

*Abschlussbericht zum Vorhaben
„FF-FP 0458“
Integration tätigkeitsspezifischer
Belastungswechsel zur Verringerung der
physischen Beanspruchung bei Taktarbeit*



Laufzeit

01.03.2021 – 31.08.2022

Bericht vom 30.11.2022

Autoren:

Univ-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse¹,
Steffen Jansing¹, Christoph Rieger¹

PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber²,
Florestan Wagenblast²

¹ Institut für Produktionssysteme, Technische Universität Dortmund

² Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen

Hinweise

Dieses Forschungsprojekt wurde durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Förderkennzeichen FF-FP 0458) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung obliegt den Autoren.



Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in diesem Dokument auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung deutsch

Kurzfassung englisch

1. Problemstellung

2. Forschungszweck/-ziel

3. Methodik

4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

8. Anhang/Anhänge

Unterschriftenseite verpflichtend für Kooperationsprojekte

Kurzfassung deutsch

Ziele

Die Verbreitung taktgebundener Arbeit im produzierenden Gewerbe steht im Gegensatz zu den gesundheitlichen Folgen für die Beschäftigten. So gelten repetitive Tätigkeiten als wesentlicher Risikofaktor für das Auftreten muskuloskelettaler Beschwerden und Krankheiten. Ziel des Forschungsprojektes ist der mittels „Proof of Concept“ (PoC) Studie zu erbringende Nachweis, dass durch spezifische Belastungswechsel zur Erhöhung der Belastungsvariation der involvierten Muskelgruppen während Taktarbeit ein sinnvolles und probates Mittel für die beanspruchungsreduzierende Gestaltung von Taktarbeit darstellt, ohne die Produktivität zu beeinträchtigen. Darauf aufbauend wird eine Methodik entwickelt, die es betrieblichen Praktikern ermöglicht, tätigkeitsspezifische Belastungswechsel an taktgebundenen Arbeitsplätzen zu integrieren. Dieser Ansatz zielt darauf ab, das Risiko für Muskelskelett-Erkrankungen (MSE) und Muskelskelett-Beschwerden (MSB) an taktgebundene Arbeitsplätzen zu mindern und nachhaltig Berufskrankheiten entgegen zu wirken.

Aktivitäten/Methoden

Zu Beginn erfolgte die Definition der Anforderungen an den Referenzmontageprozess auf Basis einer für die Antragstellung durchgeführten Literaturrecherche, Interviews mit Experten aus der Industrie und Zusammenarbeit des Instituts für Produktionssysteme (IPS) der TU Dortmund und des Instituts für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung (IASV) des Universitätsklinikums Tübingen. Nach der Definition erfolgte die Herleitung des Versuchsaufbaus einschließlich einer initialen Messreihe, um die Datengrundlage für eine Neukonfiguration der Montagereihenfolge zu generieren. Bei der Neukonfiguration wurden aufeinanderfolgende Teiltätigkeit mit erhöhter muskulärer Beanspruchung im M. trapezius pars descendens mit Teiltätigkeiten geringerer muskulärer Beanspruchung unterbrochen, um der beanspruchten Muskulatur mehr Möglichkeiten zur kurzzeitigen Erholung zu geben. In der darauffolgenden Datenerhebung (PoC-Studie) wurde dieser neukonfigurierte Prozess mit spezifischen Belastungswechseln mit dem ursprünglichen Referenzmontageprozess verglichen. Dazu wurden insgesamt 38 Probanden in Experimenten mit Within-Subject-Design mit Messwiederholung betrachtet. Der Einfluss spezifischer Belastungswechseln auf die muskuläre Beanspruchung und Beschwerdeentwicklung wurde objektiv mittels Oberflächenelektromyographie (OEMG) bzw. subjektiv mittels einer Bewertung von auftretenden Beschwerden an der oberen Extremität untersucht. Zusätzlich wurden verschiedene Arbeitsökonomische, physiologische und subjektive Kontrollparameter zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der neukonfigurierten Montagereihenfolge erhoben. Die Ergebnisse wurden in einem abschließenden Forschungsbegleitkreistreffen präsentiert und gemeinsam diskutiert.

Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes konnte auf Grund mangelnder signifikanter Effekte keine Überlegenheit der Neukonfiguration gegenüber dem Referenzmontageprozess gezeigt werden. Dennoch wurde die Relevanz des Forschungsthemas für eine ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen durch die Forschungspartner und den Forschungsbegleitkreis während der Projektlaufzeit regelmäßig hervorgehoben und betont. Weitere Forschungsbedarfe in unterschiedlichen Bereichen konnten identifiziert werden. Hierzu zählen u. a. die Auswahl der Belastungshöhen, Anlernzeiten und -effekte, psychologische Auswirkungen auf die Trapezmuskulatur und Überlagerungseffekte. Die identifizierten Forschungslücken sind durch aufbauende Studien im Vorfeld einer erneuten Überprüfung der Forschungshypothese zu bearbeiten.

Kurzfassung englisch

Aims

The prevalence of repetitive work in the manufacturing industry contrasts with the health consequences for workers. For example, repetitive tasks are considered a major risk factor for the development of work-related musculoskeletal complaints and disorders. The aim of this research project is to provide proof of concept (PoC) that the integration of muscle-specific load alternations is a useful and appropriate approach reducing physical strain during cyclic, repetitive work. Based on this PoC, a methodology will be developed to enable occupational practitioners to integrate muscle-specific load alternations at workplaces with cyclic repetitive tasks. This approach aims to reduce the risk of musculoskeletal disorders (MSDs) and musculoskeletal complaints (MSBs) related to repetitive occupational work and to prevent occupational diseases in the long term.

Activities/Methods

At the beginning, the requirements for the reference assembly process were defined on the basis of a literature research conducted for the proposal, interviews with experts from industry and collaboration of the Institute for Production Systems (IPS) of the TU Dortmund University and the Institute for Occupational and Social Medicine and Health Services Research (IASV) of the University Hospital Tübingen. Once defined, the experimental setup was derived, including an initial series of measurements, to generate the data basis for a reconfiguration of the assembly process. During the reconfiguration, successive partial activities with increased muscular demands in the upper trapezius muscle were interrupted by partial activities of lower muscular demands in order to give the muscles more opportunities for short-term recovery. In the subsequent data collection (PoC study), this reconfigured process with specific load alternations was compared with the initial reference assembly process. For this purpose, a total of 38 subjects were included in an experiment with within-subject design with measurement repetition. The influence of muscle-specific load alternations on muscular strain and complaint development was investigated objectively by means of surface electromyography (OEMG) and subjectively by means of physical complaints in the upper extremity. In addition, various work-economic, physiological, and subjective control parameters were collected to examine the comparability of the reconfigured assembly sequence with the reference process. The results were presented and jointly discussed in a final research committee meeting.

Results

Within the scope of the research project, the potential superiority of the reconfiguration compared to the reference assembly process could not be confirmed due to a lack of significant effects. The relevance of the research topic for an ergonomic design of work systems was regularly emphasized by the research partners and the research advisory board during the project. In the course of the project, further research needs in different areas could be identified. These include the selection of load levels, learning times and effects, psychological effects on trapezius muscles and superposition effects. The identified research gaps are to be addressed by constructive studies in advance of a renewed examination of the research hypothesis.

1. Problemstellung

In Deutschland arbeiten 45% der Beschäftigten von produzierenden Unternehmen in taktgebundener Arbeit (BAuA 2021). Das hohe Maß an Verbreitung begründet sich in den Vorteilen des Einsatzes von Taktarbeit. Hierzu zählen u. a. neben einer hohen Produktivität eine erhöhte Transparenz von Produktionsprozessen sowie eine reduzierte Anlernzeit der Beschäftigten (Rosen 2018). Über die Zeit hat sich bei produzierenden Unternehmen eine Zykluszeit von ca. 60 Sekunden etabliert (Jürgens 2006).

