

# Optimierung visueller Benutzeroberflächen zur Stressreduzierung

Elias Fabian Walter<sup>1</sup>, Norman Günther<sup>1</sup>, Bastian Prell<sup>1</sup>, Simon Wilbers<sup>1</sup>, Philipp Reiter<sup>2</sup>, Jörg Reiff-Stephan<sup>1</sup>, Ulrich Berger<sup>3</sup>

## Zusammenfassung

Durch die Menschzentrierung in der Industrie 5.0 [1] sollten bestehende Ansätze hinterfragt und geprüft werden [2]. Gerade der, durch die Digitalisierung hervorgerufene, Technostress sollte neben dem Fachkräftemangel einen zunehmenden Betrachtungsfaktor im Produktionsumfeld erhalten. Da trotz bisheriger Maßnahmen eine stetige Zunahme von Stress zu verzeichnen ist [3]. Auffällig sind dabei die Arbeitsunfähigkeits-Fehltage, welche im letzten Jahr um weitere 6 % bzw. um 18,2 Fehltage gestiegen sind. Womit durchschnittlich jede Erwerbsperson 3,17 Tage unter der Diagnose „psychische Störung“ krankgeschrieben wurde [4]. Um diesen Trend entgegenzuwirken, betrachtet der Beitrag die Möglichkeiten der Software-Ergonomie, womit die Gestaltung von HMIs (Mensch-Maschinen-Interfaces) den Menschen gezielter berücksichtigt um etwaige Belastungen zu reduzieren [5].

Im Rahmen der komplementären Industrie 4.0 und der einhergehenden Informationsflut, bestimmen immer komplexer werdende Schnittstellen und Bedienoberflächen einen Großteil des Arbeitsalltags. Diese ermöglichen den Anwenderinnen und Anwendern neben einem schnellen Überblick über Maschinendaten, Prozessabläufe und Handlungsempfehlungen die Möglichkeit zur einfachen Bedienung der technischen Anlagen. Der hier vorgestellte Ansatz betrachtet am Beispiel einer Bestandsanlage, wo sich Potenziale in der Stressreduzierung im Bereich der visuellen Benutzerschnittstellen befinden und welche Auswirkungen eine Veränderung der Leitführung ermöglicht. Hierfür wurde eine mehrphasige Studie durchgeführt dessen Ergebnisse im Bereich des Eye-Trackings sowie anhand von Vitalwerten im vorliegenden Beitrag diskutiert werden.

## Stichwörter

Eye-Tracking, Vitalwerte, Technostress, Stressreduzierung, Industrie 5.0, Software-Ergonomie

## 1 Einleitung

Die für die Untersuchung herangezogene Bestandsanlage (Bild 1) stammt aus dem Mittelstand-4.0 Kompetenzzentrum Cottbus und dient der Demonstration vollautomatisierter Prozesse sowie einer vorausschauenden Instandhaltung. Während der Bedienung der Anlage durch die Anwenderinnen und Anwender stellte sich heraus, dass vor allem nichttechnisch versiertes Personal, welches aufgrund des Fachkräftemangels vermehrt eingesetzt wird, mit der vorliegenden Fülle an Informationsquellen, den Prozessanforderungen und der Anlagenkomplexität überfordert sind. Insgesamt stehen der Bestandsanlage drei grafische Benutzerschnittstellen zur Bedienung und Darbietung von Handlungsanweisungen zur Verfügung. Dabei handelt es sich um ein HMI, zur Steuerung der Anlagenfunktionen, ein Werkerassistenzsystem in Form einer Tablet-Anwendung sowie ein Monitor oberhalb der Anlage mitsamt Informationen und Handlungsempfehlungen zur Bestandsanlage.

---

<sup>1</sup> Technische Hochschule Wildau

<sup>2</sup> eye square GmbH

<sup>3</sup> Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

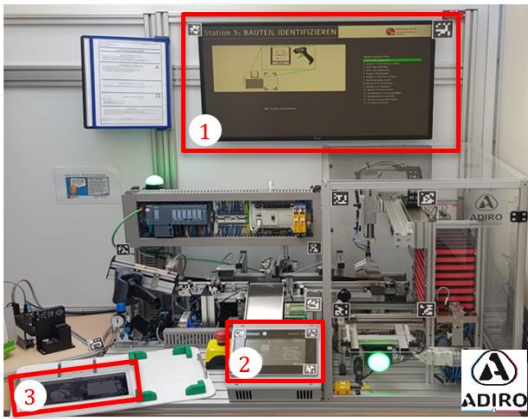


Bild 1: Bestandsanlage zur Produktidentifizierung mit den drei Benutzeroberflächen: 1- Monitor, 2-HMI (Human-Machine-Interface) und 3-Werkerassistenzsystem, Bestandsanlage konzeptioniert und gebaut durch die ADIRO Automation GmbH

Ziel dieser Untersuchung ist es, die drei Kommunikationsmedien aufeinander abzustimmen und durch optimierte Benutzeroberflächen eine Stressreduzierung im Umgang mit der Anlage umzusetzen. Der auftretende Stress, als Folgeerscheinung von Überforderung, wird im Rahmen der Aufzeichnung von Vitaldaten erfasst und dient neben der Analyse der visuellen Benutzeroberflächen sowie weiterer Anlagenbereiche mittels Eye-Tracking als Untersuchungsaspekt. Dieser Beitrag identifiziert mögliche Ansätze von Stress und schlägt geeignete Messmethoden vor. Dabei werden unterschiedliche Stressmodelle, Auswirkungen auf die Vitalparameter sowie Messmethoden betrachtet. Aufbauend auf den Erkenntnissen rund um die Möglichkeiten der Stresserfassung bzw. deren Identifikation, gibt der Beitrag einen Überblick über Ansätze der visuellen Optimierung von Benutzeroberflächen. Inwieweit sich die Optimierungen der Benutzeroberflächen in reduzierte Stresslevel widerspiegelt, wird mittels Fragebögen anhand der subjektiven Eindrücke untersucht, wobei auch diesen Einschätzungen die gemessenen Vitalparameter gegenübergestellt werden.

