

5/2016

## IFA Report

**Nutzung von einem oder zwei Bildschirmen  
an Büroarbeitsplätzen – Auswirkungen auf  
physiologische Parameter und Leistung**



Verfasser: Mark Brütting, Dirk Ditchen, Rolf Ellegast  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

Jens Petersen  
Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg

Peter Schäfer  
Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Ludwigsburg

Projektbegleitkreis: Kompetenz-Zentrum Medizin, Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der  
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IPA), Bochum (Jürgen Bünger)

Klinik und Poliklinik für Unfall-Wiederherstellungschirurgie und rehabilitative Medizin,  
Universitätsmedizin Greifswald (Jörn Lange)

Klinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Münster  
(Nicole Eter, Florian Alten)

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)  
Glinkastr. 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 288763800  
Fax: 030 288763808  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)

– Juli 2016 –

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

ISBN: 978-3-86423-170-4  
ISSN: 2190-7994

## Kurzfassung

### Nutzung von einem oder zwei Bildschirmen an Büroarbeitsplätzen – Auswirkungen auf physiologische Parameter und Leistung

Der klassische Bildschirmarbeitsplatz mit einem 19“-Einzelbildschirm wird zunehmend durch Multibildschirm-Arbeitsplätze ersetzt, deren mögliche gesundheitliche Auswirkungen bisher wenig untersucht sind. Aus diesem Grund beauftragte die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) mit der Durchführung einer Laborstudie. Dabei wurde ein klassischer 22“-Einzelbildschirm-Arbeitsplatz mit zwei Varianten eines Doppelbildschirm-Arbeitsplatzes (jeweils 22“, Ausrichtung waagrecht-waagrecht bzw. waagrecht-senkrecht) verglichen. Ziel der Untersuchungen war es, Hinweise auf mögliche Gefährdungen zu finden und daraus eventuell notwendige Erweiterungen bestehender Präventionsempfehlungen abzuleiten.

Die vergleichende Querschnittstudie umfasste Versuche mit zehn Versuchspersonen (fünf männlich, fünf weiblich) und drei standardisierten Bildschirmtätigkeiten (Text abschreiben, Text vergleichen, Daten sortieren). Zur Ermittlung physiologischer Parameter wurden Körperhaltung, -bewegung und -position, muskuläre Aktivität im Schulter-/Nackebereich, Lidschlussfrequenz, Sehschärfe, Bildschirmabstand sowie das subjektive Empfinden der Versuchspersonen mithilfe verschiedener Messmethoden erfasst. Ergänzend fanden Untersuchungen zur qualitativen und quantitativen Leistung statt.

Im Ergebnis zeigten sich bei den Rumpfbewegungen nur gering ausgeprägte und nicht signifikant unterschiedliche Aktivitäten für alle untersuchten Konstellationen. Der Großteil der Bewegungen erfolgte je nach Bildschirmkonstellation mit dem Kopf (Rotation und Inklination) oder den Augen. Drehbewegungen

des Bürostuhls gab es jeweils nur in sehr geringem Umfang. Im Gegensatz dazu zeigte sich eine signifikante Veränderung der Muskelaktivität im Schulter-/Nackebereich in Abhängigkeit vom Aufgabentyp, nicht aber von der Bildschirmkonstellation. Die Lidschlussfrequenz schien deutlicher durch den Aufgabentyp als durch die verwendete Bildschirmkonstellation beeinflusst zu sein: Bei der Arbeit mit den Doppelbildschirmen war eine geringe Zunahme der Lidschlussrate gegenüber dem Einzelbildschirm zu beobachten. Eine Veränderung der Sehschärfe im Prä/Post-Versuch war mit den eingesetzten Methoden nicht nachzuweisen, ebenso wenig ein Zusammenhang zwischen dem eingenommenen Bildschirmabstand und der Bildschirmkonstellation. Die Versuchspersonen bevorzugten mehrheitlich zwei waagrecht aufgestellte Bildschirme. Die jeweils erbrachte Leistung zeigte qualitativ und quantitativ teilweise signifikante Unterschiede zugunsten der Doppelbildschirm-Varianten.

Insgesamt sprechen die in dieser Studie erzielten Leistungen und die Präferenzen der Versuchspersonen für die Verwendung einer Doppelbildschirm-Variante. Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen ergaben keine signifikanten Hinweise auf physiologisch limitierend wirkende Faktoren an den untersuchten Bildschirmarbeitsplätzen.

Eine grundlegende Erweiterung der bestehenden Präventionsempfehlungen zur Bildschirmnutzung an Büroarbeitsplätzen erscheint auf der Grundlage dieser Studienergebnisse nicht notwendig.

## Abstract

### One or two display screens at office workplaces – effects on physiological parameters and performance

The classical display screen (visual display unit = VDU) workplace with a 19" single screen is being increasingly superseded by multi-screen workplaces, which have so far been poorly investigated in terms of their effects on health. For this reason, the German Social Accident Insurance Institution for the Administrative Sector (VBG) commissioned the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA) to conduct a laboratory study. For this, a classical 22" single-screen workplace was compared to two variants of a dual-screen workplace (each 22", with horizontal-horizontal and horizontal-vertical alignments). The goal of the study was to identify clues to possible risks and draw conclusions for any need to supplement existing prevention recommendations.

The comparative cross-sectional study comprised tests with 10 test persons (5 male, 5 female) and three standardised screen activities (typing a text, comparing a text and sorting data). To determine the physiological parameters, body posture, movement and position, muscular activity in the neck-and-shoulder region, blinking rate, visual acuity, distance from the screen and the test persons' subjective response were recorded with the aid of different measuring methods. In addition, qualitative and quantitative performance was investigated.

The results showed that, as far as trunk movement was concerned, the workplace constellations investigated showed only minor and insignificantly different levels of activity. The bulk

of the movements were performed with the head (rotation and inclination) or eyes, depending on the screen constellation. Rotation of the office chair only occurred on a very limited scale. By contrast, there was a significant change in the muscle activity in the neck-and-shoulder region depending on the type of task and not on the screen constellation. The blinking rate seemed to be affected much more by the type of task than by the screen constellation used. During work with dual screens, the blinking rate increased only slightly over that at a single screen. A change in visual acuity before/after was undetectable with the methods employed, as was a relationship between the distance from the screen and the screen constellation. The majority of the test persons preferred two horizontally arranged screens. The performance, qualitatively and quantitatively, showed in some cases significant differences in favour of the dual-screen workplaces.

Overall, the test persons' performance and preferences during this study argue in favour of the dual-screen variant. The results obtained with measurement equipment did not yield any significant indication of physiological limiting factors at the investigated display screen workplaces.

There does not appear to be any basic need to supplement the existing prevention recommendations for the use of display screens at office workplaces on the basis of these study findings.

## Résumé

### Utilisation d'un ou de deux écrans pour le travail de bureau – Impact sur les paramètres physiologiques et sur les performances

De plus en plus souvent, le poste de travail sur écran classique, équipé d'un seul écran de 19", est remplacé par un poste à plusieurs écrans, dont les effets possibles sur la santé n'ont été, jusqu'à présent, que peu étudiés. C'est pourquoi l'Organisme d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles dans l'administration (VBG) a chargé l'Institut pour la sécurité et la santé au travail de la DGUV (IFA) d'effectuer une étude en laboratoire. Celle-ci consistait à comparer un poste de travail classique équipé d'un seul écran de 22" avec deux variantes d'un poste à deux écrans (chacun de 22", respectivement en position horizontale-horizontale et horizontale-verticale). L'objet de l'étude était d'identifier les risques possibles, et d'en déduire s'il y avait lieu éventuellement d'élargir les recommandations de prévention.

L'étude transversale comparative comprenait des essais effectués avec dix personnes (cinq hommes et cinq femmes), et portant sur trois activités standardisées effectuées sur écran (copie de texte, comparaison de texte, tri de données). Afin de déterminer les paramètres physiologiques, la posture, les mouvements et la position du corps, l'activité musculaire dans la zone des épaules et de la nuque, la fréquence des battements de paupière, l'acuité visuelle, la distance par rapport aux écrans, ainsi que le ressenti subjectif de la personne ont été mesurés par différentes méthodes. Ces mesures ont été complétées par un examen des performances qualitatives et quantitatives.

En résultat, seules des activités peu prononcées ou ne présentant pas de différences significatives pour toutes les constellations étudiées ont été relevées au niveau des mouvements du tronc. Les mouvements concernaient en majeure partie la tête

(rotation et inclinaison) ou les yeux, en fonction de la constellation des écrans. Des mouvements de pivotement de la chaise n'ont été relevés que dans une très faible mesure. En revanche, un changement significatif de l'activité musculaire est apparu au niveau des épaules et de la nuque, et ce en fonction du type de tâche à effectuer, mais pas de la constellation des écrans. La fréquence des battements de paupière a semblé dépendre plus nettement du type de tâche à effectuer que de la constellation des écrans, une légère augmentation du taux de battements de paupière étant observée lors du travail sur deux écrans par rapport au travail sur un seul écran. Aucune évolution de l'acuité visuelle avant/après essai n'a pu être établie par les méthodes utilisées, pas plus qu'une relation entre la distance adoptée par rapport aux écrans et la constellation des écrans. Dans leur majorité, les personnes participant à l'étude ont affirmé préférer deux écrans disposés à l'horizontale. Tant du point de vue qualitatif que quantitatif, les performances fournies ont présenté des différences parfois significatives en faveur des variantes à deux écrans.

D'une manière générale, tant les performances fournies durant l'étude que les préférences des personnes qui y ont participé parlent en faveur de la variante à deux écrans. Il ne ressort des études métrologiques aucune indication significative quant à des facteurs physiologiquement limitants pour les postes de travail sur écran examinés.

Compte tenu des résultats de cette étude, il ne semble pas nécessaire d'élargir fondamentalement les recommandations de prévention actuelles concernant le travail sur écran aux postes de travail de bureau.

## Resumen

### Empleo de una o dos pantallas en los puestos de trabajo en oficinas – Repercusiones sobre parámetros fisiológicos y sobre el rendimiento

El puesto de trabajo clásico frente a una pantalla única de 19 pulgadas está siendo sustituido con frecuencia creciente por puestos de trabajo de múltiples pantallas cuyas posibles repercusiones para la salud se han investigado poco hasta la fecha. Por ese motivo, la asociación profesional alemana de empleados de la administración (VBG) encargó al Instituto de Seguridad en el Trabajo del Seguro Social Alemán de Accidentes de Trabajo (IFA) que realizara un estudio de laboratorio a este respecto. Para ello se comparó un puesto de trabajo con una pantalla clásica de 22 pulgadas con dos variantes de un puesto de trabajo de doble pantalla (cada una de 22 pulgadas, orientación horizontal-horizontal o bien horizontal-vertical). El objetivo de los estudios era encontrar indicios de posibles peligros y derivar de ello posiblemente la necesidad de ampliar las recomendaciones de prevención existentes.

El estudio transversal comparativo abarcó ensayos con diez probandos (cinco hombres y cinco mujeres) y tres actividades estandarizadas frente a la pantalla (copiar un texto, comparar un texto, clasificar datos). Para calcular los parámetros fisiológicos, con ayuda de diversos métodos de medición se recogieron datos sobre postura, movimiento y posición corporal, actividad muscular en la zona de los hombros/el cuello, la frecuencia de parpadeo, la agudeza visual, la distancia de la pantalla así como las sensaciones subjetivas de las personas que participaron en el ensayo. Para completar los resultados se realizaron estudios sobre el rendimiento cualitativo y cuantitativo.

Como resultado se constató que en cuanto a los movimientos del torso las actividades eran poco marcadas y no resultaban significativamente distintas en todas las constelaciones estudiadas. La mayor parte de los movimientos se producía, según

la constelación de las pantallas, con la cabeza (rotación e inclinación) o con los ojos. Los movimientos giratorios del asiento de oficina se produjeron en un margen muy pequeño en cada caso. En cambio se mostró un cambio significativo de la actividad muscular en la zona de los hombros/el cuello en función del tipo de tarea, pero no de la constelación de las pantallas. La frecuencia de parpadeo parecía estar más influida por el tipo de tarea que por la constelación de pantallas empleada. En el trabajo con pantallas dobles se observó un ligero aumento de la frecuencia de parpadeo frente al trabajo con una sola pantalla. No se pudo constatar un cambio en la agudeza visual antes y después del ensayo, al igual que tampoco se detectó relación alguna entre la distancia guardada respecto a la pantalla y la constelación de las pantallas. Las personas que participaron en el ensayo prefirieron en su mayoría dos pantallas dispuestas horizontalmente. El rendimiento constatado en cada caso mostró en parte a nivel cuantitativo y cualitativo diferencias significativas a favor de las variantes con doble pantalla.

Los rendimientos obtenidos en este estudio y las preferencias de los probandos favorecen en general la variante de dos pantallas. Los resultados de las mediciones realizadas no ofrecieron indicios significativos sobre factores fisiológicos limitantes en los puestos de trabajo con pantalla estudiados.

Según los resultados de este estudio no parece necesario ampliar básicamente las recomendaciones de prevención existentes sobre el uso de pantallas en los puestos de trabajo de oficina.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>13</b>
2.1	Laborumgebung und Bildschirmkonstellationen	13
2.2	Standardisierte Bearbeitungsaufgaben	14
2.3	Versuchspersonen	15
2.4	Messinstrumente und -parameter	15
2.4.1	Körperhaltungs-Messsystem CUELA	15
2.4.2	Oberflächen-Elektromyografie (OEMG) der Trapezius-Muskeln	17
2.4.3	Eye-Tracking/Lidschlussfrequenz	17
2.4.4	Bestimmung der Sehschärfe (Visus)	18
2.4.5	Messung des Bildschirmabstands	19
2.4.6	Fragebögen zur subjektiven Einschätzung und Beanspruchung	19
2.5	Versuchsablauf	20
2.6	Statistische Auswertung	20
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>21</b>
3.1	Körperhaltungs- und Bewegungsdaten	21
3.1.1	Halstorsion (Kopffrotation)	21
3.1.2	Halskrümmung (Extension/Flexion)	22
3.1.3	BWS-Neigung (Extension/Flexion der Brustwirbelsäule)	22
3.1.4	Rotation des Bürostuhls	24
3.2	Elektrische Aktivität der Trapezius-Muskeln	24
3.3	Eye-Tracking/Lidschlussfrequenz	25
3.4	Sehschärfe (Visus)	27
3.5	Bildschirmabstand	28
3.6	Fragebögen/subjektive Beanspruchung	29
3.7	Leistungsdaten	30
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>31</b>
4.1	Ergebnisdiskussion	31
4.1.1	Körperhaltung und -bewegung	31
4.1.2	Elektrische Muskelaktivität (Trapezius-Muskel)	32
4.1.3	Lidschlussfrequenz	32
4.1.4	Sehschärfe	32
4.1.5	Bildschirmabstand	32
4.1.6	Subjektive Einschätzung der Versuchspersonen	33
4.1.7	Leistungsdaten	33
4.2	Methodendiskussion: Stärken und Limitationen der Untersuchung	33
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen für die Prävention</b>	<b>35</b>
	<b>Literatur</b>	<b>37</b>
	<b>Anhang A: Informationen zur Literaturrecherche (PubMed)</b>	<b>41</b>
	<b>Anhang B: Probandeninformation</b>	<b>43</b>
	<b>Anhang C: Einverständniserklärung der Probandinnen und Probanden</b>	<b>47</b>
	<b>Anhang D: Fragebogen Prä-Versuch</b>	<b>49</b>
	<b>Anhang E: Fragebogen Post-Versuch (NASA-TLX)</b>	<b>51</b>
	<b>Anhang F: Abschlussfragebogen</b>	<b>57</b>
	<b>Anhang G: G46-Fragebogen, ärztliche Befragung</b>	<b>59</b>



# Danksagung

Die Verfasser möchten allen an dieser Studie beteiligten Personen herzlich danken, insbesondere allen Mitgliedern des Projektbegleitkreises sowie den beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im IFA.

Dem Betriebsärztlichen Dienst (BAD, Dr. med. *Genoveva Poss*) danken wir für die Durchführung der augenärztlichen Voruntersuchungen sowie Dr. med. *Ulrike Hoehne-Hückstädt* für die ärztliche Befragung der Versuchspersonen zu Belastungen und Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems.

Ein herzliches Dankeschön geht an alle Probandinnen und Probanden für ihre Bereitschaft zur Teilnahme an den Voruntersuchungen sowie ihr Engagement, ihre Geduld und ihre Ausdauer bei den zeitlich aufwendigen Versuchen.



# 1 Einleitung

Mit zunehmender Digitalisierung und Vernetzung der Büroarbeit sowie einem Wechsel hin zum „papierlosen Büro“ nimmt der Anteil der an Bildschirmen verbrachten Arbeitszeit immer weiter zu. Gleichzeitig besteht Bedarf an immer größer werdenden nutzbaren Bildschirmoberflächen. Infolgedessen wird der verbreitete „klassische“ Büroarbeitsplatz mit einem Standard-19“-Bildschirm zunehmend durch Bildschirmarbeitsplätze mit mehreren gleichzeitig oder wechselnd genutzten Bildschirmen oder Großbildschirmen ersetzt.

Erstes Ziel der Verwendung größerer Bildschirmflächen im Büro ist in der Regel die Optimierung der quantitativen und qualitativen Arbeitsleistung, teilweise auch die Erhöhung der Nutzerzufriedenheit. Hierzu gibt es eine Reihe von Studien, die entsprechende Effekte bei der gleichzeitigen Verwendung mehrerer Bildschirme nachweisen konnten. *Poder et al.* [1] verglichen in einer Untersuchung die erbrachte Leistung und Zufriedenheit bei der Verwendung von einem und zwei Bildschirmen. Unter den Versuchsbedingungen wurde eine höhere Bearbeitungsgeschwindigkeit mit dem Einzelbildschirm gemessen und eine höhere Zufriedenheit und Favorisierung der Zwei-Bildschirm-Variante angegeben. *Truemper et al.* [2] fanden in einem Multi-Bildschirm-Setup eine höhere Leistung von Versuchspersonen als bei der Nutzung eines Einzelbildschirms. Auch die Ergebnisse von *Owens et al.* [3] sprechen für eine höhere erzielbare Leistung und eine Präferenz von zwei Bildschirmen gegenüber einem Einzelbildschirm, unabhängig von der Größe der verwendeten Bildschirme. *Haner* [4] quantifizierte in seinen Versuchen die Produktivität bei der Nutzung eines Einzelbildschirms, Doppelbildschirms und Dreifachbildschirms. Er bezifferte die Arbeit mit zwei 19“-Bildschirmen als 8 % und die Arbeit mit drei 19“-Bildschirmen als 35 % produktiver als diejenige mit einem einzelnen 19“-Bildschirm. Bei der Arbeit mit einer sehr großen Darstellung auf einem „large screen display“ fanden *Czerwinski et al.* [5] signifikante Vorteile gegenüber einem kleinen Display. Ähnliche Resultate fanden *Bi et al.* [6] in ihrem Vergleich von großen Bildschirmen mit einem Einzel- und einem Doppelbildschirm. Auch in einigen von Herstellern in Auftrag gegebenen Untersuchungen (siehe Anhang A) wurden die Vorteile der parallelen Nutzung mehrerer Bildschirme im Hinblick auf eine höhere erzielbare Leistung herausgehoben.

Folgerichtig findet man an Büroarbeitsplätzen inzwischen eine Reihe unterschiedlicher Bildschirme und Bildschirmkonstellationen, deren möglicher Einfluss auf die Beschäftigten bisher allerdings wenig untersucht ist (siehe Anhang A). Auch im entsprechenden Regel- und Informationswerk wie der DGUV Information 215-410 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung“ [7] oder in relevanten Normen, z. B. der Normenreihe DIN EN ISO 9241-3xx [8 bis 12] werden Bildschirmarbeitsplätze mit mehreren Bildschirmen oder Großbildschirmen nur am Rande thematisiert. Die ergonomischen Empfehlungen zur Nutzung mehrerer Bildschirme gehen zwar zum Teil auf möglicherweise zu berücksichtigende Faktoren wie Kopfbewegungen bei großen Bildschirmen ein, sind aber größtenteils aus

den bereits bekannten grundsätzlichen Empfehlungen für Bildschirmarbeitsplätze abgeleitet.

Dabei kann die Verwendung größerer Bildschirmflächen neben dem genannten Effekt einer Leistungssteigerung theoretisch auch Einfluss auf eine Reihe physiologischer Parameter sowie das subjektive Empfinden der Beschäftigten haben. Die durch langandauernde Bildschirmarbeit hervorgerufenen Effekte könnten in diesem Fall verstärkt oder ergänzt werden.

Die Bildschirmarbeit allgemein kann sich beispielsweise auf das Sehvermögen auswirken. Bei langer, ununterbrochener Fokussierung auf Displays kann gelegentlich ein Symptomenkomplex auftreten, der sich u. A. durch Kopfschmerzen, verschwommene Sicht, Nackenschmerzen, gerötete/trockene/gereizte Augen, Müdigkeit, Überanstrengung der Augen, Wahrnehmung von Doppelbildern, Schwindel und anderer Symptome äußern kann [13]. Das US-amerikanische National Institute of Occupational Safety and Health [14] gibt an, dass diese Symptome ca. 90 % der Personen betreffen, die mehr als drei Stunden pro Tag mit einem Computer arbeiten. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von *Reddy* [15], wonach 90 % der Universitätsstudierenden in Malaysia angaben, diese Symptome bereits erlebt zu haben. Die Mehrzahl nutzte den Computer täglich für mehr als zwei Stunden ohne Unterbrechung. Einer der wichtigsten Faktoren dabei wird in der Verminderung der Lidschlussfrequenz („Blinzeln“) bei Bildschirmarbeiten gesehen [16; 17]. Studien haben gezeigt, dass die Lidschlussfrequenz bei Arbeiten mit Computern gegenüber der durchschnittlichen Lidschlussrate beim Lesen um bis zu 60 % vermindert sein kann, z. B. [13]. Diese Abnahme kann ein Resultat der Konzentration auf die Aufgabe oder/und auf einen relativ kleineren Bereich („Range“) der Augenbewegungen bei Bildschirmarbeit sein. In der Konsequenz wird der Tränenfilm auf der Augenoberfläche weniger oft erneuert und in der Funktionalität eingeschränkt, sodass Augenreizungen entstehen können.

Darüber hinaus könnte ein häufiger Blickwechsel zwischen mehreren Bildschirmen unter Umständen eine verstärkte Akkomodationsleistung und somit eine Ermüdung der Augen hervorrufen, was eventuell eine Veränderung der Sehschärfe mit entsprechend negativen Auswirkungen zur Folge hätte.

Sollte sich herausstellen, dass bei Nutzung einer größeren Bildschirmfläche ein größerer Sehabstand eingenommen wird, müsste dies bei der Einstellung der Schriftzeichengröße entsprechend den bestehenden Empfehlungen berücksichtigt werden.

Weitere Parameter, die bei der Verwendung größerer Bildschirmflächen beeinflusst sein könnten, sind Körperhaltung und -bewegung. Diese waren schon häufig Gegenstand von Untersuchungen und für Empfehlungen an Bildschirmarbeitsplätzen allgemein. In wissenschaftlichen Studien wurde der Einfluss von bewegungsfördernden Maßnahmen und auszuführenden Büro-tätigkeiten auf Körperhaltungen und -bewegungen untersucht

[18 bis 23]. Die Anzahl der Bildschirme oder deren Größe und mögliche Auswirkungen auf die Körperhaltung oder -bewegungen waren nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Vorstellbar wären bei Nutzung mehrerer Bildschirme verstärkte Drehungen des Kopfes aufgrund einer größeren horizontalen Bildschirmfläche, die es zu überblicken gilt, aber auch verstärkte Drehbewegungen oder Seitneigungen des Oberkörpers. Derartige Veränderungen im Bewegungsverhalten sind von Interesse, da statische oder ungünstige Sitzhaltungen auf lange Sicht zu Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems führen können. Dabei sind sowohl Überlastungen als auch Unterforderungen verschiedener Körperregionen als Ursache bekannt. Verstärkte Kopfbewegungen an den Multi-Display-Arbeitsplätzen könnten beispielsweise Überforderungen hervorrufen. Die Bewegung des Kopfes folgt auf Augenbewegungen, wenn zwei aufeinanderfolgende Fixpunkte sehr weit auseinanderliegen. Bei fixiertem Kopf sind Sakkadenamplituden (Größe des Winkels zwischen zwei Fixationen) von 90° zwar okulomotorisch möglich, die durchschnittliche Sakkadenamplitude ist allerdings selten größer als 20° [24; 25]. Dieser Winkel kann bei der Nutzung mehrerer Bildschirme öfter überschritten werden als bei einem Einzelbildschirm und wird somit mehr Kopfbewegungen verursachen.

Als Folge anhaltend ungünstiger Körperhaltungen („Zwangshaltungen“) ist letzten Endes die Entstehung von lokalen Muskelverhärtungen und muskulären Dysbalancen möglich, die Beweglichkeitsstörungen und Rückenschmerzen hervorrufen. Unterschiedliche Belastungen der Nackenmuskulatur können wie bereits erwähnt durch verstärkt auftretende Kopfbewegungen bei der Verwendung mehrerer Bildschirme ausgelöst werden. Auch der gegenteilige Effekt, nämlich eine sehr statische und einseitige Kopf-/Körperhaltung bei der Nutzung eines Einzelbildschirms gegenüber einer höheren Aktivität und wechselnden Haltungen bei gleichzeitiger Nutzung mehrerer Bildschirme kann in Betracht gezogen werden. Dementsprechend kann die Erfassung der muskulären Aktivität bestimmter Muskeln oder Muskelgruppen, z. B. *M. trapezius*, Aufschluss über eine erhöhte Muskel-Skelett-Belastung geben, z. B. [26 bis 29].

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die international veröffentlichten Untersuchungen hauptsächlich auf die Veränderung der erbrachten Leistung bei der Arbeit mit mehreren oder großen Bildschirmen abzielten. Bei der erbrachten Leistung und Zufriedenheit der Nutzerinnen und Nutzer scheint unter den jeweiligen Versuchsbedingungen eine eindeutige Tendenz zugunsten mehrerer oder größerer Bildschirme vorzuherrschen. Eventuell damit einhergehende physiologische oder psychologische Auswirkungen auf den Menschen spielten indes kaum eine Rolle in den bisherigen Studien.

Es stellt sich also die Frage, ob eine Vergrößerung der Bildschirmfläche die genannten Effekte in positiver oder negativer Richtung beeinflussen kann bzw. ob überhaupt ein Effekt nachzuweisen ist.

Aus diesem Grund beauftragte die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) mit der arbeitswissenschaftlichen Untersuchung von Büroarbeitsplätzen mit mehreren Bildschirmen. In der als Laborstudie angelegten Untersuchung sollte ein klassischer „Ein-Bildschirmarbeitsplatz“ mit verschiedenen Konstellationen eines Multibildschirm-Arbeitsplatzes verglichen werden. Im Sinne einer vergleichenden Querschnittstudie wurden die Versuche mit zehn Versuchspersonen (fünf männlich, fünf weiblich) im Labor durchgeführt, wobei jede an jeder Bildschirmkonstellation drei standardisierte Aufgaben zu bearbeiten hatte. Basierend auf den o. g. Einflussfaktoren wurden dabei folgende Parameter messtechnisch erfasst: Körperhaltungen, -bewegungen und -positionen, muskuläre Aktivitäten im Schulter-/Nackebereich, Lidschlussfrequenzen, Veränderungen der Sehschärfe, eingenommener Bildschirmabstand, qualitative und quantitative Leistungsparameter sowie das subjektive Empfinden der Versuchspersonen.

Die Untersuchungen im IFA wurden beratend unterstützt durch Experten aus den Bereichen Augenheilkunde (Universitäts-Augenklinik Münster), Orthopädie/Chirurgie (Universitätsmedizin Greifswald) und des Instituts für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA).

Ziel der Untersuchungen war es, Hinweise auf mögliche Gefährdungen für die Beschäftigten durch neuartige Bildschirmkonstellationen zu finden und daraus eventuell notwendige Erweiterungen bestehender Präventionsempfehlungen abzuleiten.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Laborumgebung und Bildschirmkonstellationen

Die Versuche fanden unter kontrollierten Bedingungen an einem Modell-Büroarbeitsplatz im Ergonomielabor des IFA statt (Abbildung 1). Der Modell-Büroarbeitsplatz wurde im Rahmen einer früheren IFA-Untersuchung zu dynamischen Büroarbeitsstühlen entwickelt und ist im zugehörigen Forschungsbericht beschrieben [23]. Im Gegensatz zu Versuchen am realen Arbeitsplatz wurde so sichergestellt, dass äußere Einflüsse – z. B. Störungen durch Telefonate oder weitere Beschäftigte – vermieden und Umgebungsbedingungen wie Beleuchtung, Akustik, Temperatur usw. für alle Teilnehmenden gleich und konstant gehalten wurden.

Der Arbeitsplatz war mit handelsüblichem Bürostuhl und höhenverstellbarem Schreibtisch ausgerüstet. Die Helligkeit auf der Schreibtischoberfläche betrug mindestens 500 Lux und entsprach somit den Empfehlungen der DGUV Information 215-410.

Als zu untersuchende Bildschirmkonstellationen wurden drei Varianten mit 22“-Bildschirmen (Seitenverhältnis 16 : 10) festgelegt:

- „klassische“ Aufstellung mit einem waagerechten Bildschirm (Konstellation „W“) (Abbildung 2),
- zwei waagrecht aufgestellte Bildschirme nebeneinander (Konstellation „WW“) (Abbildung 3),
- ein waagrecht und ein senkrecht aufgestellter Bildschirm nebeneinander (Konstellation „WS“) (Abbildung 4).

Die zu bearbeitenden Aufgaben führten alle Versuchspersonen mit jeder dieser drei Bildschirmkonstellationen durch, um sowohl die jeweils erzielten Leistungen vergleichen als auch einen möglicherweise unterschiedlichen Einfluss auf die physiologischen Parameter aufzeigen zu können.

Abbildung 1:  
Laborumgebung: Modell-Büroarbeitsplatz (links) und Arbeitsplatz des Versuchsleiters (rechts)



Abbildung 2:  
Einzelbildschirm, waagrecht („W“)



Abbildung 3:  
Zwei waagerechte Bildschirme („WW“)



Abbildung 4:  
Waagerechter und senkrechter Bildschirm („WS“)



## 2.2 Standardisierte Bearbeitungsaufgaben

Die im Laborversuch zu bearbeitenden standardisierten Büroaufgaben an den Bildschirmen wurden überwiegend aus früheren IFA-Studien übernommen [22]. Damit war gewährleistet, dass sie nicht zu kompliziert waren, schnell erlernt werden konnten (geringe Einarbeitungs-/Vorbereitungszeit) und die erzielte Arbeitsleistung bewertbar war. Folgende drei Aufgaben wurden ausgeführt:

### 1. Text abschreiben (Tastatur-Aufgabe)

Hierbei musste ein Text aus einer PDF-Vorlage mithilfe eines Textverarbeitungsprogramms in ein Dokument getippt werden. Der Vorlagentext – ein Auszug aus „Tausendundeine Nacht“ – enthielt zum Teil im Sprachgebrauch selten verwendete Formulierungen sowie eine Reihe von Fremdwörtern, um die Aufgabe abwechslungsreich zu gestalten und eine erhöhte Aufmerksamkeit zu erreichen. Als Leistungsparameter wurden die pro Zeiteinheit übertragenen Zeichen und Worte verwendet.

### 2. Textvergleich/Fehlersuche (Lese-Aufgabe)

Bei dieser Aufgabe mussten zwei vermeintlich identische Texte miteinander verglichen werden. Gefundene Unterschiede sollten in beiden Texten mit der Markierfunktion des Textverarbeitungsprogramms gekennzeichnet werden. Als Unterschiede wurden Wortveränderungen, Rechtschreibfehler, Wort- und Buchstabenauslassungen usw. verwendet. Die Fehler und Textabweichungen waren unterschiedlich dicht verteilt (je Seite zwischen drei und 26 Stellen). Die Texte stammten aus der Sammlung „Grimms Märchen“. Als Leistungsparameter dienten sowohl die Anzahl entdeckter Fehler oder Unterschiede als auch die Anzahl der auf Unterschiede verglichenen Worte (verglicherer Textumfang).

### 3. Daten sortieren (Maus-Aufgabe)

Bei dieser Aufgabe mussten Datensätze aus einem PDF-Listendokument in eine Tabelle alphabetisch bzw. numerisch aufsteigend einsortiert werden. Die Datensätze bestanden aus Blöcken von jeweils sechs Buchstaben und Zahlen. Ausschlaggebend für die Einsortierung in die Tabelle war jeweils das erste Zeichen eines Datensatzes. Die Datensätze wurden zuvor mittels einer Zufallsfunktion generiert und abgespeichert, sodass alle Probandinnen und Probanden einen identischen Datensatz zur Bearbeitung vorgelegt bekamen. Als Leistungsparameter diente die Anzahl der sortierten Datensätze.

Die Aufgaben wurden mit den Programmen MS Word und MS Excel durchgeführt. Die Fenstergröße war jeweils auf Bildschirmgröße maximiert (beim Einzelbildschirm auf halbe Bildschirmbreite) und konnte ebenso wie die vorgegebene Zeichengröße und der Darstellungsort nicht verändert werden. Der abzuschreibende Text bzw. die einzusortierenden Datensätze waren jeweils auf dem linken Bildschirm bzw. bei der Einzelbildschirm-Variante auf der linken Seite des Bildschirms dargestellt.

## 2.3 Versuchspersonen

Als Versuchspersonen sollten Beschäftigte eines Unternehmens gewonnen werden, deren Haupttätigkeit aus typischen Büro-/Bildschirmarbeiten besteht, die gewisse medizinische Kriterien erfüllten und die freiwillig an der Untersuchung teilnehmen wollten. Die Rekrutierung erfolgte mittels unternehmensinterner Rundschreiben per E-Mail und als Aushang.

Potenzielle Teilnehmende wurden vor Einschluss in die Studie mit einem Informationsschreiben über das Wesen der Studie, die Ziele, den Umfang und die Dauer der Untersuchung aufgeklärt (Anhang B). Sie wurden darüber informiert, dass ihre spezifischen Daten ausschließlich in pseudonymisierter Form gespeichert und in anonymisierter Form ausgewertet werden. Vor Einschluss in die Studie musste ihre schriftliche Einverständniserklärung vorliegen (Anhang C).

Als Teilnahmevoraussetzungen galten folgende Bedingungen:

- 1) Teilnahme an einer Untersuchung zur Feststellung des Sehvermögens. Diese Untersuchung umfasste
  - die Ermittlung der augenärztlichen Vorgeschichte, aktueller Beschwerden und evtl. verordneter Medikamente,
  - einen Sehtest bestehend aus
    - Sehschärfebestimmung im Nah- und Fernbereich,
    - Prüfung der Augenstellung,
    - Prüfung des zentralen Gesichtsfeldes,
    - Prüfung des Farbsinnes,
  - eine ärztliche Beurteilung und persönliche Beratung.

Das Tragen einer Brille oder von Kontaktlinsen war kein Ausschlusskriterium für die Teilnahme. Die Studienleitung erhielt keine Detailinformationen über die Ergebnisse der Untersuchungen, sondern lediglich eine Mitteilung darüber, ob die Teilnahmevoraussetzungen für die geplanten Laboruntersuchungen erfüllt sind.

Die Untersuchung führte der Betriebsärztliche Dienst im Zentrum Bonn ([www.bad-gmbh.de](http://www.bad-gmbh.de)) durch.

- 2) Teilnahme an einer ärztlichen Befragung (Anhang G) zu Belastungen/Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems, da Beeinträchtigungen im Stütz- und Bewegungsapparat die Versuchsergebnisse möglicherweise verfälschen könnten. Dr. med. *Ulrike Hoehne-Hückstädt*, Ärztin im IFA, übernahm diese Befragung.

Für alle Untersuchungen lag ein positives Votum der Ethikkommission der Universität Greifswald vor. Sieben potenzielle Versuchspersonen erfüllten die augenärztlichen Teilnahmebedingungen nicht und mussten deswegen von der Studie ausgeschlossen werden. Das endgültige Kollektiv bestand aus zehn Personen (jeweils fünf Frauen und Männer) im Alter von 23 bis 62 Jahren (Durchschnittsalter:  $36,1 \pm 13,4$  Jahre). Alle waren Rechtshänder und sieben trugen eine geeignete Sehhilfe (Brille).

Die Körpergröße der Versuchspersonen variierte von 162 bis 186 cm (Mittelwert:  $174,3 \pm 8,3$  cm) und das Körpergewicht betrug zwischen 58 und 85 kg (Mittelwert:  $74,2 \pm 7,8$  kg).

## 2.4 Messinstrumente und -parameter

### 2.4.1 Körperhaltungs-Messsystem CUELA

Die Messung der Körperhaltung und Gelenkwinkel während der Versuche erfolgte mithilfe des Messsystems CUELA [30]. Dieses auf der Kleidung getragene System ermöglicht eine gradgenaue Erfassung von Körperwinkeln, ohne den Träger bei seiner Arbeit zu beeinträchtigen. Verschiedene Sensoren – Potentiometer, Gyroskope, Inklinometer, Drehsensoren und Inertialsensoren – erfassen die Stellung von Gelenken der Extremitäten und die Haltung des Oberkörpers und Kopfes mit einer Frequenz von 50 Hz. Der Verlauf der Messdaten kann für mehrere Stunden aufgezeichnet und anschließend statistisch ausgewertet werden. CUELA wird seit Jahren in unterschiedlichen Varianten an Büroarbeitsplätzen (z. B. [18; 19; 23; 31; 32]) und bei anderen beruflichen Tätigkeiten (z. B. [33 bis 38]) erfolgreich eingesetzt.

Die in dieser Untersuchung eingesetzte Variante von CUELA wurde speziell für sitzende Tätigkeiten entwickelt (Abbildung 5). Sie bestand aus Messelementen mit Inertialsensoren und Gyroskopen [39] im Lendenwirbelsäulen(LWS)- und Brustwirbelsäulen(BWS)-Bereich und am Kopf.

Die Kopfhaltungen und -bewegungen wurden in zwei Dimensionen erfasst und ausgewertet. Während Halstorsionen/Kopffrotationen (Abbildung 6, oben) nach links und rechts bei größerer Bildschirmbreite entsprechend größer erwartet werden können, kann davon ausgegangen werden, dass Kopfbewegungen nach vorne/unten (Halskrümmung nach vorne/Kopfneigung, berechnet aus der Differenz von Kopf- und BWS-Inklinationswinkel, Abbildung 6, unten) bei einer größeren Bildschirmhöhe ausgeprägter sind. Beide Parameter sind vermutlich auch abhängig von der zu bearbeitenden Aufgabe. Als für die Aufgabenstellung relevante Parameter wurden im Fall der Halskrümmung die Winkelverteilung sowie der maximale Bewegungsumfang in beide Richtungen („Range“, berechnet aus dem Wert des 95. Perzentils abzüglich des Wertes des 5. Perzentils) festgelegt, für die Halstorsion neben der Range die aufsummierten Winkelgradbeträge als Bewegungsmaß. Hierfür wurden alle Änderungen der Halstorsion in Grad aufsummiert, d. h. aus der verwendeten zeitlichen Auflösung des CUELA-Messsystems von 50 Hz resultierten 135 000 Winkeländerungen bei einer 45-minütigen Messung.

## 2 Material und Methoden

Abbildung 5:  
CUELA-Messsystem, rechts mit Kopfsensor

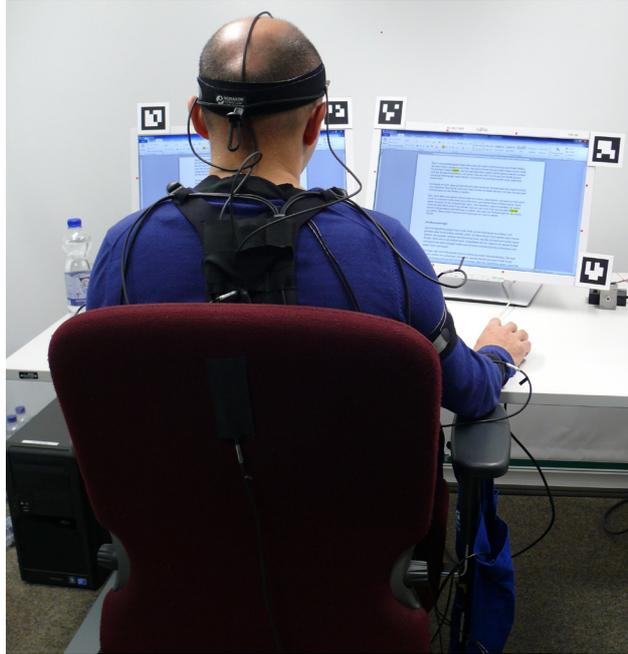
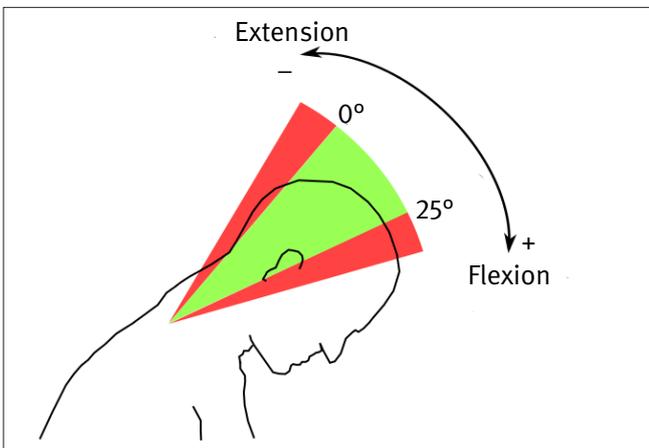
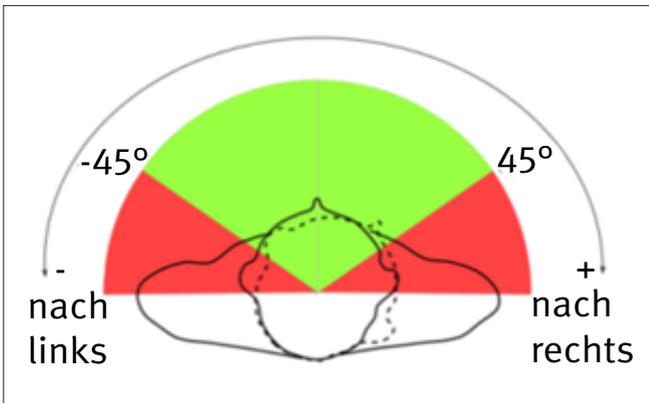


Abbildung 6:  
Grenzwerte für Halstorsion/Kopfrotation (oben, in Anlehnung an DIN EN 1005-4 [40]) und Halskrümmung/Kopfneigung (unten, in Anlehnung an ISO 11226 [41])



Als weiteres relevantes Maß für die Beschreibung der Körperhaltung wurde die Vorneigung im Bereich der Brustwirbelsäule (BWS/BWS-Neigung) gewählt (Winkelverteilung und Bewegungsumfang), da sich bei der Arbeit mit einer größeren Bildschirmfläche eventuell Änderungen der Oberkörpervorneigung ergeben könnten.

Zur Aufzeichnung eventuell unterschiedlich ausgeprägter Drehungen der Personen mit dem Bürostuhl (Rotation, jeweils Range und aufsummierte Winkelgradbeträge) wurde zudem ein Inertialsensor in die Rückenlehne des Bürostuhls integriert (Abbildung 7).

Zur Kontrolle und Verifizierung der Messdaten wurden die Versuche zusätzlich mit zwei Videokameras (von der rechten Seite und von oben) aufgezeichnet. Auf diese Weise war eine direkte Zuordnung von Tätigkeiten und Messdaten zu jedem Messzeitpunkt gewährleistet. Aus Tabelle 1 sind die verwendeten Sensorpositionen, die Messparameter und jeweiligen Bewertungskriterien zu entnehmen.

