicht bestätigt werden. Für den Sitzergometerarbeitsplatz wurden im Vergleich zu den konventionellen Arbeitsplätzen keine signifikanten Unterschiede in der Arbeitsleistung der Versuchspersonen gefunden. Der gleiche Sitzergometerarbeitsplatz wurde mit der hier verwendeten niedrigen Intensität in einer vergleichbaren Studie, bei der Tastatur- und Mauseinsatzung sowie kognitive Tätigkeiten im Vergleich zu einem konventionellen Sitzarbeitsplatz getestet wurden, untersucht. Hier zeigte sich im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung für die Mauseinsatzung eine signifikant verringerte Geschwindigkeit. Im Vergleich der beiden dynamischen Arbeitsstationen untereinander könnte für Tätigkeiten, die eine genaue Handkoordination bedürfen, wie z. B. die Mauseinsatzung, der Vorteil bei den sitzenden dynamischen Arbeitsstationen liegen. Der Oberkörper scheint auf sitzenden dynamischen Arbeitsstationen stabiler als auf den stehenden, wodurch die Einschränkung der Feinmotorik geringer ausfällt [1].

Die Versuchspersonen schätzen nur die Lesegenauigkeit für die dynamischen Arbeitsstationen besser ein als für den konventionellen Sitzarbeitsplatz, alle anderen Kriterien der Arbeitsleistung wurden für alle Tätigkeiten schlechter beurteilt. Von einer schlechten subjektiven Beurteilung der Arbeitsleistung wird ebenso in der Studie von [1] mit einem Laufband- und einem Ergometerarbeitsplatz berichtet. Auf einer Fünf-Punkte-Likert-Skala schätzten die Versuchspersonen für Mauseinsatzung die Geschwindigkeit um 13 bis 26 % und die Genauigkeit um 13 bis 28 % schlechter ein. Die in der vorliegenden Untersuchung anhand einer Sieben-Punkte-Likert-Skala eingeschätzte Arbeitsleistung für Mauseinsatzung liegt für die Geschwindigkeit bei 4 bis 46 % und für die Genauigkeit bei 10 bis 52 %. Die schlechte Beurteilung der Arbeitsleistung könnte trotz der Eingewöhnungsphase auf die noch ungewohnte Kombination aus Büroarbeit und physischer Aktivität zurückzuführen sein [1]. Das negative Gefühl der Versuchspersonen zu ihrer Arbeitsleistung könnte sich eventuell nach einer längeren Eingewöhnungsphase legen, da die Ergebnisse der objektiv



gemessenen Arbeitsleistung dieses Gefühl nicht bestätigen. Die Ergebnisse der subjektiven Meinung zur Körperhaltung und gesundheitlichen Auswirkung der Arbeitsstationen zeigen auch hier Vorbehalte der Versuchspersonen gegenüber den dynamischen Arbeitsstationen. Sie scheinen in deren Augen keinen großen potenziellen Nutzen zu haben. Dies könnte eventuell an der ungewohnten Kombination aus Büroarbeit und physischer Aktivität, den nicht vollständig auf die Versuchspersonen einstellbaren Arbeitsstationen, zu hohen Geschwindigkeiten oder auch an der generellen Abneigung gegen dynamische Büroarbeitsplätze liegen. Eine Integration der dynamischen Arbeitsstationen (Sitzergometer mit niedriger Intensität und das Laufband mit hoher Intensität) in ihren Berufsalltag können sich mehr als die Hälfte der Versuchspersonen vorstellen. Mehr als die Hälfte

würde diese auch jeden Tag oder zwei- bis dreimal in der Woche nutzen. Für die Studie [1] liegen ähnlich positive Ergebnisse vor, bei der die Hälfte oder mehr der Versuchspersonen einen Laufband- und Ergometerarbeitsplatz nutzen würden.

Weitere Untersuchungen mit längerer Dauer sowie im Feld sind nötig, um den Effekt dynamischer Arbeitsstationen auf die Arbeitsleistung weiter quantifizieren zu können. Die Limitationen dieser Studie liegen in der Laborumgebung, die nicht einer realen Arbeitsumgebung entspricht, der limitierten Anzahl an Versuchspersonen und der beschränkten zeitlichen Dauer, die die Personen auf den einzelnen Stationen und mit den untersuchten Tätigkeiten verbrachten.



## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die dynamischen Arbeitsstationen führen verglichen mit ihren jeweiligen konventionellen Gegenstücken zu keinem signifikanten Unterschied in der Körperhaltung. Die muskuläre Aktivität der Versuchspersonen zeigt für die dynamischen Arbeitsstationen im Vergleich zum konventionellen Sitzarbeitsplatz nur wenige signifikante Unterschiede. Jedoch führten die dynamischen Arbeitsplätze zu einer signifikanten Erhöhung der physischen Aktivität, der Herzfrequenz und des Energieumsatzes. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die geringen Änderungen in Körperhaltung und muskulärer Aktivität als positiv angesehen werden können und die dynamischen Arbeitsstationen nachweislich zu einer Erhöhung der physischen Aktivität führen, die in einem gesundheitlichen Nutzen resultieren könnte. Wer die dynamischen Arbeitsstationen nutzt, könnte durch den Zugewinn an physischer Aktivität im Büroalltag profitieren. Für die Arbeitgeber könnten dynamische Arbeitsstationen einen Beitrag zur Gesundheitsförderung ihrer Beschäftigten sein. Für die Arbeitsleistung an den dynamischen Arbeitsstationen wurde für vier von fünf getesteten Tätigkeiten verglichen mit dem konventionellen Sitzarbeitsplatz ein ähnliches Ergebnis gemessen. Im Gegensatz hierzu steht die subjektive Einschätzung der Versuchspersonen, die ihre Arbeitsleistung schlechter einschätzten als diese für die dynamischen Arbeitsstationen tatsächlich war. Die Versuchspersonen scheinen die negativen Auswirkungen eines konventionellen Sitzarbeitsplatzes auf Körperhaltung und Gesundheit zu kennen, jedoch äußerten sie Vorbehalte bzgl. der Nutzung von dynamischen Arbeitsstationen. Drei von zwölf Versuchspersonen würden dennoch eine der dynamischen Arbeitsstationen gerne in ihrem Büroalltag nutzen.

Um den gesundheitlichen Nutzen und die Einsatzdauer der dynamischen Arbeitsstationen quantifizieren sowie besonders geeignete Tätigkeiten für jede dynamische Arbeitsstation identifizieren zu können, sind weitere Untersuchungen und vor allem langandauernde und umfassende Feldstudien nötig. Ebenso gilt es, die hier noch vorbehaltenen subjektive Einschätzung der Versuchspersonen gegenüber den dynamischen Arbeitsstationen weiter aufzuklären und Vorbehalte auszuräumen. Diese Laboruntersuchung kann dafür eine Grundlage bieten.

Derzeit ist jedoch fraglich, ob die „dynamischen“ Alternativen im Berufsalltag der Büroarbeitsplätze eine Rolle spielen werden. Die getesteten dynamischen Arbeitsplätze zeigten einige Defizite in der ergonomischen Gestaltung und bei der Sicherheit während der Nutzung. Die Arbeitsplätze werden jedoch stetig weiterentwickelt und neuere Versionen der dynamischen Arbeitsplätze sind bereits ergonomisch besser gestaltet und platzsparender nutzbar. Denkbar ist es, dass zukünftig eine Erhöhung der physischen Aktivität am Büroarbeitsplatz durch die ergänzende Nutzung dynamischer Arbeitsstationen, z. B. temporäre Nutzung oder optionale Leihgabe für mehrere Beschäftigte, erreicht werden könnte.