Der stetige Trend der Verkürzung von Zykluszeiten (Nof et al. 2012) von repetitiver taktgebundener Arbeit gilt als bedeutender Risikofaktor für die Entstehung verschiedener Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) und -Beschwerden (MSB) (Seidel et al. 2019). Neben den physischen Belastungen treten häufig auch erhöhte psychische Belastungen durch Arbeitskomplexität, Handlungsspielraum, Variabilität, Zeitspielraum, Verantwortungsumfang, Arbeitsunterbrechungen, Konzentrationserfordernisse und Kooperationserfordernisse auf (u. a. Landau 2007, Rosen et al. 2016; DGUV 2015, DGUV 2020, Feldes et al. 2006, Koukoulaki 2014). Zur Reduzierung dieser Risikofaktoren wäre nach der Maßnahmenhierarchie im Deutschen Arbeitsschutz S-T-O-P (Substitution, Technische Maßnahmen, Organisatorische Maßnahmen, Personenbezogene Maßnahmen), das Ersetzen der taktgebundenen Arbeit oder der Einsatz technischer Maßnahmen anzuwenden. Jedoch ist eine Abkehr von Taktarbeit auf Grund des hohen Verbreitungs- und Anwendungsgrades, der sich insbesondere durch die genannten Vorzüge der Methode begründet, derzeit nicht zu erwarten. Auch konnten arbeitsorganisatorische Maßnahmen, wie Jobrotation bislang nicht die gewünschte Risikoreduktion erzielen (Padula et al. 2017). Daher bedarf es innovativer Ansätze, bei denen die Taktarbeit an den Menschen angepasst wird, um die Beanspruchungen auf Seite der Beschäftigten zu modifizieren und zu optimieren. Als Folge des demografischen Wandels steigt die Anzahl an älteren Beschäftigten in den kommenden Jahren weiter an. Erkenntnisse zur Physiologie des alternden Muskels (Distefano et al. 2018) legen nahe, dass ältere Beschäftigte aufgrund einer geringeren physischen Kapazität eine höhere arbeitsbedingte Beanspruchung aufweisen und andererseits eine verminderte Erholbarkeit längere Erholzeiten nach körperlichen Tätigkeiten erfordert. Dazu passend zeigt sich ein Anstieg der berufsbedingten Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems beispielsweise für das Karpaltunnel-Syndrom (BK 2113) (DGUV 2020). Beide Entwicklungen, wenn auch nicht unbedingt in kausalem Zusammenhang stehend, zeigen deutlich, dass hier ein konkreter Forschungsbedarf für innovative arbeitsgestalterische Ansätze besteht, um die Arbeitsfähigkeit an taktgebundenen Arbeitsplätzen zu erhalten. Forschungsarbeiten zur Pathophysiologie unspezifischer Muskelbeschwerden geben Grund zur Annahme, dass gezielte Belastungswechsel der beanspruchten Muskulatur während eines Montageprozesses zu einer Reduktion der physischen Beanspruchungen beitragen kann. Aufgrund der physiologischen Muskelfaserrekrutierung (Wilmore & Costil 2004) werden bei Muskelaktivierungen im submaximalen Bereich, wie es bei gleichförmigen beruflichen Tätigkeiten (z. B. kurzyklischer Taktarbeit) der Fall ist, i. d. R. stets dieselben motorischen Einheiten und dazugehörigen Muskelfasern aktiviert und beansprucht. Dies kann zu einer Überlastung bis hin zur Degeneration einzelner Muskelfasern führen (Westgaard 1999). Es wird angenommen, dass spezifische Belastungswechsel, die dieses stereotype Aktivierungsverhalten unterbrechen, einzelne motorische Einheiten vor solchen Überbelastungssituationen schützen (Visser & van Dieen 2006). Zudem bestehen Hinweise darauf, dass eine größere Belastungsvariation zu einer Entlastung von überlasteten motorischen Einheiten beiträgt, indem z. B. synergistische Muskeln (Palmerud et al. 1998) oder andere Bereiche der gleichen Muskulatur (Mathiassen & Winkel 1990) bzw. andere motorische Einheiten der gleichen Muskelregion (Westad et al. 2003) zur Ausführung der Bewegung eingesetzt werden. Die ansonsten dauerhaft belastete motorische Einheit eines Muskels mit ihren zugehörigen Muskelfasern erhält Zeit zur Erholung.

2. Forschungszweck/-ziel

Vor dem oben erläuterten Hintergrund zielt dieses Forschungsprojekt darauf ab in einer ¹Proof-of-Concept-Studie (PoC-Studie) aufzuzeigen, dass durch spezifische Belastungswechsel sowie eine Erhöhung der Belastungsvariation der involvierten Muskelgruppen bei Taktarbeit eine positive Wirkung auf Risikosurrogatparameter² für MSE/MSB erreicht werden kann. Auf Basis des PoC soll eine für die betriebliche Praxis anwendbare Methode zur Integration spezifischer Belastungswechsel in Taktarbeit unter Berücksichtigung tätigkeitsspezifischer Muskelbelastungen erarbeitet werden. Dazu wurden mittels eines explorativen Ansatzes folgende Forschungsfragen untersucht:

Frage 1: Wirkt sich die Durchführung von belastungsabhängigen Tätigkeitswechseln bzw. eine Erhöhung der Belastungsvariation positiv auf folgende objektive Risikosurrogatparameter für MSE/ MSB aus?