## 2 Stress

Laut Ernst et al. liegt Stress, als „[...] starke Beanspruchung eines Organismus durch innere oder äußere Reize [...]“ [6]“ entwicklungsgeschichtlich in der Reaktion eines Organismus auf Notsituationen begründet. Mit dem Ziel der Steigerung der Überlebenschance, bewirkt Stress Adaptionshandlungen des betroffenen Organismus, um den vorherrschenden Reizen, die das physiologische Gleichgewicht negativ beeinflussen (Stressoren) entgegenzuwirken und kurzzeitig die Leistungsfähigkeit zu steigern [6], [7, S. 18]. Die einwirkenden Stressoren können in verschiedene Kategorien unterteilt werden, wobei Tabelle 1 diese im Arbeitskontext zeigt.

Tabelle 1: Ursachen psychischer Belastung nach [8, S. 508]

Stressorkategorie	Stressoren
Arbeitsumgebung	Unangenehmes Raumklima, Lärm/ Hintergrundgeräusche, ungenügende Beleuchtung
Arbeitsbedingungen	Unterbrechung/ ausbleibende Finalisierung von Aufgaben, Monotone Arbeit, unzureichende Flexibilität in z.B. Arbeits- und Pausenzeiten, traumatische Erlebnisse im Arbeitskontext, Diskrepanzen zwischen Anforderungen und Fähigkeiten, unfaire Aufgabenverteilung, strapazierende Arbeitszeiten, ungewisse Rollenverteilung
Soziales Umfeld	Mangelhafte Unterstützung durch Kollegen/ Vorgesetzte, hinderliches Führungsverhalten, Konflikte, Mobbing, Ausgrenzung, Diskriminierung

Auch der Umgang mit heutigen Informations- und Kommunikationstechnologien verlangt von den Anwendenden verschiedenste Softskills. So müssen sie komplexe und redundante Informationen in Echtzeit erfassen, verstehen sowie nutzen können. Dies findet meist parallel, über längere Zeiträume sowie teilweise auf mehreren Systemen statt [9, S. 304]. Übersteigen die technischen Anforderungen die (mentalen) Kapazitäten des Menschen, sind Überforderung, Arbeitsunterbrechungen, Frustration und Erschöpfung, verbunden mit Einbußen in der Arbeitszufriedenheit, dem Engagement und der Produktivität die Folge [9, S. 304 ff.].

Technostress "[...] caused by an inability to cope with the demands of organizational computer usage [9, S. 304]" stellt eine Unterart des Stress dar. Diese ist laut Tarafdar et al. auf sich stetig ändernde physische, soziale und kognitive Anforderungen, u.a. hervorgerufen durch den technischen Fortschritt zurückzuführen [9, S. 304]. Nahezu deckungsgleich ist die Aussage von Riedl, welche Technostress als Folge der Mensch-Computer-Interaktion einerseits im betrieblichen und andererseits im privaten Kontext beschreibt [10, S. 97]. Maier führt Technostress "[...] as an IT user's experience of stress when using technologies [11, S. 26]" an, der seiner Meinung nach die Schattenseite der Technologienutzung darstellt [11, S. 26]. Nach Maier, Dragano et al. sowie Tarafdar et al. ergeben sich verschiedene technologiespezifische

Stressorarten nach Tabelle 2. Im Zuge des Beitrags wird sich daher auf die technische Komplexität, Stress durch Mensch-Maschinen-Interaktionen sowie auf die Unzuverlässigkeit durch Technik konzentriert.

Tabelle 2: Übersicht zu technologiebedingten Stressorarten nach [9, S. 310 ff.], [11, S. 27], [12, S. 1112]

<b>technologiespezifische Stressorarten</b>	<b>Ursachen</b>	<b>Folgen</b>
Überlastung durch Technik (Techno-Overload)	Die Anzahl übermittelter Informationen übersteigt die menschliche Verarbeitungskapazität, wodurch eine Unterscheidung zwischen Relevantem und Irrelevantem erschwert/ verhindert wird.	Anstieg der Multitasking Bedarfe, ungenauere Informationsverarbeitung, Fehleinschätzung bei der Aufgabenselektion sowie resultierende Leistungseinbußen
Technische Invasion (Techno-Invasion)	Ermöglichung einer permanenten und zeitunabhängige Erreichbarkeit durch moderne Kommunikationsmedien.	Die Privatsphäre und die Erholungsphasen werden eingeschränkt.
Technische Komplexität (Techno-Complexity)	Wenn die Bedienung eines Systems zu umfangreich und/oder nicht intuitiv genug ist, werden Irritationen durch Systemabstürze, Datenverluste, langen Ladezeiten oder unzureichendem Support erzeugt.	Vertrauen von Nutzer/-innen in die eigenen Kompetenzen wird geschmälert. Investition zusätzlicher Ressourcen und Energie in das Verstehen sowie Merken von Systemfunktionen nötig falsch angelegte Handlungsfolgen
Verunsicherung durch Technik (Techno-Insecurity)	Angst durch technisch höherqualifizierte Arbeitskräfte oder vollständig automatisierten Maschinen ersetzt zu werden	Zunehmender Anstieg von Leistungsdruck und Handhabungsfehlern
Unsicherheit durch Technik (Techno-Uncertainty)	Aussicht auf zwingend notwendige Weiterbildungen in regelmäßigen Intervallen, bedingt durch technische Anpassungen/ Verbesserungen	Routinetätigkeiten und dessen indirekten Regenerierungsphasen werden reduziert.
Stress durch Mensch-Maschinen-Interaktionen (Stress in human-machine-interaction)	Irritation durch undefinierte Systemverhalten von Robotern und/oder Maschinen, sowie die Angst gegenüber der Systemkomplexität	Reduzierung des Akzeptanzverhalten, Abweisung gegenüber dem System. Verweigerung und/oder Durchführung falsche Handlungsfolgen
Technische Arbeitsplatzüberwachung (Technological workplace surveillance)	Technologien ermöglichen eine Überwachung von Arbeitsleistungen, -ort und -zeiten	Hervorrufung oder Steigerung von Misstrauen oder Kontrollverlust in den überwachten Arbeitsbereichen.
Unzuverlässigkeit durch Technik (Techno-Unreliability)	Stresserzeugung durch Systemausfälle, technischen Fehlern, unzureichende Nutzbarkeit oder Komplikationen zwischen unterschiedlichen Schnittstellen	Verunsicherung bzw. Zweifel gegenüber den eigenen Softskills

### 3 Eye-Tracking

Die Analyse des Blickverhaltens bzw. das hierzu eingesetzte Messverfahren des Eye-Trackings ermöglicht Einblicke in die Aufmerksamkeitsverteilung und deren Verschiebung je nach einwirkendem Reiz [13, S. 371]. Das Eye-Tracking ist dabei gleichbedeutend mit der Nachverfolgung und Aufzeichnung des Blickverlaufs von Personen, um Bereiche oder Objekte zu bestimmen, die im Fokus der Aufmerksamkeit liegen [13, S. 371], [14, S. 63]. Des Weiteren können Techno-Stressoren (z.B. Reizüberflutungen) im Umgang mit technischen Systemen leichter identifiziert, beurteilt und auf das Oberflächendesign zurückgeführt werden [14, S. 63]. Eye-Tracking bildet somit ein effektives Mittel zur Verbesserung der Nutzungsergonomie ab. Das Prinzip des Eye-Trackings basiert hierbei grundsätzlich auf der Aufnahme zahlreicher Blickpunkte, der anschließenden Analyse bzw. Filterung der Rohdaten bezüglich u.a. Fixationen, Sakkaden, Suchpfaden, sowie Areas of Interest (AOIs) (siehe Tabelle 3) [14, S. 63].

Tabelle 3: Relevante Begriffe und Parameter für das Eye-Tracking [13, S. 373], [14, S. 65 f.]

	<b>Beschreibung</b>	<b>Messgrößen</b>
Fixation	Bereich im Blickfeld von ca. 20-50 px, an dem sich Blickpunkte über eine Zeitspanne von 200-300 ms bündeln	Fixationsdauer [ms] Fixationshäufigkeit X- und Y-Koordinaten
Sakkade	Rasche Augenbewegung während des Wechsels zwischen zwei Fixationen	Weg (Abstand zwischen den Fixationen) Zeitspanne [ms] Winkelgeschwindigkeit [°/s]
Scanpath/Suchpfad	Zusammensetzung aus alternierenden Fixationen und Sakkaden	Überflogene Fläche Suchpfadlänge [px] Suchpfaddauer [ms]
Stimulus	Visueller Reiz, der auf den/die Proband/-in einwirkt	Dynamikumfang (statisch/dynamisch) Interaktionsform (aktiv/passiv) Dimensionen (2D/3D)
Area of Interest	Bereiche des Stimulus welche für die Beantwortung der Forschungsfrage(n) von hoher Bedeutung sind	Betrachtungsdauer in der AOI [ms] Anzahl von Fixationen in der AOI
Transiton	Blickwechsel zwischen zwei AOIs	Anzahl der Übergänge

Für die Erfassung von Augenbewegungen und Blickrichtungen bieten sich u. a. Headmounted-Eye-Tracker Systeme wie das in der Studie verwendete „Pupil Core“-System, welches durch die Firma Eye-Square bereitgestellt wird (siehe Kapitel 4, Bild 4). Dessen Messprinzip basiert auf einer videokamerabasierten Cornea-Reflex-Methode, bei der mithilfe von, auf das Auge gerichteten, Infrarot-emittierenden Dioden, Reflexionen auf der Hornhaut herbeigeführt werden [13, S. 372]. Signifikante Vorteile von Licht mit einer Wellenlänge im infraroten Bereich ist die Unsichtbarkeit für das menschliche Auge [13, S. 372] sowie die Unempfindlichkeit gegenüber sich ändernden Lichtverhältnissen [15, S. 17].

Die während einer Messung gewonnenen Rohdaten können mittels verschiedener Methoden ausgewertet und visualisiert werden. Diese beruhen entweder auf der Analyse von einzelnen Punkten oder abgeleiteten Interessenbereichen [14, S. 66]. Das punktbasierte Prinzip setzt den Schwerpunkt auf die räumlichen und zeitlichen Eigenschaften der Augenbewegungen in ihrer Gesamtheit [14, S. 66]. Als Beispiel können hierfür Scanpaths angeführt werden. Im Gegensatz dazu sind bei der AOI-basierten Methode, z.B. bei Heatmaps, die Transitionen und gegenseitigen Wechselwirkungen der Interessenbereiche von hoher Bedeutung [14, S. 66]. Darüber hinaus werden auch häufig Visualisierungsmethoden verwendet, welche nicht spezifisch dem Eye-Tracking zugeordnet werden können [14, S. 69]. Dabei handelt es sich z.B. um Linien- bzw. Balkendiagramme oder Punktwolken, welche der Kategorie der statistischen Graphen untergeordnet sind (siehe Tabelle 4) [14, S. 69].

Tabelle 4: Übersicht Eye-Tracking-Visualisierungsmethoden

<b>Kategorien</b>	<b>Visualisierungsmethoden</b>
Statistische Graphen	Liniendiagramme, Balkendiagramme, Punktwolken, Boxplot
Punktbasierte Visualisierungen	Zeitstrahl, Heatmaps, visualisierte Scanpaths, Raum-Zeit-Würfel
AOI-basierte Visualisierungen	Zeitstrahl-AOI-Visualisierungen

Für die Visualisierung der in der durchgeführten Studie erhobenen Daten werden Balken- bzw. Kuchendiagramme, Scanpaths und Heatmaps herangezogen. Scanpaths sind eine In-Kontext-Visualisierungsmethode, da sie die aufgezeichneten Fixationen mit dem Blickfeld überlagern [14, S. 71]. Diese raum-zeitliche Visualisierung, ermöglicht eine parallele Ausgabe der sequenziellen Fixationen und Sakkaden [13, S. 373]. Die Länge der Scanpaths kann als Indikator für die Effizienz bei der Blickführung dienen: Womit je kürzer die Blickwege (bei erfolgreicher Aufgabenbewältigung) desto effizienter das Suchverhalten [16, S. 488]. Aus ergonomischer Sicht können somit Erkenntnisse zur Übersichtlichkeit und Anwen- derführung zwischen den Benutzeroberflächen gewonnen werden.

Bei Heatmaps handelt es sich um eine räumliche Visualisierungstechnik, die die Fixierungspositionen als Overlay über dem Stimulus (siehe Tabelle 4) veranschaulicht [14, S. 70], [13, S. 374]. Da die Darstellung nicht nur in statischer, sondern auch animierter Form erfolgen kann, können Heatmaps dynamische Stimuli und deren Fixationsänderungen in der zeitlichen Abfolge veranschaulichen [14, S. 70]. Sie ermöglichen somit eine grafische Vergleichbarkeit der Aufmerksamkeits-

verteilung zwischen mehreren AOIs oder Probanden [13, S. 374]. Die Darstellungsformen variieren zwischen Leuchtdichtekarten (rote Bereiche: häufig fixiert, blaue Bereiche selten fixiert), 3D-Landschaften sowie zweidimensionale topographische Karten [14, S. 70]. Liegt ein dreidimensionaler Stimulus (wie im Fall der Bestandsanlage) vor, erfordert dieser entweder eine Heatmap mit drei Dimensionen, oder muss auf mehrere zweidimensionale Flächen heruntergebrochen werden (siehe Bild 2) [14, S. 70]. Für die Studienauswertung wurde sich für die letztere Methode entschieden. Heatmaps bieten Hinweise, wie intensiv verschiedene Oberflächenelemente wahrgenommen werden. Die so gewonnene Transparenz ermöglicht die Bewertung von Oberflächenelementen herangezogen werden.

Für die Analyse der Software-Ergonomie wird daher die Blickverteilung auf die verschiedenen AOIs [%] sowie die Betrachtungsdauer [s] fokussiert. Zuzüglich ermöglicht die Blickweglänge [m] und die Identifizierung von Orten mit erhöhter Aufmerksamkeit ein umfassendes Bild zur Effektivität im Umgang mit der Anlage und den Benutzeroberflächen.

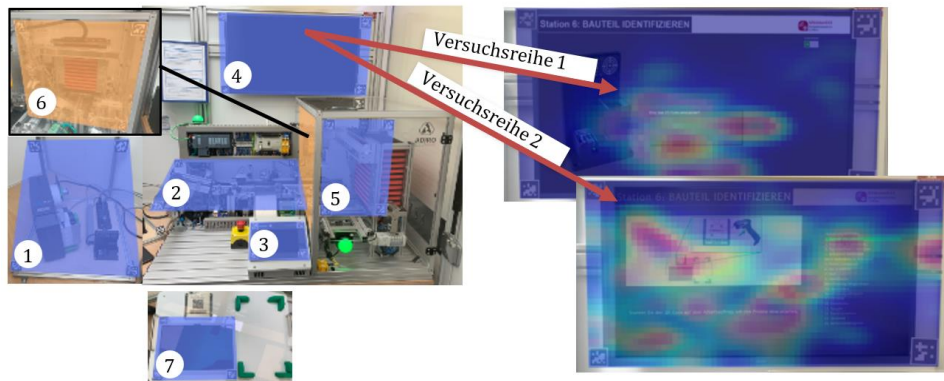


Bild 2: links: Anordnung der AOIs, RFID-Tag-Magazin (1), Anlagenteil\_1 (2), HMI (3), Monitor (4), Schutzeinhausung-Vorderseite (5), Schutzeinhausung-Seitenfläche (6), Werkerassistenzsystem (7)  
rechts: Veränderung der Blickverteilung auf dem Monitor visualisiert mithilfe von Heatmaps

## 4 Vitalparameter

Der biologische Prozess zur Herbeiführung von Stressreaktionen und somit messbaren Veränderungen verschiedener Vitalparameter, kann auf zwei Weisen erfolgen [17, S. 3 ff.]. Eine Möglichkeit besteht in der Erregungsleitung über das zentrale Nervensystem, wodurch nachfolgend die Ausschüttung von Adrenalin bzw. Noradrenalin intensiviert wird [17, S. 4]. Der dadurch in Alarmzustand versetzte Organismus, zeichnet sich durch eine erhöhte Herz- und Atemfrequenz, vermehrt durchblutete Muskelgruppen, gesteigerten Blutzuckerspiegel aufgrund freigesetzter Energiereserven und gehemmter Verdauung sowie Sexualität infolge von reduzierter Durchblutung der entsprechenden Organe aus [17, S. 4 f.]. Aufgrund einer geringfügigen zeitlichen Verzögerung zwischen Initiieren und Eintreten der Stressreaktion, wird diese auch als schnelle Stressreaktion bezeichnet [10, S. 101], [17, S. 5]. Deutlich zeitverzögerter (nachweisbar), als diese elektrochemische Erregungsweiterleitung, sind körperlichen Stressreaktionen basierend auf dem hormonellen Transport per Blutbahn [17, S. 5]. Während dieser langsamen Stressreaktion wird das Stresshormon Kortisol freigesetzt, welches beispielsweise den Fett- und Glukosestoffwechsel beeinflusst [10, S. 101], [17, S. 5 f.], [18, S. 61 f.]. Durch die geringe Reaktivität, welche eine Zuordnung der gemessenen Stressreaktionen erschwert und die Notwendigkeit einer laborgestützten Auswertung genomener Speichelproben benötigt, wird sich in diesem Beitrag auf Vitalparameteränderungen aufgrund der schnellen Stressreaktion konzentriert [19, S. 40]. Die Tabelle 5 bietet hierfür eine Übersicht über mögliche und während der Studiendurchführung gemessene stressindizierende Vitalparameter.