# Literatur

- [1] *Straker, L.; Mathiassen, S. E.*: Increased physical work loads in modern work – a necessity for better health and performance? *Ergonomics* 52 (2009) Nr. 10, S. 1215-1225
- [2] Auf und nieder – immer wieder. Mehr Gesundheit im Büro durch Sitz-Steh-Dynamik. 3. Aufl. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 2010
- [3] *Garber, C. E.; Blissmer, B.; Deschenes, M. R.; Franklin, B. A.; Lamonte, M. J.; Lee, I.-M.; Nieman, D. C.; Swain, D. P.*: Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43 (2011) Nr. 7, S. 1334-1359
- [4] *Thorp, A. A.; Healy, G. N.; Owen, N.; Salmon, J.; Ball, K.; Shaw, J. E.; Zimmet, P. Z.; Dunstan, D. W.*: Deleterious associations of sitting time and television viewing time with cardiometabolic risk biomarkers: Australian Diabetes, Obesity and Lifestyle (AusDiab) study 2004-2005. *Diabetes Care* 33 (2010) Nr. 2, S. 327-334
- [5] Physical Activity Guidelines for Americans. Hrsg.: U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia, USA 2008. <http://www.health.gov/paguidelines/guidelines> (Stand: 10.10.2012)
- [6] *Sjøgaard, G.; Jensen, B. R.*: Low-level static exertions. In: *Marras, W. S.* (Hrsg.): *Fundamentals and assessment tools for occupational ergonomics*. S. 14/1-14/13. Taylor & Francis, CRC Press, Boca Raton, USA 2006
- [7] *Ekblom-Bak, E.; Hellénius, M.-L.; Ekblom, B.*: Are we facing a new paradigm of inactivity physiology? *Brit. J. Sports Med.* Online. Februar 2010
- [8] *De Kraker, H.; Hendriksen, I. J. M.; Hildebrandt, V. H.; De Korte, E. M.; Van der Maas, E. M. M.*: The effect of a campaign to stimulate walking during lunch break on the physical activity behaviour of employees. *Sport en Geneeskunde* 38 (2005), S. 172-178
- [9] *Frew, D. R.; Bruning, N. S.*: Improved productivity and job satisfaction through employee exercise programs. *Hosp. Mater. Manag. Q.* 9 (1988), S. 62-69
- [10] *Samani, A.; Holtermann, A.; Søgaard, K.; Madeleine, P.*: Active pauses induce more variable electromyographic pattern of the trapezius muscle activity during computer work. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 19 (2009), S. 430-437
- [11] *Engbers, L. H.; Van Poppel, M. N. M.; Van Mechelen, W.*: Measuring stair use in two office buildings: A comparison between an objective and a self-reported method. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 17 (2007), S. 165-171
- [12] *Weber, B.; Mahlberg, R.; Ellegast, R. P.*: Methods to evaluate the effectiveness of physical activity promotion measures at sedentary workplaces. In: *PREMUS 2010: Seventh International Conference on Prevention of Work-related Musculoskeletal Disorders*. S. 405. Hrsg.: LEEST – Laboratoire d’Ergonomie et d’Epidémiologie en Sante au Travail, Angers, Frankreich, 2010
- [13] *Ellegast, R.; Kraft, K.; Groenesteijn, L.; Krause, F.; Berger, H.; Vink, P.*: Comparison of four specific dynamic office chairs with a conventional office chair: Impact upon muscle activation, physical activity and posture. *Appl. Ergon.* 43 (2012), S. 297-307
- [14] *Ellegast, R.; Keller, K.; Hamburger, R.*: Ergonomische Untersuchung besonderer Bürostühle. BGIA-Report 5/2008. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Sankt Augustin 2008
- [15] *Stranden, E.*: Dynamic leg volume changes when sitting in a locked and free floating tilt office chair. *Ergonomics* 43 (2000) Nr. 3, S. 421-433
- [16] *Robertson, M. M.; Ciriello, V. M.; Garabet, A. M.*: Office ergonomics training and a sit-stand workstation: Effects on musculoskeletal and visual symptoms and performance of office workers. *Appl. Ergon.* 44 (2013), S. 73-85
- [17] *Pronk, N. P.; Katz, A. S.; Lowry, M.; Payfer, J. R.*: Reducing occupational sitting time and improving worker health: The Take-a-Stand Project. *Prev. Chronic Dis.* (2012), 9:110323. DOI: 10.5888.pcd9.110323
- [18] *Starker, L.; Abbott, R. A.; Heiden, M.; Mathiassen, S. E.; Toomingas, A.*: Sit-stand desks in call centers: Associations of use and ergonomics awareness with sedentary behavior. *Appl. Ergon.* 44 (2013), S. 517-522
- [19] *O’Sullivan, P.; Dankaerts, W.; Burnett, A.; Straker, L.; Bargon, G.; Moloney, N.; Perry, M.; Tsang, S.*: Lumbopelvic kinematics and trunk muscle activity during sitting on stable and unstable surfaces. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 36 (2006), S. 19-25
- [20] *O’Sullivan, K.; O’Sullivan, P.; O’Keeffe, M.; O’Sullivan, L.; Dankaerts, W.*: The effect of dynamic sitting on trunk muscle activation: A systematic review. *Appl. Ergon.* 44 (2013), S. 628-635
- [21] *Wittig, T.*: Ergonomische Untersuchung alternativer Büro- und Bildschirmarbeitsplatzkonzepte. Schriftenreihe der

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin:  
Forschungsbericht, Fb 878. Wirtschaftsverlag NW Verlag  
für neue Wissenschaft, Bremerhaven 2000
- [22] *Van Dieën, J. H.; De Looze, M. P.; Hermans, V.*: Effects of dynamic office chairs on trunk kinematics, trunk extensor EMG and spinal shrinkage. *Ergonomics* 44 (2001) Nr. 7, S. 739-750
- [23] *Carr, L. J.; Walaska, K. A.; Marcus, B. H.*: Feasibility of a portable pedal exercise machine for reducing sedentary time in the workplace. *Brit. J. Sports Med.* 46 (2011), S. 430-435
- [24] *Levine, J. A.; Miller, J. M.*: The energy expenditure of using a "walk-and-work" desk for office workers with obesity. *Brit. J. Sports Med.* 41 (2007), S. 558-561
- [25] *Straker, L.; Levine, J.; Campbell, A.*: The effect of walking and cycling computer workstations on keyboard and mouse performance. *Hum. Factors* 51 (2009) Nr. 6, 831-845.
- [26] *Edelson, N.; Danoffz, J.*: Walking on an electric treadmill while performing VDT office work. *SIGCHI Bull.* 21 (1989) Nr. 1, S. 72-77
- [27] *Tompson, W. G.; Foster, R. C.; Eide, D. S.; Levine, J. A.*: Feasibility of a walking workstation to increase daily walking. *Brit. J. Sports Med.* 42 (2008) Nr. 3, S. 225-228
- [28] *John, D.; Bassett, D.; Thompson, D.; Fairbrother, J.; Baldwin, D.*: Effect of using a treadmill workstation on performance of simulated office work task. *J. Phys. Activ. Health* (2009), S. 617-624
- [29] *Cox, R. H.; Guth, J.; Siekemeyer, L.; Kellems, B.; Brehm, S. B.; Ohlinger, C. M.*: Metabolic cost and speech quality while using an active workstation. *J. Phys. Activ. Health* 8 (2011) Nr. 3, S. 332-339
- [30] *Ohlinger, C. M.; Horn, T. S.; Berg, W. P.; Cox, R. H.*: The effect of active workstation use on measures of cognition, attention, and motor skill. *J. Phys. Activ. Health* 8 (2011) Nr. 1, S. 119-125
- [31] *McAlpine, D. A.; Monohar, C. U.; McCrady, S. K.; Hensrud, D.; Levine, J. A.*: An office-place stepping device to promote workplace physical activity. *Brit. J. Sports Med.* 41 (2007) Nr. 12, S. 903-907
- [32] *Thompson, W. G.; Levine, J. A.*: Productivity of transcriptions using a treadmill desk. *Work* 40 (2011) Nr. 4, S. 473-477
- [33] *Tomporowski, P. D.*: Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychol.* (2003) Nr. 3, S. 297-324
- [34] *Weber, B.*: Entwicklung und Evaluation eines Bewegungsmesssystems zur Analyse der physischen Aktivität. IFA-Report 2/2011. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2011
- [35] *Winter, D. A.*: Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 3 (1995) Nr. 4, S. 193-214.
- [36] *Jensen, B. R.; Vasseljen, O.; Westgaard, R. H.*: The influence of electrode position on bipolar surface electromyogram recordings of the upper trapezius muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67 (1993), S. 266-273
- [37] *Hermens, H. J.; Freriks, B.*: The state of the art on sensors and sensor placement procedures for surface electromyography: A proposal for sensor placement procedures. Hrsg.: Roessingh Reserch and Development, Enschede, Niederlande, 1997
- [38] American College of Sports Medicine (Hrsg.): Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Lippincott, Williams & Wilkins, Baltimore, USA 2010
- [39] *Gellish, R. L.; Goslin, B. R.; Olson, R. E.; McDonald, A.; Russi, G. D.; Moudgil, V. K.*: Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39 (2007) Nr. 5, S. 822-829
- [40] *Strath, S. J.; Swartz, A. M.; Bassett, D. R.; O'Brien, W. L.; King, G. A.; Ainsworth, B. E.*: Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (2000) Nr. 9, S. 465-470
- [41] *Freedson, P. S.; Miller, K.*: Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Res. Q. Exerc. Sport* 71 (2000) Nr. 2, S. 21-29
- [42] *Kirschner, K.*: Evaluierung dynamischer Büroarbeitsplätze hinsichtlich des Energieumsatzes und vergleichende Energieumsatzberechnung von CUELA und MetaMax. Bachelorarbeit im Rahmen des Bachelorstudiengangs Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät, 2013
- [43] *Gu, L.; Harris, J. G.; Shrivatav, R.; Sapienza, C.*: Disordered speech assessment using automatic methods based on quantitative measures. *EURASIP J. Appl. Signal Process.* 9 (2005) 768125
- [44] *Fitts, P. M.*: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J. Exp. Psychol.* 47 (1954) Nr. 6, S. 381-391
- [45] *Nosek, B. A.; Banaji, M. R.*: The go/no-go association task. *Social Cognition* 19 (2001), S. 625-666
- [46] *Simon, T.; Cabrera, A.; Kliegl, R.*: A new approach to the study of subitizing as distinct enumeration processing. In: 15th Annual conference of the Cognitive Science Society. S. 929-934. Institute of Cognitive Science, University of Colorado-Boulder, Erlbaum, 1993