- Mittlere muskuläre Beanspruchung
- Statische Beanspruchung
- Muskuläre Ermüdung
- Muskuläre Erholzeit
- Motorische Variabilität (cycle-to-cycle variability)

Frage 2: Verringert die Durchführung von belastungsabhängigen Tätigkeitswechseln bzw. die Erhöhung der Belastungsvariation die subjektiv wahrgenommene Muskel-Skelett-Beanspruchung (Beschwerden/ Diskomfort und Anstrengung)?

Frage 3: Hat die Durchführung von belastungsabhängigen Tätigkeitswechseln bzw. die Erhöhung der Belastungsvariation einen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität (z.B. Ausbringungsmenge, Zykluszeit, Qualität)?

Im Besonderen besteht, neben dem Interesse der Wirtschaft und Wissenschaft, eine hohe Relevanz des Themas für die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Das Ziel des Forschungsprojektes besteht in der Erarbeitung einer Basis zur Anwendung spezifischer Belastungswechsel bei der Bewertung und Gestaltung bestehender bzw. neuer Montageprozesse in industriellen Prozessen. Hierdurch ergibt sich der besondere Nutzen für die DGUV in der signifikanten Verbesserung von Arbeitsbedingungen und dem Beitrag zur Prävention von MSE/MSB bedingten Berufskrankheiten. Das Projekt weist eine Praxisrelevanz für Beschäftigte in produzierenden Unternehmen auf, welche in kurzzyklisch getakteten Arbeitsprozessen tätig sind. Diese stellen einen hohen Anteil der Produktionsmitarbeiter/-innen in Deutschland dar und sind durch die sich wiederholenden Tätigkeitsabläufe einem erhöhten Risiko für die Entstehung von MSE ausgesetzt. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens aufzuzeigende positive Wirkung einer Einbringung spezifischer Belastungswechsel auf Risikosurrogatparameter für MSE stellt diesbezüglich einen möglichen neuen Ansatz zur ergonomischeren Gestaltung getakteter Produktionsarbeit dar.

¹ Der Begriff Proof-of-Concept Studie wurde gewählt, da im Rahmen des Projekts prinzipiell gezeigt werden soll, dass der Ansatz funktionieren kann und gleichzeitig jedoch zahlreiche Limitationen bzgl. Risikosurrogatparameter, Transfer auf reale Arbeitsplätze, andere getaktete Tätigkeiten und Personengruppen bestehen bleiben. Eine Längsschnittstudie, die eine Kausalzusammenhang zeigen könnte, scheint zum derzeitigen Stand der Wissenschaft noch verfrüht.

² In dieser explorativen PoC-Studie wird die Wirkung von spezifischen Belastungswechseln auf eine Reihe von Parametern untersucht, die mit einem erhöhten Risiko für MSE und MSB einhergehen. Für die Beschränkung auf eine einzelne primäre Zielgröße oder die Annahme einer Effektstärke ist im Moment noch zu wenig über die Wirkweise der geplanten Intervention bekannt.

3. Methodik

Das Forschungsprojekt wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Institut für Produktionssysteme (IPS) in Dortmund und dem Institut für Arbeitsschutz, Sozialmedizin und Versorgungsforschung (IASV) des Universitätsklinikums Tübingen durchgeführt.