Abbildung 7:  
Inertialsensor in der Rückenlehne des Bürostuhls



Tabelle 1:  
Sensorpositionen, Parameter und Beurteilungskriterien

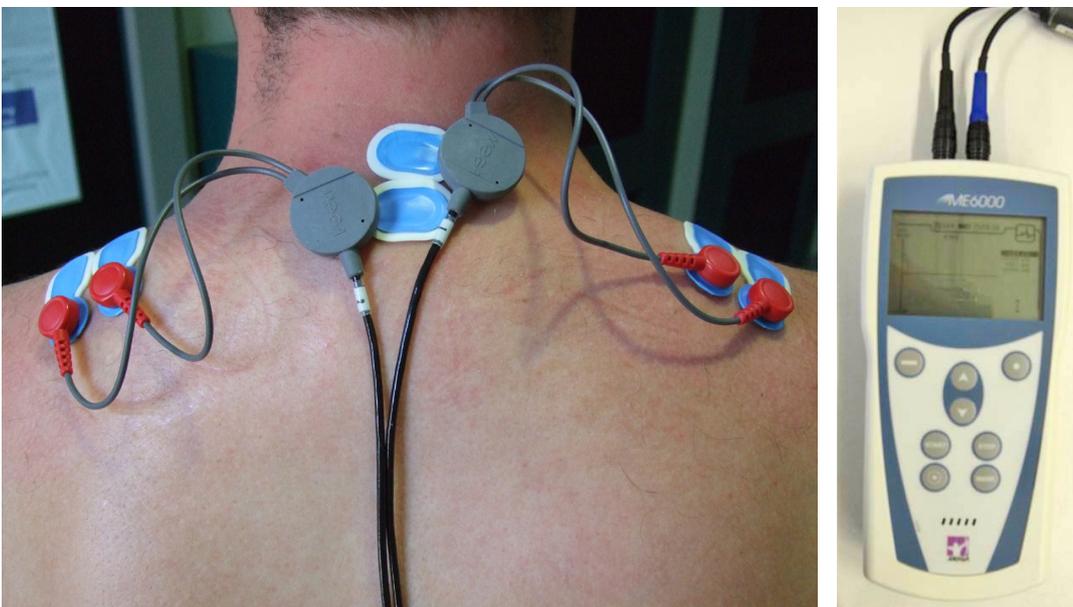
Sensorpositionen	Parameter	Beurteilungskriterium
Kopf/Stirn	Halstorsion/Kopfrotation in Grad und aufsummierte Winkelgradbeträge	DIN EN 1005-4 und vergleichend
BWS und Kopf/ Stirn	Halskrümmung/Kopfneigung (Extension/Flexion) in Grad	ISO 11226 und vergleichend
BWS	BWS-Neigung (Extension/Flexion) in Grad	vergleichend
Bürostuhllehne	Bürostuhlrotation in Grad und aufsummierte Winkelgradbeträge	vergleichend

#### 2.4.2 Oberflächen-Elektromyografie (OEMG) der Trapezius-Muskeln

Die elektrische Muskelaktivität des rechten und linken Trapezius-Muskels wurde mittels eines EMG-Gerätes (ME6000, Mega Electronics Ltd., Kuopio, Finnland) über die Hautoberfläche

gemessen und aufgezeichnet (Abbildung 8). Die Sampling Rate betrug 1 000 Hz. Die Positionierung der Elektroden wurde anhand der Empfehlungen von SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles, Biomedical Health and Research Program, BIOMED II, der Europäischen Union, [www.seniam.org](http://www.seniam.org)) vorgenommen.

Abbildung 8:  
Anbringung der OEMG-Elektroden auf dem linken und rechten Trapezius-Muskel (links) und Datenlogger ME6000 (rechts)



Als Referenzwert wurde das elektrische Signal bei maximaler willentlicher Kontraktion (100 % MVC, maximum voluntary contraction) des Muskels verwendet. Diese individuelle Maximalkontraktion wurde jeweils vor den Versuchen ermittelt, indem die Testperson auf dem Stuhl sitzend mit der Hand unter die Sitzfläche des Stuhles griff und dann versuchte, die Sitzfläche mit möglichst viel Kraftaufwand nach oben zu ziehen. Der Maximalwert aus mehreren Kontraktionen über mehrere Sekunden hinweg wurde dann als 100 % MVC definiert. Durch diese „Normalisierung“ der jeweiligen MVC-Werte konnte die elektrische Muskelaktivität verschiedener Testpersonen miteinander verglichen werden, z. B. [42].

#### 2.4.3 Eye-Tracking/Lidschlussfrequenz

Bei lang anhaltender Bildschirmarbeit können verschiedene Beschwerdesymptome der Augen, wie zu trockene oder gereizte Augen, auftreten. Eine derartige Überanstrengung der Augen kann durch mehrere Faktoren hervorgerufen werden, u. A. durch eine niedrige Lidschlussfrequenz. Der Lidschluss ist einerseits ein unwillkürlicher Reflex zum Schutz des Auges

und andererseits auch ein Reinigungsmechanismus, der die Tränenflüssigkeit, die das menschliche Auge benetzt, verteilt. Verschiedene Faktoren können die Lidschlussfrequenz beeinflussen. Als „Blinzler“ ist ein Lidschluss mit einer Dauer von 100 bis 400 ms definiert [43]. Die Lidschlussfrequenz in Ruhe wird zwischen acht und 21 Lidschlüssen pro Minute angegeben, kann aber bei Unterhaltungen auf über 30 pro Minute ansteigen und bei Konzentration auf bestimmte Aufgaben und beim Lesen auf unter 5 pro Minute absinken [44 bis 46]. Beim Lesen wird meist bei einem Zeilensprung geblinzelt [47]. Medikamente, Stress, Müdigkeit und die Gefühlslage an sich (Emotionen) können die Lidschlussrate ebenfalls beeinflussen [48]. Die Frequenz der Lidschlüsse kann also Hinweise darauf geben, ob eine Person z. B. psychisch stark beansprucht ist oder etwas hoch konzentriert beobachtet. Je nach Aufgabe und aktuellem Befinden kann die Lidschlussfrequenz variieren und Hinweise auf die Belastung/ Beanspruchung und den Grad der (physiologisch erforderlichen) Benetztheit der Augenoberfläche mit Tränenflüssigkeit liefern.

In dieser Untersuchung wurden Lidschlüsse berührungsfrei mit einem Kamerasystem (Eye-Tracking-System DIKABLIS,

Fa. Ergoneers, Manching, (Abbildung 9) aufgezeichnet. Hierbei erfasst eine Mustererkennungssoftware das Fehlen oder Vorhandensein der Pupille im Kamerabild und je nach Dauer des Fehlens kann ein Lidschluss angenommen werden.

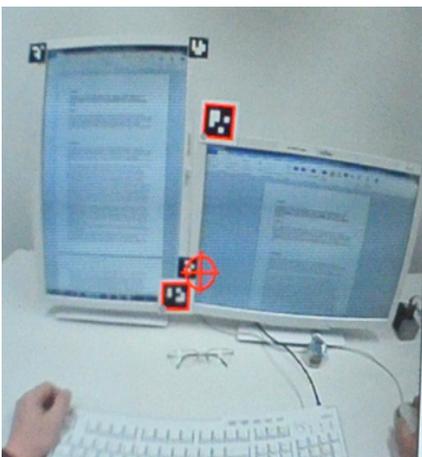
Abbildung 9:  
Eye-Tracking-System



Das System besteht aus zwei kopfbasierten Kameras, von denen eine schräg von unten das Bild des linken Auges und eine zweite Kamera das Szenenbild vor der Person aufzeichnet. Die Szenenkamera ist aufgrund ihrer Position nahe der Nasenwurzel für die Testperson fast nicht sichtbar. Die Augenkamera mit 50-Hz-Aufnahmefrequenz befindet sich am unteren Rand des Sichtfeldes des linken Auges und wird nach einiger Zeit der Gewöhnung kaum noch wahrgenommen.

Für eine genaue Positionsbestimmung des Eye-Tracking-Systems in Bezug auf die Umgebung sind optische Marker (Abbildung 10) notwendig. Sie wurden an den äußeren Rändern der Bildschirme angebracht und dienen nach einer Kalibrierung der eindeutigen Zuordnung des Sehzieles bzw. Definition des Fixpunktes in Kamerabildkoordinaten.

Abbildung 10:  
Optische Marker des Eye-Tracking-Systems



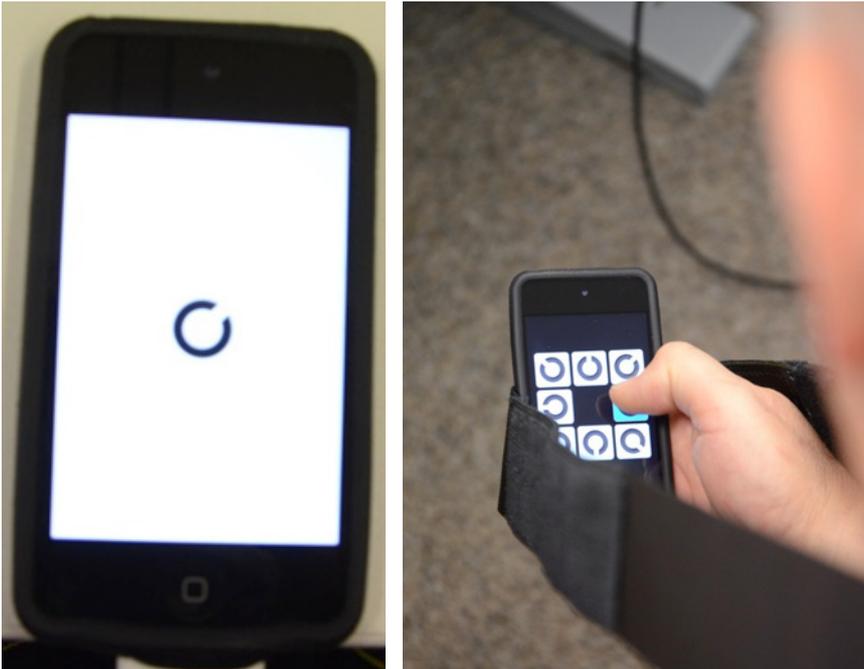
### 2.4.4 Bestimmung der Sehschärfe (Visus)

Eine weitere Möglichkeit, eventuelle Beeinträchtigungen des Sehvermögens durch die Nutzung mehrerer Bildschirme zu erkennen, ist die Überprüfung der Sehschärfe (Visus). Diese kann standardisiert mithilfe des Landolt-Sehtests gemessen werden, der auf dem Norm-Sehzeichen „Landoltring“ [49] basiert. Es handelt sich um einen Kreisring, dessen Außen- und Innendurchmesser im Verhältnis 5 : 3 zueinander stehen. Die Öffnung beträgt ein Fünftel des Außendurchmessers des Rings. Der Kreis kann mit der Ringöffnung in acht Positionen dargestellt werden (Aussparung nach oben, unten, rechts oder links und die vier Zwischenstellungen). Die zu testende Person hat die Aufgabe, die jeweilige Richtung der Öffnung zu erkennen. Die Landoltringe werden dabei in mehreren Reihen präsentiert und unterscheiden sich, nach unten hin kleiner werdend, auch in ihrer Größe. Die Größe der Ringe, die bei einer vorgegebenen Entfernung noch erkannt werden kann, bestimmt den Visus-Wert. Kann ein Landoltring, dessen Aussparung einem Sehwinkel von einer Bogenminute entspricht (1,45 mm bei 5 m Entfernung), erkannt werden, entspricht dies einem Visus von 1,0. Je kleiner der Sehwinkel ist, unter dem der Spalt noch wahrnehmbar ist, desto besser ist also die Sehschärfe. Würde der Spalt erst bei einem Winkelabstand von zwei Bogenminuten erkannt, entspräche dies einem Visus von 0,5.

Bei abnehmender Größe des Landoltrings sinkt die Erkennungsrate von anfangs 100 % auf eine Zufalls- oder Ratewahrscheinlichkeit von 12,5 % (1/8). Der Verlauf wird durch eine „psychometrische Funktion“ beschrieben. In Kurvenform dargestellt hat die psychometrische Funktion einen Wendepunkt in der Mitte zwischen 100 und 12,5 (Trefferrate: 56,25 %). Diese steilste Stelle ist als Reizschwelle definiert, weil die dort abgelesene Sehschärfe von zufälligen Schwankungen am wenigsten beeinflusst wird. Die Reizschwelle bei der optischen Wahrnehmung ist kein fester Wert, sondern entspricht einer stetigen Übergangsfunktion von sicherem Nicht-Erkennen zu sicherem Erkennen. Diese Funktion wurde für jede Versuchsperson individuell durch die Erkennungsrate bei der Präsentation der Landoltringe bestimmt, indem aus den Trefferwahrscheinlichkeiten aller dargebotenen Größen die psychometrische Funktion (Gauss'sche Normalverteilung) geschätzt wurde. Detaillierte Informationen zu dieser Methode finden sich bei *Bach* und *Kommerell* [50].

In augenärztlichen Praxen und Optikfachgeschäften werden Landolt-Sehtests meist mit speziellen Sehtestgeräten durchgeführt. *Conradi* et al. [51; 52] haben eine Methode entwickelt, mit der sich der Visus mit einem herkömmlichen Smartphone ermitteln lässt. Dazu werden nacheinander in wechselnder Reihenfolge Landoltringe mit unterschiedlich großem Spalt präsentiert und man entscheidet per Berührung des entsprechenden Symbols auf dem Display, um welchen Landoltring es sich gehandelt hat (Abbildung 11).

Abbildung 11:  
Landoltring: Darstellung (links) und Auswahl (rechts) auf dem Smartphone



Der einzuhaltende Abstand zum in der Hand gehaltenen Smartphone wurde mit einem um den Nacken und die Hand gelegten, straff zu haltenden Gurtband sichergestellt (Abbildung 11, rechts). Die Visus-Bestimmung erfolgte an jedem Versuchstag jeweils direkt vor Versuchsbeginn („Prä-Test“) und nach Versuchsende („Post-Test“).

#### 2.4.5 Messung des Bildschirmabstands

Sollte sich herausstellen, dass sich der Sehabstand bei der Nutzung von zwei Bildschirmen signifikant vom Sehabstand bei der Nutzung eines Einzelbildschirms unterscheidet, müsste dies bei der Darstellung der Textgröße auf dem Bildschirm berücksichtigt werden. Die Empfehlungen aus der DGUV Information 215-410 lauten, dass *„die Höhe der Großbuchstaben ohne Oberlänge (Zeichenhöhe) unter einem Sehwinkel zwischen 22 Bogenminuten und 31 Bogenminuten erscheint, das heißt auch bei einem Mindest-Sehabstand von 500 mm eine Höhe von 3,2 mm nicht unterschreitet“*. Für die Versuche wurde somit für einen angenommenen Sehabstand von ca. 60 bis 70 cm eine unveränderliche Zeichengröße von 4,9 mm festgelegt. Dies entspricht einem Sehwinkel von 24 Bogenminuten (70 cm Abstand) und 27 Bogenminuten (60 cm Abstand). Sollte sich der Sehabstand bei den Bildschirmvarianten deutlich unterscheiden, müsste dies bei der Einrichtung eines Bildschirmarbeitsplatzes berücksichtigt und als Konsequenz möglicherweise eine andere Mindestgröße der Zeichen verwendet werden.

Für die Messung des Sehabstandes wurden die für das Eye-Tracking-System installierten optischen Marker an den Bildschirmrändern verwendet (Abbildung 10).

Das Szenenvideo des Eye-Tracking-Systems und die auf dem Video sichtbaren optischen Marker wurden mit der

Mustererkennungs-Software ARToolKit<sup>1</sup> ausgewertet. Bei bekannter Größe der Marker, der optischen Auflösung des Kamerabildes sowie der Größe und Ausrichtung der Marker auf dem Kamerabild lässt sich der Abstand zwischen Kameralinse und der Marker zentimetergenau berechnen. Somit kann man auch den Abstand zwischen Kamera und der jeweiligen Bildschirmmitte kontinuierlich über die gesamte Messdauer mit einer zeitlichen Auflösung von 50 Hz bestimmen. Als relevante Vergleichsgrößen wurden die Abstandsverteilung und die Range herangezogen.

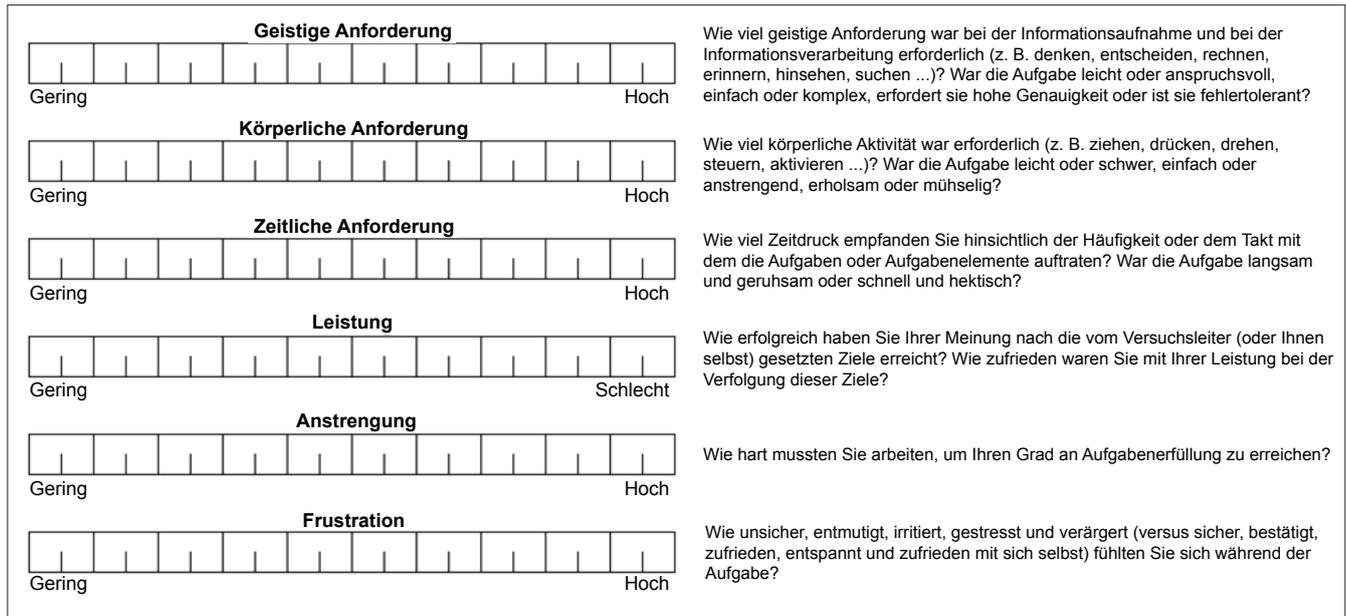
#### 2.4.6 Fragebögen zur subjektiven Einschätzung und Beanspruchung

Vor und nach jedem Versuch wurden den Testpersonen verschiedene Fragebögen vorgelegt. Vor den Versuchen erfolgte eine Abfrage der am eigenen Arbeitsplatz verwendeten Bildschirmonstellung, aktueller körperlicher Beschwerden und einer eventuellen Beeinträchtigung der Sehfähigkeit (Anhang D). Nur beschwerdefreie Personen durften an den Versuchen teilnehmen. Jeweils nach den Versuchen wurde den Testpersonen der Fragebogen NASA-TLX: Task Load Index<sup>2</sup> [53; 54] (Anhang E) vorgelegt. Dieser ist ein Werkzeug zur subjektiven Bewertung der Arbeitsbelastung. Es ist ein mehrdimensionales Bewertungsverfahren, das basierend auf einem gewichteten Durchschnitt der Bewertungen auf sechs Subskalen (drei Belastungskategorien und drei Beanspruchungskategorien) und einem wiederholten Paarvergleich der Kategorien einen Punktwert für den Gesamtbelastungsaufwand berechnet. Die Subskalen lauten „Geistige Anforderung“, „Körperliche Anforderung“, „Zeitliche Anforderung“, „Leistung“, „Anstrengung“ und „Frustration“ (Abbildung 12).

<sup>1</sup> <https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

<sup>2</sup> <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/>

Abbildung 12:  
NASA-TLX: Task Load Index



Nach dem letzten Versuch wurde zusätzlich abgefragt, welche der vorgegebenen Bildschirmkonstellationen für die Aufgabebearbeitung als am besten geeignet/angenehmsten erschien und für welche sich die Testperson bei freier Auswahl entscheiden würde (Anhang F).

## 2.5 Versuchsablauf

Die drei Versuchsteile mit je einer Bildschirmkonstellation fanden an unterschiedlichen Tagen jeweils zur gleichen Tageszeit (wahlweise vormittags oder nachmittags) statt. Zwischen den einzelnen Versuchstagen lagen für jede Testperson mehrere Ruhetage. Nach der Beantwortung der Fragebögen schloss sich die Prä-Test-Visus-Bestimmung an. Anschließend erfolgte die Instrumentierung der Versuchspersonen mit den Messsystemen (CUELA, EMG, Eye-Tracking) sowie die individuelle Einstellung des Bürostuhls und der Schreibtischhöhe. An jedem Versuchstag mussten die drei Aufgaben – Text abschreiben, Text vergleichen und Daten sortieren – in unterschiedlicher Reihenfolge bearbeitet werden. Die Dauer der Bearbeitung betrug für jede Aufgaben 45 Minuten, gefolgt von einer etwa fünfminütigen Erholungspause. Nach Abschluss der letzten Aufgabe wurden die Messsysteme gestoppt, der Visus erneut bestimmt und der Belastungs-/Beanspruchungsfragebogen ausgefüllt.

## 2.6 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mit den folgenden statistischen Verfahren und Programmen:

- Die Datensätze wurden jeweils mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Die für die Datensätze bestätigte Normalverteiltheit der Daten ist eine Voraussetzung für den Zweistichproben-t-Test für abhängige Stichproben. Anhand der Mittelwerte der zwei Stichproben wurde geprüft, ob die Mittelwerte der zwei zugehörigen Grundgesamtheiten voneinander verschieden sind [55]. Geprüft wurde auf dem Signifikanzniveau von 5 %. Die Signifikanztests und Prüfungen auf Normalverteilung wurden mit dem Programm SPSS, Version 20, durchgeführt.
- Die Darstellung von Verteilungen der Mittelwerte erfolgt in Boxplots. Die Box entspricht dem Wertebereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Sie wird durch das 25. und 75. Perzentil der Daten begrenzt. Der Median (50. Perzentil) ist als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet. Die Antennen (Whiskers) markieren jeweils das 5. und 95. Perzentil der Werteverteilung. Die Boxplots wurden mit der im IFA für CUELA-Messwerte entwickelten Auswertesoftware WIDAAN erzeugt.

# 3 Ergebnisse

## 3.1 Körperhaltungs- und Bewegungsdaten

### 3.1.1 Halstorsion (Kopffotation)

In Tabelle 2 ist die Range, d. h. die Werte des jeweils 5. und 95. Perzentils (P05 bis P95) des Halstorsionswinkels nach links und rechts, angegeben. Erwartungsgemäß nimmt das Ausmaß der Kopffotationen mit der verwendeten Bildschirmbreite in der aufsteigenden Reihenfolge Einzelbildschirm (W), waagerechter und senkrechter Bildschirm (WS), zwei waagerechte Bildschirme (WW) zu. Der Bewegungsumfang selbst liegt aber für alle Konstellationen bei deutlich unter 45° in beide Richtungen und kann somit aus physiologischer Sicht und in Anlehnung an DIN EN 1005-4 als unbedenklich eingestuft werden. Die Unterschiede zwischen Einzelbildschirm und den beiden Varianten mit zwei Bildschirmen sind für alle Aufgaben signifikant

(Tabelle 3). Die Unterschiede zwischen den beiden Varianten mit zwei Bildschirmen sind erwartungsgemäß weniger ausgeprägt.

Unterschiede bei den Aufgabentypen waren indes nur bei Verwendung von zwei Bildschirmen nachzuweisen (Tabelle 4). Am Einzelbildschirm mit ohnehin nur geringem Ausmaß der Halstorsion haben die zu bearbeitenden Arbeitsaufgaben keine signifikanten Auswirkungen auf diese.

Neben der Range der Halstorsion wurde auch die Häufigkeit der rotatorischen Kopfbewegungen in Form von aufsummierten Winkelgradbeträgen ausgewertet (Tabelle 5).

Sowohl die Arbeitsaufgabe als auch die Bildschirmkonstellation beeinflussen demnach die Summe der Kopfbewegungen (Rotation): Mit zunehmender Bildschirmbreite nimmt diese zu. Unabhängig von der Bildschirmvariante nimmt die Halstorsion in der aufsteigenden Reihenfolge „Text vergleichen“, „Text abschreiben“ und „Daten sortieren“ zu.

Tabelle 2: Halstorsionen in Grad (nach links/rechts, Range P05 bis P95) für drei Testaufgaben und drei Bildschirmkonstellationen

	W	WS	WW
Daten sortieren	-8 bis 11°	-19 bis 16°	-20 bis 20°
Text abschreiben	-9 bis 7°	-12 bis 13°	-15 bis 14°
Text vergleichen	-9 bis 12°	-15 bis 15°	-17 bis 17°

Tabelle 3: Statistischer Vergleich (p-Werte) der Halstorsion bezüglich der Bildschirmkonstellation; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,000*	0,000*		0,008*	0,002*		0,017*	0,015*
WS		0,034*			0,026*			0,269

Tabelle 4: Statistischer Vergleich (p-Werte) der Halstorsion bezüglich der Arbeitsaufgabe; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

W	Ta	Tv	WW	Ta	Tv	WS	Ta	Tv
Ds	0,789	0,291		0,000*	0,004*		0,000*	0,045*
Ta		0,241			0,005*			0,014*

Tabelle 5: Summe der Winkelgradbeträge bei Halstorsionen (Mittelwerte über zehn Versuchspersonen) für Bildschirmkonstellationen und Arbeitsaufgaben; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

	W	WS	WW
Ds	16 106°	24 863°	31 125°
Ta	13 085°	18 081°	23 917°
Tv	8 868°	11 261°	13 459°

3.1.2 Halskrümmung (Extension/Flexion)

Die Halskrümmung – berechnet aus der Differenz von Kopf- und BWS-Inklinationswinkel – lag bei allen Bildschirmkombinationen im Mittel im leicht vorgeneigten Bereich. Nur bei der Aufgabe des Textvergleichs war – unabhängig von der Bildschirmvariante – eine leicht negative Nackenflexion (Extension) bei den Mittelwerten zu verzeichnen (Abbildung 13), was in Anlehnung an ISO 11226 (Abbildung 6) nicht mehr als Neutralhaltung bezeichnet werden kann und vermieden werden sollte.

Der Textvergleich und das Abschreiben des Textes unterschieden sich bei fast allen Bildschirmkonstellationen signifikant voneinander (Tabelle 6).

Die Bildschirmkonstellation selbst schien sich in den meisten Fällen nicht signifikant auf die Halskrümmung auszuwirken: Mit Ausnahme des Textvergleichs zwischen den Konstellationen „WS“ und „WW“ waren keine signifikanten Unterschiede in der Halskrümmung zu erkennen (Tabelle 7).

Die Range der Halskrümmung (P05 bis P95, Bewegungsumfang in Grad) lag bei allen Versuchen im Mittel in einem engen Bereich von 14 bis 18° (Abbildung 13).

Abbildung 13:

Boxplots der Verteilungen (Mittelwerte) für die Halskrümmung nach vorne für Bildschirmkonstellationen und Arbeitsaufgaben; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen)

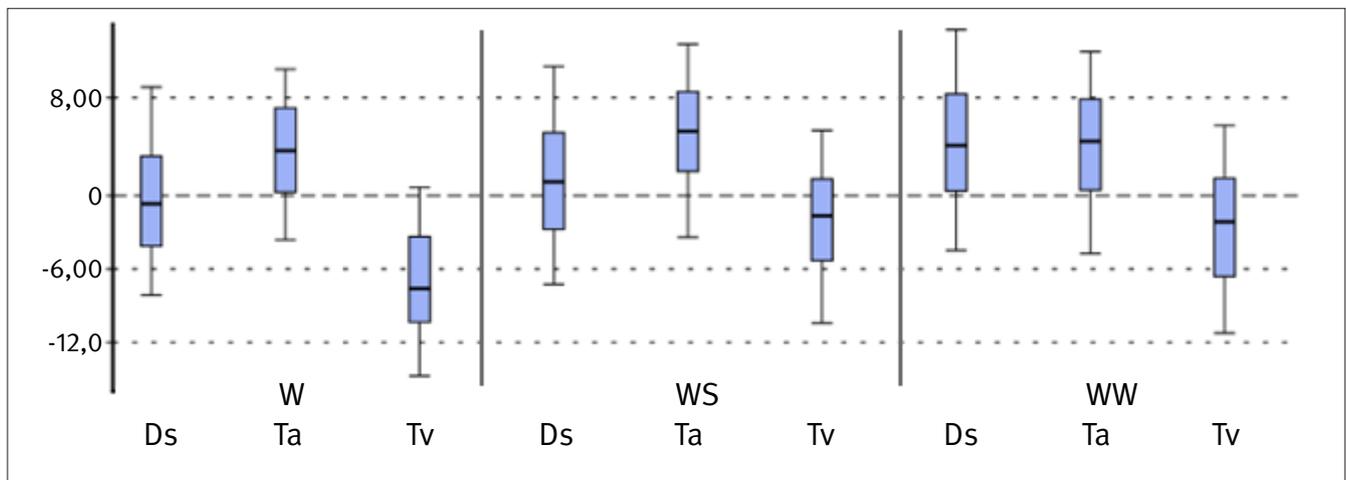


Tabelle 6: Statistischer Vergleich (p-Werte) der Halskrümmung nach vorne (Mittelwerte) bezüglich der Arbeitsaufgabe; t-Test: \* = signifikant

W	Ta	Tv	WW	Ta	Tv	WS	Ta	Tv
Ds	0,074	0,041*		0,889	0,050		0,054	0,333
Ta		0,021*			0,037*			0,041*

Tabelle 7: Statistischer Vergleich (p-Werte) der Halskrümmung nach vorne (Mittelwerte) bezüglich der Bildschirmkonstellation; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,592	0,178		0,504	0,939		0,327	0,033*
WS		0,210			0,519			0,917

3.1.3 BWS-Neigung (Extension/Flexion der Brustwirbelsäule)

Der Vorneigungswinkel der BWS ist eng verbunden mit der oben betrachteten Halskrümmung nach vorne. Um den Blick auf den frontal stehenden Bildschirm beizubehalten, muss die Halskrümmung bei zunehmender Vorneigung der BWS in die entgegengesetzte Richtung zunehmen und umgekehrt. Dies zeigt sich deutlich in der Darstellung der BWS-Neigung in Abbildung 14. Die Aufgabe „Text vergleichen“, die zu auffälligen negativen

Halskrümmungswinkeln geführt hatte, fällt bei der BWS-Neigung durch relativ hohe Werte auf.

Signifikante Unterschiede auf dem 5%-Niveau konnten aber weder für den Aufgabentyp noch für die Bildschirmkonstellation berechnet werden. Dies gilt sowohl für die Mittelwerte als auch für deren Range (Tabellen 8 bis 11). Allenfalls bei der Bildschirmkonstellation WW unterschieden sich die Mittelwerte der BWS-Neigung beim Vergleich der Tätigkeiten Tv (Text vergleichen) und Ta (Text abschreiben) annähernd signifikant ( $p = 0,054$ ).

Abbildung 14:

Boxplots der Verteilungen (Mittelwerte) der BWS-Neigung nach vorne für Bildschirmkonstellationen und Aufgaben; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

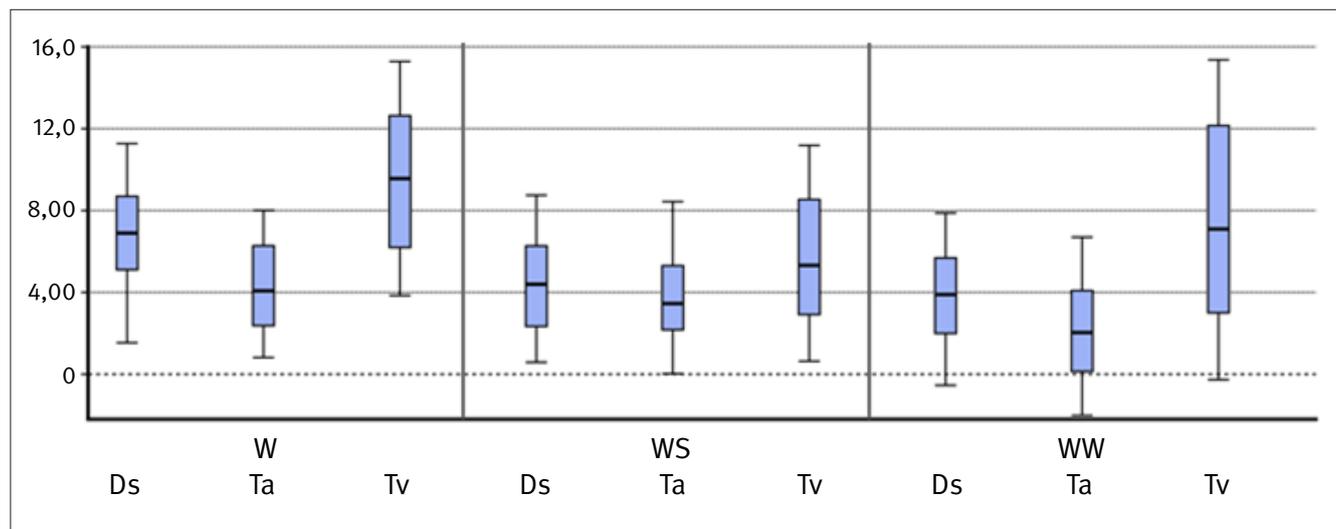


Tabelle 8:

Statistischer Vergleich (p-Werte) der BWS-Neigung nach vorne (Mittelwerte) bezüglich der Aufgabe; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

W	Ta	Tv	WW	Ta	Tv	WS	Ta	Tv
Ds	0,392	0,247		0,479	0,137		0,551	0,610
Ta		0,222			0,054			0,494

Tabelle 9:

Statistischer Vergleich (p-Werte) der BWS-Neigung nach vorne (Mittelwerte) bezüglich der Bildschirmkonstellation; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,458	0,329		0,786	0,450		0,475	0,489
WS		0,658			0,421			0,601

Tabelle 10:

Statistischer Vergleich (p-Werte) der BWS-Neigung nach vorne (Range) bezüglich der Aufgabe; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

W	Ta	Tv	WW	Ta	Tv	WS	Ta	Tv
Ds	0,193	0,479		0,880	0,130		0,881	0,465
Ta		0,075			0,111			0,479

Tabelle 11:

Statistischer Vergleich (p-Werte) der BWS-Neigung nach vorne (Range) bezüglich der Bildschirmkonstellation; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,502	0,467		0,406	0,516		0,816	0,314
WS		1,0			0,437			0,499

3.1.4 Rotation des Bürostuhls

Die Messungen zur Rotation des Bürostuhls mit dem Inertialsensor in der Rückenlehne zeigten im Mittel nur gering ausgeprägte Bewegungen von meist deutlich weniger als 10° (Tabelle 12). Verglichen mit der Halstorsion (Tabelle 2) sind die Rotationen

mit dem Stuhl nur etwa ein Drittel so groß. Auch die summierten Winkelgradbeträge (Tabelle 13) sind entsprechend kleiner.

Die Bürostuhlrotationen unterschieden sich weder hinsichtlich der Aufgabe noch der verwendeten Bildschirmkonstellation signifikant voneinander (Tabellen 14 und 15).

Tabelle 12: Bürostuhlrotationen für Bildschirmkonstellationen und Aufgaben, Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen)

Aufgabe	Mittelwert (Standardabweichung) in ° für die Bildschirmkonstellation		
	W	WS	WW
Ds	6,0 (5,3)	5,9 (3,3)	10,8 (8,4)
Ta	6,2 (3,5)	7,3 (3,5)	6,6 (4,4)
Tv	7,6 (5,5)	11,2 (9,4)	11,4 (5,7)

Tabelle 13: Summierte Winkelgradbeträge der Bürostuhlrotationen für Bildschirmkonstellationen und Aufgaben; Ds=Daten sortieren, Ta= Text abschreiben, Tv= Text vergleichen)

Aufgabe	Mittelwert (Standardabweichung) in ° für die Bildschirmkonstellation		
	W	WS	WW
Ds	876 (146)	1 044 (329)	946 (132)
Ta	868 (146)	1 119 (343)	894 (197)
Tv	957 (224)	1 244 (588)	1 005 (374)

Tabelle 14: Statistischer Vergleich (p-Werte) der Ranges der Bürostuhlbewegungen bezüglich der Bildschirmkonstellation; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,963	0,140		0,418	0,801		0,235	0,207
WS		0,095			0,715			0,895

Tabelle 15: Statistischer Vergleich (p-Werte) der Ranges der Bürostuhlbewegungen bezüglich der Aufgabe; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

W	Ta	Tv	WW	Ta	Tv	WS	Ta	Tv
Ds	0,870	0,073		0,164	0,117		0,059	0,963
Ta		0,352			0,149			0,098

3.2 Elektrische Aktivität der Trapezius-Muskeln

Die Auswertung der elektrischen Aktivität der Trapezius-Muskeln zeigte insgesamt eine höhere Aktivität der rechten Seite, was damit erklärbar ist, dass alle Teilnehmenden Rechtshänder waren und sie die bei der Aufgabenbearbeitung erforderlichen Mausbewegungen grundsätzlich nur mit der rechten Hand verrichteten. Aufgaben, die verstärkte Maus- und Tastaturarbeit (Daten sortieren und Text abschreiben) erforderten, zeigten ebenfalls eine höhere Aktivität, während bei der relativ bewegungsärmeren Tätigkeit des Textvergleichs die geringste Aktivität aufgezeichnet wurde (Abbildung 15).

Signifikante Unterschiede waren teilweise beim Aufgabentyp vorhanden (Daten sortieren und Text abschreiben ohne signifikante Unterschiede). Auf der rechten Seite waren diese deutlicher ausgeprägt als auf der linken Seite (Rechtshänder) (Tabelle 16).

Die Bildschirmkonstellation scheint auf die Aktivitäten der Trapezius-Muskeln einen geringen Einfluss zu haben. Signifikante Unterschiede wurden nur bei der Aufgabe „Text abschreiben“ zwischen Einzelbildschirm (W) und Doppelbildschirm (WS) nachgewiesen (Tabelle 17).

Abbildung 15:  
%MVC-Werte der OEMG-Ableitungen an den Trapezius-Muskeln (jeweils links und rechts; Ds=Daten sortieren, Ta= Text abschreiben, Tv= Text vergleichen)

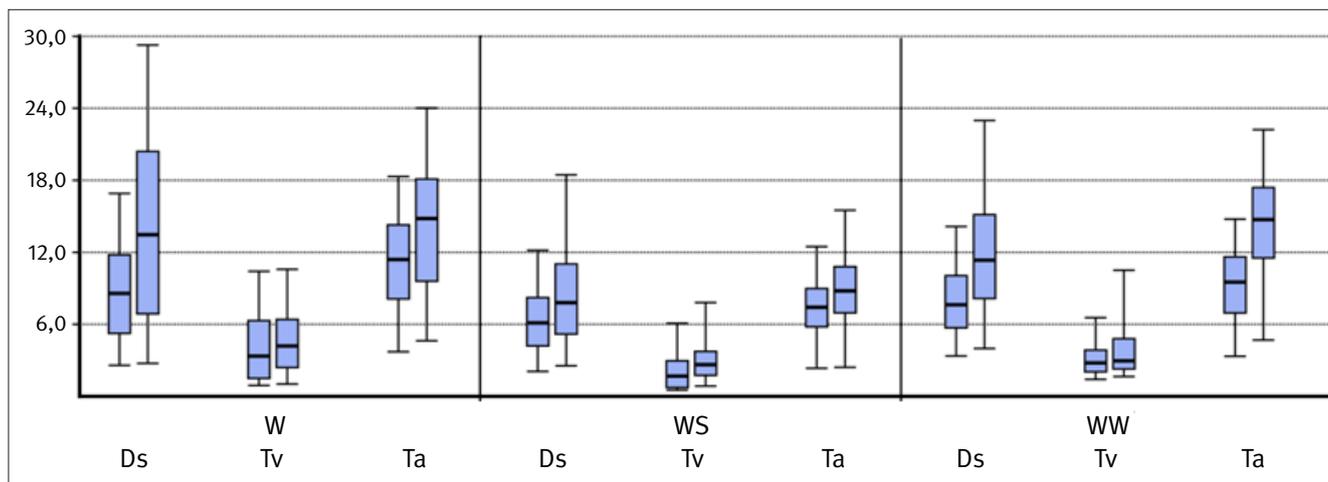


Tabelle 16:  
%MVC (p-Werte des Vergleichs) der Trapezius-Muskeln bezüglich der Aufgaben; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

	W	WS	WW
<b>links</b>			
Ds-Ta	0,157	0,384	0,332
Ta-Tv	0,031*	0,067	0,004*
Ds-Tv	0,085	0,032*	0,047*
<b>rechts</b>			
Ds-Ta	0,996	0,779	0,148
Ta-Tv	0,007*	0,017*	0,004*
Ds-Tv	0,008*	0,002*	0,003*

Tabelle 17:  
%MVC (p-Werte des Vergleichs) der Trapezius-Muskeln bezüglich der Bildschirmkonstellation; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

	Ds	Ta	Tv
<b>links</b>			
W-WS	0,194	0,017*	0,101
WS-WW	0,327	0,417	0,284
W-WW	0,811	0,341	0,409
<b>rechts</b>			
W-WS	0,387	0,445	0,410
WS-WW	0,412	0,212	0,676
W-WW	0,841	0,304	0,654

### 3.3 Eye-Tracking/Lidschlussfrequenz

Die Anzahl der Lidschlüsse betrug je nach Aufgabe und Bildschirmkonstellation zwischen 1,5 pro Minute (Minimalwert) und 46,6 pro Minute (Maximalwert). Die Mittelwerte lagen im Bereich von 5,5 und 22,1 pro Minute. Für die Tätigkeit Tv (Text vergleichen) lag die Anzahl der Lidschlüsse teilweise in dem von Doughty [44] und Bentivoglio et al. [45] angegebenen Wertebereich von < 5 pro Minute für konzentriertes Arbeiten und Lesen

(Tabelle 18, Abbildung 16). Für die Tätigkeiten „Daten sortieren“ und „Text abschreiben“ lagen sie deutlich darüber.

Für die Aufgaben vom „Text abschreiben“ über „Text sortieren“ bis zum „Text vergleichen“ ist eine Abnahme der Lidschlussrate zu verzeichnen. Signifikant unterscheidet sich jedoch nur der Textvergleich von den anderen beiden Aufgaben. Die Unterschiede zwischen den Aufgaben „Daten sortieren“ und „Text abschreiben“ sind deutlich weniger ausgeprägt (Tabelle 19).

### 3 Ergebnisse

Für die Bildschirmkonstellation ergaben sich weniger deutliche Ergebnisunterschiede für die Lidschlussfrequenz (Tabelle 20).

Tabelle 18:

Anzahl Lidschlüsse („blinks“) (Mittelwerte MW und Standardabweichungen SD) und Lidschlussfrequenzen (Minima, Mittelwerte und Maxima) für Bildschirmkonstellationen und Aufgaben; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

	Aufgabe		
	Ds	Ta	Tv
<b>Bildschirmkonstellation W</b>			
Anzahl blinks (MW/SD)	613/329	705/536	247/150
blinks pro Minute (Min/MW/Max)	4,5/13,6/24,2	2,9/15,7/36,9	1,5/5,5/11,2
<b>Bildschirmkonstellation WW</b>			
Anzahl blinks (MW/SD)	934/483	990/613	385/214
blinks pro Minute (Min/MW/Max)	2,7/20,8/34,2	2,4/22,0/46,6	1,5/8,6/13,7
<b>Bildschirmkonstellation WS</b>			
Anzahl blinks (MW/SD)	880/385	994/530	455/270
blinks pro Minute (Min/MW/Max)	5,9/19,6/34,5	4,9/22,1/44,8	2,5/10,1/21,9

Abbildung 16:

Anzahl der Lidschlüsse nach 45 Minuten Aufgabenbearbeitung (Mittelwerte und Standardabweichungen) für Bildschirmkonstellationen und Aufgaben; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

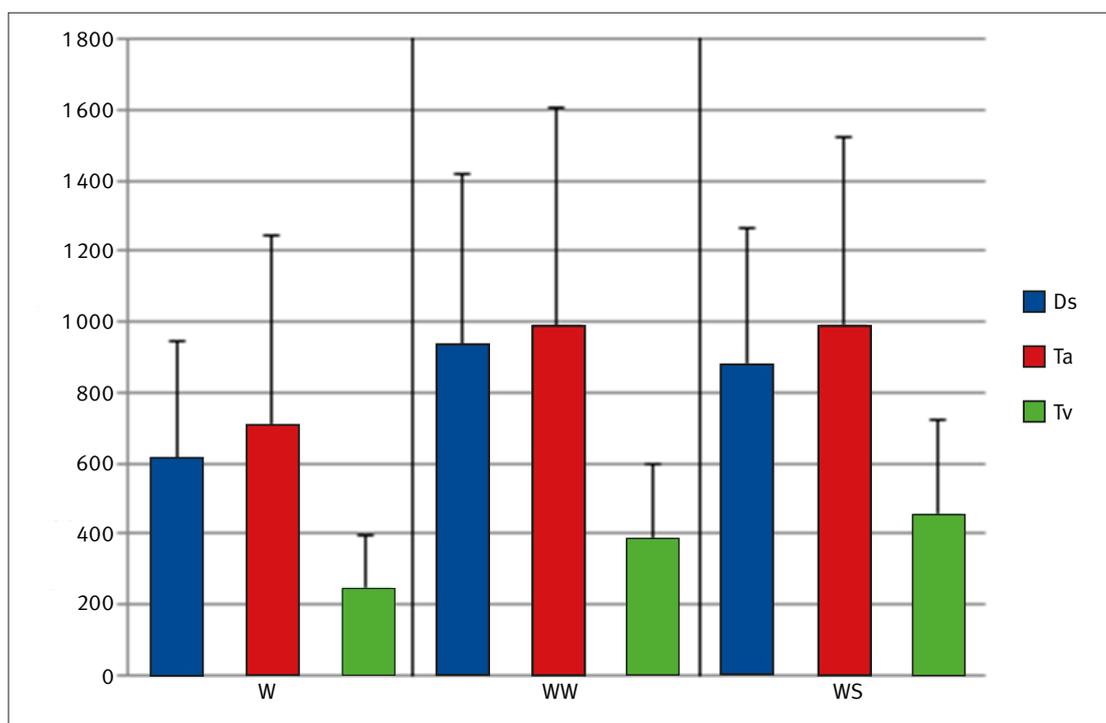


Tabelle 19:

Statistischer Vergleich (p-Werte) der Lidschlussfrequenzen bezüglich der Aufgaben; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

W	Ta	Tv	WW	Ta	Tv	WS	Ta	Tv
Ds	0,456	0,001*		0,699*	0,002*		0,361*	0,020*
Ta		0,012*			0,003*			0,015*

Tabelle 20: Statistischer Vergleich (p-Werte) der Lidschlussfrequenzen bezüglich der Bildschirmkonstellationen; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,007*	0,077		0,122	0,146		0,075	0,038*
WS		0,776			0,987			0,420

### 3.4 Sehschärfe (Visus)

Eine deutliche Veränderung der Sehschärfe im Vergleich vor und nach den Versuchen konnte mit der hier angewandten Methode bei der überwiegenden Anzahl der Versuchspersonen nicht festgestellt werden (Abbildung 17). Weder im Vorher-nachher-Vergleich innerhalb der drei Bildschirmvarianten (Tabelle 21) noch im Vergleich der „Post-Werte“ zwischen den Bildschirmkonstellationen (Tabelle 22) waren signifikante Unterschiede festzustellen.

Nahezu alle Größen der Landoltringe konnten bei dem vorgegebenen Sehabstand von 55 cm immer mit 100%iger Sicherheit korrekt erkannt werden. Lediglich bei der Präsentation der zwei kleinsten Spaltöffnungsgrößen von einem oder zwei Pixeln (0,078 mm bzw. 0,156 mm) waren die Antworten teilweise falsch. Die „Ausreißer“ der extrem hohen Visus-Werte von über 2,0 sind auf das Berechnungsverfahren zurückzuführen, das bei fast 100%iger Erkennungsrate über zu wenige Daten für eine zuverlässige Berechnung der psychometrischen Funktion verfügt.

Abbildung 17: Visus-Veränderung im Prä-post-Versuch der zehn Versuchspersonen (farblich markiert)

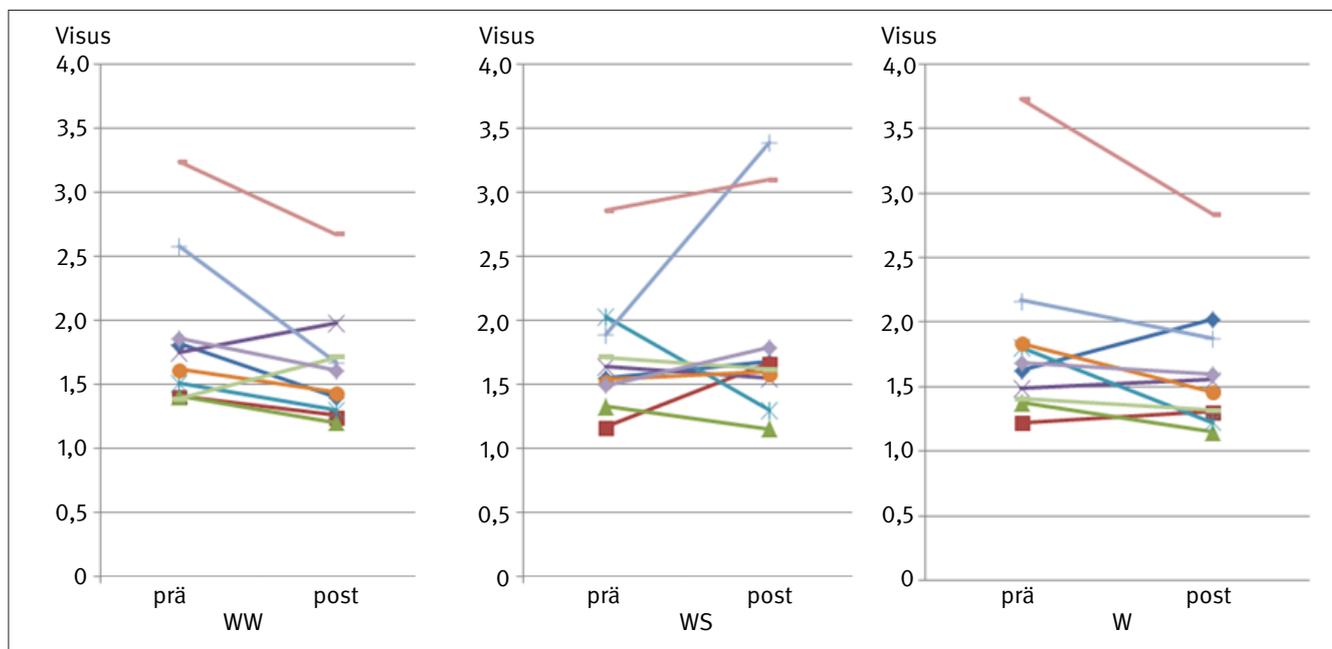


Tabelle 21: Vergleich (p-Werte) des Visus vor (prä) gegenüber nach (post) dem Versuch bezüglich der Bildschirmkonstellation

	WW post	WS post	W post
WW prä	0,066		
WS prä		0,396	
W prä			0,179

Tabelle 22: Vergleich (p-Werte) des Visus bezüglich der Bildschirmkonstellation (post-Versuch)

post	WS	W
ww	0,186	0,908
ws		0,141

### 3.5 Bildschirmabstand

Die Untersuchung des Bildschirmabstands ergab Distanzen zwischen Kopf und Bildschirm bzw. den Oberflächen der beiden Bildschirme bei allen Varianten mit maximal 20 cm Bandbreite (P05 bis P95) im Mittel in einem engen Bereich zwischen 71 und 77 mm (Abbildung 18, Tabelle 23). Die Unterschiede sind sowohl was die Aufgabe als auch was die Bildschirmkonstellation

betrifft nur gering und bis auf eine Ausnahme – Text abschreiben und Text vergleichen mit waagerechten und senkrechtem Bildschirm (WS) – nicht signifikant (Tabellen 24 und 25).

Die Range (Tabelle 23) war beim Textvergleich mit zwei Bildschirmen signifikant höher als mit einem Einzelbildschirm. Für die anderen Aufgaben waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar (Tabellen 26 und 27).

Abbildung 18:

Boxplots der Sehabstände zu den Bildschirmoberflächen; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen; L = links, R = rechts

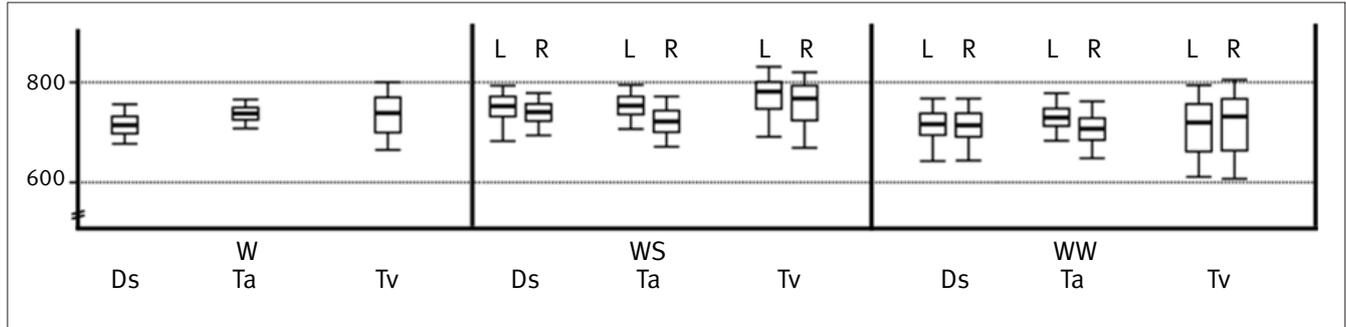


Tabelle 23:

Mittelwerte (MW) und Ranges (P05 bis P95) der Sehabstände zu den Bildschirmoberflächen; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen; L = links, R = rechts

	Abstand in mm für die Bildschirmkonstellation														
	W			WS						WW					
	Ds	Ta	Tv	Ds		Ta		Tv		Ds		Ta		Tv	
			L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	
MW	715	737	735	748	738	753	721	772	759	715	712	731	706	712	718
Range (P05 bis P95)	677 bis 756	708 bis 766	665 bis 801	683 bis 793	693 bis 777	707 bis 795	670 bis 771	691 bis 831	668 bis 819	643 bis 768	642 bis 766	683 bis 778	647 bis 761	611 bis 794	606 bis 804

Tabelle 24:

Bildschirmabstand bezüglich Bildschirmkonstellation; normal = linker Bildschirm, fett/kursiv = rechter Bildschirm, Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,291	0,882		0,402	0,715		0,302	0,340
WS		0,227			0,306			0,103
WW	<b>0,229</b>			<b>0,483</b>			<b>0,229</b>	

Tabelle 25:

Bildschirmabstand bezüglich Aufgaben, normal = linker Bildschirm, fett/kursiv = rechter Bildschirm, Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

W	Ta	Tv	WW	Ds	Ta	Tv	WS	Ds	Ta	Tv
Ds	0,367	0,147			0,211	0,837			0,705	0,267
Ta		0,991		<b>0,589</b>		0,182		<b>0,097</b>		0,163
Tv				<b>0,872</b>	<b>0,589</b>			<b>0,323</b>	<b>0,021*</b>	

Tabelle 26:

Range des Bildschirmabstands (p-Werte) bezüglich der Bildschirmkonstellationen; normal = linker Bildschirm, fett/kursiv = rechter Bildschirm, Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

Ds	WS	WW	Ta	WS	WW	Tv	WS	WW
W	0,152	0,114		0,005*	0,003*		0,925	0,061
WS		0,475			0,444			0,323
WW	<b>0,026*</b>			<b>0,101</b>			<b>0,297</b>	

Tabelle 27:

Range des Bildschirmabstands (p-Werte) bezüglich der Aufgaben (normal = linker Bildschirm, fett/kursiv = rechter Bildschirm, Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant)

W	Ta	Tv	WW	Ds	Ta	Tv	WS	Ds	Ta	Tv
Ds	0,087	0,077			0,166	0,051			0,279	0,358
Ta		0,026*		<b>0,535</b>		0,015*		<b>0,150</b>		0,108
Tv				<b>0,005*</b>	<b>0,016*</b>			<b>0,124</b>	<b>0,233</b>	

### 3.6 Fragebögen/subjektive Beanspruchung

Laut der Befragung nutzte die Hälfte der Testpersonen bereits vor der Teilnahme an der Studie an ihrem Arbeitsplatz zwei waagrecht nebeneinander aufgestellte Bildschirme. Die andere Hälfte nutzte einen Einzelbildschirm (Abbildung 19). Die WS-Variante oder einen klassischen Dokumentenhalter neben dem Bildschirm nutzte bis dahin niemand.

Nach Abschluss aller Versuche wurden die Testpersonen befragt, welche Bildschirmkonstellation sie als am besten geeignet für die Bearbeitung der Aufgaben hielten und welche Bildschirmvariante sie sich für ihren Arbeitsplatz wünschen würden. 80 % würden sich demnach für die Variante mit zwei waagrecht ausgerichteten Bildschirmen (WW) entscheiden, einer würde die

Kombination eines waagrecht und eines senkrechten Bildschirms (WS) wählen und einer würde nach wie vor die Einzelbildschirmvariante (W) bevorzugen.

Die Ergebnisse der Beanspruchungsbeurteilung (NASA-TLX) sind für alle Bildschirmvarianten überwiegend ähnlich. Der Gesamtwert errechnet sich aus den Werten für die Einzelparameter (Dimensionen) und Gewichtungsfaktoren aus den Paarvergleichen aller Dimensionen. Die Teilnehmenden mussten also jeden Parameter einzeln für sich auf einer Skala von 1 bis 100 bewerten und anschließend alle Dimensionen gegeneinander auf ihre Relevanz für die Aufgabenbearbeitung mit der zuvor genutzten Bildschirmkonstellation abwägen. Die Gesamtbeanspruchung erhielt für alle Bildschirmkonstellationen Werte zwischen 44 (WS) und 53 (W) (Tabelle 28) und unterschied sich nicht signifikant voneinander (Tabelle 29).

Abbildung 19: Ergebnisse der Probandenbefragung

Ich nutze zurzeit an meinem Arbeitsplatz:					Am besten geeignet zur Aufgabenbearbeitung:					Ich hätte gerne an meinem Arbeitsplatz:				
	WW	WS	W	W+D		WW	WS	W	W+D		WW	WS	W	W+D
01			•		01			•		01			•	
02			•		02	•				02	•			
03	•				03	•				03	•			
04	•				04		•			04		•		
05			•		05	•				05	•			
06	•				06	•				06	•			
07			•		07	•				07	•			
08			•		08	•				08	•			
09	•				09	•				09	•			
10	•				10	•				10	•			
Ges.	5	0	5	0	Ges.	8	1	1	0	Ges.	8	1	1	0

### 3 Ergebnisse

Tabelle 28:  
Ergebnisse des NASA-TLX zur Beanspruchung

	Mittelwert (Standardabweichung) für die Subskala						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Leistung	Anstrengung	Frustration	Gesamt
WW	44 (26)	34 (24)	33 (18)	43 (19)	52 (17)	44 (22)	49 (7)
WS	41 (27)	22 (9)	32 (20)	30 (12)	53 (21)	42 (21)	44 (13)
W	43 (27)	37 (18)	46 (24)	51 (17)	47 (15)	57 (25)	53 (10)

Tabelle 29:  
Gesamtbeanspruchung nach NASA-TLX (p-Werte) hinsichtlich der Bildschirmkonstellation

	WS	W
WW	0,271	0,338
WS		0,135

Unter den Parametern ist das Ergebnis für die zeitliche Anforderung für den Einzelbildschirm etwas auffälliger. Der empfundene Zeitdruck (bzw. die Unzufriedenheit mit dem Verhältnis von Leistung zu Zeit) bei der Aufgabenbearbeitung schien bei einem Einzelbildschirm (Punktwert 46) höher zu sein als bei mehreren Bildschirmen (Punktwert 33 bzw. 32). Die eigene Einschätzung der erzielten Leistung war ebenfalls beim Einzelbildschirm am niedrigsten (51 Punkte) und bei den Doppelbildschirmen etwas höher (43 bzw. 30). Auch die empfundene Frustration war bei der Nutzung des Einzelbildschirms etwas größer (Punktwert 57) als bei den Mehrfachbildschirmen (44 bzw. 42).

### 3.7 Leistungsdaten

Die tatsächlich mit den verschiedenen Bildschirmkonstellationen erzielten Leistungen stehen größtenteils im Einklang mit der erfragten Zufriedenheit über die eigene Leistung (Abschnitt 3.6 Fragebögen/subjektive Beanspruchung). Mit dem Einzelbildschirm wurden beim „Text abschreiben“ und „Daten sortieren“ geringere Leistungen als mit den Zwei-Bildschirm-Varianten erzielt (Tabelle 30). Im Gegensatz dazu wurde bei der Aufgabe „Text vergleichen“ mit dem Einzelbildschirm eine quantitativ etwas höhere Leistung erzielt. Allerdings ging dies zulasten der Qualität, denn der Prozentanteil der richtig erkannten Unterschiede war etwas geringer. Signifikant auf dem 5-%-Niveau waren die Unterschiede allerdings nur bei der Aufgabe „Text abschreiben“ (Tabelle 31) zwischen dem Einzelbildschirm und den beiden Varianten mit zwei Bildschirmen.

Tabelle 30:  
Erzielte Leistungen bei der Aufgabenbearbeitung (Mittelwerte und Standardabweichungen) bei unterschiedlichen Bildschirmkonstellationen; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen

Aufgabe	Mittelwert (Standardabweichung) für die Bildschirmkonstellation		
	WW	WS	W
Ta (Anzahl Worte)	1 095 (328)	1 055 (297)	907 (229)
Tv (Anzahl Worte)	2 879 (619)	2 995 (563)	3 255 (873)
Tv (% der richtig erkannten Unterschiede)	60 (23)	54 (15)	51 (17)
Ds (Anzahl Datensätze)	199 (45)	209 (64)	171 (48)

Tabelle 31:  
Vergleich der Leistungsdaten hinsichtlich der Bildschirmkonstellation; Ds = Daten sortieren, Ta = Text abschreiben, Tv = Text vergleichen, t-Test: \* = signifikant

	Bildschirmkonstellation	
	WS	W
<b>Ta</b>		
WW	0,173	0,003*
WS		0,001*
<b>Tv</b>		
WW	0,147	0,121
WS		0,299
<b>Tv (%)</b>		
WW	0,487	0,203
WS		0,593
<b>Ds</b>		
WW	0,230	0,085
WS		0,080

## 4 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen kritisch betrachtet und mögliche Auswirkungen der Büroarbeit mit zwei Bildschirmen auf den menschlichen Körper diskutiert – auch im Hinblick auf eventuell ableitbare Präventionsempfehlungen. Zudem sollen Stärken und Limitationen der Laborstudie näher beleuchtet werden.