- [47] *Eriksen, B. A.; Eriksen, E. W.*: Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Percept. Psychophys.* 16 (1974) Nr. 1, S. 143-149
- [48] *Kirchner, W. K.*: Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *J. Exp. Psychol.* 55 (1958), S. 352-358
- [49] *Borg, G. A. V.*: Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14 (1982) Nr. 5, S. 377-381
- [50] *Won, E. J.; Johnson, P. W.; Punnett, L.; Dennerlein, J. T.*: Upper extremity biomechanics in computer tasks differ by gender. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 19 (2009) Nr. 3, S. 428-436
- [51] *Andersson, G. B. J.; Ortengren, R.; Nachemson, A.; Elfström, G.; Broman, H.*: The sitting posture: An electromyographic and discometric study. *Orthop. Clin. North Am.* 6 (1975), S. 105-120
- [52] *Andersson, G. B. J.; Ortengren, R.; Herberts, P.*: Quantitative electromyographic studies of back muscle activity related to posture and loading. *Orthop. Clin. North Am.* 8 (1977), S. 85-96
- [53] *Fletcher, G. F.; Balady, G.; Blair, S. N.; Blumenthal, J.; Caspersen, C.; Chaitman, B.; Epstein, S.; Sivarajan Froelicher, E. S.; Froelicher, V. F.; Pina, I. L.; Pollock, M. L.*: Statement on Exercise: Benefits and recommendations for physical activity programs for all americans – A statement for health professionals by the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation* 94 (1996), S. 857-862, doi: 10.1161/01.CIR.94.4.857.
- [54] *Haskell, W. L.; Lee, I. M.; Pate, R. R.; Powell, K. E.; Blair, S. N. et al.*: Physical Activity and Public Health: Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39 (2007) Nr. 8, S. 1423-1434
- [55] *Owen, N.; Healy, G. N.; Matthews, C. E.; Dunstan, D. W.*: Too much sitting: the population health science of sedentary behavior. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 38 (2010) Nr. 3, S. 105-113
- [56] *Ellegast, R.; Weber, B.; Mahlberg, R.*: Method inventory for assessment of physical activity at VDU workplaces. *Work* (2012) No. 41, S. 2355-2359
- [57] *Levine, J. A.*: Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.* 16 (2002) Nr. 4, S. 679-702
- [58] *Jakicic, J. M.; Clark, K.; Coleman, E.; Donnelly, J. E.; Foreyt, J.; Melanson, E.; Volek, J.; Volpe, S. L.*: American college of Sports Medicine position stand. Appropriate intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (2001) Nr. 12, S. 2145-2156
- [59] *Gaber, C. E.; Blissmer, B.; Deschenes, M. R.; Franklin, B. A.; Lamonte, M. J.; Lee, I.-M.; Nieman, D. C.; Swain, D. P.*: Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for Prescribing Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43 (2011), S. 1334-1359
- [60] *Banzer, W.; Füzéki, E.*: Körperliche Inaktivität, Alltagsaktivitäten und Gesundheit. In: *Gesundheit durch Bewegung fördern. Empfehlungen für Wissenschaft und Praxis. Liga. Fokus 12.* S. 13-17. Hrsg.: Landesinstitut für Gesundheit und Arbeit des Landes Nordrhein-Westfalen (LIGA.NRW), Düsseldorf 2011
- [61] *Murtagh, E. M.; Murphy, M. H.; Boone-Heinonen, J.*: Walking: the first steps in cardiovascular disease prevention. *Curr. Opin. Cardiol.* 25 (2010) Nr. 5, S. 490-496
- [62] *John, D.; Bassett, D.; Thompson, D.; Fairbrother, J.; Baldwin, D.*: Effect of using a treadmill workstation on performance of simulated office work task. *J. Phys. Act. Health* 6 (2009) Nr. 5, S. 617-624
- [63] *Carr, L. J.; Maeda, H.; Luther, B.; Rider, P.; Tucker, S. J.; Leonhard, C.*: Acceptability and effects of a seated active workstation during sedentary work: A proof of concept study. *Int. J. Workplace Health Manag.* 7 (2014) Nr. 1, S. 2-15





# Abkürzungsverzeichnis

A - T	Interaktionsfaktor „Arbeitsstation · Tätigkeit“
ACSM	American College of Sports Medicine
ALM	Allgemeines Lineares Modell
ANOVA	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
BMI	Body Mass Index
bpm	beats per minute (Schläge pro Minute)
BWS	Brustwirbelsäule
CUELA	Computerunterstützte Erfassung und Langzeitanalyse muskuloskelettaler Belastungen
EMG	Elektromyografie
HF	Herzfrequenz
HRR	Herzfrequenzreserve
L1	erster Lendenwirbel
L5	fünfter Lendenwirbel
L5/S1	lumbosakraler Übergang
LB1	Laufbandarbeitsplatz niedrige Intensität
LB2	Laufbandarbeitsplatz hohe Intensität
LPD	Local Perceived Discomfort (lokal empfundene Beschwerden)
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus (Muskel)
MET	metabolic equivalent of task (Metabolisches Äquivalent)
MOS	Mean Opinion Score (mittlere Beurteilungnote)
MVC	maximum voluntary contraction (maximale willkürliche Kontraktion)
PAI	Physical Activity Index (Index der physischen Aktivität)
RPM	revolutions per minute (Umdrehungen pro Minute)
SD	Standardabweichung
SE1	Sitzergometerarbeitsplatz niedrige Intensität
SE2	Sitzergometerarbeitsplatz hohe Intensität
SENIAM	Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles
Th3	dritter Thoraxwirbel
WIDAAN	WinkelDatenAnalyse



# Anhang



## A Informationen für Probanden

### Ergonomische Untersuchung von dynamischen Büroarbeitsplätzen

Vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben und uns in dieser Studie unterstützen. Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) führt in Zusammenarbeit mit der niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO – Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) eine Studie zur Evaluierung von dynamischen Büroarbeitsplätzen durch.

#### *Hintergrund*

Das häufige und dauerhafte Auftreten statischer Körperhaltungen an Sitzarbeitsplätzen kann zu starken Verspannungen der Muskulatur und zu Rückenschmerzen führen. Hersteller versprechen Abhilfe durch neuartige dynamische Büroarbeitsplätze, die durch leichte Bewegungen die statischen Körperhaltungen vermindern sollen. Zwei solcher „dynamischen“ Büroarbeitsplätze, zusammen mit einem konventionellen Sitzarbeitsplatz und einem konventionellen Steharbeitsplatz als Referenz, sollen nun im Rahmen dieser Studie auf ihre Wirkung überprüft werden.

#### *Inhalt der Studie*

Im Rahmen der Studie werden die Arbeitsplätze an einem nachgestellten Büroarbeitsplatz in Laborumgebung untersucht.

#### *Studienablauf*

- 12 Probanden (6 weibliche und 6 männliche) nehmen an dieser Studie teil.
- Die Körperhaltung, die Bewegung des Körpers, die Aktivität zweier Rückenmuskeln, die Herzfrequenz, der Energieverbrauch und physikalische Aktivitätsindex werden untersucht. Hierfür verwenden wir Sensoren, die über der Kleidung angebracht werden, Elektroden zur Erfassung der Muskelaktivität, die auf der Haut angebracht werden, und einen Herzfrequenzgurt auf der Haut.
- Es werden alltägliche Aufgaben, die an einem gewöhnlichen Büroarbeitsplatz bewältigt werden, nachgestellt, für jede Arbeitsstation ausgewertet und in Vergleich zum konventionellen Arbeitsplatz gesetzt.

Sollten Sie weitere Fragen haben, beantworten wir Ihnen diese gern sofort oder kontaktieren Sie uns.

Ansprechpartner im Institut:

Juliane Botter (Durchwahl: 2619)

Eva-Maria Burford (Durchwahl: 2812)

Dr. rer. nat. Rolf Ellegast (Durchwahl: 2605)

## B Fragebögen

Nachfolgend sind die Fragebögen eingefügt. Hierbei handelt es sich um persönliche Angaben und generelle Fragen. Der Abschnitt des Fragebogens zur Beurteilung der Arbeitssituation

ist nur teilweise abgedruckt. Der Teil für das konventionelle Sitzen ist komplett wiedergegeben. Für das konventionelle Stehen gab es eine zusätzliche Frage und für LB1, LB2, SE1 und SE2 sieben zusätzliche Fragen. Abschließend erfolgt ein Gesamturteil der Arbeitsstationen.

## Persönliche Angaben

Könnten Sie bitte folgende persönliche Angaben machen.

1. Größe (in cm)	..... cm
2. Gewicht (in kg)	..... kg
3. Alter	..... Jahre
4. Geschlecht	Weiblich / Männlich
5. Nationalität	
6. Wie oft trainieren sie pro Woche bei einer moderaten <sup>1</sup> Intensität? Wie lange ist die durchschnittliche Dauer?	..... pro Woche für ..... Minuten.
7. Wie oft trainieren sie pro Woche bei einer hohen <sup>2</sup> Intensität? Wie lange ist die durchschnittliche Dauer?	..... pro Woche für ..... Minuten.
8. Welche Art von Job haben Sie?	
9. Wie viele Stunden arbeiten Sie pro Woche?	
10. Wie viele Stunden sitzen Sie durchschnittlich an einem normalen Arbeitstag?	
11. Schreiben Sie mit Zehn-Finger-System?	Ja / Nein
12. Welche ist Ihre bevorzugte Hand?	Rechts / Links
13. Wie viele Finger benutzen Sie zum Tippen?	
14. Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Arbeitstag am Computer?	

<sup>1</sup> Moderate Intensität bezieht sich auf ein Bewegungslevel, bei dem die Herzfrequenz steigt, bis man zu schwitzen beginnt, und Sie sich fühlen, als würden Sie sich sportlich betätigen, aber Sie noch in der Lage sind, ein Gespräch zu führen.

<sup>2</sup> Wenn Sie sich bei einem hohen Intensitätslevel betätigen, sind Sie außer Atem und sind nur in der Lage, ein paar Wörter zu sprechen.

15. Was sind Ihre Haupttätigkeiten an einem normalen Arbeitstag?

Bitte schätzen Sie die durchschnittliche Dauer ein:

	<i>0-1 Stunden</i>	<i>1-2 Stunden</i>	<i>2-4 Stunden</i>	<i>4-8 Stunden</i>
a. Bildschirmarbeit	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
b. Lesen und Schreiben	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
c. Telefongespräche	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
d. Formelle Besprechungen	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
e. Informelle Gespräche	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
f. Andere Tätigkeiten. Bitte kurz nennen.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
.....				

### Generelle Fragen

1. Sind Sie jemals mit solch einer Arbeitsstation in Kontakt gekommen (ausgenommen dieser Studie)?

a. Falls ja, haben Sie jemals eine solche Arbeitsstation benutzt?

b. Falls ja, wie lange haben Sie diese Arbeitsstation benutzt?

2. Welche Erwartungen haben Sie über das Arbeiten an solch einem Typ von Arbeitsstation?

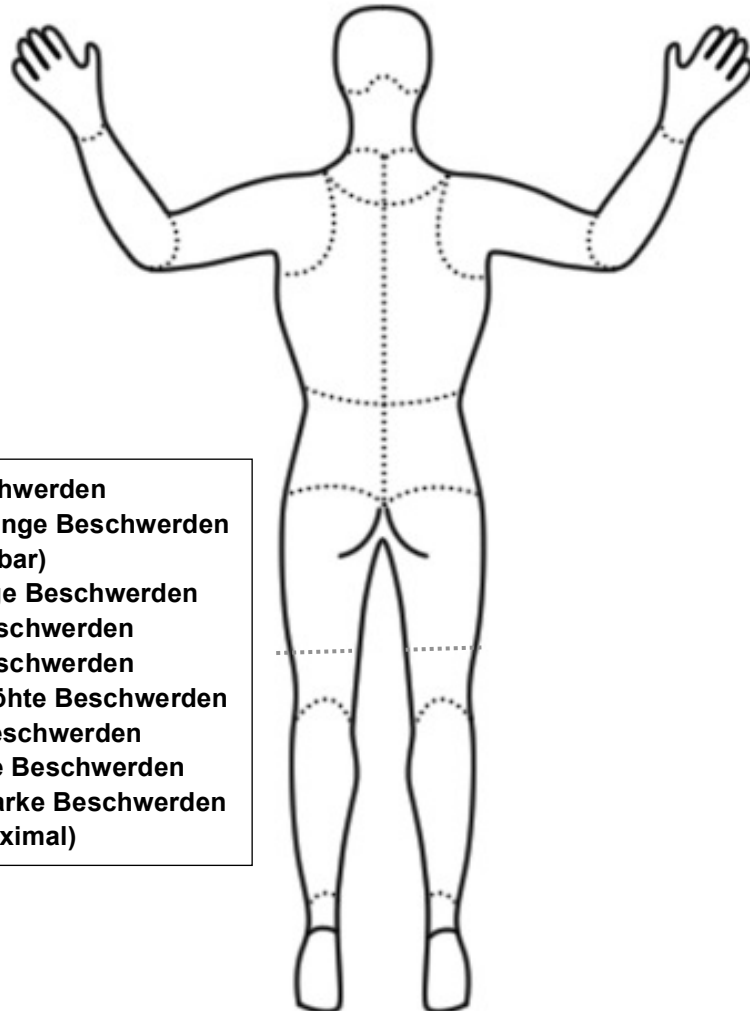
a. Was für Erwartungen haben Sie bezüglich ihrer Arbeitsleistung?

b. Beschreiben Sie bitte kurz, welche Erwartungen Sie an diese Arbeitsstation haben.

### Lokal empfundene Beschwerden

Bevor Sie anfangen, bewerten Sie bitte für jedes Körperteil in dem unten stehenden Bild ihre Beschwerden auf einer Skala von 0 bis 10.

Wenn Sie überhaupt keine Beschwerden haben, tragen Sie ein X hier ein: ( ).



- |              |  |
|--------------|--|
| <b>0</b>     | = keine Beschwerden                              |
| <b>0,5</b>   | = extrem geringe Beschwerden<br>(kaum spürbar)   |
| <b>1</b>     | = sehr geringe Beschwerden                       |
| <b>2</b>     | = geringe Beschwerden                            |
| <b>3</b>     | = mittlere Beschwerden                           |
| <b>4</b>     | = leichte erhöhte Beschwerden                    |
| <b>5/6</b>   | = stärkere Beschwerden                           |
| <b>7/8/9</b> | = sehr starke Beschwerden                        |
| <b>10</b>    | = extreme starke Beschwerden<br>(nahezu maximal) |

Ich fühle mich körperlich müde.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Moderat</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