Die Evaluierung der Stressreaktionen basiert neben der Herzrate [bpm], auf spezifischen Parametern der Herzratenvariabilität. Berücksichtigt werden hierbei der Baevski-Stressindex, die Standard Deviation of RR-Intervals (SDNN), die Root Mean Sum of Squared Distance (rMSSD) und der prozentuale Anteil aufeinanderfolgender RR-Intervalle mit einer Differenz von 50 ms (pNN50). Zusätzlich mit dem kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen Blutdruck [mmHg] und der Sauerstoffsättigung des Bluts [%] kann eine große Bandbreite an Vitalmesswerten, die auf Stressreaktionen hindeuten, abgedeckt werden. Ergänzend wird die elektrodermale Aktivität, folglich Leitwertänderungen der Haut aufgrund von Schweißbildung gemessen. Für die Auswertung von Stressreaktionen wird sich im ersten Ansatz auf die Auswertung der

Herzrate bzw. Herzratenvariabilität konzentriert, da diese die präzisesten und verlässlichsten Indikatoren für Stressreaktionen erwarten lassen. Für die Erhebung der Vitalparameter wurden verschiedene Messgeräte entsprechend Tabelle 5 eingesetzt. Deren Anbringungsorte sind dem Bild 3 zu entnehmen.

Tabelle 5: Übersicht der verwendeten Messgeräte im Studienverlauf

Bst.	Gerätetyp	Hersteller und Gerätebezeichnung	Messwertaufnahme über/ mithilfe
A	Multifunktionsgerät: EEG-EOG-Messgerät	Somnomedics GmbH: SOMNObotouch™ NIBP	EEG/EOG-Sensoren am Kopf
B, C	Multifunktionsgerät: kontinuierliches Blutdruck- Messgerät	Somnomedics GmbH: SOMNObotouch™ NIBP	4-Kanal-EKG und einem Fingerklipp
D	diskontinuierliches Blut- druckmessgerät	BOSCH + SOHN GmbH U.CO.KG: boso- medicus uno	Manschette
E	1-Kanal-EKG-Sensor	Movisens GmbH: EcgMove 4	Elektroden im Brustgurt
F	EDA-Sensor	Movisens GmbH: EdaMove 4	Gelelektroden an der rechten Handflä- che
G	Pulsoximeter	Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., LTD: PM60	Fingerklipp am rechten Ringfinger
H	Headmounted Eye-Tracker	Pupil Labs GmbH: Pupil Core	Umgebungs-kamera (1), Infrarot-Au- genkameras (2)

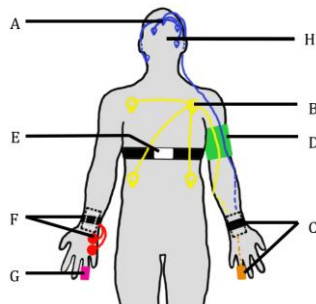


Bild 3: Anbringungsorte der Vitalmessgeräte



Bild 4: verwendeter Eye-Tracker „Pupil Core“ der Firma Pupil Labs, bereitgestellt durch die Firma Eye-Square GmbH

## 5 Studiendesign und Ergebnisse

Die Studiendurchführung erfolgt in zwei Teilstudien. Die erste Versuchsreihe dient der Aufnahme der Ist-Situation bzw. Ermittlung von Vergleichswerten, indem die Proband/-innen mithilfe des bestehenden Visualisierungskonzepts den Prozess durchführen und weiterführende Funktionen der Anlage bedienen. In der zweiten Versuchsreihe durchlaufen die Proband/-innen nahezu dieselben Aufgaben, jedoch diesmal mit einer überarbeiteten Visualisierung. Anhand eines Fragebogens wird die Nutzerzufriedenheit (subjektive Einschätzung) mit der Bearbeitungszeit, Fehleranzahl und Erfolgsquote gegenübergestellt. Die Nutzerzufriedenheit oder auch User Experience entspricht dabei der „*Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Systems, eines Produkts oder einer Dienstleistung resultieren*“ [20, S. 12]. Die einzelnen Studienphasen, deren Zweck sowie die eingesetzten diagnostischen Methoden sind in der Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Übersicht Studienphasen sowie deren Messverfahren/ -parameter

Phase	Vorbereitung	Ruhephase 1	Kopfrechenaufgaben	Inbetriebnahme Eye-Tracker	Prüfphase (Teilversuche 1-6)	Fragebogen	Ruhephase 2
Zweck	Anbringen der Vitalparameter-Messgeräte	Messen von Stressreaktionen durch Anbringen der Messgeräte	Messen von Stressreaktionen bei divergierender mentaler Belastung als Vergleichswerte	Messen von Stressreaktionen durch Eye-Tracker-Kalibrierung	Messen von Stressreaktionen durch die Bedienung der Anlage	Messen von Stressreaktionen durch Ausfüllen des Fragebogens	Messen von Stressreaktionen durch Versuchsdurchführung
Messverfahren /-parameter	EKG, EDA, EEG/EOG, Sauerstoffsättigung, Uhrzeit, Blutdruck						
					Bearbeitungszeit, Versuche	Nutzereindrücke	

Für die Auswertung werden Teilversuch 1, 2 und 5 (im Folgenden: [T1, T2, T5]) beider Versuchsreihen (im Folgenden: [V1, V2]) herangezogen, da diese die wichtigsten und komplexesten Aufgaben in der Anlagennutzung und der offenen Themenstellung widerspiegeln. Die anderen Phasen dienen als Referenz- bzw. Vergleichswerte. Mithilfe von T1 wird evaluiert, wie effektiv ungeschultes Personal durch die Visualisierungen bei der Ausführung der nötigen Arbeitsschritte zum Aufbringen und Beschreiben eines RFID-Tags auf einem Bauteil unterstützt wird. T2 betrachtet die Visualisierungskonzepte bzgl. einer intuitiven Prozessdurchführung an der Anlage für ungeschultes Bedienpersonal. Der fünfte Teilversuch simuliert einen Fehlerfall an der Bestandsanlage, welcher ausschließlich in den Aufgabenbereich des Wartungspersonals fällt. T5 dient somit zur Untersuchung von Handlungsanweisungen zur zielorientierten Fehlerbehebung.

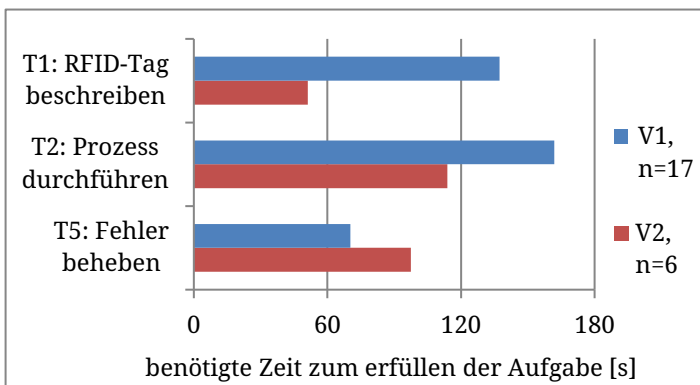


Bild 5: Durchschnittliche Zeit zur Aufgabenerfüllung je Teilversuch

Hinsichtlich der benötigten Zeit zur Aufgabenerfüllung ist in T1 eine Reduzierung der Bearbeitungszeit von 137,3 s in V1 gegenüber 51,2 s in V2 erkennbar (siehe Bild 5). Das Beschreiben der Bauteile beansprucht durch die Nutzung der überarbeiteten Visualisierung folglich 63 % weniger Zeit. Nicht in diesem Ausmaß, jedoch ebenfalls deutlich ist die Zeitreduzierung im zweiten Teilversuch von 161,9 s (V1) auf 113,8 s (V2). Dies kann auf die übersichtlichere, bildunterstützte und bedarfsorientiertere Anleitungsgestaltung zurückgeführt werden. In T5 zeichnet sich zunächst ein gegensätzliches Bild ab, da der Zeitbedarf von 70,3 s (V1) auf 97,5 s (V2) ansteigt. Allerdings wurde der zu beseitigende Fehler

und somit die benötigten Schritte zur Fehlerbehebung variiert, damit die Proband/-innen entsprechend unvorbereitet sind. Die Behebung des Fehlerfalls in der zweiten Versuchsreihe erfordert mit effektiv fünf Tätigkeiten mehr Handlungsschritte zur Fehlerbeseitigung, als der Fehlerfall in der ersten Versuchsreihe mit lediglich drei Handlungsschritten. Teilt man die durchschnittliche Gesamtzeit der Aufgabenbearbeitung durch die Anzahl erforderlicher Handlungsschritte werden 23,4 s pro Schritt bei V1 und 19,5 s pro Schritt bei V2 benötigt, eine Reduzierung von ca. 4 s pro Handlungsschritt bzw. 17 % Zeiteinsparung. Die benötigte Zeit pro Handlungsschritt, fällt somit in allen betrachteten Teilversuchen geringer aus.

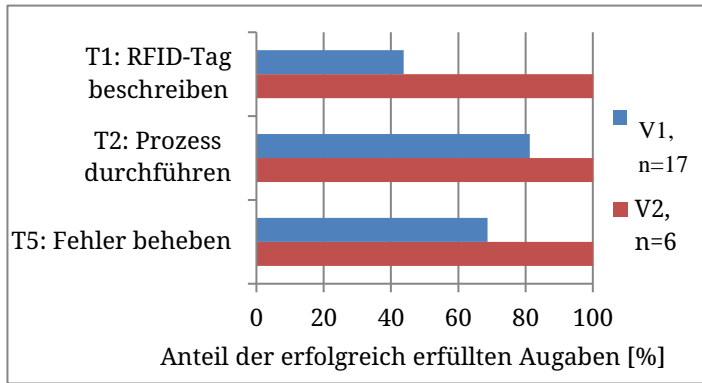


Bild 6: Erfolgsquote bei der Aufgabenerfüllung

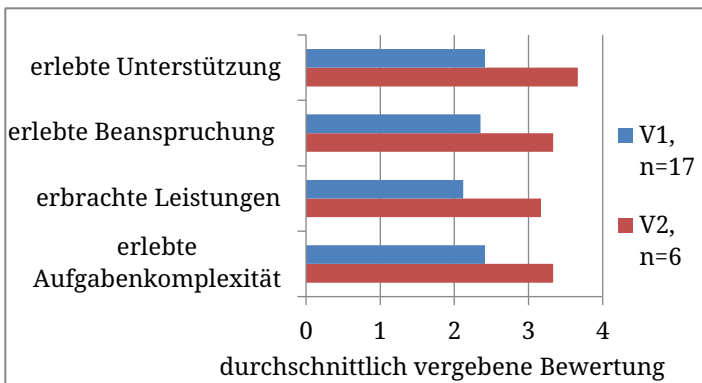


Bild 7: subjektive Eindrücke T1

die überarbeitete Visualisierung vor der ursprünglichen.

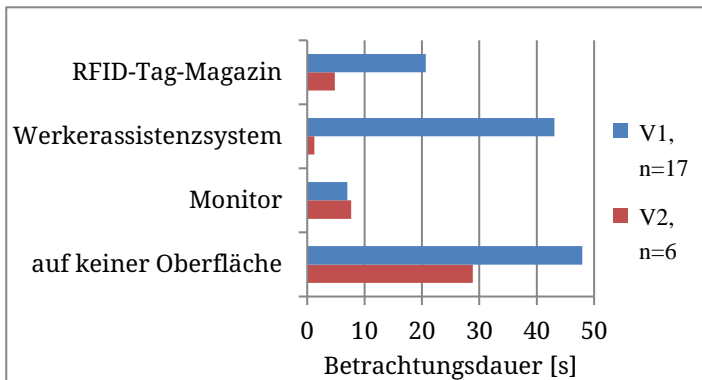


Bild 8: Unterschiede in der durchschnittlichen Betrachtungsdauer relevanter AOIs, V1-T1 und V2-T1

Benutzeroberflächen auf eine wesentlich effizientere Informationsübermittlung, sowie Bedienung zurückgeführt werden.