### 4.1 Ergebnisdiskussion

#### 4.1.1 Körperhaltung und -bewegung

Die im Laborversuch ermittelten Ergebnisse zur Haltung und Bewegung von Kopf und Oberkörper sowie zur Rotation des Bürostuhls lagen im für die untersuchten Tätigkeiten erwarteten Bereich. Ein großes Ausmaß an Kopf-/Oberkörper- oder Stuhlbewegungen ist an einem reinen Bildschirmarbeitsplatz in der Regel nicht zu vermuten. Einige Herstellerfirmen von Büro- und Sitzmöbeln versuchen zwar bereits, diesem Befund zu begegnen, indem sie Bürostühle mit innovativen Technischelementen entwickeln. Diese sollen nach den ihren Angaben dazu führen, den Sitzenden gesundheitsfördernde Sitzhaltungen und -bewegungen einnehmen zu lassen. Eine Untersuchung von *Ellegast et al.* [18] zeigte allerdings, dass sich die Stühle zwar in ihren Dynamikeigenschaften unterscheiden, diese jedoch nicht unmittelbar zu einer erhöhten physischen Aktivität der sitzenden Person führen. In diesem Sinne waren auch die mit dem CUELA-System erfassten Bewegungen des Kopfes um die Rotationsachse von  $\pm 20^\circ$  im Rahmen der Erwartungen und entsprechend der Breite der verwendeten Bildschirmkonstellation variierten die Kopfrotationen. Eine Abhängigkeit von der zu bearbeitenden Aufgabe war ebenfalls deutlich erkennbar, was ein Beleg für die unterschiedlichen Bearbeitungsanforderungen ist. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit vergleichbaren Studien, z. B. [18; 20; 56]. Die Vorneigung des Kopfes sollte theoretisch bei Verwendung eines senkrecht ausgerichteten Bildschirms messbar unterschiedlich zu der bei den waagerechten

Bildschirmkonstellationen sein. Allerdings konnten hier keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden. Somit ist anzunehmen, dass der obere Bereich des linken Bildschirms (bei senkrechter Aufstellung), der über die Höhe des zweiten (rechten) Bildschirms herausragte (Abbildung 4), wenig oder gar nicht genutzt wurde oder die Hinwendung zu diesem Bildschirmbereich nur durch Blickbewegungen erfolgte, was nicht plausibel erscheint. Insbesondere der Textvergleich lässt sich einfacher bearbeiten, wenn sich die zu vergleichenden Textstellen auf gleicher Höhe befinden und nicht diagonal über zwei Bildschirme hinweg gesucht werden muss. Dementsprechend scrollten die Probandinnen und Probanden die zu vergleichenden Textpassagen regelmäßig auf gleiche Höhe. Bei den Aufgabentypen konnten dagegen leicht unterschiedliche Halskrümmungen gemessen werden: bei der Aufgabe „Text vergleichen“ durchschnittlich etwas geringere Halskrümmungen, teilweise deutlich im negativen Bereich („überstreckt“). Dieses Phänomen spiegelt sich auch in den BWS-Neigungswinkeln wider, bei denen für die Aufgabe „Text vergleichen“ vergleichsweise etwas höhere Werte gemessen wurden (Abbildung 14). Eine mögliche Erklärung hierfür liegt darin, dass die vergleichsweise bewegungsarme Aufgabe hohe Konzentration erfordert, bei der nach einer gewissen Zeit Ermüdung eintritt, die sich auf die Körperhaltung auswirkt. Wie Abbildung 20 exemplarisch zeigt, nimmt der Proband in diesem Beispiel nach einer gewissen Zeit eine stärker vorgeneigte Sitzhaltung ein (BWS-Neigung nach vorne nimmt zu), während der Kopf mit Blickrichtung auf den Bildschirm nach hinten „gestreckt“ werden muss (negative Kopfneigung/Halskrümmung). Dies unterstreicht die Relevanz der Empfehlung, den Bildschirm auf dem Schreibtisch so zu positionieren, dass der obere Rand deutlich unterhalb einer waagerechten Sichtlinie liegt. Grundsätzlich lagen die Mittelwerte für die BWS-Neigung jedoch in einem „normal-physiologischen“ Bereich zwischen  $2$  und  $10^\circ$  und die Range (P05 bis P95) erstreckte sich von  $-2$  bis  $15^\circ$ .

Abbildung 20:  
Änderung der Kopf- und Körperhaltung im zeitlichen Verlauf (von links nach rechts: 40, 70 und 90 Minuten nach Versuchsbeginn)



Rotationsbewegungen mit dem gesamten Oberkörper durch Drehungen mit dem Bürostuhl waren nur sehr gering ausgeprägt. Die Range betrug nur etwa ein Drittel der gleichgerichteten Bewegungen mit dem Kopf und diese Bewegungen können wohl als vernachlässigbar eingestuft werden. Zudem konnten weder

hinsichtlich des Aufgabentyps noch der verwendeten Bildschirmkonstellation signifikante Unterschiede gezeigt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auf der Grundlage der Haltungen und Bewegungen von Kopf und Oberkörper keine

signifikanten Unterschiede für die untersuchten Bildschirmkonstellationen zu erkennen sind. Darüber hinaus lagen die gemessenen Körperwinkel überwiegend im physiologischen Neutralbereich.

### 4.1.2 Elektrische Muskelaktivität (Trapezius-Muskel)

Die Ergebnisse der Messungen mittels Oberflächen-Elektromyografie müssen vor dem Hintergrund der Händigkeit der Testpersonen betrachtet werden. Die Tatsache, dass alle Rechtshänder waren und die Maus ausnahmslos mit der rechten Hand bedienten, ließ eine höhere Aktivität im rechten Trapezius-Muskel erwarten. Da dieser Muskel aufgrund seiner Anatomie sowohl bei Kopf- als auch bei Schulterbewegungen aktiviert werden kann, ist bei diesem Parameter eine Überlagerung mehrerer Faktoren zu berücksichtigen. Dieser Umstand sowie die gewählte Kalibrierungsmethode (siehe Abschnitt 2.4.2) tragen zu einer Überschätzung der gemessenen Aktivität der Trapezius-Muskeln bei. Aus diesem Grund werden für die Interpretation der Ergebnisse nicht die Absolutwerte (%MVC), sondern die Relation der Einzelwerte zueinander betrachtet.

Die Messwerte für den rechten *M. trapezius* zeigen allgemein eine deutliche Tendenz hin zu etwas höheren Werten und die signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Aufgabentyps sind auf der rechten Seite deutlicher ausgeprägt. Hier spiegelt sich die unterschiedlich erforderliche Aktivität des mausführenden Arms je nach Aufgabe wider. Aufgaben, die aufgrund einer häufigeren Tastatur- und Mausbenutzung eine erhöhte Armaktivität erforderten – „Text abschreiben“ und „Daten sortieren“ –, zeigten auch eine signifikant höhere Trapezius-Aktivität als „Text vergleichen“.

Im Gegensatz dazu hatte die jeweils verwendete Bildschirmkonstellation keine signifikanten Auswirkungen auf diesen Parameter. Die deutlichen Unterschiede bei der Kopffrotation finden sich bei der Aktivität der Trapezius-Muskeln nicht wieder. Auch *Ellegast et al.* [18; 23] zeigten in ihrer Untersuchung eine größere Abhängigkeit der Aktivität des Trapezius-Muskels von der zu bearbeitenden Aufgabe als vom Typ des Bürostuhls. Dieser Effekt erklärt sich möglicherweise dadurch, dass in diesen Studien eine sensiblere Kalibrierung mit Bezug zu einer Referenzaktivität (%RVC), die deutlich unterhalb %MVC lag, erfolgte. Dadurch waren kleinere Differenzen der Muskelaktivität besser auflösbar.

### 4.1.3 Lidschlussfrequenz

Die Ergebnisse der Eye-Tracking-Messungen ergaben Lidschlussfrequenzen, die im Mittel in einem Bereich zwischen 5,5 und 22,1 pro Minute lagen. Je nach Literaturangabe sind acht bis 24 Lidschlüsse als „normal“ anzusehen. Bei Bildschirmarbeit soll die Frequenz auf 5 bis 8 pro Minute abnehmen und beim konzentrierten Arbeiten sowie beim Lesen auf unter 5 pro Minute absinken können [44 bis 46]. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen eine gewisse Abhängigkeit der Lidschlussfrequenz sowohl von der Aufgabenstellung als auch von der verwendeten Bildschirmkonstellation erkennen, auch wenn diese nicht in allen Fällen signifikant ist. Bei allen Bildschirmvarianten wurde die höchste Lidschlussfrequenz beim „Text abschreiben“ und die niedrigste beim „Text vergleichen“ gemessen. Dies kann

sehr gut mit der Art der Aufgabenstellung in Einklang gebracht werden: auf der einen Seite häufige Blickwechsel z. B. zwischen Schreib-, Lesebereich und Tastatur, auf der anderen Seite sehr konzentriertes Lesen zweier Textabschnitte. Insgesamt scheinen die Frequenzen bei der Verwendung von zwei Bildschirmen etwas höher zu sein als bei einem Einzelbildschirm. Dies ist plausibel, da die Strecken zwischen zwei Fixationspunkten auf zwei unterschiedlichen Bildschirmen größer sind als zwischen zwei Punkten auf einem Einzelbildschirm und die Phase des Blickwechsels von einem Bildschirm zum nächsten für einen Lidschluss „genutzt“ wird/werden kann. Eine größere Bildschirmfläche kann also unter Umständen zu einer Erhöhung der Lidschlussrate und somit verbesserten Benetzung der Hornhaut mit Tränenflüssigkeit führen. Bei einer in der Regel herabgesetzten Lidschlussfrequenz bei konzentrierter Arbeit am Bildschirm kann dies als positiver Effekt angesehen werden.

### 4.1.4 Sehschärfe

Die Literaturrecherche ergab keine Hinweise auf Studien, in denen ein Effekt von verschiedenen Bildschirmkonstellationen auf die Sehschärfe untersucht wurde. Der Berufsverband der Augenärzte und die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft [57] weisen auf besondere Belastungen des Sehvermögens am Bildschirmarbeitsplatz hin und geben Empfehlungen dafür, wie diese reduziert werden können. Sie entsprechen im Wesentlichen den Empfehlungen der DGUV Information 215-410 [7] (z. B. Einrichtung des Arbeitsplatzes, Beleuchtung, Sitzhaltung, Pauseneinhaltung, Nutzung von Sehhilfen und arbeitsmedizinische Vorsorge). Untersuchungen zur Visus-Änderung an konventionellen Bildschirmarbeitsplätzen wiesen keinen Effekt nach [58; 59].

Eine Veränderung der Sehschärfe im Verlauf der Versuche war mit der verwendeten Methode nicht nachweisbar. Da – mit Ausnahme der beiden kleinsten Stimulus-Größen – alle Landoltringe zu 100 % sicher erkannt wurden, ist nicht davon auszugehen, dass unter den gegebenen Bedingungen eine Visus-Änderung aufgrund der Bildschirmarbeit auftrat. Bei dem kleinsten Stimulus betrug die Spaltgröße 0,078 mm (1 Pixel), die zweitkleinste Spaltöffnung von 2 Pixeln betrug demnach 0,156 mm. Ein Effekt wäre, wenn überhaupt, nur mit einer höheren Displayauflösung des Messgerätes oder mit größerem Sehabstand (dann allerdings nicht mehr durch die Testpersonen selbst bedienbar) nachweisbar gewesen und hätte sich in einem Bereich abgespielt, der im Arbeitsalltag wohl vernachlässigbar wäre. Eventuell wäre ein unter diesen Studienbedingungen allerdings nicht beobachtbarer Langzeiteffekt denkbar. Ob dieser hypothetische Effekt sich dann positiv oder negativ auf die Sehschärfe auswirken würde, kann mit den vorliegenden Ergebnissen nicht abschließend begründet werden. Symptome, wie sie bei Bildschirmarbeit auftreten können, z. B. Kopfschmerzen, verschwommene Sicht, Nackenschmerzen u. a., siehe [13], wurden von den Testpersonen nicht berichtet.

### 4.1.5 Bildschirmabstand

Der mittlere Bildschirmabstand lag bei allen Varianten in einem relativ engen und konstanten Bereich von 70,5 bis 77,2 cm zwischen Bildschirmoberfläche und Augen. Signifikante Unterschiede wurden dabei nur für die Range bei der Aufgabe „Text

vergleichen“ gefunden. Bei Verwendung von zwei Bildschirmen war sie etwas größer als beim Einzelbildschirm, was nachvollziehbar ist, da bei diesen Bildschirmkonstellationen mehr Rotationsbewegungen des Kopfes erfolgten. Da es sich bei der Variation des Abstands zum Bildschirm aber um einen Bereich von nur wenigen Millimetern bis Zentimetern handelt, ist dieser Befund als wenig relevant einzustufen. Werden die Empfehlungen nach DGUV Information 215-410 für Bildschirmabstand und Zeichengröße am Einzelbildschirm eingehalten, könnten nach den hier gefundenen Ergebnissen am gleichen Bildschirmarbeitsplatz auch zwei nebeneinander stehende Bildschirme eingesetzt werden, ohne die Zeichengröße den Empfehlungen entsprechend verändern zu müssen. Zu anderen Bildschirmkonstellationen, die nicht Gegenstand dieser Untersuchung waren (insbesondere zum Einsatz von mehr als zwei Bildschirmen), können keine Aussagen über den Sehabstand abgeleitet werden.

#### 4.1.6 Subjektive Einschätzung der Versuchspersonen

Die subjektive Einschätzung der Versuchspersonen zur empfundenen Gesamtbeanspruchung beim Bearbeiten der einzelnen Aufgaben an unterschiedlichen Bildschirmkonstellationen war mit 44 (WS), 49 (WW) und 53 Punkten (W) für alle Konstellationen sehr ähnlich. Anhand der angegebenen Präferenzen (80 % gaben an, lieber mit Doppelbildschirm als mit einem Bildschirm arbeiten zu wollen) wäre hier ein deutlicherer Unterschied zu erwarten gewesen. Die nur geringen Unterschiede in der Gesamtbelastung scheinen somit auf die unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Dimensionen zurückzuführen zu sein. Da alle Dimensionen untereinander auf ihre Relevanz beurteilt werden mussten, lässt sich daraus schließen, dass den Faktoren „Frustration“, „Leistung“ und „zeitliche Anforderung“, die für sich genommen relativ deutlich gegen den Einzelbildschirm sprachen, bei den Paarvergleichen offenbar relativ wenig Bedeutung beigemessen wurde. Dies führte dazu, dass in der Gesamtbewertung das Ergebnis nicht eindeutig gegen den Einzelbildschirm sprach.

#### 4.1.7 Leistungsdaten

Bei der Analyse der Leistungsdaten fällt auf, dass bei der Aufgabe „Text abschreiben“ mit zwei Bildschirmen eine signifikant höhere Leistung als beim Einzelbildschirm erzielt wurde. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass durch die Darstellung zweier Bearbeitungsfenster (Textdarstellung und Textverarbeitungsdokument) auf dem Einzelbildschirm mehr Zeit für das Scrollen in den Dokumenten/Fenstern aufgewendet werden musste. Dies hängt damit zusammen, dass bei gleichzeitiger Darstellung von zwei Textfenstern bei der vorgegebenen Zeichengröße zwei DIN-A4-Seiten nicht vollständig nebeneinander dargestellt werden konnten. Allerdings kann diese These durch die EMG-Ergebnisse in diesem Zusammenhang nicht bestätigt werden, da nicht signifikant.

Die quantitativ zwar besseren, aber qualitativ schlechteren Leistungen mit dem Einzelbildschirm beim „Text vergleichen“ lassen für diese Aufgabe den Schluss zu, dass das schnellere Lesen und Vergleichen möglicherweise zu einer vermeintlichen Sicherheit und zum Übersehen der zum Teil nur marginalen Textunterschiede führte. Die zu vergleichenden Texte lagen beim

Einzelbildschirm räumlich näher beieinander und die Blickwege waren damit kürzer. Da die Leistungsunterschiede aber ebenfalls nicht signifikant waren, lässt sich dies nicht mit Bestimmtheit sagen.

Die Aufgabe „Daten sortieren“ lässt sich im Hinblick auf die Lese- und Schreibenanforderungen etwa zwischen den Aufgaben „Text vergleichen“ und „Text abschreiben“ einordnen. Die etwas (nicht signifikant) höheren erzielten Leistungen bei der Bearbeitung dieser Aufgabe mit zwei Bildschirmen sprechen wieder für einen Arbeitsplatz mit größerer nutzbarer Bildschirmfläche.

Insgesamt spricht der Vergleich bei der Qualität und Quantität der erbrachten Leistungen somit eher für die Verwendung von zwei Bildschirmen gegenüber einem Einzelbildschirm, was sowohl mit den Ergebnissen der Befragung und subjektiven Belastungseinschätzung übereinstimmt als auch mit bereits veröffentlichten Ergebnissen der wissenschaftlichen Literatur, z. B. [1 bis 6].

## 4.2 Methodendiskussion: Stärken und Limitationen der Untersuchung

Die Auswahl der untersuchten Parameter erfolgte nach theoretischen Überlegungen und interdisziplinärer Abstimmung durch Experten der Fachrichtungen Arbeitsmedizin, Arbeitswissenschaft, Ophthalmologie und Orthopädie. Dementsprechend ist die Relevanz der Parameter als hoch einzustufen. Dennoch sind weitere, insbesondere psychologische Faktoren denkbar, die hier nicht berücksichtigt wurden. Hierzu zählen zum Beispiel Ehrgeiz, Vigilanz, Ausdauer, Frustrationstoleranz oder unterschiedlich lange Erfahrung der Testpersonen an Bildschirmarbeitsplätzen.

Eine Stärke der Untersuchung ist in der verwendeten Laborumgebung und der umfangreichen Messtechnik (CUELA inertial, EMG, Eye-Tracking) zu sehen. Auf diese Weise war es möglich, die von Fachleuten genannten relevanten physiologischen Faktoren objektiv und unter vergleichbaren Bedingungen valide zu erfassen. Inwieweit die Laborumgebung und die Messtechnik selbst einen Effekt auf die Testpersonen ausgeübt und die Ergebnisse beeinflusst haben könnten, lässt sich nicht abschätzen, ein Effekt wäre aber denkbar. Wie bei allen Laborstudien ist die Situation und Umgebung als solche für die Testpersonen als ungewohnt und möglicherweise einflussnehmend zu beurteilen.

Die maximale Auflösung der zur Bestimmung der Sehschärfe vor und nach den Versuchen eingesetzten Methode hat sich im Anschluss an die Untersuchungen als zu gering herausgestellt. Wie beschrieben ist aber nicht davon auszugehen, dass die Bildschirmarbeit unter den gegebenen Bedingungen eine relevante Visus-Änderung hervorgerufen hat.

Neben der validen Erfassung der physiologischen Parameter ist hervorzuheben, dass auch psychophysische Aspekte in die vergleichende Bewertung der einzelnen Bildschirmkonstellationen einbezogen wurden: Der Abfrage der subjektiven Einschätzungen der Testpersonen sowie die Verwendung des

NASA-TLX zur Beanspruchungsbewertung ergänzten die objektiven Messungen.

Die Versuchspersonenrekrutierung der Studie ist in qualitativer Hinsicht hoch einzustufen, da zu gleichen Teilen Frauen und Männer rekrutiert wurden, die jeweils eine orthopädische und augenärztliche Voruntersuchung positiv durchlaufen mussten. Demgegenüber steht die Tatsache, dass das Kollektiv aus einem einzigen Unternehmen stammte und mit nur zehn Teilnehmenden relativ klein war. Die häufig auftretenden nicht signifikanten Ergebnisse wären mit einer größeren Zahl eventuell deutlicher ausgefallen. Die Versuchszeitdauer von 45 Minuten je Bildschirmkonstellation und Aufgabe kann als relativ lang bezeichnet werden. Nach Aussage der Testpersonen wurde eine kontinuierliche Aufgabenbearbeitung von 135 Minuten ohne Störung z. B. durch Telefonate o. Ä. durchaus als relativ anstrengend empfunden. Die zu bearbeitenden Aufgaben sind aus Gründen der Standardisierung nicht unbedingt vergleichbar mit den Aufgaben, die sie üblicherweise täglich an ihren individuellen Bildschirmarbeitsplätzen durchführen. Bestimmte Stärken und Schwächen, wie etwa die Fähigkeit, Texte schnell zu schreiben (Aufgabe „Text abschreiben“) oder die Merkfähigkeit für willkürliche Buchstaben- und Zahlenfolgen (Aufgabe „Daten sortieren“), könnten sich auf die erzielten Ergebnisse ausgewirkt haben. Es liegt in der Natur der Sache, dass nicht alle Aufgaben für jede Bildschirmkonstellation gleichermaßen gut geeignet

waren. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen dergestalt wider, dass für den Aufgabentyp oftmals ein größerer Einfluss als für die Bildschirmkonstellation gezeigt wurde. In diesem Zusammenhang spielt die Softwareergonomie vermutlich eine ebenso bedeutsame Rolle wie die „klassische“ Ergonomie. Die Normenreihe der DIN EN ISO 9241 enthält Richtlinien zur Mensch-Computer-Interaktion und insbesondere die Einhaltung der Grundsätze der Dialoggestaltung – wie die Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderlichkeit [60] – wirken sich erheblich auf die bei der Bildschirmarbeit erzielbaren Leistungen aus. Aus Gründen der Standardisierbarkeit der Aufgaben konnten einige der Grundsätze, wie Individualisierbarkeit und Aufgabenangemessenheit, in der Laboruntersuchung nur eingeschränkt eingehalten werden.

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Bildschirmkonstellationen und lassen sich nicht ohne Einschränkungen auf andere Bildschirmarbeitsplätze – etwa mit mehr als zwei Bildschirmen – übertragen. Hier könnten andere Effekte hinsichtlich physiologischer Messgrößen, subjektivem Empfinden der Beschäftigten oder gestalterischen Rahmenbedingungen (z. B. Sehabstand) auftreten.

## 5 Schlussfolgerungen für die Prävention

Aus Sicht der Prävention stellte sich die Frage, ob die Beschäftigten an Bildschirmarbeitsplätzen mit mehreren Bildschirmen möglicherweise anderen Gefährdungen ausgesetzt sein könnten als diejenigen an herkömmlichen Bildschirmarbeitsplätzen mit einem einzigen Bildschirm. Aus diesem Anlass wurde die vorliegende Laborstudie durchgeführt, in der unterschiedliche Bildschirmkonstellationen hinsichtlich ihres Einflusses auf physiologische und Leistungsparameter untersucht wurden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in verkürzter Übersicht in den Tabellen 32 und 33 zusammengefasst.

Unabhängig von der Aufgabe sind die Unterschiede der untersuchten Bildschirmkonstellationen in Tabelle 33 zusammengefasst dargestellt. Der Einzelbildschirm (W) stellt bei dieser Übersicht die Referenz gegenüber den beiden Varianten mit zwei Bildschirmen (WW und WS) dar. Parameter, deren Ergebnisse in dieser Untersuchung die Benutzung mehrerer Bildschirme tendenziell als vorteilhaft gegenüber der Benutzung eines Einzelbildschirms darstellen, sind mit „+“ gekennzeichnet. Ergebnisse, die diesbezüglich mit 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit signifikant unterschiedlich waren, sind mit „++“ markiert.