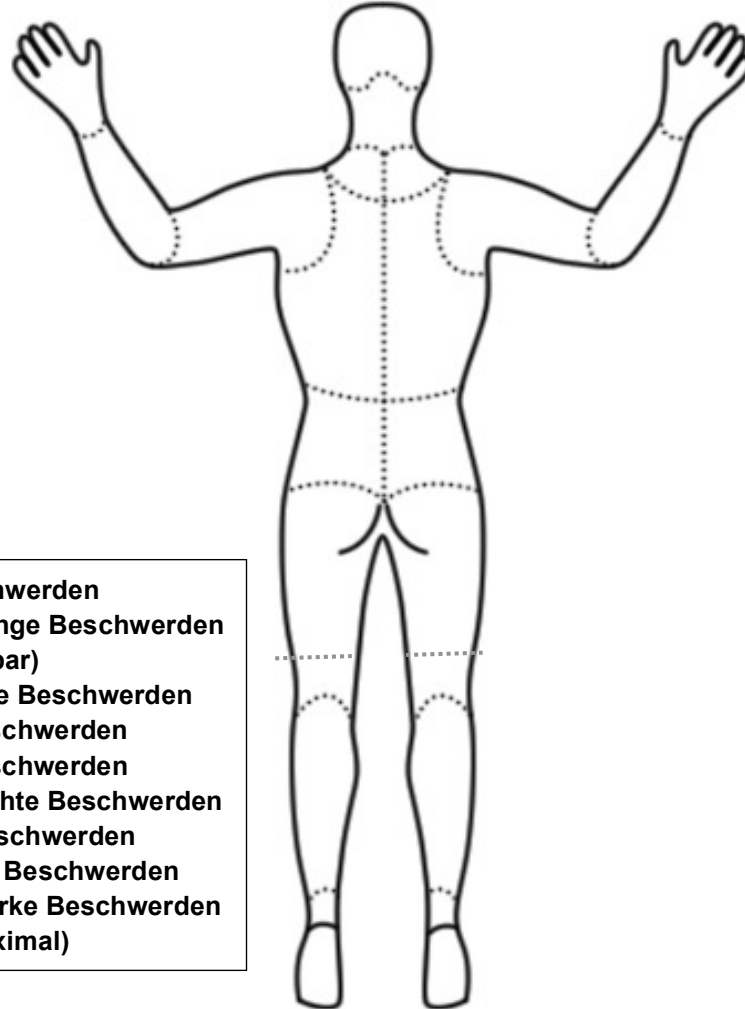
Ich fühle mich geistig müde.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Moderat</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7



## Lokal empfundene Beschwerden

Nach der Benutzung der Arbeitsstation bewerten Sie bitte für jedes Körperteil in dem unten stehenden Bild ihre Beschwerden auf einer Skala von 0 bis 10.

Wenn Sie überhaupt keine Beschwerden haben, tragen Sie ein X hier ein: ( ).



- |              |  |
|--------------|--|
| <b>0</b>     | = keine Beschwerden                              |
| <b>0,5</b>   | = extrem geringe Beschwerden<br>(kaum spürbar)   |
| <b>1</b>     | = sehr geringe Beschwerden                       |
| <b>2</b>     | = geringe Beschwerden                            |
| <b>3</b>     | = mittlere Beschwerden                           |
| <b>4</b>     | = leichte erhöhte Beschwerden                    |
| <b>5/6</b>   | = stärkere Beschwerden                           |
| <b>7/8/9</b> | = sehr starke Beschwerden                        |
| <b>10</b>    | = extreme starke Beschwerden<br>(nahezu maximal) |

Ich fühle mich körperlich müde.

<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Moderat</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

Ich fühle mich geistig müde.

<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Moderat</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

## Fragen zur Arbeitsstation

Bitte geben Sie für Komfort/Diskomfort auf einer Skala von 1 bis 7 (1 = überhaupt nicht, 7 = sehr) an, wie Sie sich nach der Benutzung dieser Arbeitsstation im Vergleich zu vorher fühlen.

Während der Benutzung der Arbeitsstation ...

1. ... hatte ich mehr Rückenschmerzen.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Mittel-mäßig</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

2. ... hatte ich mehr Gelenkschmerzen.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Mittel-mäßig</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

3. ... fühlte ich mich entspannter/ausgeglichener.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Mittel-mäßig</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

4. ... fühlte ich mich erholter.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Mittel-mäßig</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

5. ... fühlte ich mich fitter.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Mittel-mäßig</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

6. ... habe ich diese Station als bequem empfunden.						
<i>Überhaupt nicht</i>		<i>Mittel-mäßig</i>			<i>Extrem</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

7. Wie anstrengend war die Benutzung der Arbeitsstation? (Bitte die zugehörige Nummer ankreuzen.) *Versuchen Sie, sich während der Bewertung ausschließlich auf die Anstrengung und das Level der Anstrengung zu konzentrieren.*

- |    |     |   |
|----|-----|---|
| 6  | --- | Überhaupt keine Anstrengung   |
| 7  | --- | Übermäßig geringe Anstrengung (~ Ruhe)  |
| 8  |     |   |
| 9  | --- | Sehr geringe Anstrengung (~ leichtes Gehen bei einer angenehmen Geschwindigkeit)          |
| 10 |     |   |
| 11 | --- | Geringe Anstrengung   |
| 12 |     |   |
| 13 | --- | Etwas anstrengend (~ Sie fühlen sich müde, aber können weitermachen)                      |
| 14 |     |   |
| 15 | --- | Anstrengend   |
| 16 |     |   |
| 17 | --- | Große Anstrengung (~ Sie fühlen sich sehr müde)   |
| 18 |     |   |
| 19 | --- | Sehr große Anstrengung (~ Sie können nicht lange bei dieser Geschwindigkeit weitermachen) |
| 20 | --- | Maximale Anstrengung, Überanstrengung   |

8. Ich denke, dass diese Arbeitsstation meine Körperhaltung verbessert.

Starke Verneinung		Neutral			Starke Bejahung	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

Die Beurteilungen stehen im Vergleich zu den alltäglichen Tätigkeiten.  
Während der Benutzung der Arbeitsstation...

9. ... war meine Tippgeschwindigkeit ...						
<i>Viel schlechter</i>		<i>Unverändert</i>			<i>Viel besser</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

10. ... war meine Tippgenauigkeit ...						
<i>Viel schlechter</i>		<i>Unverändert</i>			<i>Viel besser</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

11. ... war die Geschwindigkeit meiner Mausbenutzung ...						
<i>Viel schlechter</i>		<i>Unverändert</i>			<i>Viel besser</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

12. ... war die Genauigkeit meiner Mausbenutzung ...						
<i>Viel schlechter</i>		<i>Unverändert</i>			<i>Viel besser</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

13. ... war meine Lesegeschwindigkeit ...						
<i>Viel schlechter</i>		<i>Unverändert</i>			<i>Viel besser</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

14. ... war meine Lesegenauigkeit ...						
<i>Viel schlechter</i>		<i>Unverändert</i>			<i>Viel besser</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

Würden Sie den folgenden Sätzen zustimmen?

Während der Benutzung der Arbeitsstation....

15. ... könnte ich ein normales Telefongespräch führen.

<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

16. ... ist meine arbeitsbezogene Leistung gesunken.

<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

17. ... ist die Qualität meiner Arbeit gesunken.

<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

18. ... fühlte ich mich fokussierter.

<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

19. Wie haben Sie sich generell bei der Durchführung der Computertätigkeiten auf dieser Arbeitsstation gefühlt?

--

Auch wenn sich vielleicht die Geschwindigkeit und/oder die Genauigkeit verschlechtert haben, finden Sie die Aufgaben vielleicht tauglich für eine der folgenden Tätigkeiten.

20. Wie tauglich ist diese Arbeitsstation für die folgenden Tätigkeiten:							
	<i>Sehr untauglich</i>		<i>Neutral</i>			<i>Sehr tauglich</i>	
a. Telefongespräch	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
b. Abschreibe-/ Tipptätigkeiten	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
c. Mausbenutzung	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
e. Kognitive Tätigkeiten	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
f. Lesetätigkeiten	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7
g. Allgemeiner Eindruck	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7

21. Diese Arbeitsstation wäre eine Möglichkeit für meinen Arbeitsplatz.						
<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7

22. Diese Arbeitsstation könnte ich einfach in meiner Arbeitsumgebung benutzen.						
<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7

23. Ich würde mich wohl fühlen, diese Arbeitsstation in Anwesenheit Anderer zu benutzen.						
<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7

24. Ich glaube, meine Gesundheit würde sich verbessern, wenn mir diese Arbeitsstation zur Verfügung stünde.						
<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7

25. Wenn ich Zugang zu dieser Arbeitsstation an meinem Arbeitsplatz hätte, würde ich sie ... (bitte ankreuzen) benutzen.			
<i>Niemals</i>	<i>Einmal in der Woche</i>	<i>2-3 Mal in der Woche</i>	<i>Jeden Tag</i>
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

26. Die aktuelle Testdauer war ca. 30 Minuten. Wenn ich Zugang zu dieser Station hätte, würde ich diese Station für ..... (bitte eintragen) Minuten pro Tag benutzen.

27. Nach einer Eingewöhnungsphase (von einigen Wochen) glaube ich, dass im Vergleich zu meinem aktuellen Arbeitsplatz meine Arbeitsleistung während der Benutzung dieser Arbeitsstation steigen würde.

<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

28. Das Messsystem hat mich während der Benutzung dieses Arbeitsplatzes gestört.

<i>Starke Verneinung</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

**Zusätzliche Fragen für die Arbeitsstation konventionelles Stehen, LB und SE**

*Auch wenn sich vielleicht die Geschwindigkeit und/oder die Genauigkeit verschlechtert haben, finden Sie die Aufgaben vielleicht tauglich für eine der folgenden Tätigkeiten.*

1. Ich würde meine Sitzdauer während der Arbeit mit Zugang zu dieser Arbeitsstation verringern.						
<i>Starke Verneinung</i>			<i>Neutral</i>	<i>Starke Bejahung</i>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

**Zusätzliche Fragen für die Arbeitsstation LB und SE**

1. Diese Arbeitsstation ist zu laut.						
<i>Starke Verneinung</i>			<i>Neutral</i>	<i>Starke Bejahung</i>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

2. Ich würde diese Arbeitsstation als eine Alternative für meine gewöhnliche sportliche Routine benutzen.						
<i>Starke Verneinung</i>			<i>Neutral</i>	<i>Starke Bejahung</i>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

3. Ich würde diese Arbeitsstation zusätzlich zu meiner gewöhnlichen sportlichen Routine benutzen.						
<i>Starke Verneinung</i>			<i>Neutral</i>	<i>Starke Bejahung</i>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

4. Ich würde meine Sitzdauer während der Arbeit mit Zugang zu dieser Arbeitsstation verringern.						
<i>Starke Verneinung</i>			<i>Neutral</i>	<i>Starke Bejahung</i>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7



5. Ich habe diese Arbeitsstation bei einer Geschwindigkeit/Intensität benutzt, die ich für mehrere Stunden beibehalten könnte.

<i>Starke</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke</i>	
<i>Verneinung</i>					<i>Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

6. Wenn ich Zugang zu dieser Station hätte, würde ich diese Station mit dieser Intensität für den ganzen Tag benutzen (8 Stunden).

<i>Starke</i>		<i>Neutral</i>			<i>Starke</i>	
<i>Verneinung</i>					<i>Bejahung</i>	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7

7. Die Intensität wurde für diesen Test festgelegt. Um die folgenden Tätigkeiten ausführen zu können, hätte ich eine Intensität gewählt, die ... (bitte ankreuzen) ist.

	<i>viel</i>		<i>gleich</i>			<i>viel</i>	
	<i>niedriger</i>					<i>höher</i>	
a. Telefongespräch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7
b. Abschreibe-/ Tipptätigkeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7
c. Mausbenutzung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7
e. Kognitive Tätigkeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7
f. Lesetätigkeiten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7
g. Allgemeine Eindruck	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1	2	3	4	5	6	7

## Abschließende Fragen

*Nachdem die Tests abgeschlossen sind, würden Sie bitte die folgenden abschließenden Fragen beantworten.*

1. Welche Arbeitsstation bevorzugen Sie und warum?
  
2. Aus welchen Gründen würden Sie eine dynamische Arbeitsstation als einen möglichen Arbeitsplatz bevorzugen?
  
3. Welche Arbeitsstation bevorzugen Sie am wenigsten und warum?
  
4. Aus welchen Gründen würden Sie eine dynamische Arbeitsstation als einen möglichen Arbeitsplatz nicht bevorzugen?
  
5. Haben Sie einen festen Arbeitsplatz?            Ja / Nein
  
6. Ist es für Sie möglich, von zu Hause aus zu arbeiten?            Ja / Nein  
Falls ja, wie oft arbeiten Sie von zu Hause aus?
  
7. Haben Sie flexible Arbeitszeiten (frei gewählte Start- und Endzeiten)?    Ja / Nein  
Wie sind Ihre gewöhnlichen Arbeitszeiten?
  
8. Sind Sie vertraut mit tätigkeitsbezogenen Arbeitsplätzen, wo Sie abhängig von Ihrer momentanen Tätigkeit (z. B. Telefonieren) den idealen Arbeitsplatz aufsuchen können? Ja / Nein

## C Daten und Ergebnisse

### C.1 Pilotstudie

Tabelle C.1:  
Relativierte Herzfrequenzdaten der Pilotstudie von allen vier Versuchspersonen mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) für die LB

Level	Versuchsperson				Gesamt	
	1	2	3	4	MW	SD
L 4	36,8	45,8	24,7	26,3	33,4	9,8
L 8	38,5	51,1	30,5	38,2	39,6	8,5
L 10	40,5	54,7	30,9	50,6	44,2	10,6
L 12	48,6	63,5	39,3	50,0	50,4	10,0
L 14	56,8	67,9	44,5	62,4	57,9	10,0
L 16	62,8	69,1	47,4	72,7	63,0	11,2
L 18	71,5	76,4	51,3	76,2	68,8	11,9
L 20	83,1	77,7	54,4	85,7	75,2	14,3

Tabelle C.2:  
Relativierte Herzfrequenzdaten der Pilotstudie von allen vier Versuchspersonen mit Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) für die SE

Geschwindigkeit in km/h	Versuchsperson				Gesamt	
	1	2	3	4	MW	SD
0,6	23,6	50,5	39,9	32,5	36,6	11,4
1,0	27,4	51,3	40,5	34,3	38,4	10,2
1,5	31,7	49,2	43,6	34,7	39,8	8,0
2,0	39,9	56,8	41,8	42,1	45,2	7,8
2,5	42,2	63,2	43,0	43,1	47,9	10,2
3,0	46,1	64,4	41,7	49,1	50,3	9,9
3,5	50,5	66,5	45,3	55,0	54,3	9,0
4,0	52,4	72,3	46,3	60,9	58,0	11,3
4,5	56,0	78,6	51,5	70,2	64,1	12,5
5,0	59,4	85,5	57,1	79,1	70,3	14,2

### C.2 Subjektive Beurteilung

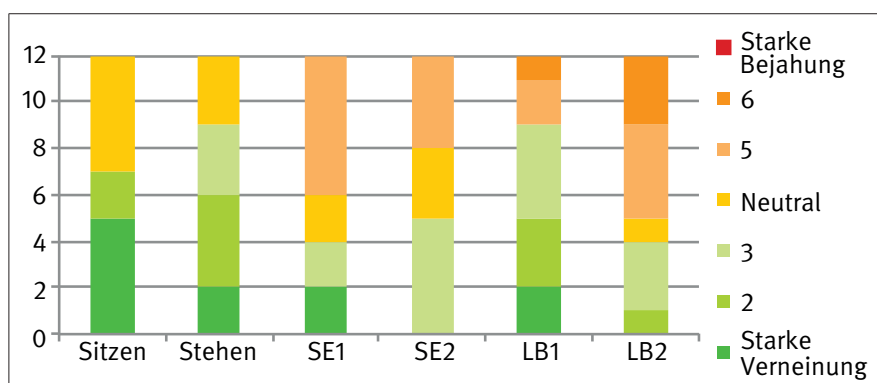


Abbildung C.1:  
Subjektive Beurteilung der Aussage „Während der Benutzung der Arbeitsstation ist meine arbeitsbezogene Leistung gesunken“

Abbildung C.2:  
Subjektive Beurteilung der Aussage „Während der Benutzung der Arbeitsstation ist die Qualität meiner Arbeit gesunken“

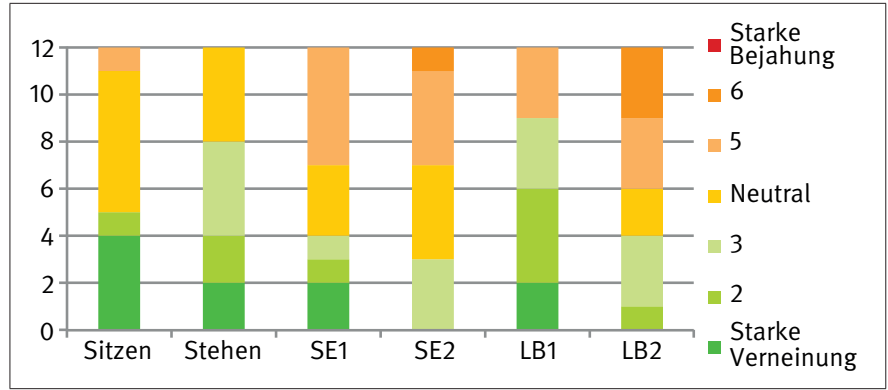


Abbildung C.3:  
Subjektive Beurteilung der Aussage „Während der Benutzung der Arbeitsstation fühlte ich mich fokussierter“