Für die Herleitung möglicher Stressreaktionen im Umgang mit den Visualisierungskonzepten wurde sich primär auf die Herzrate konzentriert. Beurteilt man die Herzrate derselben Person zwischen den Versuchsreihen, variieren diese allerdings stark. Die erste Ruhephase der ersten Versuchsreihe mit durchschnittlich 84,9 bpm zeugt bei Proband/-in 1 von einer höheren Belastung, als V2 mit 75,1 bpm. Unterdessen stellt sich für Versuchsperson 2 diese Studienphase während der zweiten Versuchsreihe als belastender heraus. Mit 93,7 bpm in V2 gegenüber 79,7 bpm in V1 liegt eine deutliche Diskrepanz von 14 bpm vor. Aufgrund einer um 12,2 bpm erhöhten Herzrate in V2 kann hingegen bei Versuchsperson 2 hingegen von einer höheren Belastung ausgegangen werden. Bei Proband/-in 3 weist die Herzraten in beiden betrachteten

Beim prozentualen Anteil erfüllter Aufgabenstellungen führte die Verwendung der überarbeiteten Visualisierung stets zu einer höheren Erfolgsquote (Bild 6). Während mithilfe der ursprünglichen Visualisierung eine Erfolgsquote von lediglich 43,8 % in T1; 81,3 % in T2 und 68,8 % in T5 erzielt werden konnte, stellt die überarbeitete Visualisierung mit einer Erfolgsquote von 100 % in allen Teilversuchen eine erhebliche Verbesserung dar. Dies zeugt von einer überlegenen Benutzerführung und Anleitungsaufbereitung.

Dieser Eindruck wird auch durch die subjektive Wahrnehmung der Proband/-innen bestätigt. Bei der Bewertung der einzelnen Teilversuche gilt je höher die Punktzahl desto besser, wobei eine Punktzahl von 4 das Optimum darstellt. Die Bewältigung des ersten Teilversuchs, zu sehen in Bild 7, wird unter Verwendung der optimierten Visualisierung als leichter (V1: 2,4 zu V2: 3,3), weniger beanspruchend (V1: 2,4 zu V2: 3,3) und als besser unterstützt (V1: 2,4 zu V2: 3,7) empfunden. Darüber hinaus hatten die Probanden/-innen bei der Nutzung der überarbeiteten Visualisierung vermehrt den Eindruck den geforderten Aufgabenstellungen gerecht zu werden (V1: 2,1 zu V2: 3,2). Somit liegt in allen Kategorien

Im Voraus der Studiendurchführung wurden sieben Interessenbereiche auf der Anlage definiert. Position und Benennung sind in Bild 2 ersichtlich. Addiert man die Betrachtungsdauer auf den untersuchten AOIs mit der Betrachtungsdauer außerhalb jeder definierten AOI zusammen, ist eine deutliche Reduktion unter Verwendung der überarbeiteten Visualisierung erkennbar. Mit 118,7 s in V1 fällt diese fast drei mal so hoch aus wie in V2 mit 42,6 s. Diese deutliche Zeitreduktion spiegelt sich ebenfalls im direkten Vergleich der einzelnen AOIs wieder. Unter Berücksichtigung von Erfolgsquote und benötigter Zeit zur Aufgabenerfüllung kann die reduzierte Betrachtungsdauer der relevanten



Studienphasen beider Versuchsreihen den identischen Wert auf, sodass mit der bisherigen Datenlage keine konkrete Aussage zu einer Stressreduktion bzw. Erhöhung getroffen werden kann. Jedoch kann trotzdem von einer Stressreduktion ausgegangen werden, da die Belastung im Zuge der technischen Komplexität, Stress durch Mensch-Maschinen-Interaktionen sowie auch die Unzuverlässigkeit durch Technik reduziert werden konnte. Einerseits im Rahmen der zeitlichen Belastung, andernfalls im Rahmen der sicheren Fehlerbehebung und der Reduzierung der technischen Komplexität mittels der Software-Ergonomie.

Dass der Ansatz der Stressreduzierung am Beispiel der Herzraten funktioniert zeigt das Anforderungs-Kontroll-Modell nach Karasek und Theorell [21]. Bei der Beantwortung des Fragebogens am Ende der Versuche V1 und V2 stieg die Herzrate bei allen Versuchspersonen um mindestens 3 bpm an. Dies liegt an der gesteigerten Herausforderung im Bezug auf die Bewertung der neuen Visualisierung. Durch die gesteigerte Akzeptanz gegenüber der neuen Bedienoberfläche fiel es den Probanden schwerer die User Experience im Entscheidungsraum von 1 bis 6, nach Schulnoten, zu bewerten. Im V1 wurden noch für die Visualisierung Bewertungen zwischen 2 und 4 abgegeben. Im Gegensatz dazu lagen die Bewertungen zwischen 1 und 2 in V2. Womit die Probanden/innen in eine Konfliktsituation mit der eigenen Notenvergabe geraten sind. Da die Bewertung mit einer 1 entsprechende Anforderungen gegenüber dem Ergebnis/Produkt und den eigenen Ansprüchen bedeutet.

Tabelle 7: Durchschnittliche EKG-Parameter ausgewählter Versuchspersonen in Ruhephase 1

Proband/-in Nr.	Versuchsreihe	Baevsky-Stressindex □	Hr [1/min]	Pnn50 [%]	Rmssd [ms]	Sdnn [ms]
1	1	159,3	97,2	1,2	18,1	37,4
	2	238,3	96,1	2,4	19,2	37,4
2	1	161,7	87,8	7,8	30,5	49,4
	2	258,0	100,0	4,5	26,2	46,3
3	1	196,3	67,3	5,9	22,4	31,8
	2	239,3	67,3	2,2	19,4	28,1

Tabelle 8: Durchschnittliche EKG-Parameter ausgewählter Versuchspersonen in den ersten 50 s von T1

Proband/-in Nr.	Versuchsreihe	Baevsky-Stressindex □	Hr [1/min]	Pnn50 [%]	Rmssd [ms]	Sdnn [ms]
1	1	122,4	84,9	13,3	32,5	47,8
	2	75,5	75,1	26,6	48,6	52,3
2	1	98,7	79,7	12,4	35,5	51,1
	2	209,2	93,7	6,1	26,5	42,8
3	1	57,2	61,6	16,8	40,3	55,4
	2	67,8	61,6	26,4	50,4	55,8