Tabelle 32:  
Ergebnisübersicht der Messparameter und ihre Unterschiede hinsichtlich der Bildschirmkonstellation und des bearbeiteten Aufgabentyps

Messparameter	Bildschirmkonstellation	Aufgabentyp
Halstorsion/Kopffrotation	signifikant abhängig von der Bildschirmbreite, je breiter desto größer	signifikante Unterschiede nur bei Verwendung von zwei Bildschirmen
Halskrümmung/Kopffneigung	kaum signifikante Unterschiede	bei der Aufgabe „Text vergleichen“ geringere Werte/leicht überstreckt, vergleiche mit BWS-Neigung
BWS-Neigung (Neigung der Brustwirbelsäule)	keine signifikanten Unterschiede	keine signifikanten Unterschiede, aber leicht erhöhte Werte für Aufgabe „Text vergleichen“ (vergleiche mit Kopffneigung/Halskrümmung)
Bürostuhl-Rotation	keine signifikanten Unterschiede, nur geringe Bewegungen	keine signifikanten Unterschiede, nur geringe Bewegungen
Elektrische Aktivität des Trapezius-Muskels	kaum signifikante Unterschiede (Ausnahmen: linker Trapezius-Muskel, Aufgabe „Text abschreiben“ zwischen (W) und (WS))	signifikante Unterschiede rechts ausgeprägter als links, je nach Aufgabentyp (je nach erforderlicher Maus-/Tastaturarbeit)
Lidschlussfrequenz	teilweise signifikant geringere Lidschlussfrequenzen beim Einzelbildschirm	teilweise signifikant zunehmend von „Text vergleichen“ über „Daten sortieren“ und „Text abschreiben“
Sehschärfe/Visus	keine messbaren Unterschiede	nicht untersucht
Bildschirmabstand	keine signifikanten Unterschiede	signifikante Unterschiede nur für die Range zwischen Einzel- und Doppelbildschirm
individuelle Präferenzen	Präferenz zugunsten WW	nicht untersucht
Belastung/Beanspruchung	Gesamtbelastung nicht signifikant unterschiedlich. Einzelitems (zeitliche Anforderung, Leistung, Frustration) zugunsten der Zwei-Bildschirm-Varianten	nicht untersucht
Leistung	Allgemein höhere Leistung bei Mehrfachbildschirmen, signifikant aber nur bei „Text abschreiben“, Ausnahme: „Text vergleichen“, hier quantitativ höhere Leistung bei Einzelbildschirm, allerdings zu Lasten der Qualität	nicht untersucht

## 5 Schlussfolgerungen für die Prävention

Tabelle 33:  
Übersicht der Vor- und Nachteile der untersuchten Bildschirmkonstellationen (0 = kein eindeutiges Ergebnis/kein Unterschied/nicht bewertbarer Unterschied, + = vermeintlich vorteilhaft (nicht oder nur teilweise signifikant), ++ = deutlich vorteilhaft (signifikant))

Messparameter	Bildschirmkonstellation		
	W	WW	WS
Halstorsion/Kopfrotation	0	0	0
Halskrümmung/Kopfneigung	0	0	0
BWS-Neigung (Brustwirbelsäule)	0	0	0
Bürostuhl-Rotation	0	0	0
OEMG Trapezius-Muskeln	0	0	0
Lidschlussfrequenz	0	+	+
Sehschärfe/Visus	0	0	0
Bildschirmabstand	0	0	0
individuelle Präferenzen	0	++	+
Beanspruchung (NASA-TLX)	0	+	+
Leistung	0	+	+

Die Studienergebnisse beziehen sich auf die hier verwendeten Bildschirmgrößen, -konstellationen und Aufgabenstellungen und sind nicht zwingend auf andere Bildschirmvarianten und Aufgaben übertragbar. Unter den gegebenen Voraussetzungen kann man jedoch davon ausgehen, dass bei der Verwendung von zwei Bildschirmen statt eines Einzelbildschirms keine negativen Folgen auf die untersuchten physiologischen Parameter zu erwarten sind. Für die erzielten Leistungen, die Zufriedenheit der Nutzenden und die gemessene Lidschlussfrequenz kann vielmehr von einem Vorteil bei der Nutzung zweier Bildschirme ausgegangen werden. Wie die Studienergebnisse zeigen, kann auch die jeweilige Aufgabenstellung Einfluss auf die physiologischen Parameter haben. Dies macht deutlich, dass neben der klassischen Ergonomie auch die Softwareergonomie bei der Einrichtung eines Bildschirmarbeitsplatzes einen hohen Stellenwert besitzt.

Spezielle Empfehlungen für die Verwendung von zwei Bildschirmen sollten die Ergebnisse dieser Untersuchung berücksichtigen. Die bereits in der DGUV Information 215-410 [7] genannten Bedingungen für das ergonomische Arbeiten an Bildschirmarbeitsplätzen können weitgehend auf die Tätigkeit an zwei Bildschirmen übertragen werden. Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich – unter Berücksichtigung der genannten methodischen Limitationen – derzeit keine notwendigen Modifikationen dieser Empfehlungen ableiten.

# Literatur

- [1] *Podar, T. G.; Godbout, S. T.; Bellemare, C.*: Dual vs. single computer monitor in a Canadian hospital archiving department: a study of efficiency and satisfaction. *HIM J.* 40 (2011) Nr. 3, S. 20-25
- [2] *Truemper, J. M.; Sheng, H.; Hilgers, M. G.; Hall, R. H.; Kalliny, M.; Tandon, B.*: Usability in multiple monitor displays. *Adv. Informat. Syst.* 39 (2008) Nr. 4, S. 74-89
- [3] *Owens, J. W.; Teves, J.; Nguyen, B.; Smith, A.; Phelps, M. C.*: Examination of dual vs. single monitor use during common office tasks. In: *Proceedings of the Human factors and Ergonomic Society, 56<sup>th</sup> Annual Meetin, Boston, Massachusetts, USA 2012.* Hrsg.: Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, Kalifornien, USA. S. 1506-1510
- [4] *Haner, U.-E.*: Höhere Produktivität durch Multi-Monitor-Arbeitsplatz – Exponat auf der CeBIT. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation, Stuttgart 2009. [www.iuk.fraunhofer.de/presse-und-medien/pressemeldungen/einzelansicht/article/hoehere-produktivitaet-durch-multi-monitor-arbeitsplatz-exponat-auf-der-cebit](http://www.iuk.fraunhofer.de/presse-und-medien/pressemeldungen/einzelansicht/article/hoehere-produktivitaet-durch-multi-monitor-arbeitsplatz-exponat-auf-der-cebit)
- [5] *Czerwinski, M.; Smith, G.; Regan, T.; Meyers, B.; Robertson, G.; Starkweather, G.*: Toward characterizing the productivity benefits of very large displays. In: *Rauterberg, M.; Menozzi, M.; Wesson, J.* (Hrsg.): Human-computer interaction, INTERACT' 03: IFIP International Conference on Human-Computer Interaction, 1. bis 5. September 2003, Zürich, Schweiz. S. 9-16
- [6] *Bi, X.; Balakrishnan, R.*: Comparing usage of a large high-resolution display to single or dual desktop displays for daily work. *CHI' 09 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2009.* S. 1005-1014,
- [7] DGVU Information 215-410: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze Leitfaden für die Gestaltung (vormals BGI 650). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2015
- [8] DIN EN ISO 9241-300: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 300: Einführung in die Anforderungen an elektronische optische Anlagen. Beuth, Berlin 2008
- [9] DIN EN ISO 9241-303: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen. Beuth, Berlin 2011
- [10] DIN EN ISO 9241-304: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 304: Prüfverfahren zur Benutzleistung für elektronische optische Anzeigen. Beuth, Berlin 2008
- [11] DIN EN ISO 9241-305: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 305: Optische Laborprüfverfahren für elektronische optische Anzeigen. Beuth, Berlin 2008
- [12] DIN EN ISO 9241-306: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 306: Vor-Ort-Bewertungsverfahren für elektronische optische Anzeigen. Beuth, Berlin 2008
- [13] *Blehm, C.; Vishnu, S.; Khattak, A.; Mitra, S.; Yee, R. W.*: Computer vision syndrome: A review. *Surv. Ophthalmol.* 50 (2005) Nr. 3, S. 253-262
- [14] *Beck, M.*: Becoming a squinter nation. *Wall Street Journal*, 17. August 2010. <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052748704868604575433361436276340> (Zugriff 11/2014)
- [15] *Reddy, S. C.; Low, C. K.; Lim, Y. P.; Low, L. L.; Mardina, F.; Nursaleha, M. P.*: Computer vision syndrome: a study of knowledge and practices in university students. *Nepal J. Ophthalmol.* 10 (2013) Nr. 5, S. 161-168
- [16] *Acosta, M. C.; Gallar, J.; Belmonte, C.*: The influence of eye solutions on blinking and ocular comfort at rest and during work at video display terminals. *Exp. Eye Res.* 68 (1999) Nr. 6, S. 663-669
- [17] *Patel, S.; Henderson, R.; Bradley, L.; Galloway, B.; Hunter, L.*: Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optom. Vis. Sci.* 68 (1991) Nr. 11, S. 888-892
- [18] *Ellegast, R. P.; 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) Nr. 2, S. 296-307
- [19] *Ellegast, R. P.; Weber, B.; Mahlberg, R.*: Method inventory for assessment of physical activity at VDU workplaces. *Work* 41 (2012), S. 2355-2359
- [20] *Groenesteijn, L.; Ellegast, R. P.; Keller, K.; Krause, F.; Berger, H.; de Looze, M. P.*: Office task effects on comfort and body dynamics in five dynamic office chairs. *Appl. Ergon.* 43 (2012) Nr. 2, S. 320-328
- [21] *Commissaris, D.; Könemann, R.; Hiemstra-van Mastrigt, S.; Burford, E. M.; Botter, J.; Douwes, M.; Ellegast, R. P.*: Effects of a standing and three dynamic workstations on computer task performance and cognitive function tests. *Appl. Ergon.* 45 (2014) Nr. 6, S. 1570-1578
- [22] *Botter, J.; Burford, E. M.; Commissaris, D.; Könemann, R.; Hiemstra-van Mastrigt, S.; Douwes, M.; Weber, B.; Ellegast, R.*: Untersuchung von dynamischen Büroarbeitsplätzen. IFA Report 4/2014. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche

- Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2014. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode: d972999
- [23] *Ellegast, R. P.; Keller, K.; Hamburger, R.; Berger, H.; Krause, F.; Groenesteijn, L.; Blok, M.; Vink, P.*: Ergonomische Untersuchung besonderer Büroarbeitsstühle. BGA-Report 5/2008. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Sankt Augustin 2008. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode: d18885
- [24] *Bahill, A. T.; Adler, D.; Stark, L.*: Most naturally occurring human saccades have magnitudes of 15 degrees or less. *Invest. Ophthalmol.* 14 (1975), S. 468-469
- [25] *Carpenter, R. H. S.*: Movements of the eyes. London: Pion, 1988
- [26] *Raisy, C. D.; Vashisth, S.; Salhan, A. K.*: Real time acquisition of EMG signal and head movement recognition. *Int. J. Computer Applications* 73 (2013) Nr. 1, 0975-8887
- [27] *Luttmann, A.; Kylian, H.; Schmidt, K.-H.; Jäger, M.*: Untersuchung von Muskelbelastung und Beschwerdehäufigkeit bei Büroarbeit. *Zbl. Arbeitsmed.* 52 (2002), S. 305-317
- [28] *Läubli, T.; Zennaro, D.; Schnoz, M.; Krebs, D.; Klipstein, A.; Krueger, H.*: Aktivitätsmuster motorischer Einheiten bei experimentellen Bürotätigkeiten. [www.med.uni-jena.de/motorik/pdf/laubli.pdf](http://www.med.uni-jena.de/motorik/pdf/laubli.pdf) (Zugriff 02/2016)
- [29] *Hägg, G. M.*: Human muscle fibre abnormalities related to occupational load. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83 (2000), S. 159-165
- [30] *Ellegast, R.; Hermanns, I.; Schiefer, C.*: Feldmesssystem CUELA zur Langzeiterfassung und -analyse von Bewegungen an Arbeitsplätzen. *Z. Arbwiss.* (2010) Nr. 2, S. 101-110
- [31] *Benninghoven, A.; Bindzius, F.; Cramer, J.; Ellegast, R. P.; Flowerday, U.; Genz, A.; von der Heyden, T.; Pfeiffer, W.; Schittly, D.; Schweer, R.; Stamm, R.*: CCall – Healthy and successful work in call-centres. *Int. J. Occup. Saf. Ergonom.* 11 (2005) Nr. 4, S. 409-421
- [32] *Weber, B.*: Entwicklung und Evaluation eines Bewegungsmesssystems zur Analyse der physischen Aktivität. IFA-Report 2/2011. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2011. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode: d112728
- [33] *Ellegast, R. P.; Herda, C.; Hoehne-Hückstädt, U.; Lesser, W.; Kraus, G.; Schwan, W.*: Ergonomie an Naharbeitsplätzen. BIA-Report 7/2004. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2004. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode: d6353
- [34] *Glitsch, U.; Keller, S.; Kusserow, H.; Hermanns, I.; Ellegast, R. P.; Hüdepohl, J.*: Physical and physiological workload profiles of overhead line service technicians. In: *Pikaar, R.N.; Koningsveld, E.A.P.; Settels, P. J. M.* (Hrsg.): IEA 2006.
16. World Congress on Ergonomics. 10.-14. Juli 2006, Maastricht/Niederlande – Vortrag. CD-ROM. Elsevier 2006
- [35] *Freitag, S.; Ellegast, R. P.; Dulon, M.; Nienhaus, A.*: Quantitative measurement of stressful trunk postures in nursing professions. *Ann. Occup. Hyg.* 51 (2007) Nr. 4, S. 385-395
- [36] *Glitsch, U.; Ottersbach, H. J.; Ellegast, R.; Schaub, K.; Franz, G.; Jäger, M.*: Physical workload of flight attendants when pushing and pulling trolleys aboard aircraft. *Int. J. Indust. Ergonom.* 37 (2007) Nr. 11/12, S. 845-854
- [37] *Ditthen, D.; Ellegast, R.; Rehme, G.*: GonKatast – Ein Messwertkataster zu beruflichen Kniebelastungen. IFA-Report 1/2010. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin 2010. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode: d107547
- [38] *Brütting, M.; Böser, C.; Knipfer, C.; Ellegast, R. P.*: Sitzmemory am Busfahrer Arbeitsplatz. IFA Report 3/2012. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2012. [www.dguv.de/ifa](http://www.dguv.de/ifa), Webcode: d141242
- [39] *Schiefer, C.; Ellegast, R. P.; Hermanns, I.; Kraus, T.; Ochsmann, E.; Larue, C.; Plamondon, A.*: Optimization of inertial sensor-based motion capturing for magnetically distorted field applications. *J. Biomech. Eng.* 136 (2014) Nr. 12, 121008
- [40] DIN EN 1005-4: Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen (01/2009). Beuth, Berlin 2009
- [41] ISO 11226: Ergonomics – Evaluation of static working postures (Ergonomie – Evaluierung von Körperhaltungen bei der Arbeit) (12.2000). Beuth, Berlin 2000
- [42] *Sousa, A. S. P.; Tavares, J. M. R. S.*: Surface electromyographic amplitude normalization methods: A review. In: *Takada, H.* (Ed.): *Electromyography: New developments, procedures and applications, Neuroscience research progress muscular System – Anatomy, functions and injuries.* Nova Science Publishers, New York, USA 2012
- [43] *Schiffman, H. R.*: Sensation and perception. An integrated approach. John Wiley and Sons, New York, USA 2001
- [44] *Doughty, M. J.*: Consideration of three types of spontaneous eyeblink activity in normal humans: During reading and video display terminal use, in primary gaze, and while in conversation. *Optom. Vis. Sci.* 78 (2001) Nr. 10, S. 712-725
- [45] *Bentivoglio, A. R.; Bressman, S. B.; Cassetta, E.; Carretta, D.; Tonali, P.; Albanese, A.*: Analysis of blink rate patterns in normal subjects. *Mov. Disord.* 12 (1997) Nr. 6, S. 1028-1034

- [46] *Ziemssen, F.; Freudenthaler, N.; Regnery, K.; Schlote, T.*: Lidschlagaktivität während der Bildschirmarbeit, Teil 2: Reduzierter Lidschlag und therapeutische Ansätze. *Ophthalmologie* (2005) Nr. 9, S. 895-901
- [47] *Karson, C. N.; Berman, K. F.; Donnelly, E. F.; Mendelson, W. B.; Kleinman, J. E.; Wyatt, R. J.*: Speaking, thinking, and blinking. *Psychiatry Res.* 5 (1981) Nr. 3, S. 243-246
- [48] *Holland, M. K.; Tarlow, G.*: Blinking and thinking. *Percept. Mot. Skills* 41 (1975) Nr. 2, S. 503-506.
- [49] DIN EN ISO 8596: Augenoptik – Sehschärfeproofung – Das Normsehzeichen und seine Darbietung (10/2009). Beuth, Berlin 2009
- [50] *Bach, M.; Kommerell, G.*: Sehschärfeproofung nach Europäischer Norm. Wissenschaftliche Grundlagen und Möglichkeiten der automatischen Messung. *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.* 212 (1998), S. 190-195
- [51] *Conradi, J.; Alexander, T. H.*: Analysis of visual performance during the use of mobile devices while walking. In: *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, 11<sup>th</sup> International Conference, EPCE 2014, HCI International 2014*, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014. *Proceedings*, S. 133-142
- [52] *Conradi, J.; Plegge, C.; Nord, B.; Alexander, T.*: Physiologische Auswirkungen des Gehens auf die Nutzung mobiler Geräte. FKIE-Bericht Nr. 260. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE), Wachtberg-Werthhoven 2015
- [53] *Hart, S. G.; Staveland, L. E.*: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: *Hancock, P. A.; Meshkati, N.* (Hrsg.): *Human mental workload*. North Holland Press, Amsterdam, Niederlande 1988
- [54] *Hart, S. G.*: NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50<sup>th</sup> Annual Meeting*. Hrsg.: Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, Kalifornien, USA 2006. S. 904-908
- [55] *Bortz, J.*: *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 6. Aufl. Springer, Berlin 2005
- [56] *Van Dieen, 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
- [57] *Augenärzte informieren: Bildschirmarbeitsplatz*. Hrsg.: Berufsverband der Augenärzte Deutschlands (BVA), Düsseldorf, und Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG), München. [http://cms.augeninfo.de/fileadmin/pat\\_brosch/bildsch.pdf](http://cms.augeninfo.de/fileadmin/pat_brosch/bildsch.pdf) (Zugriff 11/2014)
- [58] *Niesluchowska, M.*: Work with visual display units and its effect on the eye. *Klin. Oczna.* 109 (2007) Nr. 1-3, S. 30-34
- [59] *Nyman, K. G.; Knave, B. G.; Voss, M.*: Work with video display terminals among office employees. IV. Refraction, accommodation, convergence and binocular vision. *Scand. J. Work Environ. Health* 11 (1985) Nr. 6, S. 483-487
- [60] DIN EN ISO 9241-110: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialog-Gestaltung. Beuth, Berlin 2006



## Anhang A: Informationen zur Literaturrecherche (PubMed)

Tabelle A.1:  
Verwendete Suchbegriffe und Suchbegriffkombinationen sowie Trefferanzahl einer Literaturrecherche (PubMed)

Item	Query	Items found
#1	multi screen OR dual screen OR multi monitor OR dual monitor OR multi display OR dual display OR several screens OR several monitors OR several displays OR large screen OR large monitor OR large display [TITLE/ABSTRACT]	273
#2	workstation OR desktop computing [TITLE/ABSTRACT]	3 898
#3	office work OR clerical work OR VDU work OR desk work OR information work [TITLE/ABSTRACT]	436
#4	broker OR stockbroker OR exchange broker [TITLE/ABSTRACT]	371
#5	air controller OR air traffic controller OR control tower operator OR flight controller [TITLE/ABSTRACT]	51
#6	#1 AND #2	7 (1 teilweise relevant)
#7	#1 AND #3	0
#8	#1 AND #4	0
#9	#1 AND #5	0
#10	eye tracking OR eyetracking OR eye tracker OR eyetracker [TITLE/ABSTRACT]	2 090
#11	#1 AND #10	1 (0 relevant)
#12	#2 AND #10	5 (0 relevant)
#13	#3 AND #10	0
#14	#4 AND #10	0
#15	#5 AND #10	1 (0 relevant)
#16	Ergonomic OR ergonomics OR ergonomic guideline OR ergonomic guidelines OR ergonomic assessment [TITLE/ABSTRACT]	6 385
#17	#1 AND #16	1 (0 relevant)

### Item #6

1. *Teixeira, P.; Zabel, J. P.; Baumann, C.; Albizzati, S.; Coudane, H.; Winninger, D.; Blum, A.*: Can paper replace laser film to communicate the results of wrist radiographs in trauma cases? A reproducibility study of the reading of wrist trauma case radiographs on a PACS Workstation, laser film, and paper. *J. Digit. Imaging.* 26 (2013) Nr. 6, S. 1013-1019. doi: 10.1007/s10278-013-9613-8.
2. *Poder, T. G.; Godbout, S. T.; Bellemare, C.*: Dual vs. single computer monitor in a Canadian hospital Archiving Department: a study of efficiency and satisfaction. *HIM J.* 40 (2011) Nr. 3, S. 20-25
3. *Wang, X.; Hu, J.; Cao, J.; Wang, B.; Jiao, J.; Wei, Y.; Wang, X.; Luo, M.; Luo, S.*: Set-up and preliminary performance of a digital radiology conference system. *Chin. Med. J. (Engl.)* 116 (2003) Nr. 5, S. 658-660
4. *Tao, Y.; Miao, J.*: Workstation scheme and implementation for a medical imaging information system. *Chin. Med. J. (Engl.)* 116 (2003) Nr. 5, S. 654-657
5. *Downing, S. W.*: A multimedia-based histology laboratory course: elimination of the traditional microscope laboratory. *Medinfo 8 (1995) Teil 2*, S. 1695
6. *Svahn, G.; Holtås, S.; Larsson, E. M.; Bengtsson, E.; Ehn, A.*: PACS for radiology conferences – improvement of application software. *Comput. Methods Programs Biomed.* 43 (1994) Nr. 1-2, S. 81-84
7. *Hakman, M.; Groth, T.*: KBSIM: a system for interactive knowledge-based simulation. *Comput. Methods Programs Biomed.* 34 (1991) Nr. 2-3, S. 91-113

### Item #11

1. *Tseng, P. H.; Carmi, R.; Cameron, I. G.; Munoz, D. P.; Itti, L.*: Quantifying center bias of observers in free viewing of dynamic natural scenes. *J. Vis.* 9 (2009) Nr. 7, S. 4. doi: 10.1167/9.7.4.

### Item #12

1. Schulz-Stübner, S.; Jungk, A.; Kunitz, O.; Rossaint, R.: Analysis of the anesthesiologist's vigilance with an eye-tracking device. A pilot study for evaluation of the method under the conditions of a modern operating theatre. *Anaesthesist* 51 (2002) Nr. 3, S. 180-186
2. Török, B.; Hirschi, R.; Székely, G.; Brechbühler, C.; Blass, L.; Barabás, K.; Bischoff, P.: Automatic measurement of dye filling of simultaneous digital ICG- and fluorescein angiography sequences. *Klin. Monbl. Augenheilkd.* 216 (2000) Nr. 5, S. 268-271
3. Beard, D. V.; Bream, P.; Pisano, E. D.; Conroy, P.; Johnston, R. E.; Braeuning, P.; McLelland, R.; Clark, R.: A pilot study of eye movement during mammography interpretation: eye-tracker results and workstation design implications. *J. Digit. Imaging* 10 (1997) Nr. 1, S. 14-20
4. Beard, D. V.; Pisano, E. D.; Denelsbeck, K. M.; Johnston, R. E.: Eye movement during computed tomography interpretation: eyetracker results and image display-time implications. *J. Digit. Imaging* 7 (1994) Nr. 4, S. 189-192
5. Beard, D. V.; Johnston, R. E.; Toki, O.; Wilcox, C.: A study of radiologists viewing multiple computed tomography examinations using an eyetracking device. *J. Digit. Imaging* 3 (1990) Nr. 4, S. 230-237

### Item #15

1. Lee, F. J.; Anderson, J. R.: Does learning a complex task have to be complex? A study in learning decomposition. *Cogn. Psychol.* 42 (2001) Nr. 3, S. 267-316

### Item #17

1. Strokina, A.: Anthropological research in reference to ergonomics. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci.* 24 (2005) Nr. 4, S. 517-519. Review

### Hersteller-Studien

- <http://echouser.com/casestudies/dualmonitors.php> (Zugriff 11/2014)
- <http://www.zdnet.de/41000616/studie-arbeitsplatz-mit-drei-monitoren-steigert-produktivitaet/> „Studie: Arbeitsplatz mit drei Monitoren steigert Produktivität“ (Zugriff 11/2014)
- <http://www.pcwelt.de/ratgeber/Mehrere-Monitore-bedeuten-mehr-Produktivitaet-Alles-nur-gelogen-1009218.html> (Zugriff 11/2014)

### Ergonomische Empfehlungen

- Dual monitor ergonomics: <http://ehs.iupui.edu/content/doclib/Dual%20Monitor%20Ergonomics.pdf> (Zugriff 11/2014)
- Ergonomic Guidelines for Dual Monitors: [https://www.thezenith.com/employers/services/pi/indsaf/agr/rmb/agriculture\\_ergo\\_guidelines\\_for\\_dual\\_monitors\\_rmb166.pdf](https://www.thezenith.com/employers/services/pi/indsaf/agr/rmb/agriculture_ergo_guidelines_for_dual_monitors_rmb166.pdf) (Zugriff 11/2014)
- General Guide to use of Multiple Monitors: <http://www.newcastle.edu.au/Resources/Divisions/Services/Human%20Resource%20Services/Health-Safety/Working-Safely/multiple-monitors-guide.pdf> (Zugriff 11/2014)

### Probandeninformation

Vielen Dank für Ihr Interesse, am Projekt „Ergonomische Untersuchung von Büroarbeitsplätzen mit mehreren Bildschirmen oder Großbildschirmen“ als Proband teilzunehmen!

#### Hintergrund der Studie

Der klassische Bildschirmarbeitsplatz mit einem Standard-Monitor (19") wird zunehmend durch Bildschirmarbeitsplätze mit mehreren gleichzeitig oder wechselnd genutzten Bildschirmen bzw. Großbildschirmen ersetzt. Daraus ergeben sich unterschiedliche Bildschirmkonstellationen, deren Einflüsse auf den Bediener und seine Arbeit bisher wenig untersucht sind. Im Projekt soll deshalb ein „klassischer Ein-Bildschirmarbeitsplatz“ mit verschiedenen Konstellationen eines „Multi-Bildschirmarbeitsplatzes“ in einer Laborsimulation verglichen werden.

#### Studienbestandteile:

- 1) Teilnahme an einer augenärztlichen Untersuchung zur Feststellung Ihres Augenstatus (das Tragen einer Brille/ von Kontaktlinsen ist kein Ausschlusskriterium)
  - Ermittlung der augenärztlichen Vorgeschichte, aktueller Beschwerden, und evtl. verordneter Medikamente
  - Sehtest bestehend aus:
    - Sehschärfebestimmung im Nah- und Fernbereich
    - Prüfung der Stellung der Augen
    - Prüfung des zentralen Gesichtsfeldes
    - Prüfung des Farbsinnes
    - Ärztlicher Beurteilung und persönliche Beratung (Studienleitung erhält lediglich eine Mitteilung, ob Teilnahmevoraussetzung erfüllt oder nicht)

Die augenärztliche Untersuchung wird vom Betriebsärztlichen Dienst im „Zentrum Bonn“ ([www.bad-gmbh.de](http://www.bad-gmbh.de)) in Bonn-Beuel (Friedrich-Breuer-Straße 72, 53225 Bonn) durchgeführt. Hierfür werden Ihnen mehrere Termine angeboten werden.

- 2) Ärztliche Befragung bezüglich Belastungen/Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems (Beeinträchtigungen könnten die Versuchsergebnisse verfälschen)

Die ärztliche Befragung wird Frau Dr. Hoehne-Hückstädt (IFA) durchführen.

- 3) Laboruntersuchungen

Im Ergonomielabor des Ref. 4.3 wurde ein „Standardbildschirmarbeitsplatz“ eingerichtet.



**Bildschirmarbeitsplatz**

An diesem werden sie an verschiedenen Tagen mit unterschiedlichen Bildschirmkonstellationen mehrere Aufgaben bearbeiten. Die Bildschirmkonstellationen sehen wie folgt aus:

- einzelner 22"-Bildschirm in waagerechter Ausrichtung
- zwei 22"-Bildschirme in waagerechter Ausrichtung
- zwei 22"-Bildschirme (1 in senkrechter und 1 in waagerechter Ausrichtung)

Ihre Aufgabe wird darin bestehen, MS Word- und MS Excel-Dokumente zu bearbeiten. Die gestellten Aufgaben sind nicht schwierig, aber zeitintensiv. Für die Bearbeitung der verschiedenen Aufgaben ist ein Zeitraum von 135 Minuten vorgesehen (die Anzahl der Aufgaben hängt von der jeweiligen Arbeitsgeschwindigkeit ab, es werden aber immer 135 Minuten Versuchszeit durchgeführt). An jedem Versuchstag wird nur jeweils eine Bildschirmkonstellation präsentiert, d.h. sie werden die Aufgaben an drei verschiedenen Versuchstagen bearbeiten. Für die Versuchsvorbereitung (Messinstrumente anlegen, kalibrieren usw.) müssen an jedem Versuchstag zusätzlich 30-45 Minuten einkalkuliert werden.

**Folgende Messsysteme kommen in dieser Untersuchung zum Einsatz:**

**CUELA** (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems)



**CUELA-Messsystem**

Mit diesem System werden Ihre Körperhaltungen und -bewegungen kontinuierlich erfasst und anschließend ausgewertet. Ein weiterer CUELA-Sensor befindet sich am Bürostuhl, um auch dessen Bewegungen aufzuzeichnen. Die Messung wird durch eine seitlich vom Schreibtisch angebrachte Videokamera aufgezeichnet.

**EMG (Elektromyographie)**



Mittels EMG können die elektrischen Signale, die bei Muskelaktivität entstehen, aufgezeichnet werden. Uns interessiert in diesem Zusammenhang die Aktivität der Nacken-/ Halsmuskulatur. Die Elektroden werden, wie auf dem nebenstehenden Bild gezeigt, beidseitig im Nacken-/Schulterbereich auf die Haut geklebt. (Je nach Probandengeschlecht wird das Kleben der Sensoren von einem/einer männlichen/weiblichen Messtechniker/in durchgeführt. Bei sehr starker Behaarung kann es notwendig sein, die entsprechenden Stellen zu rasieren.)

**EMG-Sensoren**

**Eyetracking (Augenbewegungserfassung)**



Mit einem Eyetracking-System werden die Bewegungen der Augen erfasst und aufgezeichnet. Es besteht aus einem Kopfband, und einem Nasenbügel (ähnlich dem einer Brille) und zwei kleinen Kameras. Eine Kamera ist auf eines Ihrer Augen, die andere Kamera auf den Bereich vor Ihnen gerichtet. Im ersten Augenblick mögen die Kameras störend wirken, dieser Eindruck verflüchtigt sich jedoch bereits nach wenigen Minuten.

**Eye-Tracking-System**





## Anhang C: Einverständniserklärung der Probandinnen und Probanden

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Im Rahmen der Studie „Ergonomische Untersuchung von Büroarbeitsplätzen mit mehreren Bildschirmen oder Großbildschirmen“ nahm ich als Messperson teil. Dabei wurden auch personenbezogene Daten (z.B. Alter, Geschlecht, Körpergröße) erhoben sowie Foto- und Videoaufnahmen angefertigt.

Ich willige hiermit ein, dass diese Daten in *pseudonymisierter* Form vom Institut für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e.V. (DGUV) weiter verarbeitet werden dürfen.

Ich bin damit einverstanden, dass die Foto- und Videoaufnahmen (auf Ihren Wunsch auch z. B. durch schwarze Balken unkenntlich gemacht (falls gewünscht bitte unterstreichen)) sowie die Ergebnisse dieser Untersuchung im Rahmen wissenschaftlicher Publikationen und Veranstaltungen genutzt werden dürfen.

Ort:

\_\_\_\_\_

Datum:

\_\_\_\_\_

Unterschrift:

\_\_\_\_\_



## Anhang D: Fragebogen Prä-Versuch

Proband Nr.: \_\_\_ / 1

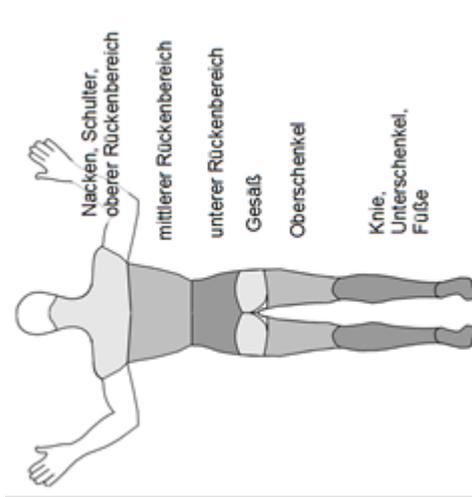
Alter in Jahren:

Körpergröße in cm:

Ich trage während der Bildschirmarbeit eine Brille (ja /nein )/Kontaktlinsen ( ja/nein )

Ich habe heute körperliche Beschwerden (z. B. Muskelkater/Verspannungen/Nackenschmerzen, Kopfschmerzen, o. Ä.) ( ja/nein )

Falls ja, bitte betreffende Körperregion markieren:



Ich habe heute Sehbeschwerden (z. B. tränende oder gerötete Augen/unscharfes Sehen/sonstige Beschwerden) (ja /nein)

Mein aktueller Bildschirmarbeitsplatz ist am ehesten zu vergleichen mit (bitte ankreuzen und Bildschirmgröße, falls bekannt, eintragen):



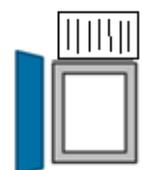
Einzelbildschirm



2 waagerechte Bildschirme



waagerechter + senkrechter Bildschirm



Einzelbildschirm + Dokumentenhalter

Bildschirmgröße(n) (z. B. 19"):

An diesem Bildschirmarbeitsplatz arbeite ich seit ca.: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ Monaten/Jahren



Heutige Bildschirmkonfiguration im Versuch:





Markieren Sie bei jedem der 15 nachfolgenden Vergleiche die Beanspruchungsdimension, die für das Gesamttempfinden hinsichtlich der Aufgabe die jeweils bedeutsamere war.

Markieren Sie die Dimension, die den jeweils wichtigeren Beitrag zur Arbeitsbelastung hinsichtlich der Aufgabe darstellt.

**Anstrengung**

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

oder

**Körperliche Anforderung**

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erfolglos oder mühselig?

**Frustration**

Wie unsicher, entnützt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlen Sie sich während der Aufgabe?

oder

**Geistige Anforderung**

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehler tolerant?

**Zeitliche Anforderung**

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftreten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

oder

**Frustration**

Wie unsicher, entnützt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlen Sie sich während der Aufgabe?

**Leistung**

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

oder

**Geistige Anforderung**

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

**Körperliche Anforderung**

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

oder

**Zeitliche Anforderung**

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

**Zeitliche Anforderung**

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

oder

**Geistige Anforderung**

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

**Leistung**

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

oder

**Frustration**

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

---

**Zeitliche Anforderung**

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftreten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

oder

**Anstrengung**

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

---

**Körperliche Anforderung**

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

oder

**Frustration**

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

**Leistung**

oder

**Zeitliche Anforderung**

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

Wie viel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Aufgabe langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

**Körperliche Anforderung**

oder

**Leistung**

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholungsam oder mühselig?

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

**Frustration**

oder

**Anstrengung**

Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlten Sie sich während der Aufgabe?

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

**Geistige Anforderung**

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

oder

**Körperliche Anforderung**

Wie viel körperliche Aktivität war erforderlich (z. B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

**Geistige Anforderung**

Wie viel geistige Anforderung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z. B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

oder

**Anstrengung**

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

**Anstrengung**

Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

oder

**Leistung**

Wie erfolgreich haben Sie Ihrer Meinung nach die vom Versuchsleiter (oder Ihnen selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden waren Sie mit Ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

## Anhang F: Abschlussfragebogen

Für die Bearbeitung der Versuchsaufgaben erschien mir folgende Bildschirmkonfiguration als am geeignetsten/angenehmsten:



Einzelbildschirm



2 waagerechte Bildschirme



waagerechter + senkrechter Bildschirm

Nach den Erfahrungen in dieser Versuchsreihe, würde ich mich an meinem Bildschirmarbeitsplatz für folgende Bildschirmvariante entscheiden:



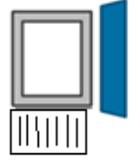
Einzelbildschirm



2 waagerechte Bildschirme



waagerechter + senkrechter Bildschirm



Einzelbildschirm + Dokumentenhalter

Bildschirmgröße(n):

Sonstiges:



# Anhang G: G46-Fragebogen, ärztliche Befragung

Name ..... Vorname ..... Datum .....

## G 46 Eigene Angaben zu Muskel-Skelett-Erkrankungen (Anamnese 1)

1. Hatten Sie jemals Erkrankungen, Operationen oder schwerere Unfälle im Bereich der Wirbelsäule, der Arme oder Beine?

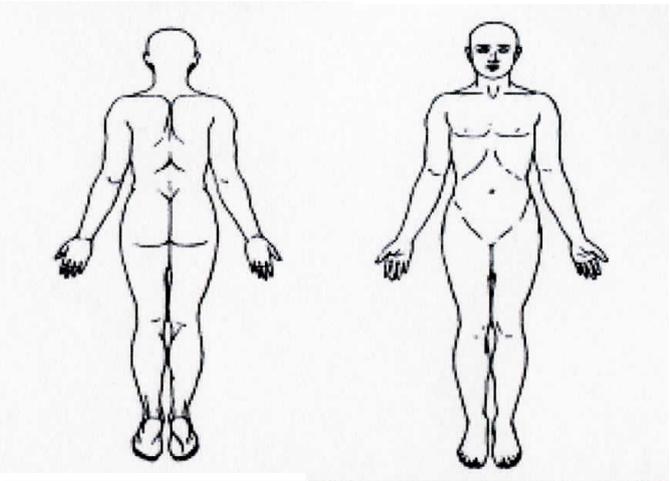
nein | ja

Wenn ja, welche? \_\_\_\_\_

2. Hatten Sie **in den letzten 12 Monaten** bei der Arbeit Beschwerden im Bereich der Wirbelsäule, der Arme oder Beine?

(Schmerzen, Ziehen, Brennen, Kraftlosigkeit, Taubheitsgefühl, Kältegefühl, Hautveränderungen u. ä.)

nein | ja



Wenn Ja, zeichnen Sie bitte in die beiden Figuren (x) ein, wo Beschwerden aufgetreten sind!

3. Waren Sie in den letzten 12 Monaten irgendwann einmal wegen dieser Beschwerden bei einem Arzt?

nein | ja

Wenn ja, welche Diagnose wurde gestellt? \_\_\_\_\_

4. Waren Sie in den letzten 12 Monaten irgendwann einmal wegen der Beschwerden arbeitsunfähig?

nein | ja

Wenn ja, wie oft? \_\_\_\_ x und wie viel Wochen insgesamt? \_\_\_\_ Wochen

5. Haben Sie heute Beschwerden in der Wirbelsäule, den Armen oder Beinen?

nein | ja

Wenn Ja, wo? \_\_\_\_\_

6. Welche Belastungen kommen in Ihrer Arbeit vor und verursachen Schmerzen oder andere Beschwerden?

Belastung durch	Die Belastung kommt in meiner Arbeit vor.		Die Belastung hat Schmerzen und Beschwerden verursacht oder verstärkt.	
	ja	nein	ja	nein
Handhaben schwerer Lasten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
gebückte oder verdrehte Körperhaltung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Knien oder Hocken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
dauerndes Stehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arbeit mit Händen über Schulterhöhe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erschütterungen durch Werkzeuge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sitzen auf Fahrzeugen oder Maschinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sitzen im Büro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

andere, nicht genannte Tätigkeiten: \_\_\_\_\_

Name ..... Vorname ..... Datum .....

**G 46 Eigene Angaben zu Muskel-Skelett-Erkrankungen (Anamnese 2)**

1. *Schmerzcharakter:* Wie empfinden Sie die Schmerzen bzw. Beschwerden, die in den letzten 12 Monaten in den Armen und Beinen, der Muskulatur oder der Wirbelsäule aufgetreten sind?

Entfällt  Ja  O, die Schmerzen bzw. Beschwerden lassen sich in folgender Weise beschreiben:

dumpfe Schmerzen	<input type="radio"/>	..... wo?	Muskelkater	<input type="radio"/>	.....
ausstrahlende Schmerzen	<input type="radio"/>	.....	Muskelschwäche	<input type="radio"/>	.....
Brennen	<input type="radio"/>	.....	andere Beschwerden	<input type="radio"/>	.....
Ziehen	<input type="radio"/>	.....	Kribbeln/Parästhesien*	<input type="radio"/>	.....
Stechen	<input type="radio"/>	.....	Taubheitsgefühl*	<input type="radio"/>	.....
Steifigkeit	<input type="radio"/>	.....	Raynaud-Phänomene*	<input type="radio"/>	.....
Krämpfe	<input type="radio"/>	.....			
Verspannung	<input type="radio"/>	.....			

(\* siehe Seite 2)

2. *Schmerzausstrahlung:* Strahlen die Schmerzen ggf. aus und wenn ja wohin?

Nein, entfällt  Ja  O, die Schmerzen strahlen in folgende Körperregionen aus:

Nacken/HWS	<input type="radio"/>	Hüftgelenk/Oberschenkel	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts	Schulter/Oberarm	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts
Brustwirbelsäule	<input type="radio"/>	Kniegelenk/Unterschenkel	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts	Ellenbogen/Unterarm	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts
Lendenwirbelsäule	<input type="radio"/>	Fuß/Fußgelenk	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts	Hand/Handgelenk/Finger	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts

3. *Provozierbarkeit:* Kann der Schmerz provoziert werden (z. B. durch Husten, Pressen, bestimmte Körperbewegungen, Arbeit mit vibrierenden Werkzeugen, Arbeit in kalter Umgebung)?

Nein, entfällt  Ja  O, und zwar durch: .....

4. Tritt in arbeitsfreien Zeiten (Nachtruhe, Wochenende, Urlaub) eine Linderung ein?

Nein, entfällt  Ja  O, und zwar durch: .....

5. *Schmerzintensität:* Wie stark war der schlimmste Schmerz, den Sie in den angegebenen Bereichen in den letzten 30 Tagen verspürt haben. Bewerten Sie die Intensität dieser Beschwerden mit einer Zahl zwischen 0 (keine Beschwerden) und 10 (schlimmste vorstellbare Beschwerden)

keine Beschwerden             schlimmste Schmerzen  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

6. *Wochenprävalenz:* Haben Sie heute oder hatten Sie in den letzten 7 Tagen (in der letzten Woche?) Schmerzen oder Beschwerden in den Armen und Beinen, der Muskulatur und der Wirbelsäule?

Nein, entfällt  Ja  O, und zwar in folgenden Körperregionen:

Nacken/HWS	<input type="radio"/>	Hüftgelenk/Oberschenkel	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts	Schulter/Oberarm	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts
Brustwirbelsäule	<input type="radio"/>	Kniegelenk/Unterschenkel	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts	Ellenbogen/Unterarm	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts
Lendenwirbelsäule	<input type="radio"/>	Fuß/Fußgelenk	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts	Hand/Handgelenk/Finger	<input type="radio"/>	links	<input type="radio"/>	rechts

7. Weitere Angaben zur Anamnese (Schmerzcharakteristik, Provozierbarkeit, Verlauf, Funktionsstörungen, Behinderungen, bisherige Behandlungen, bisherige Diagnostik, Hinweise auf systemische Erkrankungen, Medikamentenabusus, Genussmittelgebrauch (Rauchen):

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

Datum, Unterschrift Arzt .....