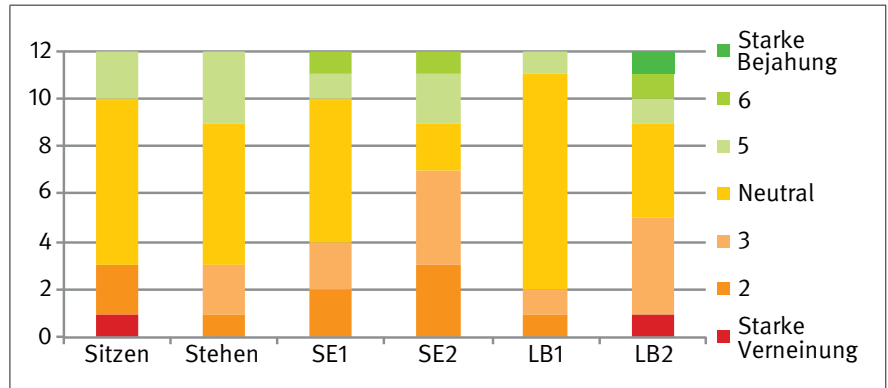


Abbildung C.4:  
Subjektive Beurteilung der Aussage „Nach einer Eingewöhnungsphase (von einigen Wochen) glaube ich, dass im Vergleich zu meinem aktuellen Arbeitsplatz, meine Arbeitsleistung während der Benutzung dieser Arbeitsstation steigen würde“

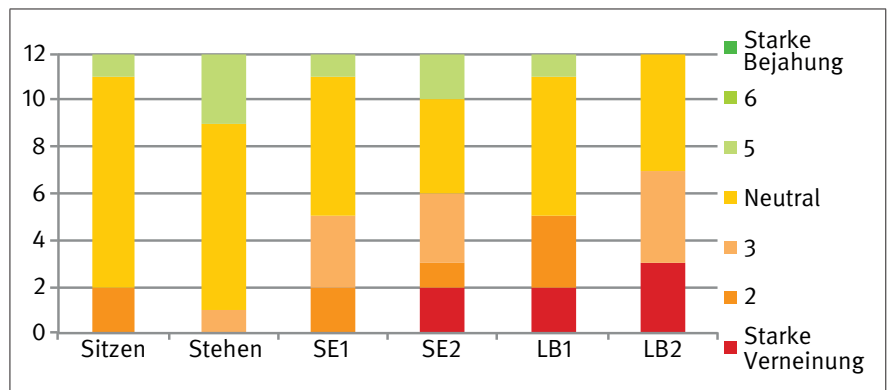
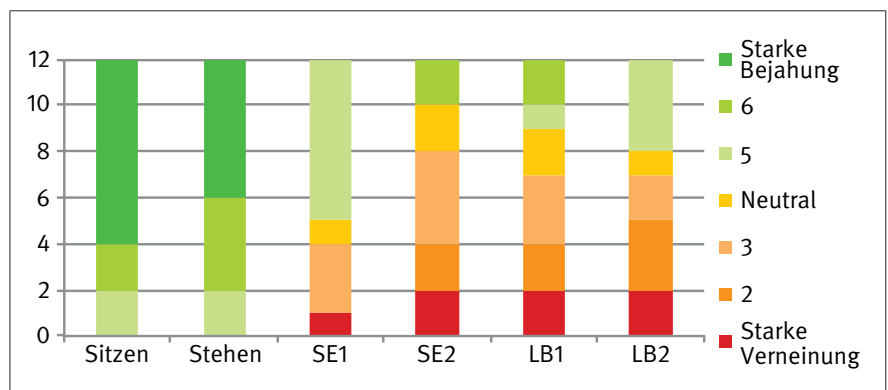


Abbildung C.5:  
Subjektive Beurteilung der Aussage „Diese Arbeitsstation könnte ich einfach in meiner Arbeitsumgebung benutzen“



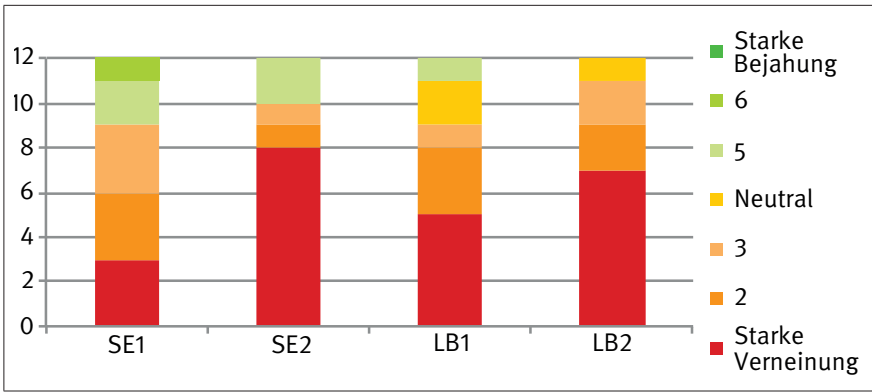


Abbildung C.6: Subjektive Beurteilung der Aussage „Wenn ich Zugang zu dieser Arbeitsstation hätte, würde ich diese Station mit dieser Intensität für den ganzen Tag benutzen (8 Stunden)“

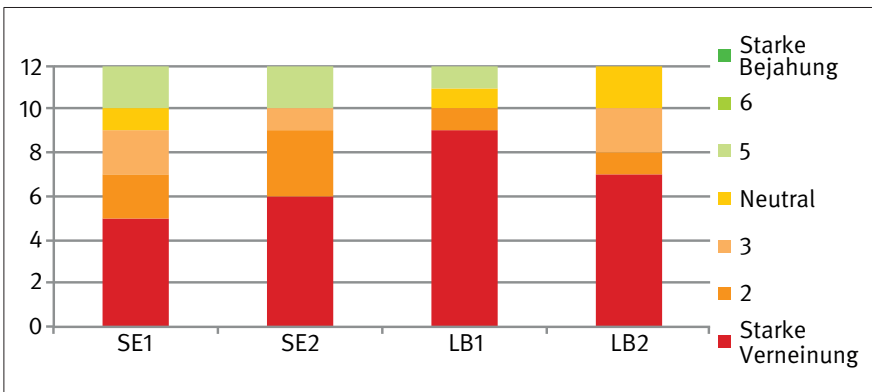


Abbildung C.7: Subjektive Beurteilung der Aussage „Ich würde diese Arbeitsstation als eine Alternative für meine gewöhnliche sportliche Routine benutzen“

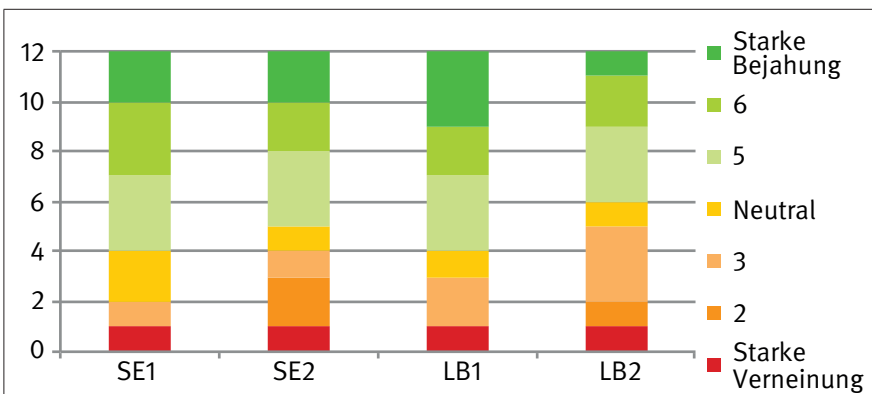


Abbildung C.8: Subjektive Beurteilung der Aussage „Ich würde diese Arbeitsstation zusätzlich zu meiner gewöhnlichen sportlichen Routine benutzen“

Anhang

Abbildung C.9:  
Gemittelte Differenz der LPD-Angaben (LPD: Local Perceived Discomfort)  
(nachher-vorher) des konventionellen Sitzarbeitsplatzes

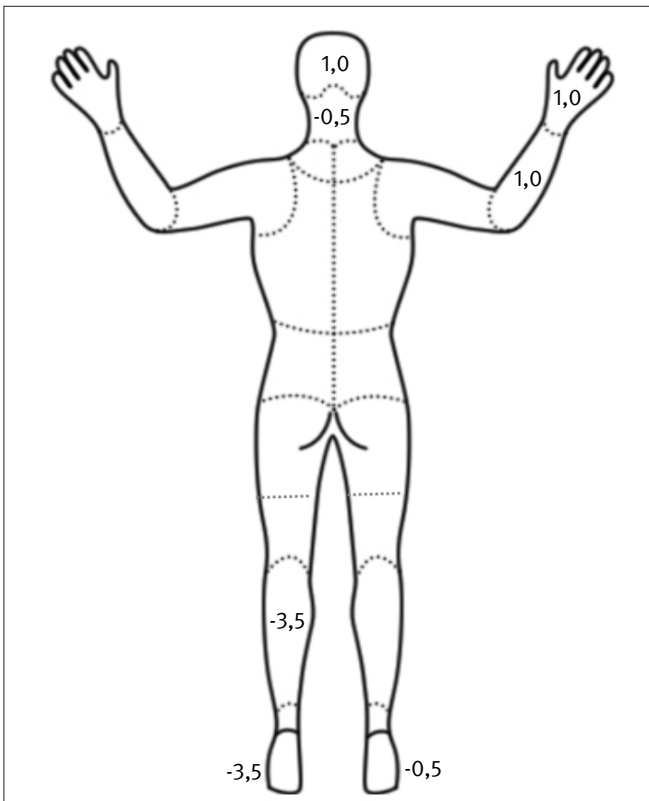


Abbildung C.11:  
Gemittelte Differenz der LPD-Angaben (nachher-vorher) des  
Sitzergometerarbeitsplatzes mit niedriger Intensität

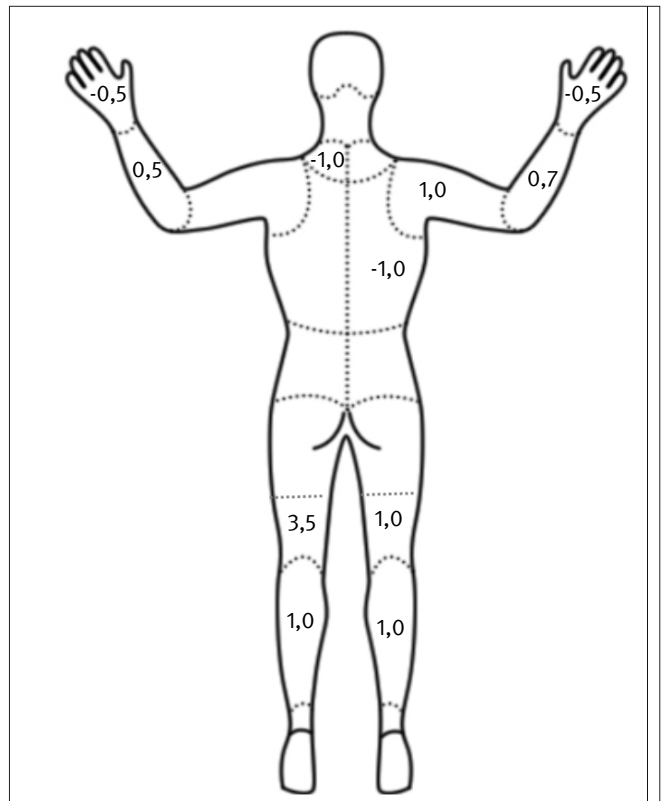


Abbildung C.10:  
Gemittelte Differenz der LPD-Angaben (nachher-vorher) des  
konventionellen Steharbeitsplatzes

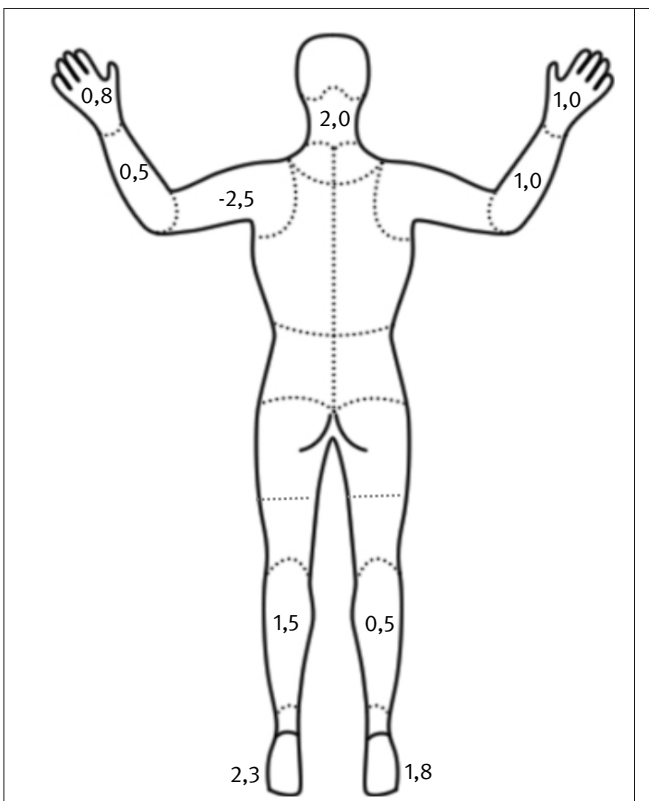


Abbildung C.12:  
Gemittelte Differenz der LPD-Angaben (nachher-vorher) des  
Sitzergometerarbeitsplatzes mit hoher Intensität

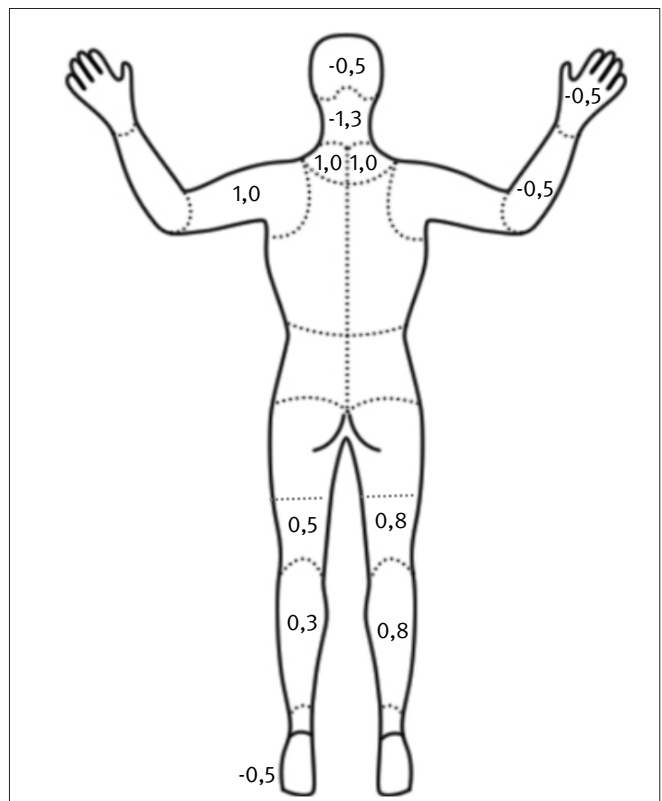


Abbildung C.13:  
Gemittelte Differenz der LPD-Angaben (nachher-vorher) des  
Laufbandarbeitsplatzes mit niedriger Intensität

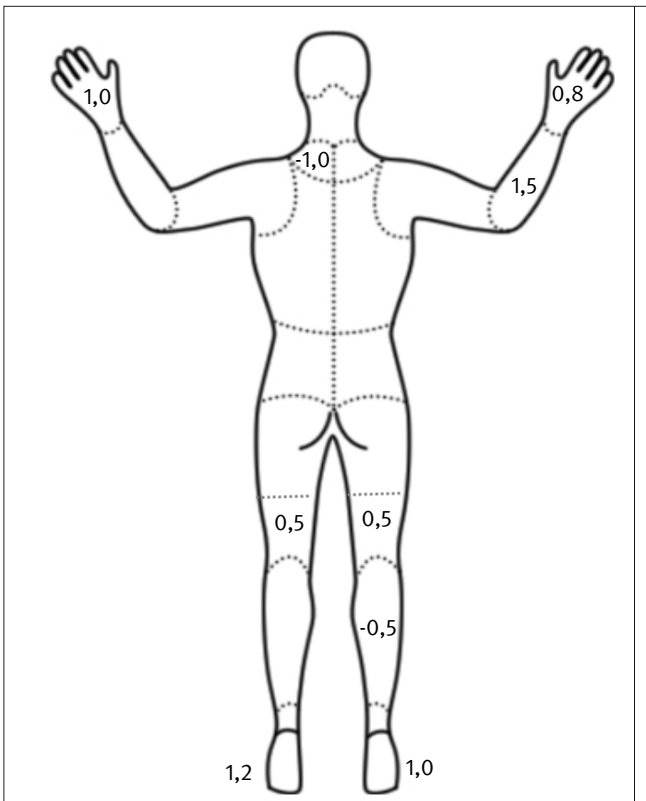


Abbildung C.14:  
Gemittelte Differenz der LPD-Angaben (nachher-vorher) des  
Laufbandarbeitsplatzes mit hoher Intensität