## 6 Diskussion und Ausblick

Eine vergleichende Auswertung der Daten vor und nach Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen zeigt, dass eine teils erhebliche Reduzierung der benötigten Zeit zur Erfüllung der Studienaufgaben erreicht wurde. Auch die ermittelte Blickweglänge mittels Eye Tracking als Indikator für eine effiziente und zielgerichtete Blickführung bei der Anlagenbedienung fällt durch die überarbeitete Visualisierung geringer aus, was unter Berücksichtigung der durchweg gesteigerten Erfolgsquote auf eine Stresssenkung im Umgang mit der Anlage und der Software-Ergonomie schließen lässt. Die mehrheitlich positiveren Nutzereindrücke der Proband/-innen weisen unterdessen auf eine gesteigerte Nutzerzufriedenheit durch das überarbeitete Bedienkonzept hin. Einige Teilversuche wurden durch die Probanden so schnell erfolgreich durchlaufen, dass sich die Vitalwertänderungen dadurch nicht erfassen ließen oder nicht zugeordnet werden konnten. Zudem ließen die unterschiedlichen Ausgangslagen der Vitalparameter zwischen V1 und V2 eine Ableitung eindeutiger Erkenntnisse nicht zu, da die Vitalparameter teilweise recht unterschiedlich angesprochen haben. Eine parallele Ableitung der Messergebnisse aus den unterschiedlichen diagnostischen Methodiken kann einen tieferen Einblick in die Vitalwertänderung unter Stresseinwirkungen liefern. Als Basis hierzu empfehlen die Autoren für die Vitalwertaufnahmen längere Teilversuche aufzubereiten. Hierbei ist auf eine konstante Stressbelastung zu achten, damit Entspannungsphasen die Vitalparameter im Median nicht belasten oder Ergebnisse entsprechend verfälschen. Die vorgestellte Methodik hat gezeigt, dass die Software-Ergonomie Auswirkungen auf die Stressbelastung und Problembewältigung hat und mittels diverser Messmethoden

erfasst werden kann. Weitere detaillierte Untersuchungen sind jedoch notwendig, um die verschiedenen Messmethoden in ein einheitliches Modell zu überführen.

## 7 Literatur

- [1] A. Renda *et al.*, *Industry 5.0, a transformative vision for Europe: Governing systemic transformations towards a sustainable industry*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021.
- [2] N. Günther, J. Reiff-Stephan und U. Berger, Hg., *Industrie 5.0 - Integration des menschen als sozio-kognitives System in sozio-cyberphysischen Produktionssystemen (SCPPS) in EKA 2022: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme*, 2022.
- [3] B. Meyer, A. Zill und D. Dilba, *Entspann dich, Deutschland!: TK-Stressstudie 2021*. Hamburg: Techniker Krankenkasse, 2021.
- [4] Grobe, T., Bessel, S., *TK-Gesundheitsreport 2022-Arbeitsunfähigkeiten*. Hamburg: Techniker Krankenkasse, 2022.
- [5] N. Abele und K. Kluth, "Interaktions-ergonomische Gestaltung und Kompatibilität von AR-unterstützten Informationsdarstellungen am Beispiel eines Head-Mounted Displays für industrielle Rüstvorgänge," *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Jg. 76, Nr. 3, S. 303–317, 2022.
- [6] G. Ernst, A. Franke und P. Franzkowiak. "Stress und Stressbewältigung." <https://leitbegriffe.bzga.de/alphabetisches-verzeichnis/stress-und-stressbewaeltigung/> (Zugriff am: 2. Apr. 2022).
- [7] G. Kaluza, *Stressbewältigung: Trainingsmanual zur psychologischen Gesundheitsförderung*, 4. Aufl. (Psychotherapie: Praxis). Berlin: Springer, 2018.
- [8] M. Kittelmann, L. Adolph, A. Michel, R. Packroff, M. Schütte und S. H. Sommer, *Handbuch Gefährdungsbeurteilung*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2021.
- [9] M. Tarafdar, Q. Tu und T. S. Ragu-Nathan, "Impact of Technostress on End-User Satisfaction and Performance," *Journal of Management Information Systems*, Jg. 27, Nr. 3, S. 303–334, 2010.
- [10] R. Riedl, "Mensch-Computer-Interaktion und Stress," *HMD*, Jg. 50, Nr. 6, S. 97–106, 2013.
- [11] C. Maier, "Technostress : theoretical foundation and empirical evidence," Dissertation, opus und Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Fakultät Wirtschaftsinformatik und Angewandte Informatik.
- [12] N. Dragano, S. G. Riedel-Heller und T. Lunau, "Haben digitale Technologien bei der Arbeit Einfluss auf die psychische Gesundheit?," *Nervenarzt*, Early Access.
- [13] M. Barkowsky *et al.*, "Mobiles Eye-Tracking in den angewandten Wissenschaften," *Bavarian Journal Of Applied Sciences*, Nr. 4, S. 370–395, 2018.
- [14] T. Blascheck, K. Kurzhals, M. Raschke, M. Burch, D. Weiskopf und T. Ertl, "State-of-the-art of visualization for eye tracking data," in *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis) (2014)*.
- [15] F. Barbuceanu und C. Antonya, "Eye tracking applications," Transilvania University of Brasov, Dept. of Product Design and Robotics, Rep. 2, 2009.
- [16] X. P. Kotval und J. H. Goldberg, "Eye Movements and Interface Component Grouping: An Evaluation Method," in *PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS 42nd ANNUAL MEETING - 1998*, Bd. 42, S. 486–490.
- [17] B. von Dawans und M. Heinrichs, "Physiologische Stressreaktionen," in *Handbuch Stressregulation und Sport*, R. Fuchs und M. Gerber, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017, S. 1–15.
- [18] R. Riedl, H. Kindermann, A. Auinger und A. Javor, "Technostress aus einer neurobiologischen Perspektive," *Wirtschaftsinf*, Jg. 54, Nr. 2, S. 59–68, 2012.
- [19] S. Helbig, "Geschlechterunterschiede in der physiologischen und psychologischen Stressreaktion im experimentellen und naturalistischen Setting unter Berücksichtigung der Faktoren Schlaf und kognitive Bewertung," Universitäts- und Landesbibliothek Bonn.
- [20] *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*, DIN ISO 9241-11, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Nov. 2018.
- [21] R. A. Karasek und T. Theorell, *Healthy work: Stress, productivity, and the reconstruction of working life*. New York: Basic Books, 1990.