Projektleitung IPS: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse

Projektleitung IASV: PD Dr. rer. nat. Benjamin Steinhilber;

Die Projektlaufzeit betrug 18 Monate, beginnend zum 1. März 2021. Insgesamt bestand das Forschungsvorhaben aus sechs konsekutiven Arbeitspaketen (AP), deren geplanter zeitlicher Ablauf in der nachstehenden Tabelle 1 abgebildet ist. Da Versuche am Menschen stattfanden, wurde zunächst ein Ethikantrag bei der Ethikkommission Tübingen gestellt. Parallel begann mit AP 1 die Identifikation von Anforderungen an manuelle Montageprozesse und deren Umsetzung im Rahmen Simulationsumgebung für einen getakteten Montageprozess (Referenzprozess). Der Referenzprozess und die Methodik des Studienprotokolls wurden anschließend in AP 2 überprüft. Dazu wurde eine Pilotstudie durchgeführt, über welche neben der Erprobung des Studiendesigns gleichzeitig essentielle Parameter für die Neugestaltung des Montageprozesses hinsichtlich der Integration von Belastungswechseln gewonnen wurden. Im sich anschließenden AP 3 erfolgte die Datenerhebung im Rahmen der PoC-Studie, in der der Referenzmontageprozess mit der Neukonfiguration verglichen wurde. In AP 4 fand nachfolgend die Interpretation der ermittelten Ergebnisse statt. Im abschließenden AP 5 war die Übersetzung der ermittelten Ergebnisse in eine Methodik zur Integration spezifischer Belastungswechsel in Montageprozesse geplant.

Tabelle 1: Projektzeitplan (in Monaten) mit ausgewiesenen Arbeitspaketen (AP)

Projektlaufzeit (Monate)																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
AP0		Ethikantrag															
AP1		Definition des Referenzmontageprozesses															
AP2		Herleitung des Versuchsaufbaus: Neukonfiguration des Referenzmontageprozesses															
AP3		Datenerhebung															
AP4		Datenanalyse und Ergebnisinterpretation															
AP5		Methodik zur Integration spezifischer Belastungswechsel in der Montage															
		Treffen Forschungsbegleitkreis															

Nachfolgend werden die aufgabenspezifische Methodik und die Bearbeitung der im Vorfeld des Forschungsprojektes definierten Arbeitspakete beschrieben. Für tieferegehende Informationen wird auf die innerhalb der Projektbearbeitung entstandenen Schriftstücke und Publikationen (Tabelle 4) verwiesen.

AP 0: Ethikantrag

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurde in AP 0 durch das IASV ein Ethikantrag mit dem geplanten Studienprotokoll erstellt und bei der zuständigen Ethikkommission an der Medizinischen Fakultät Tübingen eingereicht. Aufgrund der geplanten Laborstudien an Menschen wurden sämtliche Untersuchungsmethoden und sowie etwaige Risiken detailliert dargestellt sowie der

Umgang mit personenbezogenen Daten. Von Seiten der Ethik-Kommission Tübingen ergaben sich keine grundsätzlichen Bedenken bzgl. Der Projektdurchführung. Die Anmerkungen der Ethikkommission zum Prüfplan sowie den Informationstexten für Studienteilnehmende wurden durch das IASV aufgegriffen und umgesetzt, so dass ein auflagenfreies Ethikvotum vorlag.

AP 1: Definition des Referenzmontageprozesses

Parallel zu AP 0 wurde durch das IPS, mit Unterstützung des IASV, die Definition eines Referenzmontageprozesses in AP 1 erarbeitet. Dazu wurde ein Lastenheft formuliert, welches die Anforderungen an den Referenzmontageprozess spezifiziert. Als Grundlage dienten neben den im Forschungsantrag festgehaltenen Rahmenbedingungen (bspw. die Ausgestaltung als getaktetes, manuelles Arbeitssystem mit einer angestrebten Taktzeit von 60 Sekunden mit einem hohen Anteil manueller Tätigkeiten) des Projektes auch eine Literaturrecherche sowie Interviews mit Vertretern aus Unternehmen des produzierenden Gewerbes. In den durch das IPS betreuten Interviews wurden branchenübergreifend Informationen zu 12 verschiedenen getakteten Montagearbeitsplätzen gesammelt und aufbereitet. Die Befragung erfolgte in Anlehnung an die Systematik von Arbeitssystemen und deckte die Beschreibung der Arbeitsaufgabe, des Arbeitsablaufs, des Inputs, der zur Verfügung stehenden Betriebsmittel, des Outputs sowie von Umwelteinflüssen und ergonomischen Gesichtspunkten ab. Basierend auf den zusammengestellten Anforderungen im Lastenheft wurden anschließend mehrere Entwürfe für Montageprozesse ausgearbeitet, im Labor des IPS physisch umgesetzt und zeitlich sowie ergonomisch bewertet. