



3Dsensation
Mensch . Maschine . Umwelt . ZUKUNFT

UNTERNEHMEN
Die BMBF-Innovationsinitiative
Neue Länder REGION



Schlussberichte

zu den Projekten aus der **Forschungsallianz 3Dsensation: 3D-Technologien in der Mensch-Maschine-Interaktion**

StressSense 2: „Anwendung optischer und textilbasierter Sensoren zur Detektion von Ermüdungs- und Stressparametern in ausgewählten Arbeitsszenarien“

FKZ 03ZZ0461 (Laufzeit: 01.09.2017 - 31.08.2019)

Teilprojekt SuSa: „Stresserfassung über Sauerstoffsättigung“ (aus Verbundprojekt „Automatische kontaktlose Stresserfassung in Echtzeit“)

FKZ 03ZZ0471B (Laufzeit: 01.10.2017 - 30.09.2019)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Inhaltsverzeichnis

Schlussbericht zu StressSense2	S. 3
I Kurze Darstellung	S. 3
1. Aufgabenstellung	S. 3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	S. 6
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	S. 6
4. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	S. 6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	S. 8
II Eingehende Darstellung	S. 8
1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	S. 8
2. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,	S. 27
3. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,	S. 28
4. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,	S. 29
5. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.	S. 29
6. Literaturverzeichnis	S. 30
Schlussbericht zu SuSa	S. 34
I Kurze Darstellung	S. 34
1. Aufgabenstellung	S. 34
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	S. 34
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	S. 35
4. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde,	S. 36
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	S. 37
II Eingehende Darstellung	S. 37
1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,	S. 37
2. Literatur	S. 46

Schlussbericht zu StressSense2

I Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Die Arbeitswelt ist permanent in Veränderung, unter anderem aufgrund der Globalisierung, des demographischen Wandels, neuer Technologien, institutioneller Reformen oder der zunehmenden Digitalisierung von Arbeitsabläufen (Badura et al. 2016). Industrie 4.0 beschreibt diesen Wandel. Innovationen führen zu neuen Gegebenheiten und veränderten Arbeitsbedingungen. Arbeitsvorgänge innerhalb des Zusammenarbeitens von Mensch-Mensch und Mensch-Maschine sind interaktiver geworden.

Die Abläufe im Kontext Mensch-Maschine werden hierbei immer mit Rücksicht auf den/die Arbeitnehmer*in abgestimmt, dennoch fehlt häufig der natürliche und intuitive Umgang der Adressaten mit den entsprechenden Geräten. Potenziale der Mensch-Maschine-Interaktion werden noch nicht ausgeschöpft. Die Gesundheit am Arbeitsplatz und auch außerhalb der Arbeit nimmt hier inzwischen einen großen und wichtigen Stellenwert ein. Die aktuellen Entwicklungen in der Forschung im Gesundheitssektor zeigen deutliche Tendenzen, den Menschen individuell zu beobachten bzw. zum „self monitoring“ zu befähigen.

Die Entwicklung entsprechend geeigneter Sensoren, Wearables und Apps für Smartphones für zahlreiche Anwendungsbereiche vorrangig im Freizeitbereich ist deutlich im Vormarsch. Jedoch muss vor allem die Beobachtung des Gesundheitszustands im Arbeitssetting verstärkt in den Fokus gerückt werden. Insbesondere mentale Belastungen bzw. Überlastungen als potentielle Verursacher physischer und auch psychischer Erkrankungen sollen hierbei messbar gemacht werden, was jedoch vor dem Hintergrund spezieller Arbeitsplätze besondere Anforderungen an die Messtechnik mit sich bringt. Über eine große Datensammlung von verschiedensten biopsychosozialen Parametern sollen möglichst genaue, individuell spezifische Aussagen über den Gesundheitszustand getroffen und rückgemeldet werden. Ziel ist es den Menschen auch in der sich wandelnden Arbeitswelt wieder in den Fokus zu rücken.

Vor diesem Hintergrund wurden in den vergangenen Jahren zunehmend physische Belastungsfaktoren am Arbeitsplatz reduziert, mit dem Ziel die Krankenstände zu minimieren. Trotz diverser Maßnahmen sind sie jedoch hoch geblieben. Es ist lediglich zu einer Verschiebung der Krankheitsursachen gekommen, sodass der relative Anteil der Fehlzeiten, der durch psychische Faktoren ausgelöst wird, sogar angestiegen ist (Metz und Rothe 2017). Als Ursache wird u.a. die durch die technologische Beschleunigung hervorgerufene

Arbeitsintensivierung mit ihren hohen mentalen Anforderungen genannt (Korunka et al. 2015). So kommt den psychischen Belastungen am Arbeitsplatz durch die Veränderungen in der Arbeitswelt mehr und mehr Bedeutung zu (Lenhardt et al. 2010). Insbesondere Zeit- und Leistungsdruck spielen laut Befragungen unterschiedlicher Berufsgruppen eine immer schwerwiegendere Rolle bei der Entstehung von dauerhaftem Stress und Überlastungserscheinungen bei Arbeitnehmer*innen (Handrich et al. 2015; Dhondt 2012; Lohmann-Haislah et al. 2013).

Eine Situation wird häufig dann als beeinträchtigend wahrgenommen, wenn die externen Anforderungen die eigenen Fähigkeiten übersteigen. Genau diese Situationen treten immer öfter am Arbeitsplatz auf, wobei die quantitative Überforderung durch Zeitdruck der eigenen Wahrnehmung unterliegt. Die verfügbare Zeit scheint nicht ausreichend, um mit der normalen Arbeitszeitgeschwindigkeit den eigenen Verpflichtungen und Arbeitsaufgaben nachzukommen (Dettmers 2015). Der hierbei entstehende Stress stellt an sich noch keine Gesundheitsgefährdung dar. Erst ein langandauerndes oder häufig wiederkehrendes Auftreten von Stressoren führt zu beeinträchtigenden Auswirkungen wie u.a. rasche Ermüdung und Sättigung durch Unter- oder Überforderung, was wiederum physische und psychische Folgen haben kann.

So konnte in Studien arbeitsbedingter Stress als Risikofaktor für koronare Herzerkrankungen und Bluthochdruck identifiziert werden (Räikkönen, Lassila, Keltikangas-Järvinen, & Hautanen, 1996). Auch in einer großangelegten Befragung von über 17.000 Arbeitnehmer*innen wurden u.a. Rückenschmerz und Kopfschmerz als häufigste Beschwerden aufgenommen (Lohmann-Haislah et al. 2013). Um stressbedingte Folgeerkrankungen zu vermeiden, ist es von großer Bedeutung, Überlastungen, insbesondere am Bildschirmarbeitsplatz, frühzeitig als solche zu erkennen, um entsprechend entgegen wirken zu können. Der Forschungsschwerpunkt „Bildschirmarbeitsplatz“ ist in der Tatsache begründet, dass heute rund 50 % der Arbeitsplätze in Deutschland Computerarbeitsplätze sind. Laut dem Bitkom Digital Office Index 2018, einer repräsentativen Studie zur Digitalisierung von Büro- und Verwaltungsprozessen, in deutschen Unternehmen (Flemming et al. 2018) arbeitet jeder zweite Deutsche am Bildschirm und damit einhergehend vorrangig im Sitzen.

Das individuelle Stresslevel wird dabei, wie bereits oben beschrieben, sehr unterschiedlich wahrgenommen und unterliegt großen Schwankungen, es kann jedoch anhand von Vitalparametern objektiv erfasst werden (Böckelmann und Seibt 2011). Die Herausforderung bei der Entwicklung eines Erfassungssystems eben dieser Parameter besteht dabei in den unterschiedlichen Arbeitsbedingungen, -organisationen und -aufgaben. Eine weitere wesentliche Herausforderung neben der Analyse der Nutzerkreise ist die Akzeptanz der

Mensch-Maschine-Interaktion. Während im privaten Sektor technologische Anwendungen, die dem Menschen zum Vorteil gereichen, vielfältig genutzt werden, geschieht das in der Arbeitswelt nur sehr zögerlich. So gilt das Selbst-Monitoring im privaten Sektor weithin als akzeptiert und wird zur Optimierung der Lebensqualität verwendet. Dies kann/ sollte auf den beruflichen Alltag transferiert werden.

Übergeordnetes Kernziel des Projektes war es, Stress bzw. potentielle Überforderungen am Arbeitsplatz möglichst kontaktlos zu erfassen und der/ dem Arbeitnehmer*in eine Rückmeldung darüber geben zu können. Dies fördert u.a. die Eigenverantwortung des Anwenders, was wiederum der individuellen Gesundheit und Stressprävention zugutekommt (Badura et al. 2016). Bisherige Messsysteme sind aufgrund ihrer technischen oder materiellen Eigenschaften nur bedingt am Arbeitsplatz einsetzbar.

- Ein Ziel dieser Studie war es deshalb, Stress am Bildschirmarbeitsplatz zu klassifizieren und darüber hinaus festzustellen, über welche Eigenschaften Messsysteme bzw. Sensoren verfügen müssen, um an einem solchen Arbeitsplatz eingesetzt werden zu können. Aus den bislang allgemeinen Anforderungen an die Sensorik sollten innerhalb der Weiterförderung „StressSense2“ spezifische Anforderungen aufgestellt werden, die sich auf wenige, konkrete Parameter beziehen.
- Basierend auf dem Erkenntnisgewinn der in der ersten Förderphase durchgeführten Pilotstudie sollten Versuchsreihen relevante Aussagen liefern.
- Die erfolgsversprechenden Parameter sollten in einem spezifisch angelegten Versuchsaufbau mit definierten Szenarien unter Laborbedingungen aufgenommen werden.
- Aus den im Sinne eines Supervised Personal Monitoring gesammelten Daten sollten Unterschiede in den Ausschlägen gefunden werden, die eine Trennung physischer Belastungen von psychischen ermöglichen sollten (Event Classification).
- Von besonderem Interesse war hierbei, zu welchem Zeitpunkt bzw. in welchem Ausmaß der Ausschlag der physiologischen Parameter mit einer erhöhten Gesundheitsgefährdung einhergeht.
- Mit dem Forschungsvorhaben sollte zudem eine erste Datensammlung entstehen, die zur Mustererkennung von Stress beitragen soll. Es wurden Daten aus Einzelfalluntersuchungen direkt am Arbeitsplatz und aus Untersuchungen im Labor mit der Imitation von Arbeitsabläufen aufgenommen und im Anschluss von Experten interpretiert.
- Die Vision über das Forschungsvorhaben hinaus ist es, die Lücke zwischen Datenerfassung und -nutzung zu schließen.

- Das reine Erfassungssystem soll auf Basis der Expertenanalyse um ein assistierendes Feedbackfeature erweitert werden, das es dem Nutzer im Sinne der Mensch-Maschine-Interaktion ermöglicht, aus der Analyse heraus turnusmäßig individuelle Pläne zu gesundheitsfördernden Maßnahmen zu erhalten.

Neben den wissenschaftlich-technischen Zielen der Datenaufnahme und -verarbeitung im Sinne einer Mustererkennung und der Systemakzeptanz stand somit die individuelle Gesundheitsfähigkeit als übergeordnetes, langfristiges Ziel im Fokus.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Grundlage des Projektes stellte die Messung physiologischer Parameter mit den aktuellen Standardverfahren aus der Medizin bzw. der Sportwissenschaft dar. Dabei wurde auf ein bereits bestehendes Messsystem, das NeXus-10 MkII (Mind Media B.V., Niederlande), zurückgegriffen und über einen Leihvertrag mit der deutschen Firma Hasomed gewährleistet. NeXus-10 lässt jedoch nur eine rein kontaktbasierte Messung zu. Dennoch ist mit diesem Multisensorsystem die zeitgleiche Aufnahme mehrerer Parameter möglich. Es konnten aus der vorangegangenen Pilotstudie notwendige bzw. ausreichende Parameter zur Aufnahme der realen Beanspruchung einer Person im Arbeitsgeschehen festgelegt werden- Es wurden Parameter des emotionalen Zustandes (Hautleitwert), Vitalparameter (Herzfrequenz, Herzratenvariabilität) und auch physische Parameter (muskuläre Aktivität M. trapezius) mit eingeschlossen. Es konnten Messungen einerseits unter Labor- und andererseits unter unterschiedlichen Arbeitsplatzbedingungen in Abteilungen des Universitätsklinikums Jena sowie an externen Institutionen durchgeführt werden.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Forschungsvorhabens oblag dem FB Klinische Rehaforschung des Instituts für Physiotherapie am Uniklinikum Jena. Die exakte Planung wurde im Antrag auf Zuwendung erläutert. Der Ablauf des Vorhabens entspricht der im Forschungsantrag aufgeführten Planung. Einzige Abweichung ist die Verschiebung eines Teilarbeitspaketes, der im Antrag auf kostenneutrale Laufzeitverlängerung genehmigt wurde.

4. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

- **Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden**

- **Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste**

Anhand der Arbeitsplatzanalysen im Vorhaben FKZ03ZZ0412 konnten erste Erkenntnisse über die Verwendungsmöglichkeiten im Verwaltungs- und Produktionssektor (Uniklinikum Jena) gewonnen werden. An diese Erkenntnisse wurde im vorliegenden Projekt direkt angeschlossen. Ein einfacher Anforderungskatalog, der hier erstellt wurde und der mit dem vorliegenden Projekt noch deutlich erweitert und verfeinert werden konnte (siehe unten), führte u.a. Störungs- sowie Hindernisfreiheit als zwei wesentliche Anforderungen an ein Sensorsystem auf. Die damit einhergehende Zielerfordernung, möglichst kabellos oder gar kontaktlos zu messen (vorrangig mit körpernahen und textilbasierten Sensoren erfüllbar), konnte jedoch im vorliegenden Projekt noch nicht für die Messungen angewendet werden, denn eine weitere wesentliche Anforderung bestand darin, dass zur vielfältigen Erfassung von Stress-Parametern ein Multisensorsystem unumgänglich ist. Es liegt jedoch noch kein geeignetes Instrument bzw. Messsystem vor, mit dem kontaktlos bzw. kabellos mehrere Parameter gleichzeitig über einen letztendlich gemeinsamen Eingang erfasst werden können.

Sowohl mentale als auch physische Faktoren können zu Überlastungssituationen führen, was die objektive Messung von Stress erschwert. Während äußerlich sichtbare Faktoren vorwiegend durch Psychologen beurteilt werden, können physiologische Stressmarker wie etwa der elektrische Leitwiderstand der Haut, die Herzfrequenz, verschiedene Indices der Herzraten-Variabilität, der Blut- (Volumen) -Druck, die Pupillenerweiterung/-ausdehnung, das EMG oder die Respiration durch objektive Messverfahren dokumentiert werden (Vrijkotte et al. 2000). Diese sind weitestgehend noch kontaktbasiert. Zu einigen Parametern bestehen durchaus Messinstrumente, die kontaktlos messen sollen, jedoch ist die Kombination mehrerer Parameter in einem einzigen kabel- oder kontaktlosen System aktuell nicht gelöst und konnte für das Projekt nicht genutzt werden.

Daher musste im aktuellen Projekt der Multisensorik Vorrang vor der Kontaktlosigkeit gegeben werden.

Besondere Herausforderungen im Projekt stellten die physiologische Variabilität und die individuell unterschiedliche Reaktivität auf äußere Reize dar. Auch die Umgebungstemperatur oder Bewegungen der betreffenden Person haben Einfluss auf Veränderungen in den genannten Vitalparametern. Zudem sind die arbeitsplatzspezifischen Bedingungen sowie berufsspezifischen Anforderungen an den/ die Arbeitnehmer*in so verschieden, dass auch das Auftreten und die Intensität des Ausschlags der Parameter als individuelle Größen zu betrachten sind.

Zur Durchführung des Vorhabens wurden keine Schutzrechte Dritter genutzt. Zur Umsetzung der Aufgaben wurden die Datenbanken Pubmed (US National Library of Medicine) und Web of Science des ISI Web of Knowledge für Fachzeitschriften verwendet. Außerdem wurden Handsuchen in der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek (Thulb) in Jena vorgenommen. Dokumentationsdienste wurden nicht in Anspruch genommen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zum fachlichen Austausch trugen folgende Abteilungen des Uniklinikums Jena (UJK) bzw. interdisziplinäre Einrichtungen bei: das Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik Jena (IOF), der Lehrstuhl Sozialpsychologie/ Arbeits- und Organisationspsychologie Universität Greifswald und das Fraunhofer Institut für integrierte Schaltungen Erlangen (IIS) bei. Die aufgeführten Stellen gelten jedoch nicht als Kooperationspartner.

II Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,

Arbeitspaket 1 (Synthese zur Event Classification)

Aus den Ergebnissen des AP 1 konnten keine Richtlinien dahingehend generiert werden, in welcher Höhe der Ausschlag von physiologischen Parametern als Stress im Sinne einer Überforderung (kognitiv) gewertet werden kann. Es wurden jedoch zwei Ansätze der Datenverarbeitung herausgearbeitet:

- erstens auf individueller Ebene einerseits den subjektiv empfundenen mit dem objektiv messbaren Stress zu vergleichen und darüber hinaus die Beanspruchung in standardisierten (Labor-) Bedingungen und in realen Feldversuchen wie am Arbeitsplatz zu messen und diese Daten miteinander zu vergleichen und
- zweitens die Daten innerhalb eines Kollektivs (gesamte Stichprobe) zu vergleichen und darüber hinaus mithilfe des gewonnenen Datenpools zu kategorisieren.

Vor diesem Hintergrund sollte im Folgenden die Interaktion der physiologischen Parameter Herzfrequenz, Herzratenvariabilität, Hautleitwert und muskuläre Aktivität untersucht werden. Diese sollten anschließend mit dem erfassten subjektiven Beanspruchungsempfinden mithilfe der CR10-Skala (modifizierte Borg-Skala) verglichen werden (Abb. 1). Weiterhin ist aus der Recherche hervorgegangen, dass bei der Analyse der Events und der im Anschluss durchzuführenden Event Classification eine Trennung von verschiedenen Stressarten

vorgenommen werden sollte. Daher wurde für die Versuchsreihe eine rein mentale Beanspruchung appliziert, um Belastung auf kognitiver Ebene (Reaktion, Aufmerksamkeit, Gedächtnis (Memory)) einzugrenzen und den Vergleich mit realen Bedingungen am Bildschirmarbeitsplatz vornehmen zu können. Durch einen Anstieg der Schwierigkeitsgrade und durch zusätzliche Störungen (Geräusche, parallel zu beantwortende Fragen) sollte ein sukzessiver Anstieg der Beanspruchung der Probandinnen erzielt werden. Aufgrund möglicher, im Vorfeld jedoch nicht absehbarer geschlechtsspezifischer Unterschiede hinsichtlich der physiologischen Parameter wurde die Gesamtstichprobe von vornherein ausschließlich mit weiblichen Probanden konzipiert. Außerdem wurde die Altersgruppe eingegrenzt auf 30-40 Jahre, da auch alters- und entwicklungsbedingte Unterschiede möglichst ausgeschlossen werden sollten. Das geplante Setting sollte einen Bildschirmarbeitsplatz nachstellen und vorrangig mentale/ kognitive Fähigkeiten der Probandinnen fordern. Dies sollte später zu einer besseren Vergleichbarkeit der aus dem Labor gewonnenen Daten mit denen der Einzelfallanalysen unter realen Bedingungen von AP 4 (Versuchsreihe 2: Arbeitsbedingungen) führen.

Arbeitspaket 2 (Versuchsreihe 1: Event Classification)

In diesem AP bestand das Ziel wie bereits oben beschrieben in der Durchführung der konzipierten Versuchsreihe im Bewegungsanalyse-Labor des Instituts für Physiotherapie des Uniklinikums Jena (Simulation Bildschirmarbeitsplatz). Zur Simulation mentaler Belastung wurde das RehaCom-System der Firma Hasomed, ursprünglich konzipiert für die neurokognitive Therapie und neurologische Rehabilitation, als geeignetes Instrument ausgewählt und im Vorfeld getestet. Ein Modul für den Bereich Aufmerksamkeit erschien hierfür besonders geeignet. RehaCom erlaubt spezifische Einstellungen hinsichtlich der Level, der Zeit, in der der Probandinnen reagieren muss, in der Schwierigkeit der Aufgaben und auch in der Art der Rückmeldung über Fehler und die Gesamtleistung. Aufgrund seiner Konzeption ist das System sehr gut dazu geeignet mentale Belastung bzw. Überforderung zu induzieren. In zwei speziell zusammengestellten Modulen konnte in fünf Stufen eine sich steigernde Belastung am Bildschirm ausgelöst (Abb. 1) Durch die reaktive Anpassung des Systems konnte individuell gewährleistet werden, dass die Probandinnen zwar überfordert waren, jedoch nicht so stark, dass sie aufgrund von Demotivation frühzeitig die Messung abbrechen mussten.



Abb. 1: Versuchsaufbau mit mentaler Belastung, Laborsituation



Abb. 2.: NeXus 10 Aufnahmegerät mit Sensoren (links); Sensoren-Platzierung für Hautleitwert (rechts)

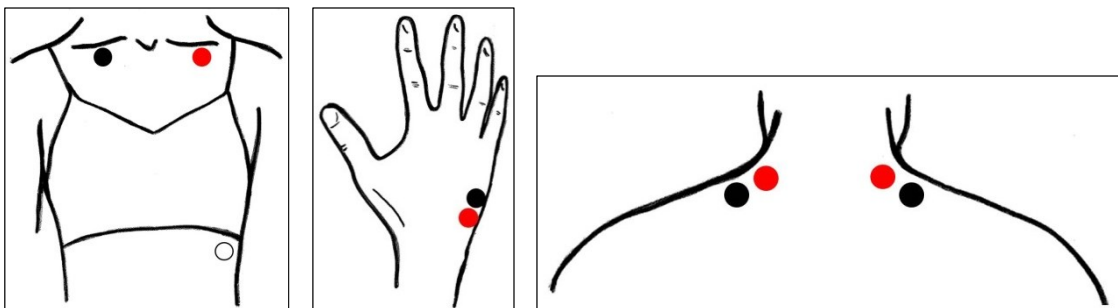


Abb. 3: Platzierung der Sensoren zur Aufnahme des EKGs (links), des Hautleitwerts (Mitte) und der muskulären Aktivität der Schultermuskulatur (rechts)

Nach einer Baseline-Messung (Erfassung der Ruhewerte) über 10 Minuten als Grundlage für spätere Vergleiche folgte die Belastungsphase von insgesamt 25 Minuten (fünf Stufen zu je fünf Minuten), in welcher die Anforderungen an die Probandinnen bzgl. Reaktions-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisfähigkeit am Computer regelmäßig erhöht wurden. Zusätzlich kamen ab der dritten Stufe verschiedene normierte Störgeräusche (Quelle: International Affective Digital Sounds Datenbank, The Center for the study of emotion and attention, Universität Florida) und Zusatzaufgaben zum Einsatz (Abb. 4). Sowohl in der Baseline-Phase als auch in jeder Belastungsstufe und der anschließenden Regenerationsphase wurden die stressrelevanten Vitalparameter Herzfrequenz (Herzratenvariabilität), die muskuläre Aktivität der oberen Schulter-Rücken-Muskulatur (M. trapezius) und der Hautleitwert (Abb. 3) als Indikatoren für das individuelle Stresslevel mithilfe von Klebeelektroden und NeXus 10 (Abb. 2) sowie jeweils zu Beginn und zum Ende jeder Phase die individuelle Einschätzung der Belastung mithilfe der CR10-Skala erfasst (modifizierte Borg-Skala, Hareendran et al., 2012).

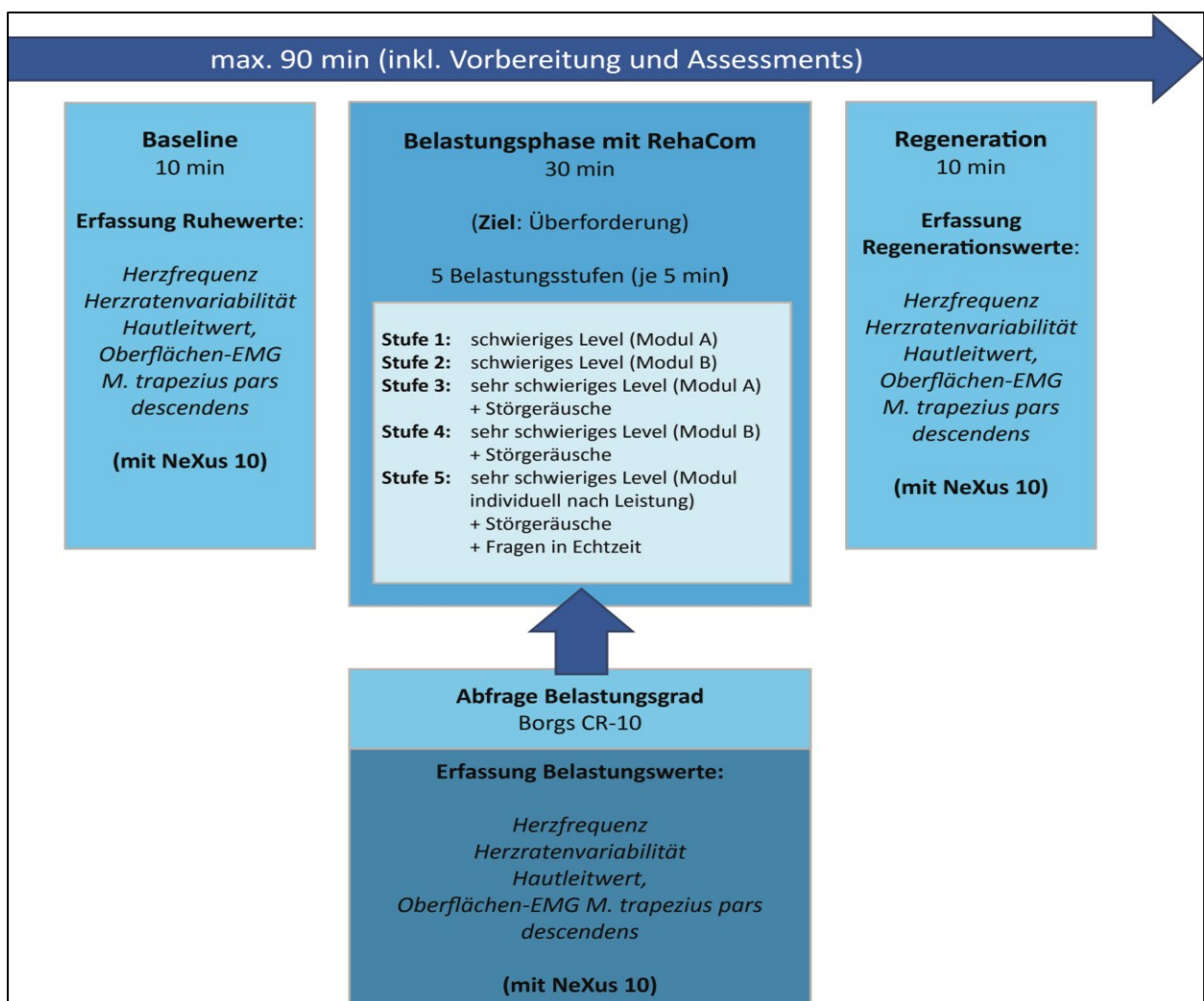


Abb. 4: Übersicht Messablauf unter Laborbedingungen

Die Studie unter Laborbedingungen wurde nach Durchführung einer Fallzahlberechnung mit $n=30$ durchgeführt. Mithilfe des System Usability Scale (SUS) nach Brooke (1996) wurde die Anwendbarkeit des Messsystems erfasst. Die Ergebnisse des SUS im vorliegenden Projekt lassen Rückschlüsse auf die Mensch-Maschine-Interaktion zu und stellen damit die Grundlage für das AP 5 dar (siehe unten). Der NASA TLX (NASA Task Load Index) diente der Erfassung der allgemeinen Belastung der Probandinnen über die Messung. Der NASA-TLX ist eine mehrdimensionale Skala, mit der Belastungseinschätzungen während oder unmittelbar nach der Ausführung bestimmter Aufgaben vorgenommen werden können (Hart und Field 2006). Diese Skala hat sich diesbezüglich in den vergangenen 20 Jahren als ein als relativ einfach zu bedienendes und zuverlässiges Werkzeug erwiesen. Sie besteht aus sechs Teilskalen (geistige, körperliche und zeitliche Anforderungen, Leistung, Anstrengung und Frustration) in voneinander unabhängigen Variablenclustern, deren Kombination die Arbeitsbelastung darstellen soll (Hart und Field 2006).

Arbeitspaket 3 (Datenauswertung/-interpretation)

Hier bestand das Ziel in der statistischen Auswertung der Daten aus Arbeitspaket 2 mit dem Fokus der Event Classification. Hierbei sollten, wie im ursprünglichen Antrag beschrieben, körperliche Bewegung und Stressoren innerhalb der Ausschläge der Parameter isoliert betrachtet werden können. Jedoch ist bereits in der Auswertung von Voruntersuchungen aufgefallen, dass sich körperliche Anstrengung und mentale nicht miteinander vergleichen lassen, was durch iterative Literaturrecherchen bestätigt wurde. Die Bedingungen beider Beanspruchungsformen sind getrennt voneinander standardisierbar, aber im Vergleich zueinander nicht sinnvoll, daher war in allen weiteren Untersuchungen die reine Form der mentalen Belastung Gegenstand der Untersuchungen. Zudem ist in der heutigen Wissensgesellschaft v.a. geistige Arbeit relevant, die sich durch mentale Belastungen bzw. Beanspruchungen auszeichnet und aufgrund dessen auch hohes Forschungsinteresse erfährt (Badura 2017).

Subjektives Belastungsempfinden

Das entwickelte/ gewählte Programm zur Simulation von mentalem Stress am Bildschirmarbeitsplatz hat nachweislich eine Belastung/ Beanspruchung hervorgerufen. Diese zeichnet sich zunächst in der subjektiven Belastungseinschätzung der Probandinnen über die CR10-Skala ab - die Ergebnisse konnten zeigen, dass die induzierten Belastungsstufen in ihrer unterschiedlichen Belastungshöhe subjektiv nachweisbar sind. Abb. 5 zeigt deutlich, dass sich mit dem objektiven Anstieg der Belastung in den einzelnen Stufen auch die subjektiv

empfundene Belastung erhöht. Die erfassten Werte haben außerdem jeweils deutliche Varianzen der fünf Belastungsstufen zur Baseline erkennen lassen.

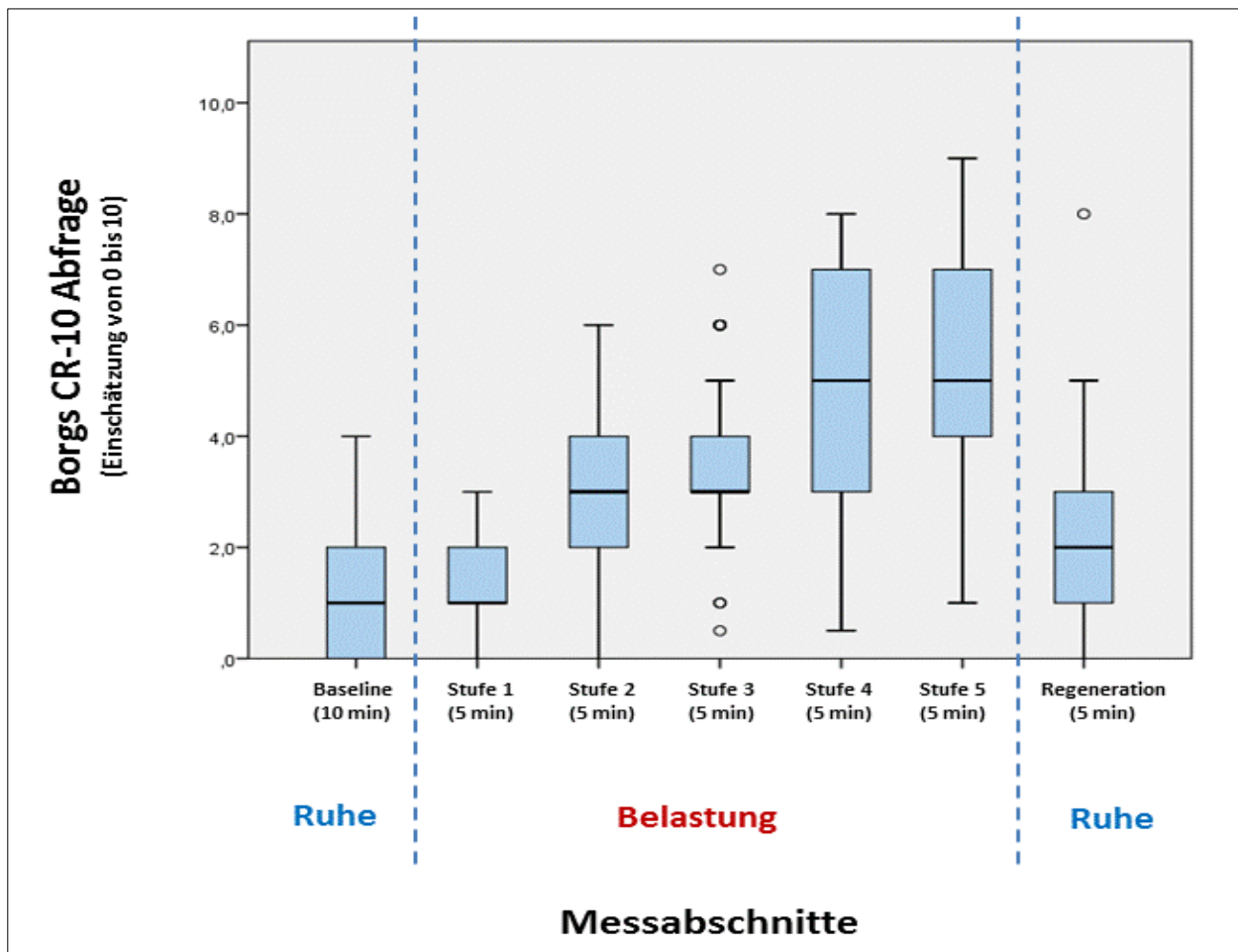


Abb. 5: Boxplot-Darstellung der Ergebnisse der CR10-Skala (modifizierte Borg-Skala) über den gesamten Messablauf (n = 30)

Darüber hinaus zeigt auch ein Vergleich innerhalb der einzelnen Stufen (CR 10 Anfang und CR 10 Ende der Belastungsstufe) eine erhöhte Anforderung, da die Ausgangswerte gegenüber den Endwerten in allen Phasen geringer ausfallen (Abb. 6).

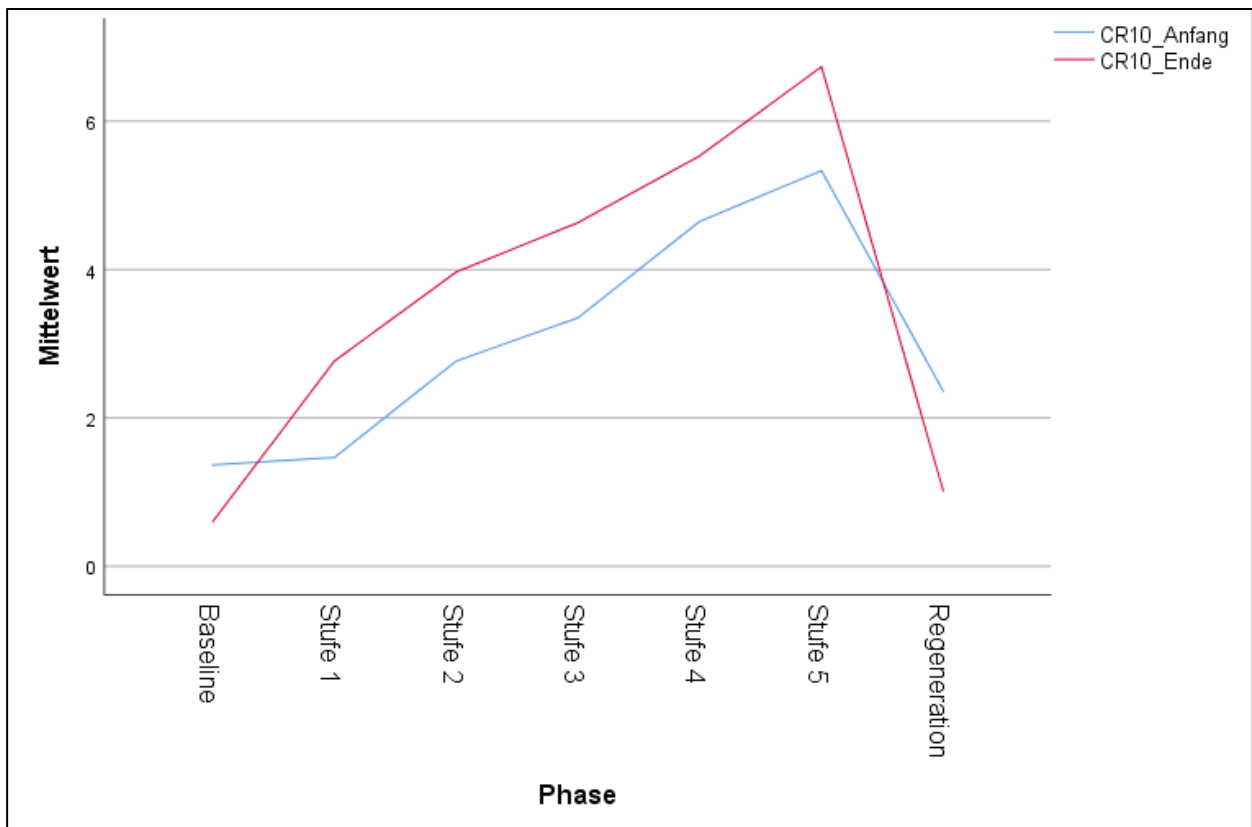


Abb. 6: Mittelwertvergleich der Ausgangs- und Endwerte in einer jeden Phase der CR 10 Skala nach Borg

Biosignale

Die Biosignale Herzfrequenz, Hautleitwert und die elektrischen Potenziale des M. Trapezius stellen die objektiven Anteile der erfassten Beanspruchung dar. Für die statistische Auswertung wurden die jeweiligen Phasen-Mittelwerte der Biosignale in einem gemischten linearen Modell (Mixed Models) statistisch analysiert. Da im Vorfeld nicht klar war, ob es zu Veränderungen kommt und in welche Richtung diese gehen, wurden Schätzgleichungen der Parameter vorgenommen. Anschließend wurde aufgrund der Mehrfachtestungen eine Bonferroni-Adjustierung durchgeführt. Um statistisch signifikante Veränderungen zwischen Baseline und den Belastungsstufen sowie Regeneration nachzuweisen sollte das Niveau von $p=0,05$ unterschritten werden.

Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde anhand des EKGs innerhalb von 60-Sekunden-Intervallen errechnet. Tab. 1 zeigt die Mittelwerte und die jeweiligen Konfidenzintervalle. Die Mittelwerte der Herzfrequenz zeigen einen Ausschlag zwischen minimal 75,1 S/Min (Regeneration) und maximal 81,6 S/Min, damit liegen diese Werte direkt im Normruhebereich für Erwachsene (60-80 S/Min, Schneider, Wolcke, Böhmer 2010). Zwar stellen sich im Vergleich der Baseline zu

den Stufen 1-5 signifikante Unterschiede $p \leq 0,05$ ein, diese sind jedoch nicht klinisch relevant (Tab. 2). Aus sportmedizinischer Sicht sind diese Werte in einem Bereich einzustufen, der für eine Aktivierung spricht. Die hier erreichten Veränderungen stehen entsprechend für keine erhöhte Beanspruchung, die für die Probandinnen eine Überforderung bedeuten würde.

Tab. 1: Mittelwerte der Herzfrequenz (HF) und Konfidenzintervalle über die Phasen hinweg

Phase	Mittelwert HF	Konfidenzintervall 95%	
		Untergrenze	Obergrenze
Baseline	76	75	78
Stufe 1	82	80	83
Stufe 2	80	79	82
Stufe 3	79	78	81
Stufe 4	79	78	81
Stufe 5	80	78	82
Regeneration	75	74	77

Tab. 2: Darstellung der Differenzen der Herzfrequenz (HF) zwischen der Baseline und der jeweiligen Belastungsstufe mit statistischen Signifikanzen sowie der dazugehörigen Konfidenzintervalle über die Phasen hinweg

Phase	Phase	Differenz der Mittelwerte der HF	Sig.	95% Konfidenz-intervall für Differenz	
				Untergrenze	Obergrenze
Stufe 1	Baseline	5,5	,0	3,3	7,7
Stufe 2	Baseline	4,1	,0	1,9	6,3
Stufe 3	Baseline	3,0	,0	,8	5,2
Stufe 4	Baseline	3,4	,0	1,2	5,5
Stufe 5	Baseline	3,9	,0	1,7	6,0
Regeneration	Baseline	-1,0	1,0	-3,2	1,2

Hautleitwert

Bei der Betrachtung der Hautleitmittelwerte ist auffällig, dass sich marginale und demnach nicht signifikante Veränderungen in den Phasen einstellen (Tab. 3). Die Werte für den tonischen Hautleitwert schwanken können zwischen 2 und 20 μS schwanken, daher spricht das Maximum von 20 μS für eine sehr starke emotionale Beanspruchung. Die hier erreichten Werte liegen deutlich darunter, deshalb ist davon auszugehen, dass die Aufgaben nur geringe Beanspruchung ausgelöst haben.

Tab. 3: Mittelwerte des Hautleitwertes (Elektrodermale Aktivität, EDA) und Konfidenzintervalle über die Phasen hinweg

Phase	Mittelwert EDA	Konfidenzintervall 95%	
		Untergrenze	Obergrenze
Baseline	5,7	4,6	6,9
Stufe 1	6,2	5,0	7,3
Stufe 2	6,4	5,2	7,5
Stufe 3	6,9	5,7	8,0
Stufe 4	6,2	5,1	7,4
Stufe 5	6,8	5,7	8,0
Regeneration	7,1	6,0	8,3

Tab. 4: Darstellung der Differenzen sowie der dazugehörigen Konfidenzintervalle über die Phasen hinweg und die statistische Signifikanz

Phase	Phase	Differenz der Mittelwerte der HF	Sig.	95% Konfidenz-intervall für Differenz	
				Untergrenze	Obergrenze
Stufe 1	Baseline	0,4	1,0	-1,4	2,3
Stufe 2	Baseline	0,6	1,0	-1,2	2,5
Stufe 3	Baseline	1,1	0,6	-0,7	3,0
Stufe 4	Baseline	0,5	1,0	-1,3	2,4
Stufe 5	Baseline	1,1	0,7	-0,8	3,0
Regeneration	Baseline	1,4	0,3	-0,5	3,3

Die Daten des Oberflächen-EMGs konnten bis zum Projektende nicht zufriedenstellend ausgewertet werden, da es (vermutlich) aufgrund technischer Probleme Schwierigkeiten bei der Messung der Baseline gab und daher die Daten noch nicht für eine statistische Vergleichsanalyse nutzbar waren. Die Daten stehen jedoch für nachfolgende Analysen zur Verfügung.

Zusammenfassend lassen sich anhand der Daten keine eindeutigen Muster erkennen. Zwar kommt es beim Vergleich der Phasen zu Veränderungen, die aber bei der individuellen Betrachtung verschiedene Verläufe aufweisen. Anhand der Änderungen innerhalb der Biosignale in den vorliegenden Untersuchungen ist eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems zu beobachten, was für eine erhöhte Konzentration bzw. einen erhöhten Aufmerksamkeitsfokus spricht. Das ergibt sich auch aus den gewonnenen Daten des NASA TLX (siehe unten), bei dem die Gesamtbeanspruchung der Aufgaben mit einem Punktwert von 54

als mittel einzustufen ist. Erst die Verknüpfung zum subjektiven Empfinden, in der vorliegenden Untersuchung über die CR 10 nach Borg lässt die eigentliche Beanspruchung erkennen und darauf schlussfolgern, wann Aufgaben überfordern. In einem anschließenden Schritt müssen diese Daten mit weiteren Untersuchungen zum Stressempfinden analysiert werden.

Stress hat zahlreiche Einflussfaktoren und eine stressbedingte Krankheit basiert nicht auf einmaligen Ereignissen, sondern wird über einen längeren Zeitraum durch vielfältige Faktoren bedingt. Eine dezidierte Betrachtung all dieser Faktoren würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Zudem muss erwähnt werden, dass erst durch das individuelle Empfinden Stress erst als solcher definiert wird, was bedeutet, dass die Aufnahme des subjektiven Beanspruchungsgrades vielmehr Gewicht bekommen muss.

Für die spezielle Problematik am Arbeitsplatz bedeutet dies, dass nicht allein die Aufgaben an sich und das „Mehr“ an Aufgaben zur Überforderung am Arbeitsplatz führen, vielmehr spielen zahlreiche Faktoren wie z.B. Unterbrechungen (wenn sie unregelmäßig sind), aber auch das Arbeitsumfeld eine entscheidende Rolle und wie sich diese Einflüsse individuell auswirken. Feststellend müssen weitere Parameter in die Analyse aufgenommen werden, um eine tatsächliche Aussage über das Stressempfinden am Bildschirm-Arbeitsplatz treffen zu können. Das bedeutet, das u.a. standardisierte Stresstests aus der Psychologie mit Fragebögen zum Stressempfinden gekoppelt werden müssen und diese in einer Datenbibliothek mit anderen erfassten Daten u.a. zur Ernährung, Verdauung, Schlafverhalten, Bewegungsverhalten oder auch familiären sowie beruflichen Situation zusammengeführt werden. Daraus kann eine Auswertung im Sinne eines Personalized Models stattfinden, indem für jede einzelne Person Stressempfinden und -verhalten erfasst und interpretiert werden, um daraus abschließende Handlungsempfehlungen aussprechen zu können.

Arbeitspaket 4 (Versuchsreihe 2: Arbeitsbedingungen)

Dieses AP beinhaltete die Aufnahme von Messdaten unter Arbeitsbedingungen durch Einzelfalluntersuchungen am individuellen Arbeitsplatz. Des Weiteren sollten innerhalb dieses Arbeitsabschnitts Hinweise für die Anforderungen an die Mensch-Maschine-Interaktion ergründet werden. Weitere Ziele bestanden in der Datensammlung und ersten Interpretationen. Es konnten aus der ersten Studie (Labor) insgesamt 13 Probandinnen für eine zweite Untersuchung an ihrem individuellen Arbeitsplatz gewonnen werden.

Die Probandinnen wurden für die zweite Untersuchung an ihrem Arbeitsplatz aufgesucht und an das NeXus-System angeschlossen. Über 30 Minuten wurden dieselben Vitalparameter wie in der Labor-Untersuchung abgenommen (siehe oben). Des Weiteren wurde auch das subjektive Belastungsempfinden (CR 10) zu Beginn, nach 15 Minuten und am Ende der Messung

aufgenommen. Da jede Probandin individuelle, arbeitsplatzbezogene Belastungen erfährt und darüber hinaus auch die Messsituation nicht an bestimmte Belastungsbedingungen gekoppelt war, wurde nach Rücksprache mit den uns beratenden Statistikern festgelegt, dass die Interpretation der Daten aus dieser Studie ausschließlich explorativer Natur sein kann.

Die Auswertung dieser Einzelfalluntersuchungen am individuellen Bildschirmarbeitsplatz zeigte ebenso interindividuelle Schwankungen der Verläufe über alle Parameter hinweg. Diese sind jedoch aufgrund der nicht-standardisierbaren Bedingungen der Untersuchung nicht ungewöhnlich. Dennoch führt dies dazu, dass eine statistische Auswertung ausschließlich über den Vergleich der grafischen Darstellungen der Phasenverläufe möglich ist.

Die 13 Probandinnen steigen mit völlig unterschiedlichen Anfangswerten ein und auch über den Verlauf sind bei einzelnen Probandinnen Steigerungen zu sehen, bei anderen wiederum nicht. Das primäre Ziel war allerdings auch nicht, die Werte vom individuellen Arbeitsplatz mit denen aus dem Labor zu vergleichen, vielmehr sollte ein Gefühl für die Nutzung des kontaktbasierten Multisensor-System in der praktischen Anwendung entstehen. Die verfügbaren adäquaten Messmethoden gehören zwar zu den Goldstandard-Verfahren der Medizin, besitzen aber wenig bis keine Praxistauglichkeit für den täglichen Gebrauch außerhalb des klinischen Settings (vgl. auch Arbeitspaket 5). Die Notwendigkeit kabelloser Systeme bleibt damit unbestritten. Die Kontaktlosigkeit solcher Systeme ist durchaus wünschenswert, die Notwendigkeit dazu jedoch nicht restlos geklärt.

Arbeitspaket 5 (Mensch-Maschine-Interaktion)

Ziel war hier die Auswertung der Assessments SUS und NASA TLX (siehe oben) aus AP 4 und die darauf basierende Aufstellung notwendiger Sensoreigenschaften in einem Anforderungskatalog. Die System Usability Scale (SUS) ist ein effektives Instrument zur Beurteilung der Verwendbarkeit eines Produkts mit einer einfachen Bewertungsskala von 0 (negativ) bis 100 (positiv). Die eingesetzten Assessments zur Mensch-Maschine-Interaktion (Akzeptanz, Verwendbarkeit des Systems) wurden ausgewertet und bieten die Grundlage für die Empfehlung relevanter Sensoreigenschaften (Anforderungen, notwendiger Einsatz, Verwendungsdauer etc.). (Bangor et al. 2009) haben mithilfe einer mit sieben Adjektiven verankerten Likert-Skala versucht zu beschreiben, wie sich die numerische Bewertung des SUS in eine absolute Beurteilung der Verwendbarkeit des jeweiligen Systems übersetzen lässt. Nach ihren Ergebnissen korrelieren diese Likert-Skala-Scores sehr gut mit den SUS-Scores. Die Adjektivbewertungsskala hilft bei der Interpretation der einzelnen SUS-Bewertungen und wurde auch für die Auswertung im vorliegenden Projekt mit herangezogen. Nach Ansicht der befragten Probandinnen kann die genutzte Messtechnik mit einem Mittelwert von 63,8 ($\pm 15,7$) als „gut“

bzw. zwischen „ok“ und „gut“ bewertet werden (Abb. 7) - je nach Interpretation bzw. Anwendung der entsprechenden Adjektiv-Skala nach Bangor et al. (2009). Den Fokus möglichst auf kontaktlosen bzw. -armen Systeme zu legen (wie bereits im Vorfeld postuliert wurde) erscheint vor diesem Hintergrund sinnvoll, da sie arbeitsplatzunabhängige und gefährdungs- und hindernisfreie Messungen zulassen.

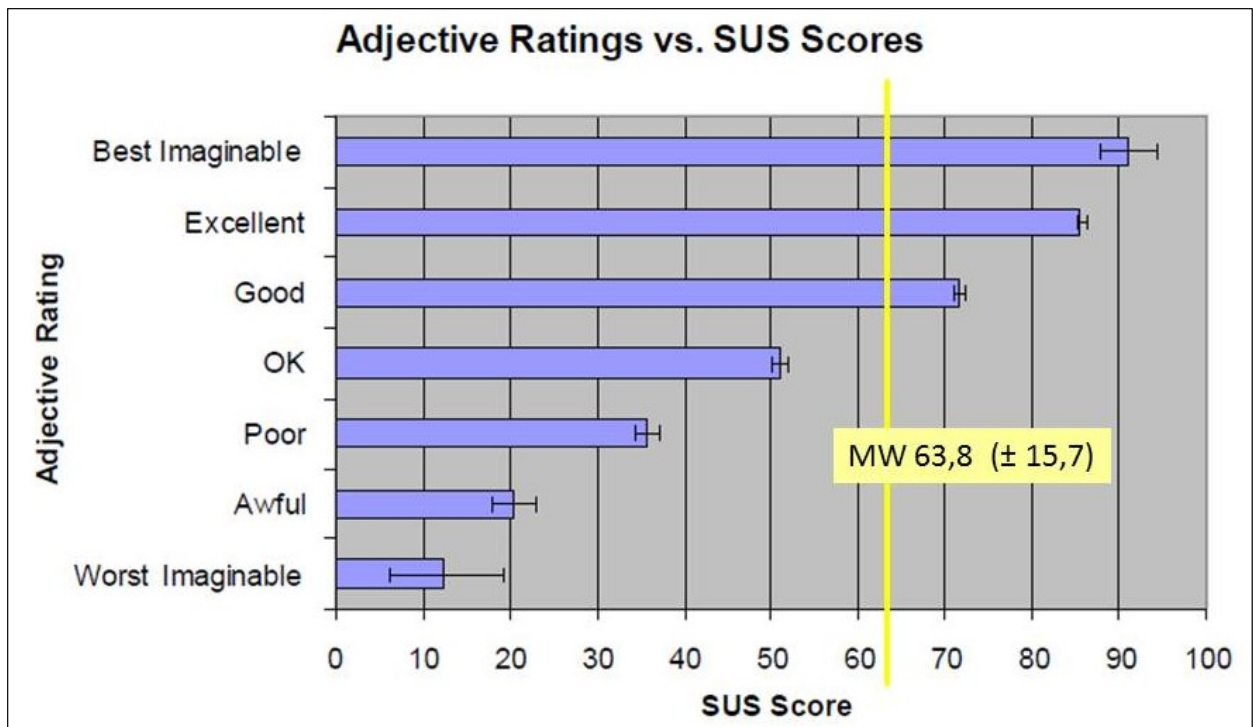


Abb. 7: Einordnung der Ergebnisse der Fragebogen-Erhebung (n=30; MW: 63,8 ±15,7) mit dem System Usability Scale (SUS) gegenüber der siebenteiligen Adjektivskala nach Bangor et al. (2009); modifiziert nach Bangor et al. (2009)

Tab. 5 zeigt die Einzelergebnisse jedes Items aus dem Gesamtfragebogen und die prozentuale Verteilung innerhalb der fünf Antwortmöglichkeiten für alle 10 Fragen des SUS-Scores.

Tab. 5: Deskriptive Statistik der einzelnen Items des SUS-Score (Ergebnisse aus n=30)

Frage	Einzel-Items SUS	Prozentuale Verteilung der angekreuzten Antworten zwischen 1 („Stimme überhaupt nicht zu“) und 5 („Stimme voll zu“)	Mittelwert/ Standardabweichung
1	Ich denke, dass ich das System gerne häufig benutzen würde.	37% mit 2 und 27% mit 3	2,7 (± 1,0)
2	Ich fand das System unnötig komplex.	je ungefähr ein Drittel der Probandinnen bei 1, 2 und 3	2,2 (± 0,9)
3	Ich fand das System einfach zu benutzen.	37% bei 4, 33% bei 5	3,9 (± 1,0)
4	Ich glaube, ich würde die Hilfe einer technisch versierten Person benötigen, um das System benutzen zu können.	43% bei 2	2,7 (± 1,3)
5	Ich fand, die verschiedenen Funktionen in diesem System waren gut integriert.	53% bei 3, 37% bei 4 oder 5	3,4 (± 1,0)
6	Ich denke, das System enthielt zu viele Inkonsistenzen.	60% bei 3 (siehe unten)	2,6 (± 1,0)
7	Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Menschen den Umgang mit diesem System sehr schnell lernen.	33% bei 4, 30 % bei 5, 23% bei 3, 13% bei 2,	3,8 (± 1,0)
8	Ich fand das System sehr umständlich zu nutzen.	je 30% bei 1, 2 und 3 (siehe unten)	2,2 (± 1,0)
9	Ich fühlte mich bei der Benutzung des Systems sehr sicher.	33% bei 3, 17% bei 4, 30 % bei 5	3,5 (± 1,3)
10	Ich musste eine Menge lernen, bevor ich anfangen konnte das System zu verwenden.	33% bei 1, 37% bei 2, 23% bei 3	2,0 (± 1,0)

In der Auswertung des Assessments fiel auf, dass besonders zwei Fragen des SUS-Scores häufig zu Problemen bei der Beantwortung führten bzw. von den Probandinnen gar nicht beantwortet wurden: 6: „Ich denke das System enthält zu viel Inkonsistenzen“ wurde inhaltlich/ in der Formulierung häufig nicht verstanden und daher öfter weg gelassen und 8: „Ich fand das System sehr umständlich zu nutzen“ konnte von mehreren Probandinnen nach eigener Aussage nicht beurteilt werden, da sie zwar an das System angeschlossen waren, sie dieses aber nicht selbst installieren bzw. direkt selbständig „verwenden“ mussten. Daher besteht die Annahme, dass die Ergebnisse des SUS möglicherweise auch noch anders hätten ausfallen können, wenn diese beiden Fragen ebenso konsequent beantwortet worden wären wie alle anderen. Einige Probandinnen gaben darüber hinaus nach der Messung an, dass sie sich durchaus vorstellen könnten, ein Self-Monitoring (Stressdetektion) am eigenen Arbeitsplatz anzuwenden, dies aber u.a. nur unter den folgenden Bedingungen für sie möglich wäre:

- das System muss klein und leicht sein und möglichst einfach zu bedienen
- es darf kein zusätzlicher Rechner dafür notwendig sein
- es muss leise sein und möglichst nicht sichtbar bzw. unauffällig, vor allem in Arbeitsbereichen mit viel Kundenkontakt
- es muss kabellos bzw. körpernah funktionieren, so dass völlige Beweglichkeit gewährleistet ist
- es muss eine einfache, schnelle und leicht verständliche Daten-/Ergebnisdarstellung haben

Darauf basierend wurde ein entsprechender Anforderungskatalog entwickelt, welcher alle notwendigen, auf den Ergebnissen basierenden Charakteristika enthält. Die Anforderungen wurden aus wissenschaftlicher/ messtechnischer wie auch aus Anwender-Sicht (arbeitsplatzspezifisch) formuliert. Wie die Auswertung des SUS gezeigt hat, wird die im Projekt genutzte Messtechnik NeXus 10 von den 30 Probandinnen, sofern sie es einschätzen konnten, in der Anwendbarkeit als gut eingeschätzt (siehe Abb. 8).

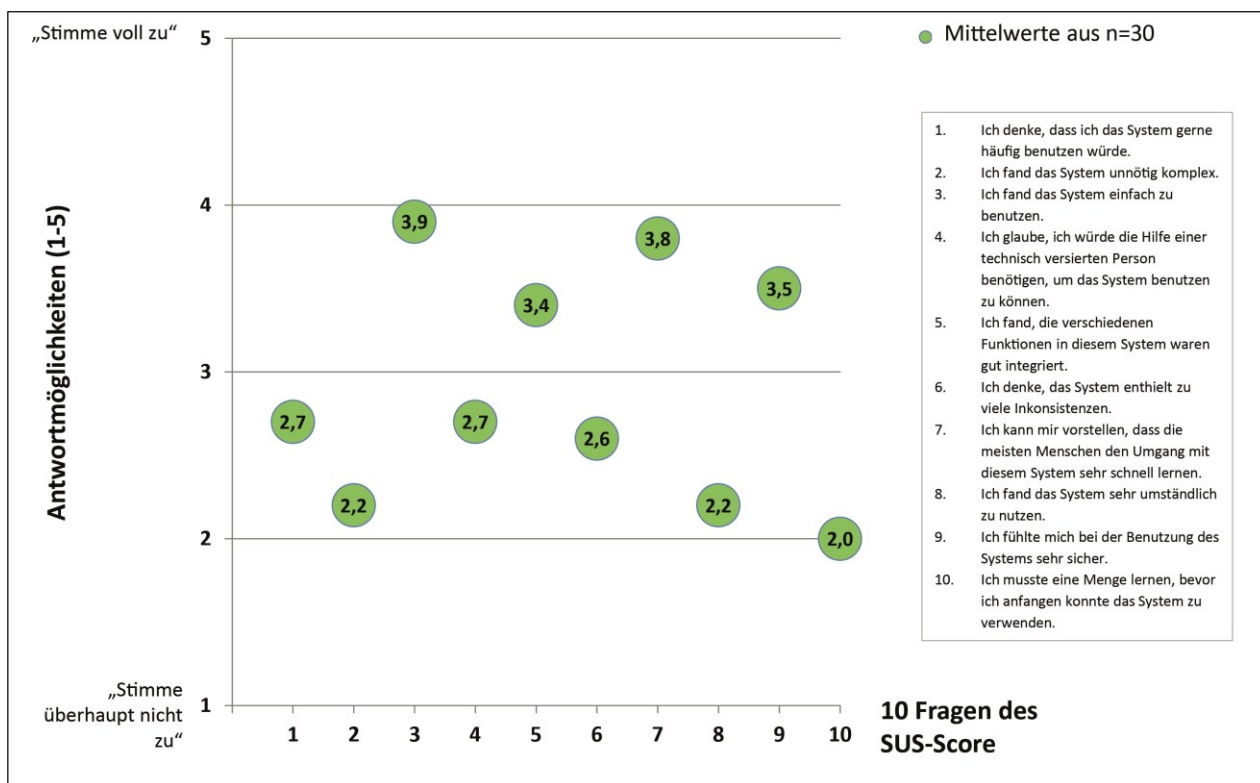


Abb. 8: Antworten von 1 („Stimme überhaupt nicht zu“) bis 5 („Stimme voll zu“) für alle 10 Fragen/ Items des SUS-Score; Darstellung der Mittelwerte aller befragten Probandinnen (n=30);

Diese Ergebnisse sind, soweit möglich und sinnvoll, in den folgenden Anforderungskatalog (Tab. 6) eingeflossen. Bei der Betrachtung der einzelnen Items (siehe oben) zeigen sich einzelne Schwächen des Systems, die hier ebenfalls einbezogen wurden.

Tab. 6: Anforderungskatalog

	Technische Anforderungen	Anforderungen seitens der Anwender
Parameter	<ul style="list-style-type: none"> • Herzrate (RR-Intervalle) • HRV • EDA • ggf. Atmung • ggf. muskuläre Anspannung • Temperatur (Körper, Umgebung) • ggf. Luftfeuchtigkeit • Allg. Gesundheitszustand • Multisensorsystem muss sein (vgl. auch erstes Projekt): ein Gerät für alle Sensoren (bzw. ein Sensor für 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Aussagekraft über tatsächliches Stresslevel basierend auf mehreren Parametern • manuelle Eingabe von individuellen Gesundheitsdaten zur aktuellen Tagesform • Ausgabe einzelner Parameter auf Wunsch • einfach formuliertes Ergebnis (aus mehreren Parametern generiert)

	<p>mehrere Parameter)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parallelisierung der zu erfassenden Parameter; Abgleich mit anderen Daten (siehe unten) • Vergleichswerte/ alters- und geschlechtsspezifische Normwerte (intra- und interindividuell) mit einbeziehen 	
Abtastrate	<ul style="list-style-type: none"> • 1000 Hz empfohlen für die Erfassung der Hf und HRV (nach der Leitlinie zur Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin (Sammito et al. 2014) 	<ul style="list-style-type: none"> •
Größe, Gewicht, Umfang, Farbe	<ul style="list-style-type: none"> • Minimale Größe für maximale technische Möglichkeiten • Hosentaschen- (Smartphone-) Größe oder fixierbar am Körper/ Kleidung (bis 150 g) • oder auf dem Schreibtisch/ am Bildschirm platzierbar und Verbindung z.B. mit Smartphone (dann könnten/ dürften Größe/ Gewicht ggf. etwas größer ausfallen) • bei kontaktloser Messung sind Größe und Gewicht von geringerer Bedeutung 	<ul style="list-style-type: none"> • klein, leicht • unauffällig bzw. nicht sichtbar
Zubehör	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung muss ohne zusätzlichen Rechner möglich sein • Datenverarbeitung möglichst gerätintern/ Datendarstellung z.B. über Bluetooth direkt auf den Arbeitsrechner oder Smartphone? • ggf. notwendige Software (für Arbeitsrechner) oder als Smartphone-App kostenlos • kabellos • Akkubetrieb 	<ul style="list-style-type: none"> • in Arbeitsalltag integrierbar (Software kostenfrei, App) • einfacher Zugang, wenig Speicherplatz • wenig Zubehör, notwendige Teile in adäquater Größe (Ladegerät) oder Ladefunktion direkt über USB-Kabel
Zeit aufwand, Präparation	<ul style="list-style-type: none"> • Sensoren ohne zusätzlichen Präparationsaufwand • oder besser: kontaktlose (z.B. optische) Sensoren 	<ul style="list-style-type: none"> • max. 5 min Vorbereitungszeit • „Anlegen-Messen-Abnehmen“

Lautstärke	<ul style="list-style-type: none"> geräuschlos wenn zeitweise Geräusche: so leise wie möglich bei technischen Gegebenheiten 	<ul style="list-style-type: none"> geräuschlos
Energieaufwand	<ul style="list-style-type: none"> so gering wie möglich einfache, schnelle Aufladung 	<ul style="list-style-type: none"> so gering wie möglich einfache, schnelle Aufladung
Ergebnisdarstellung	<ul style="list-style-type: none"> kleines Display oder mögl. Übertragung direkt auf den individuellen Rechner/ Smartphone? Darstellung im Tagesverlauf, Wochenverlauf, ggf. Monate intraindividuelle Vergleiche, Veränderungen anzeigen prinzipiell sollte die Möglichkeit bestehen, die Alarmfunktion an die Arbeitssituation und das Umfeld anzupassen 	<ul style="list-style-type: none"> einfach, klar verständlich visuell-informativ + akustisch-visuell-warnend schnell passend zum Arbeitsumfeld, veränderbar
Komplexität	<ul style="list-style-type: none"> je nach Anforderungen der Sensortechnik 	<ul style="list-style-type: none"> Umgang muss leicht erlernbar sein, intuitive Handhabung (vgl. auch erstes Projekt) Gerät kann komplex sein, darf aber im Endergebnis nur einfache Rückmeldungen geben selbsterklärend gute/sinnvolle und leicht verständliche Rückmeldung bei technischen Problemen/ Fehlermeldungen mit eindeutigen Vorschlägen, wie Fehler zu beseitigen sind
Datenschutz	<ul style="list-style-type: none"> Datensicherung nach aktuellen Datenschutzrichtlinien Zugang über Passwort/ individuell geschützter Account 	<ul style="list-style-type: none"> Daten absolut sicher gespeichert und nur individuell zugänglich
Anforderungen nach Leitlinien zur Qualitätssicherung (Sammito et al. 2014)	<ul style="list-style-type: none"> Berücksichtigung folgender Aspekte unter dem Gesichtspunkt der Praktikabilität: Bestimmung der Ruheherzfrequenz - Baseline-Messung Artefaktkontrolle und ggf. -bereinigung (z. B. durch visuelle Kontrolle der Daten im Rahmen der Analysen, automatische Artefakt- 	

	<p>Korrekturverfahren),</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berücksichtigung von Einflussfaktoren je nach Fragestellung • die Beachtung der zirkadianen Rhythmik bei vergleichenden Untersuchungen • Aufzeichnungen mit mehr als 1% von ventrikulären bzw. supraventrikulären Extrasystolen sollten aufgrund der scheinbaren Erhöhung der HRV kritischbegutachtet werden • die Wahl der Analysemethode (z. B. Fast Fourier Transformation, Autoregressives Modell, trigonometrisch regressive Spektralanalyse), um vergleichende Interpretationen zu ermöglichen • die gewählte Messdauer (später Länge der Analysesequenz) bzw. die zu Grunde gelegte Datenmenge je nach gewählter Analysemethode bzw. Fragestellung • bei Kurzzeitmessungen (< 1 Stunde) ist die Auswahl eines geeigneten, repräsentativen Bereichs der NN-Intervalle zur HRV-Analyse ein wichtiges Kriterium zur Qualitätssicherung • hierbei sollten nichtstationäre Einschwingphasen zu Beginn der Untersuchung und Aufzeichnungen mit Artefakten möglichst nicht zur Analyse genutzt werden 	
--	--	--

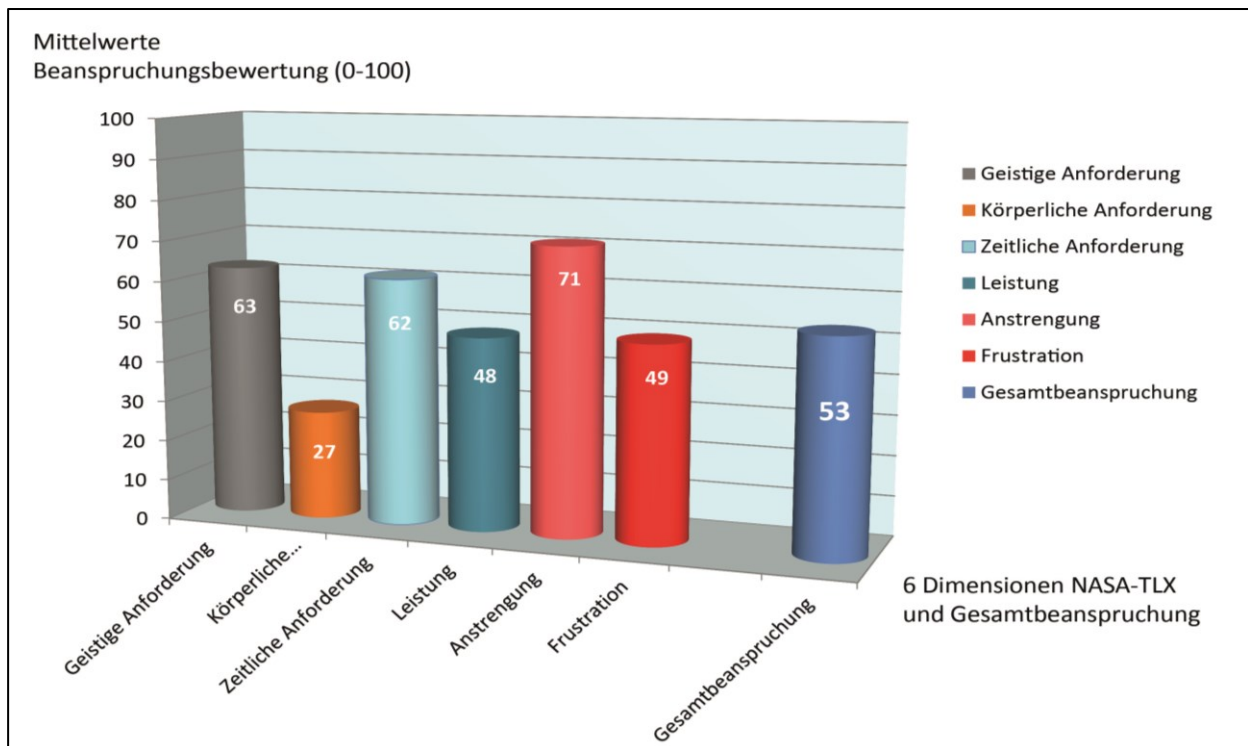


Abb. 9. Ergebnisse aller 6 Dimensionen und der Gesamtbeanspruchung des NASA-TLX (n=30)

Wie bereits oben beschrieben, ist der NASA-TLX ein seit ca. 20 Jahren genutztes zuverlässiges Werkzeug, um die Belastung während oder unmittelbar nach der Ausführung bestimmter Aufgaben messen zu können (Hart und Field 2006).

Die sechs Teilskalen des NASA-TLX (geistige, körperliche und zeitliche Anforderungen, Leistung, Anstrengung und Frustration) sind in voneinander unabhängigen Variablenclustern aufgegliedert, deren Kombination die Arbeitsbelastung darstellen soll (Hart und Field 2006).

Abb. 9 zeigt die Ergebnisse der Auswertung des NASA-TLX der 30 Probandinnen für die einzelnen Dimensionen sowie die Gesamtbeanspruchung (berechnet aus dem Mittelwert der sechs Dimensionen). Am niedrigsten wird die körperliche Beanspruchung eingeschätzt, was sicherlich vermutlich auf die sitzende Position zurückzuführen ist und darauf, dass die Probandinnen lediglich mit der Hand die Maus bewegen mussten. Vor diesem Hintergrund liegt der Mittelwert der 30 Befragten mit 27 (± 18) von maximal 100 möglichen Punkten sogar noch relativ hoch. Möglicherweise ist die sitzende Position für einzelne Probandinnen bereits mit Anstrengung bzw. Belastung verbunden. Den höchsten Wert in der Skala der Belastungseinschätzung erreichte die Dimension „Anstrengung“ (71 ± 22). Die geistige (63 ± 21) und die zeitliche Anforderung (62 ± 22) werden annähernd gleich hoch beurteilt.

2. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,

Bertazzi (2010) beschreibt Arbeit als ein wesentliches menschliches Bedürfnis und als einen die Gesundheit unterstützenden Faktor. Per Definition von Gesundheit wird ein positives multidimensionales und ganzheitliches Verständnis von Gesundheit vorausgesetzt (Franke 2005). Positive Aspekte von Gesundheit wurden selten operationalisiert oder in das Feld der angewandten Forschung implementiert, so dass negative Aspekte wie physische Beschwerden und psychologische Beeinträchtigungen im Mittelpunkt stehen. Die daraus schließende Problematik im Kontext der Stresserkennung ist, dass es keine trennscharfen Cluster gibt, ab wann Stress im Kontext Arbeit negative Auswirkungen für den Menschen hat. Die hohe Komplexität, der eine strikte Individualität von Stresswahrnehmung, Stressempfinden und vom Umgang mit Stress zu Grunde liegt, erschwert generalisierte Aussagen. Die stete individuelle Erfassung von Belastung und Beanspruchung erscheint hier als sinnvolle Herangehensweise. Erst aus dieser kann in einem zukünftigen Schritt eine Aufstellung bzw. Empfehlung zu individuellen Bewältigungsstrategien erfolgen um einen Beitrag zur Wahrung von Gesundheit am Arbeitsplatz leisten zu können.

Dieses Vorhaben liefert den Beleg, dass sich die subjektive Wahrnehmung von den objektiv erfassten Parametern teilweise unterscheiden kann. Zudem wird deutlich, dass die mentalen Belastungen am Bildschirmarbeitsplatz im Vergleich zu den physischen Belastungen bei Fließbandarbeiten unterschätzt werden (Pilotphase). Die ausschließliche Analyse physischer Faktoren mittels Checklisten zur Ergonomie am Arbeitsplatz oder Befragungen zur Zufriedenheit gehen nicht weit genug.

Um nachhaltige Konzepte entwickeln zu können, ist eine detaillierte Erfassung der realen Beanspruchungen notwendig, da derzeitige verwendete Maßnahmen zur betrieblichen Gesundheitsförderung nur geringfügig wirksam sind und einer hohen Fehlallokation unterliegen. Neue Methoden, die der Erfassung der individuellen Beanspruchung dienen, müssen eine hohe Objektivität nachweisen. Diese Objektivität setzt sich zusammen aus reliablen, validen Messdaten, die grundlegend für jegliche Erfassungen sein müssen. Zudem müssen die eingesetzten Messsysteme sensibel für die spezifischen zu erfassenden Parameter sein, dass unterliegt wiederum einer sorgfältigen Prüfung von notwendigen, aussagekräftigen Parametern, wie es bereits in Grundzügen in diesem Forschungsvorhaben durchgeführt wurde.

Aus den objektiv gemessenen Werten und der subjektiven Wahrnehmung der Person, lassen sich individuelle Handlungsempfehlungen ableiten, mit dem Ziel positiv auf die Gesundheit einzuwirken. Die Notwendigkeit großangelegter Studien, die sich aus dieser Förderung herauskristallisierte, ist begründet in dem Bedarf nach arbeitsplatzbezogenen und individuellen

Maßnahmen für Arbeitnehmer*innen zur Gesunderhaltung (verankert im Arbeitsschutzgesetz). Es müssen Maßnahmen entwickelt werden, die den/die Arbeitnehmer*in zu einem Bewusstsein seiner Gesundheitsfähigkeit veranlassen und ihn nicht nur physisch, sondern kognitiv befähigen, aktiv daran zu arbeiten. Dabei kann die Erfassung über die Biosignale die Wissensgrundlage bieten, wenn sie sinnvoll eingesetzt wird. Für allgemeingültige Ableitungen sind daher weitere Untersuchungen zur Stresserfassung und zur Stresswahrnehmung mit deutlich größeren Datensätzen aus verschiedensten Stichproben und in Kombination mit weiteren Assessments notwendig.

3. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,

Es sind durchaus bereits kontaktarme/kontaktlose Wearables, Smartphone-Apps und andere Systeme auf dem Markt, die es möglich machen, über eine auf das einzelne Individuum bezogene, über einen längeren Zeitraum aufgezeichnete Datenmenge intraindividuelle Mustererkennungen vorzunehmen, u.a. auch auf individuellen Stress bezogen. Auf dieser Basis sind sicherlich auch allgemeine Verhaltensempfehlungen zur Gesundheit an den Nutzer generierbar. Auch ist es über diese Systeme möglich, verschiedene zeitgleich erfasste Parameter mit einfließen zu lassen. Inwiefern diese Daten jedoch messmethodisch objektivierbar und medizinisch relevant und damit zur differenzierten Gesundheitsförderung geeignet sind, bleibt offen. Daher ist es weiterhin notwendig, die Fusionierung medizinischer Goldstandardmethoden mit möglichst kontakt- oder zumindest kabellosen Sensoren zu beforschen. Die (bislang noch hypothetische) Verwertbarkeit einer solchen Fusionierung gestaltet sich vielschichtig:

Verwertung in der Medizin

- Patienten-Monitoring (prä und post OP)
- Insbesondere Überwachung von Säuglingen auf Station
- Assistenz Pflegefachkräfte

Verwertung als Prävention am Arbeitsplatz

- Beanspruchungsmessung zur Beurteilung von Belastungen (berufsspezifischer Tätigkeiten)
- Gesundheitsförderung durch Handlungsempfehlung über Feedbackmodule

4. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

Die auf dem Gebiet erzielten Fortschritte beschränken sich zurzeit auf die Anwendung verschiedener Systeme zur Ermüdungs- und Stressdetektion. Die Selektion Erfolg versprechender und praxistauglicher Parameter steht dabei im Fokus, da derzeit noch keine hinreichende Mustererkennung und damit einhergehende Klassifikation der Daten vorliegen. Generell muss zwischen zwei voneinander unabhängigen Herangehensweisen differenziert werden. Zum einen werden inhaltlich unterschiedliche Punkte wie Parameterwahl sowie die damit verbundene Anzahl der zu messenden Parameter fokussiert. Dabei ist zu trennen, ob physiologische Parameter, die die reinen motorischen Körperfunktionen umfassen, wie Funktionen des Organismus (Erfassung durch kontaktbasierte oder körpernahe Sensoren aus der Medizin, dem Leistungssport oder dem Gesundheitssport (Wearables)) oder Parameter der Sprachmotorik wie Mimik, Gestik oder dem Sprechen (über Mustererkennung im Gesichtsfeld oder beim Sprechen) erfasst werden. Zum anderen ergibt sich daraus die Notwendigkeit unterschiedliche Messverfahren zu verwenden. Dennoch liegen beiden Herangehensweisen die Gemeinsamkeit der Erfassung und Interpretation von Stress durch die Reaktion des Menschen auf Belastungen mittels Messung unterschiedlicher Parameter zugrunde.

5. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.

Buder, A., Nisser, M., Derlien, S., Smolenski, U.C. (2019); Nachweis von stufenweise induzierter mentaler Überforderung in objektiven und subjektiven Parametern; 65. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) Dresden 27. Februar - 01. März 2019

Buder, A., Nisser, M., Derlien, S., Smolenski, U.C. (2018); 3Dsensation StressSense 2 – Detektion von Stressparametern am Bildschirmarbeitsplatz; Postersession 123. Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Physikalische Medizin und Rehabilitation (DGPMR), Jena, 20.-22. September 2018

Nisser, M., Derlien, S., Best, N. (2018): Überblick über aktuelle Erkenntnisse berufsbedingter muskuloskeletaler Beschwerden am Bildschirmarbeitsplatz hinsichtlich der Anwendung des Oberflächen-EMGs zur Beanspruchungsmessung. Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin.

Nisser, M., Derlien, S., Smolenski UC. (2018): Oberflächen-Elektromyographie zur Beanspruchungsmessung am Bildschirmarbeitsplatz – welchen Mehrwert bringt die Analyse der muskulären Aktivität. Wirtschaftspsychologie Aktuell.

Nisser, M., Derlien, S., Best, N., Smolenski, U.C. (2018): Messung der muskulären Beanspruchung mit Hilfe der Oberflächen-Elektromyographie bei verschiedenen PC Eingabegeräten – Vorstellung des Studiendesigns. Physikalische Medizin Rehabilitationsmedizin Kurortmedizin.

geplant:

Nisser, M., Puta, C., Hoyer, H., Buder, A., Derlien, S., Best, N. (...): Erfassung von Biosignalen am Arbeitsplatz: Zusammenhang von subjektiven und objektiven Beanspruchungsparametern. Zeitschrift für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin (noch nicht eingereicht)

Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des ZE oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z.B. zur Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den ZG ausdrücklich darauf hinzuweisen.

6. Literaturverzeichnis

- Badura, B. (2017): Arbeit und Gesundheit im 21. Jahrhundert. In: Arbeit und Gesundheit im 21. Jahrhundert: Springer.
- Badura, B.; Ducki, A.; Schröder, H.; Klose, J.; Meyer, M. (2016): Fehlzeiten-Report 2016. Unternehmenskultur und Gesundheit-Herausforderungen und Chancen: Springer-Verlag.
- Bangor, A.; Kortum, P.; Miller, J. (2009): Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. In: *Journal of Usability Studies* (4; 3), zuletzt geprüft am 28.03.2019.
- Bertazzi, P. A. (2010): Work as a basic human need and healthpromoting factor. In: *Med Lav* (101), S. 28–43.
- Böckelmann, I.; Seibt, R. (2011): Methoden zur Indikation vorwiegend psychischer Berufsbelastung und Beanspruchung - Möglichkeiten für die betriebliche Praxis. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (65(3)). Online verfügbar unter https://www.zags-dresden.de/dateien/ForschungLehrberufe/B%C3%B6ckelmann,%20I._Methoden...2011.compressed.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2019.
- Brooke, J. (1996): SUS: a „quick and dirty“ usability scale. In: P. W. Jordan, B. Thomas und Weerdmeester, McClelland, I.L. (Eds.) (Hg.): *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis., S. 189–194.
- Dettmers, J. (2015): Vortrag "Bewertung und Bewältigung von Zeitdruck". BAuA-Fachtagung, Berlin, 03.07.2015. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Veranstaltungen/Dokumentationen/Psychische-Gesundheit/pdf/Zeit-Leistungsdruck-2015-6.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 25.07.2019.
- Dhondt, S. (2012): Arbeitsdruck und Arbeitsautonomie in der Europäischen Union. Online verfügbar unter https://www.eurofound.europa.eu/sites/default/files/ef_files/pubdocs/1997/43/de/1/ef9743de.pdf0, zuletzt geprüft am 25.07.2019.
- Flemming, S.; Grimm, F.; Früh (2018): Bitkom Digital Office Index. Hg. v. Bitkom Research GmbH. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/180813-Studienbericht-Bitkom-Digital-Office-Index-2018.pdf>, zuletzt geprüft am 18.11.2019.
- Franke, A. (2005): Modelle von Gesundheit und Krankheit. Bern: Verlag Hans Huber; 2010, World Health Organization. Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme. In: *Revision 10. Geneva: WHO*.
- Handrich, C.; Koch-Falkenberg, C.; Voß, G. G. (2015): Vortrag "Zeit- und Leistungsdruck - Untersuchungen in drei Bereichen qualifizierter Dienstleistungstätigkeiten". Fachtagung der BAuA Berlin, 03.07.2015. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Veranstaltungen/Dokumentationen/Psychische-Gesundheit/pdf/Zeit-Leistungsdruck-2015-2.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 25.07.2019.
- Hareendran, A; Leidy, N. K.; Monz, B. U.; Winnette, R.; Becker, K.; Mahler, D. A. (2012): Proposing a standardized method for evaluating patient report of the intensity of dyspnea during exercise testing in COPD. In: *International journal of chronic obstructive pulmonary disease* 7, S. 345–355. DOI: 10.2147/COPD.S29571.
- Hart, S.G.; Field, M. (2006): NASA-Task Load Index (NASA-TLX): 20 Years Later, zuletzt geprüft am 16.07.2019.

Korunka, C.; Kubicek, B.; Paškvan, M.; Ulferts, H. (2015): Changes in work intensification and intensified learning. Challenge or hindrance demands? In: *Journal of Managerial Psych* 30 (7), S. 786–800. DOI: 10.1108/JMP-02-2013-0065.

Lenhardt, U.; Ertel, M.; Morschhäuser, M. (2010): Psychische Arbeitsbelastungen in Deutschland: Schwerpunkte – Trends – betriebliche Umgangsweisen. In: *WSI Mitteilungen* (7). Online verfügbar unter https://www.boeckler.de/wsimit_2010_07_lenhardt.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2019.

Lohmann-Haislah, A.; Schütte, M.; Beermann, B.; Morschhäuser, M.; Siefer, A.; Burr, H. et al. (Hg.) (2013): Stressreport Deutschland 2012. Psychische Anforderungen, Ressourcen und Befinden. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Gd68.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 25.07.2019.

Metz, A.-M.; Rothe, H.-J. (2017): Screening psychischer Arbeitsbelastung: Ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung. Wiesbaden: Springer-Verlag (2016). Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-658-12572-1.pdf>, zuletzt geprüft am 25.07.2019.

Räikkönen, K., Lassila, R., Keltikangas-Järvinen, L., & Hautanen, A. (1996): Association of chronic stress with plasminogen activator inhibitor–1 in healthy middle-aged men. In: *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology* (16(3)), S. 363–367. Online verfügbar unter <https://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/01.ATV.16.3.363>.

Sammito, S.; Thielmann, B.; Seibt, R.; Klusmann, A.; Weippert, M.; Böckelmann, I. (2014): Leitlinie Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. Online verfügbar unter https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-042l_S2k_Herzschlagfrequenz_Herzfrequenzvariabilit%C3%A4t_2014-07.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2019.

Schneider, T.; Wolcke, B.; Böhmer, R. (Hg.) (2010): Taschenatlas Notfall & Rettungsmedizin. Kompendium für den Notarzt; Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-01051-4.pdf>, zuletzt geprüft am 17.04.2020.

Vrijkotte, T.G.M.; van Doornen, L. J.P.; Geus, E. J.C. de (2000): Effects of Work Stress on Ambulatory Blood Pressure, Heart Rate, and Heart Rate Variability. In: *Hypertension* (35). Online verfügbar unter http://www.vu-ams.nl/fileadmin/user_upload/publications/Vrijkotte_2000.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2019.

Schlussbericht zu SuSa

I Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung:

Das Hauptziel des Projektes bestand in der Untersuchung und Charakterisierung der Sauerstoffsättigung als Vitalparameter in der Erfassung von Stresszuständen. Ziel war die Entwicklung eines Technologie-Demonstrators zur möglichst kontaktlosen Erfassung von stressrelevanten Vitalparametern. Insbesondere die Mensch-Maschine-Interaktion steht in diesem Teilprojekt im Vordergrund. Dazu sollten im Projekt gewonnene Erkenntnisse in die Entwicklung eines zukünftig kontaktlosen Messsystems zur Vitalparametererkennung fließen.

Untersuchungen unter Laborbedingungen dienten dazu, mehrere relevante Parameter zu erfassen und insbesondere die Sauerstoffsättigung unter körperlicher sowie mentaler Belastung bei gesunden Probanden in den Fokus zu stellen. Letzteres liegt darin begründet, dass der zu entwickelnde Technologie-Demonstrator im Arbeitssetting und auch für den Gesundheitsbereich eingesetzt werden soll. Um die entsprechende Belastung zu erreichen, sollten die körperlichen wie mentalen Aufgaben unter Zeit- und Leistungsdruck ausgeführt werden. Im Vordergrund stand letztendlich die Konzeption für die direkte Anwendung der Stresserfassung durch den Nutzer, mit einem weiterentwickelten Messverfahren mit hoher Messgenauigkeit und einem vereinfachten Handling. Zur Entwicklung des Technologie-Demonstrators war ein enger interdisziplinärer Austausch im Verbund der Projektpartner Voraussetzung, dem im Verlauf des Projektes Rechnung getragen wurde - durch teilweise gemeinsam durchgeführte Untersuchungen, den Transfer und die Implementierung von gewonnenen Erkenntnissen in das finale System.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde:

Für die erforderlichen Messungen der physiologischen Parameter, insbesondere der Sauerstoffsättigung, wurden aktuelle medizinische bzw. sportwissenschaftliche Standardverfahren herangezogen. Es wurde auf ein Messsystem zurückgegriffen, mit dem die zeitgleiche Aufnahme mehrerer Parameter möglich ist - das Multisensorsystem NeXus-10 MkII (Mind Media B.V., Niederlande). Die Vitalparameter wurden durch herkömmliche, kontaktbasierte Sensoren erfasst, wobei insbesondere die Sauerstoffsättigung auf der Basis der Pulsoximetrie gemessen wurde. Es konnten am Institut für Physiotherapie des Universitätsklinikums Jena Laborsettings sowohl zur körperlichen (Radergometer) wie auch mentalen (RehaCom-System zur kognitiven Förderung) Belastung der Probanden geschaffen

werden. Weiterhin konnte neue, sich in der Entwicklung befindende kontaktlose Systeme zur Erfassung der Sauerstoffsättigung im Verbund erprobt werden. Durch die zeitgleiche Messung mit der etablierten Methode der Pulsoxymetrie konnten Daten gewonnen werden, die die Weiterentwicklung der kontaktlosen Messung der Sauerstoffsättigung fördern. Die enge Zusammenarbeit der Projektpartner sorgte hier für entsprechenden Transfer.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Teil-Forschungsvorhabens (AP 4 und AP 5) aus dem Verbundprojekt oblag dem FB Klinische Reha-Forschung des Instituts für Physiotherapie des Uniklinikums Jena. Die exakte Planung wurde im Antrag auf Zuwendung erläutert. Der Ablauf des Vorhabens entspricht der im Forschungsantrag aufgeführten Planung, wobei es im späteren Verlauf des Projektes aufgrund der ausgewerteten Messergebnisse im Bereich der Sauerstoffsättigung Abweichungen gab. Die Ergebnisse der Messung der Sauerstoffsättigung bei körperlicher Belastung (AP 4.2) erforderten eine Änderung der geplanten Vorgehensweise und eine Anpassung der weiteren Studienplanung. Im Abschnitt II wird näher darauf eingegangen.

4. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

- **Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden**
- **Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste**

Über- und Unterforderung können durch unterschiedliche Belastungen ausgelöst werden. Diese Belastungen führen im Körper zu Reaktionen, sogenannten Beanspruchungen. Diese Beanspruchungen können in Form von Veränderungen physiologischer und physischer Parameter zum Ausdruck kommen und als Stress interpretiert werden. Stress unterliegt in der Wahrnehmung und Reaktion hohen inter- und intra-individuellen Unterschieden, was bei der Stresserfassung eine Aufnahme möglichst vieler Parameter voraussetzt (z.B. Multisensorsystem NeXus 10). Als Goldstandard Verfahren zur Messung physiologischer und physischer Parameter gelten folgende körpernahe Sensoren: die Elektromyographie (EMG) zur Messung elektrischer Potenziale der Muskulatur, mit der eine Interpretation der Muskelaktivität möglich ist, das Elektrokardiogramm (EKG) zur Erfassung der Herzfrequenz und zur Ableitung der Herzratenvariabilität, sowie Elektroden, die die Schweißdrüsenaktivität aufzeichnen, worüber wiederum der Hautleitwert bestimmt werden kann. insbesondere der tonische Hautleitwert liefert Hinweise über den emotionalen Zustand bzw. die Beanspruchung des Probanden (Boucsein 1988a; Dawson et al. 2007). Die Daten können eine Basis zur

Weiterentwicklung kontaktloser Verfahren bieten. In den letzten Jahren wurden die aus der Medizin bekannten Systeme v.a. für den Fitness- bzw. Gesundheitsbereich weiterentwickelt. Mobile, körpernahe Systeme, sogenannte Wearables, ermöglichen privaten Nutzern, ihre Vitalparameter zu messen, z.B. über einen Brustgurt und eine entsprechende Armbanduhr oder über ein Fitnessarmband. Die Daten werden mithilfe von Verlinkungen zum Smartphone übertragen und können hier entsprechend graphisch dargestellt werden. Inwiefern die Handlungsempfehlungen auf validen Daten und trainingswissenschaftlichen und/oder medizinischen Kenntnissen zur Förderung oder dem Erhalt der Gesundheit beruhen ist bisher fraglich. Vor dem medizinischen Hintergrund sind die bekannten Wearables bisher keine Alternative, da einerseits kein Zugriff auf Rohdaten möglich ist und andererseits die Messgenauigkeit noch nicht belegt werden konnte. Bzgl. der Rohdaten besteht die Problematik, dass in der Regel bereits Filter über die Daten gelegt wurden, die nicht direkt nachvollziehbar bzw. dem Endnutzer nicht zugänglich gemacht werden. Die oben aufgeführten kontaktbasierten Systeme (EMG, EKG, etc) können unter laborinternen Bedingungen gut eingesetzt werden - eine im Sport oder der Medizin seit vielen Jahrzehnten gängige Praxis. Jedoch ist der Einsatz im Feld aufgrund von Kabelverbindungen zwischen Sender und Empfänger oder anderen räumlichen und technischen Begrenzungen stark limitiert, was weitere Untersuchungen erforderlich macht, die z.B. in Feldstudien diese Problematik aufgreifen. Insbesondere für die Stresserfassung am Arbeitsplatz sind mehrere Bedingungen zu erfüllen: die möglichst kontaktlose bzw. kabellose, zeitgleiche Messung mehrerer, stressrelevanter Parameter, die schnelle Übertragung der Daten auf ein Endgerät, die einfache, leicht verständliche und schnelle Darstellung der Ergebnisse, die gute medizinische bzw. trainingswissenschaftliche Basis und wissenschaftlich begründete Handlungsempfehlungen. Hier setzt das vorliegende Projekt an. Die Sauerstoffsättigung als ein durch das vegetative Nervensystem gesteuerter Vitalparameter gilt im klinischen Setting als hochrelevantes Biosignal, um Aussagen über den Gesundheitszustand einer Person zu treffen. Wenn dies auch für andere Bereiche wie dem Arbeitsplatz zutrifft, dann ist es möglich anhand der Sauerstoffsättigung eine Aussage hinsichtlich des Beanspruchungsgrades einer Person unter körperlicher oder mentaler Belastung zu treffen.

Zur Durchführung des Vorhabens wurden keine Schutzrechte Dritter genutzt. Für Literaturrecherchen wurden die Datenbanken Pubmed (US National Library of Medicine), Web of Science des ISI Web of Knowledge sowie die Google Scholar Dienste für Fachzeitschriften verwendet. Außerdem wurden Handsuchen in der Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek (Thulb) in Jena vorgenommen. Dokumentationsdienste wurden nicht in Anspruch genommen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die erfolgreiche Umsetzung der gemeinsamen Arbeitsziele im Verbund erforderte die stetige Zusammenarbeit zwischen allen Partnern - dem Institut für Physiotherapie des Universitätsklinikums Jena, der Neuro-Informationstechnik der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, der Arbeitsgruppe Industrielle Bildverarbeitung der Technischen Universität Ilmenau und dem Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Zum weiteren fachlichen Austausch trugen folgende Abteilungen bei: Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin des Uniklinikums Jena, Experten und Mediziner der Arbeitsmedizin und der Medizintechnik und Fraunhofer Institut für Angewandte Optik.

II Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele,

Aus Arbeitspaket 4 (Untersuchung von Sauerstoffsättigung auf Stress) sollten Daten zu Stress hervorgehen (Laborbedingungen), um darauf aufbauend eine Charakterisierung vornehmen zu können. Die Einzelfalluntersuchungen zur Messung der Sauerstoffsättigung als Stressparameter (AP 4.1) wurden planmäßig durchgeführt. Es erfolgten zuerst Messungen am Radergometer zur körperlichen Belastung und im weiteren Verlauf der Studie wurden auch Messungen unter mentaler Belastung mithilfe des Kognitionstrainers RehaCom durchgeführt. Aufgrund von Sicherheitsbestimmungen im Umgang mit Probanden/ Patienten in Herz-Kreislauf-Belastungssituationen musste bei den Messungen ein Arzt zugegen sein - daher wurde die Untersuchung integriert in eine gemeinsame Studie mit dem Fachbereich der Anästhesie (Baumbach et al. 2019). Diese Vorgehensweise hatte jedoch keinerlei Einfluss auf das geplante Setting.

Die Messung bei körperlicher Belastung erfolgte im Liegen in einem eigens für dieses Vorhaben konzipierten Messaufbau. Hierfür wurde ein medizinübliches Ergometer genutzt und der Proband in eine liegende Position gebracht, die es ihm erlaubte das Ergometer trotz ungewohnter Position korrekt zu nutzen. In dieser Position konnten bei Beibehaltung der wissenschaftlichen Standards und bei den gegebenen Lichtverhältnissen (erforderlich für die Kamerasysteme, siehe unten) alle Parameter optimal aufgezeichnet werden (Abb. 1). Es wurde in Ruhe, sowie unter nach Studienprotokoll definierten, unterschiedlich hohen körperlichen Belastungen gemessen, um grundlegende Vergleichsdaten mit einem großen Datenspektrum für das spätere kontaktlose Messsystem (via Kamera) zu liefern: insbesondere die

Veränderungen in der Sauerstoffsättigung waren hier von besonderem Interesse. Das Trainings- bzw. Messprotokoll erfolgte in Anlehnung an (Finger et al. 2013). Die Intensität wurde anfänglich auf 50 Watt eingestellt und anschließend alle zwei Minuten um 25 Watt erhöht. Die Probanden wurden angewiesen, eine Pedalfrequenz von 60 Umdrehungen pro Minute anzustreben und erhielten bei Abweichung von dieser Zielfrequenz eine Rückmeldung. Die körperliche Aktivität wurde beendet, sobald über 30 Sekunden die Ziel-Herzfrequenz gehalten wurde, die Person über Erschöpfung klagte oder wenn ein medizinischer Grund die Beendigung erforderlich machte. Für die Ziel-Herzfrequenz wurde die Karvonen-Formel herangezogen (Karvonen et al. 1957). Neben der Sauerstoffsättigung wurden mithilfe des Messgerätes NeXus 10 der Firma Hasomed als Kontrollparameter die Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität sowie die Atmung mittels Brustgurt erfasst.

Als kontaktlose Messinstrumente dienten drei verschiedene Kameras (Infrarot, RGB, 3D), die während verschiedener Belastungsstufen die Veränderungen in der Gesichtshaut erfassen.



Abb. 1: Versuchsaufbau am Liegeergometer mit Anschluss aller Sensoren und Positionierung der Kameras (rechts im Bild)

Arbeitspaket 4.2 (Auswertung Sauerstoffsättigung als Stressparameter) hatte die Auswertung und Charakterisierung unterschiedlicher Vitalparameter hinsichtlich der Ausschlagshöhe sowie der anzunehmenden Übereinstimmung des Ausschlag- Zeitpunktes zum Ziel. Des Weiteren sollten Erkenntnisse hinsichtlich des Stressparameters Sauerstoffsättigung für die Übertragung in die Validierungsphase gewonnen werden.

Es zeigte sich in der Auswertung der Daten aus AP 4.1, dass das für die Studie konstruierte Setting für eine genauere Aussage darüber, inwieweit sich die Sauerstoffsättigung bei (körperlichem) Stress verändert, modifiziert werden musste. Die Messungen ergaben keine nennenswerte Varianz in den Werten der Sauerstoffsättigung, sowohl in den Ergebnissen der eigenen Messtechnik wie auch in der ebenfalls beteiligten Anästhesisten. Dies kann einerseits damit erklärt werden, dass alle Probanden gesund waren, d.h. ohne physiologische Einschränkungen mit relevantem Einfluss auf die Sauerstoffsättigung. Die nicht-invasive Pulsoximetrie erfasst vorrangig größere, krankheitsbedingte Schwankungen. Andererseits kann auch die geringe Empfindlichkeit der herkömmlichen Messgeräte eine Erklärung sein - kleinere Veränderungen in den Werten eines Gesunden konnten mit den vorliegenden, nicht invasiven Messtechniken augenscheinlich nicht erfasst werden. Es konnte daher keine Zuordnung bzw. Klassifikation in Stresslevel bzw. keine Normwertbestimmung auf Basis der Daten vorgenommen werden.

Eine exaktere Einschätzung der Sauerstoffsättigung ist mit einer Blutgasanalyse durchaus möglich - diese Messmethode übersteigt jedoch die finanziellen und organisatorischen Rahmenbedingungen des Projektes, zumal eine verlässliche Beeinflussung der Blutgaswerte (z.B. in einer Höhenkammer) ein sehr hohes Maß an ärztlicher Betreuung und einen hohen zusätzlichen Aufwand (u.a. ein modifiziertes Ethikvotum) erfordert. Ein gezieltes Eingreifen in das umgebende Luftgemisch und die Untersuchung von Blutgaswerten würde möglicherweise Varianzen deutlich machen. Dies war unter den gegebenen Umständen im vorliegenden Projekt jedoch nicht lösbar.

Ein weiterer Versuch, um eine größere Auslenkung des Sauerstoffsättigungswertes zu erhalten, wurde in einer neuen Untersuchung vorgenommen. Dabei wurden die Probanden nicht im Liegen, sondern im Sitzen auf dem Radergometer getestet, um höhere Belastungsstufen (Watt) treten zu können. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt. Die durch die höhere Watt-Zahl zu überwindende Belastung sollte eine größere Veränderung der Sauerstoffsättigung bewirken. Bedauerlicherweise zeigte sich auch hier in der Analyse der Sauerstoffsättigung exakt die gleiche Problematik wie in der ersten Untersuchung - die Veränderungen der Sauerstoffsättigung liegt im Mittel bei +/- 3 Punkt-Werten, was bedeutet, dass die Werte der Probanden von einer durchschnittlichen Sättigung von 99% durch die Belastung auf einen Wert

von 96% sinken. Da diese Werte nicht klinisch relevant sind, kann hier zwar die Sauerstoffsättigung gemessen und auch mit den Daten der Kamera verglichen werden, jedoch sind die Schwankungen der Werte so gering, dass sie nicht nachweislich auf relevante, belastungsbedingte Änderungen im System zurückgeführt werden können. Um gar eine Ableitung zur Definition eines Stresslevels vornehmen zu können bieten diese Werte keine Grundlage.



Abb. 2: Versuchsaufbau Spiroergometrie und Kamerasystem zur Bestimmung der Sauerstoffsättigung

Aufgrund der beschriebenen Problematik in AP 4 konnten die Ziele in den Arbeitspaketen 5 (Klassifikation Sauerstoffsättigung und Stress) und 5.1 (Zuordnung Stresslevel) und somit die Bildung von Labeln zu Stress-Leveln und die Mustererkennung nicht planmäßig vorgenommen werden.

Daher wurden für die weitere Bearbeitung die zusätzlich erfassten Vitalparameter einbezogen - die Aussagen darüber, wie das kontaktlose System (Technologie-Demonstrator) aufgebaut sein muss, um Stress zu erfassen und ggf. zu klassifizieren, konnten so trotz der neuen Planung wissenschaftlich weiter konsolidiert werden. Hierzu waren auch die laufenden Literaturrecherchen sowie Vergleichsdaten aus anderen Projekten sachdienlich und hilfreich.

Im weiteren Verlauf wurde an einer von Sauerstoffsättigung unabhängigen Mustererkennung gearbeitet, u.a. wurden Möglichkeiten zur Festlegung von Abbruchkriterien in Anlehnung an die Herzfrequenz erarbeitet (Abb. 3). Diese sollen greifen, wenn ein bestimmtes Stresslevel erreicht ist und die (Test)Person daher angehalten ist, ihre Aufgabe abzubrechen - für die Lösung dieser Aufgabe war der enge Kontakt und der Austausch mit Experten und Medizinern der Arbeitsmedizin und der Medizintechnik hilfreich.

Es wurden die Veränderungen der ebenfalls erfassten Vitalparameter Herzfrequenz und Herzratenvariabilität genauer betrachtet und darauf aufbauend der Versuch unternommen, die Definition und Formulierung von Stress-Leveln ohne den Parameter Sauerstoffsättigung festzulegen.

Mentale Belastung

Es wurden weiterhin Messungen mit dem Fokus auf mentaler Belastung und mögliche Änderungen von Vitalparametern durchgeführt. Hierfür wurde ein bereits erprobtes Laborsetting aus einem anderen Projekt herangezogen und modifiziert. Schwerpunkt dieser Messung war die mentale Belastung und zeitgleiche Erfassung von Video- bzw. Bilddaten des Gesichts über das oben beschriebene Kamerasystem, um weitere Daten zur Weiterentwicklung des Demonstrators zu sammeln.

In Arbeitspaket 5.2 (Cueing/ Alarm) und 5.3 (Datenausgabe / Ergebnisdarstellung) bestand das vorrangige Ziel darin, für die Entwicklung des Demonstrators festzulegen, in welcher Form eine visuelle oder akustische Alarmierung bei hohem Ausschlag sinnvoll ist und die Datenausgabe entsprechend zu definieren. Bei Übersteigerung der determinierten Bereiche des Vitalparameters, in diesem Fall der Herzfrequenz, erfolgt ein Alarm bzw. eine direkte Rückmeldung an die Testperson. Die Ergebnisse der entsprechenden Literaturrecherchen zur Bedeutung von Farben und Tönen in der menschlichen Biologie und Psychologie und der Befragungen der Probanden haben gezeigt, dass eine visuelle Rückmeldung, die einfach und auf der Basis farblich bekannter Strukturen erfolgt, einen warnenden bzw. kurzfristig informativen Effekt hat. Das Ampelsystem (Grün-Gelb-Rot) dient hier als einfache und bekannte Informationsgrundlage, an der die Empfehlung angelehnt ist. Zusätzlich zur bekannten Farbgebung dienen grafische Darstellungen des Herzens (Abb. 4). Darüber hinaus ist es denkbar, graphisch stark vereinfachte Formen von Gesichtern - sogenannte Smileys - zu nutzen. Diese sind u.a. aus modernen Kommunikationssystemen und Social Media weitläufig bekannt als schnelle Variante der Informationsvermittlung und können kurze Rückmeldungen über den individuellen Belastungsgrad geben, die vom Probanden mit einem Blick zu erfassen und zu verstehen sind.

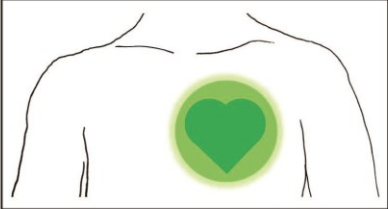
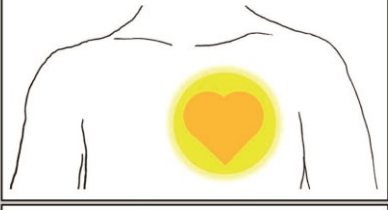

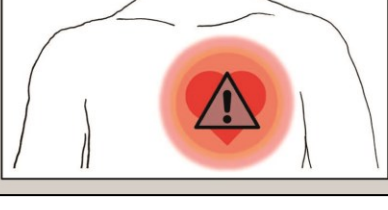
<p>Stufe 0: Minimale Beanspruchung</p> <p>Werte: HF Baselinewert bis 80 Schläge/min</p>	
<p>Stufe 1: optimale Beanspruchung</p> <p>Werte: HF 80-100 Schläge/min (grün)</p>	
<p>Stufe 2: hohe Beanspruchung</p> <p>Werte: HF 100-120 Schläge/min (gelb)</p>	
<p>Stufe 3: maximale Beanspruchung</p> <p>Werte: HF über 120 Schläge/min (rot)</p>	
<p>Stufe 3: Abbruch</p> <p>Werte: nach alters- und geschlechtsspezifischen Vorgaben individuell zu definieren</p>	

Abb. 3: Darstellung möglicher Warnsignale zu Beanspruchungs-Stufen in Orientierung an der Herzfrequenz

Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Anwendungsbereiche bzw. beruflichen Umfeldern muss das Cuing entsprechend der äußeren Bedingungen und Voraussetzungen des jeweiligen Arbeitsplatzes gestaltet und ggf. angepasst werden (können). Die Möglichkeit der Veränderung entsprechender Einstellungen im System durch den Anwender sollte gegeben sein. So könnte z.B. ein akustisches Signal durch ein kurzes Vibrieren ersetzt werden. Das Cuing könnte ähnlich wie die Informationssignale bei Smartphones gestaltet sein, die über verschiedene Neuigkeiten und wichtige Inhalte von Apps informieren.

Grundsätzlich sollte zwischen informativen und warnenden Signalen unterschieden werden. Vor diesem Hintergrund muss für das vorliegende Projekt geklärt werden, ob in mehrstufigen Signalvarianten vorerst informativ vorgegangen wird und dann warnende Signale die

informativen ersetzen, wenn keine Reaktionen oder positive Veränderungen im Verhalten bzw. in den physiologischen Parametern erfolgen.

Farben können starke Reaktionen hervorrufen und uns emotional bewegen (Bakhshi und Gilbert 2015). Mindestens seit Goethes Zeiten und seiner „Theory of Colors“ (Goethe [1810]1967.) beschäftigt sich die Wissenschaft mit der Bedeutung von Farben in unserer Umwelt. Das Setzen bestimmter Farben (z. B. rot, gelb) erzeugt systematische physiologische Reaktionen (Goldstein 1942). Farbreiz steht außerdem in Zusammenhang mit psychischen Funktionen (Elliot und Maier 2014; Elliot 2015). Farben haben Einfluss auf unsere Emotionen (Elliot 2015) und wirken damit als Kommunikator für bestimmte Informationen (Gil und Le Bigot 2014). Dies ist jedoch abhängig vom jeweiligen Kontext und auch von Kultur und Erziehung (Elliot und Maier 2014; Gerend und Sias 2009). Der Kommunikationswert der Farbe Rot ist seit Jahrhunderten bekannt (Pravossoudovitch et al. 2014). Sie dient häufig dazu, Risiken und Gefahren auf Warnschildern, Verkehrszeichen und Bedrohungsberatungssystemen deutlich zu machen. Rot steht in unserer Gesellschaft in erster Linie in Zusammenhang mit Gefahr, Bedrohung, Blut, Risiko und entsprechend der Vermeidung derselben (Elliot und Maier 2014; Gerend und Sias 2009; Wogalter et al. 2002; Bakhshi und Gilbert 2015). Diese negative Verknüpfung von Rot mit Gefährdung und Ärger kann genutzt werden, um Aufmerksamkeit und einen schnellen Warneffekt zu erzielen. Darüber hinaus assoziiert die Farbe mit gesteigerter Aktivität und erhöhter Durchblutung. Aus biologischen Gründen kann die Farbe Rot auf mögliche Gesundheitsbedrohungen hinweisen (Gerend und Sias 2009). Für das vorliegende Projekt bietet es sich daher an, bei Überschreiten des gesetzten Wertes mit einem Warnsignal in rot zu arbeiten, um schnell die Aufmerksamkeit des Probanden zu erlangen und einen warnenden Effekt zu erzielen. Weitere Experimente müssen zeigen, inwiefern der Effekt im Ablauf der Messung tatsächlich erreicht wird und wie die Probanden das Signal wahrnehmen/einschätzen. Wie oben bereits betont besteht die Option, vor den warnenden informativen Signalen zuschalten und so dem Adressaten eine Rückmeldung über seine Vitalparameter zu geben, bevor ein kritischer Level erreicht wird.

Vor dem Hintergrund der Überlegungen, statt eines optischen Reizes eher ein akustisches Signal zu nutzen, ist zu diskutieren, ob ein abstraktes oder eher ein konkret mit dem Kontext assoziiertes Signal in Frage kommt. Abstrakte Warnungen erfordern einen höheren Zeitaufwand in der Reaktion und erzielen nicht immer den passenden Effekt. Prinzipiell ist im vorliegenden Setting keine sofortige, lebenswichtige Reaktion erforderlich. Auch im Zusammenhang mit Reaktionen, die sich nicht auf sofortige, dringende Lösungen des zu Informierenden beziehen, machen ikonenhafte („leicht erratbare“) Signale Sinn (Perry et al. 2007). Auch wenn der Signalton im vorliegenden Fall keine besondere

Reaktionsgeschwindigkeit von den Adressaten erfordert, wie es u.a. Gegenstand der Untersuchungen von Isherwood und McKeown (2017) war, so erscheint es sinnvoll, auditiven Symbolen gegenüber abstrakten Klängen als Warnsignal den Vortritt zu geben. Hörsymbole oder Nachahmung alltäglicher Klänge beinhalten eine Beziehung zwischen Signal und Referenten. Sie können kurz sein und sind im Allgemeinen gut erkennbar und unterscheidbar (Perry et al. 2007). Es sollten für Warnsignale sinnvolle Assoziationen gewählt werden, die auf Informationen aus dem Langzeitgedächtnis beruhen. Im vorliegenden Projekt bietet es sich an, ein Signal zu wählen, das dem Anwender kurz und leicht verständlich zeigt: „Deine Stresswerte steigen!“. Möglich wäre z.B. das Geräusch eines schnell schlagenden Herzens, das ggf. auch noch beschleunigt wird. Auch ein gesprochenes Wort wie „Achtung“ oder ein kurzer Satz sind möglich. Prinzipiell ist eine Kombination aus akustischem und visuellem Signal eine Möglichkeit, die später getestet werden sollte. Mit der Befragung der Anwender/ Probanden können die Signale noch überarbeitet/ ggf. reduziert werden.

Neben der direkten Information über die aktuelle Situation bzw. das aktuelle Befinden des Anwenders bzw. der Anwenderin und die Möglichkeit der Warnung bei Überschreiten definierter Grenzen sollte im Nachgang auch ein Feedback über den gesamten Verlauf einer Messung möglich sein. Dieses sollte (über vorher definierte Zeiträume/ bestimmte Zeitabschnitte, möglicherweise auch individuell programmierbar) die mittleren Herzfrequenzen beinhalten sowie auch Maximal- und Minimalwerte.

Arbeitspaket 7 (Fusionierung der Herzratenschätzung mit der Stressdetektion) wurde vom Verbundprojekt „AutoStress“ mit Zuarbeit von „SuSa“ (erarbeitete Stresslevel-Modelle, siehe oben) bearbeitet. Die entsprechenden Daten zur Integration in die Stresserfassung wurden an das Teilprojekt AutoSense gesendet und dort weiter bearbeitet.

Die Fusionierung des Gesamtsystems (Arbeitspaket 8) mit der Integration aller Elemente (Arbeitspaket 8.1) und die anschließenden Validierungsuntersuchungen (Arbeitspaket 9.1) wurden von allen Verbundpartnern gemeinsam vorgenommen. Arbeitspaket 8.1 hatte zum Ziel, alle Komponenten und wesentlichen Erkenntnisse zusammen zu bringen und die Modelle der Stresserkennung über die Herzratenvariabilität und die Sauerstoffsättigung in das Kamerasystem zu implementieren. Da die Untersuchungen zur Sauerstoffsättigung wie oben beschrieben keine ausreichenden Daten lieferten, konnten keine Level implementiert werden wie für die Herzratenvariabilität geschehen. Dennoch konnten erste Untersuchungen zum Gesamtaufbau in Ilmenau stattfinden. Die Erkenntnisse aus den Voruntersuchungen zum Aufbau der Kameras (Positionierung, Messabstand) wurden hierfür genutzt.

Das finale System wird bei der CES in Las Vegas vorgestellt.

In der Validierungsphase des Systems wurden alle eingebrachten Erkenntnisse in weiteren Untersuchungen erprobt und der Versuchsrahmen für Demonstrationszwecke getestet. Hierfür wurden erneut Messungen gemeinsam mit medizinischen Kollegen aus der Anästhesie vorgenommen. (Dieser Punkt wird in Arbeitspaket 4.2 erläutert.)

Zusammenfassung:

Die Aufgaben des Fachbereichs Rehaforschung des Instituts für Physiotherapie bestanden in Laboruntersuchungen zu Veränderungen der Sauerstoffsättigungswerte im Zusammenhang mit Stress. Diese Messungen wurden durchgeführt. Es wurden körperliche und mentale Stresssituationen geschaffen. Die Erkenntnisse hinsichtlich des Stressparameters Sauerstoffsättigung sollten auf die Validierungsphase übertragen werden.

Es sollten mithilfe von zu definierenden Stress-Leveln Testabbruchkriterien (z.B. bei Überforderung) festgelegt werden. Diese Erkenntnisse sollten in das Projekt AutoStress einfließen und darauf aufbauend eine Mustererkennung durchgeführt werden. Dies gelang, jedoch auf der Basis anderer Vitalparameter (Herzfrequenz) als der Sauerstoffsättigung.

Zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion sollte festgelegt werden, welches Signal für einen Abbruch bzw. auch eine allgemeine Rückmeldung an den User sinnvoll ist und wie die Datendarstellung aussehen könnte. Es wurde für ein situationsbedingtes visuelles wie auch akustisches Signal plädiert und dafür, die erfassten Daten regelmäßig an den User zurückzumelden. Darüber hinaus wurde empfohlen, im Nachgang ein Feedback über den gesamten Messverlauf möglich zu machen.

2. Literaturverzeichnis

- Bakhshi, S.; Gilbert, E. (2015): Red, purple and pink. The colors of diffusion on pinterest. In: *PloS one* 10 (2), e0117148. DOI: 10.1371/journal.pone.0117148.
- Baumbach, P.; Neu, C.; Derlien, S.; Bauer, M.; Nisser, M.; Buder, A.; Coldewey, S. M. (2019): A pilot study of exercise-induced changes in mitochondrial oxygen metabolism measured by a cellular oxygen metabolism monitor (PICOMET). In: *Biochimica et biophysica acta. Molecular basis of disease* 1865 (4), S. 749–758. DOI: 10.1016/j.bbadis.2018.12.003.
- Boucsein, W. (1988a): Elektrodermale Aktivität. Berlin: Springer.
- Dawson, M. E.; Schell, A. M.; Fillion, D. L. (2007): The electrodermal system. In: J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary und G. G. Berntson (Hg.): *Handbook of psychophysiology*: Cambridge University Press. Online verfügbar unter <http://apsychoserver.psych.arizona.edu/JJBAReprints/PSYC501A/Readings/Chapter%208.pdf>, zuletzt geprüft am 23.12.2019.
- Elliot, A. J. (2015): Color and psychological functioning. A review of theoretical and empirical work. In: *Frontiers in psychology* 6, S. 368. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00368.
- Elliot, A. J.; Maier, M. A. (2014): Color psychology. Effects of perceiving color on psychological functioning in humans. In: *Annual review of psychology* 65, S. 95–120. DOI: 10.1146/annurev-psych-010213-115035.
- Finger, J. D.; Krug, S.; Gößwald, A.; Härtel, S.; Bös, K. (2013): Kardiorespiratorische Fitness bei Erwachsenen in Deutschland: Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 56 (5-6), S. 772–778. DOI: 10.1007/s00103-013-1672-y.
- Gerend, M. A.; Sias, T. (2009): Message framing and color priming. How subtle threat cues affect persuasion. In: *Journal of Experimental Social Psychology* 45 (4), S. 999–1002. DOI: 10.1016/j.jesp.2009.04.002.
- Gil, S.; Le Bigot, L. (2014): Seeing Life through Positive-Tinted Glasses: Color–Meaning Associations (9). Online verfügbar unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4123920/pdf/pone.0104291.pdf>, zuletzt geprüft am 16.04.2019.
- Goethe, W. ([1810]1967.): *Theory of Colors*. London: Frank Cass.
- Goldstein, K. (1942): Some experimental observations concerning the influence of colors on the function of the organism. In: *Occup. Ther. Rehab.* (21), zuletzt geprüft am 16.07.2019.
- Isherwood, S.J.; McKeown, D. (2017): Semantic congruency of auditory warnings. In: *Ergonomics* 60 (7), S. 1014–1023. DOI: 10.1080/00140139.2016.1237677.
- Karvonen, M. J.; Kentala, E.; Mustala, O. (1957): The effects of training on heart rate; a longitudinal study. In: *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.* (35), S. 307–315.
- Perry, N. C.; Stevens, C. J.; Wiggins, M. W.; Howell, C. E. (2007): Cough once for danger. Icons versus abstract warnings as informative alerts in civil aviation. In: *Human factors* 49 (6), S. 1061–1071. DOI: 10.1518/001872007X249929.
- Pravossoudovitch, K.; Cury, F.; Young, S. G.; Elliot, A. J. (2014): Is red the colour of danger? Testing an implicit red-danger association. In: *Ergonomics* 57 (4), S. 503–510. DOI: 10.1080/00140139.2014.889220.

Wogalter, M. S.; Conzola, V. C.; Smith-Jackson, T. L. (2002): Research-based guidelines for warning design and evaluation. In: *Applied Ergonomics* (33), S. 219–230. Online verfügbar unter https://ac.els-cdn.com/S0003687002000091/1-s2.0-S0003687002000091-main.pdf?_tid=fe7962c5-a765-466a-8e0c-f2af76ac660c&acdnat=1555415592_d09c110e8635aade18357f0eae4e2bc7, zuletzt geprüft am 16.04.2019.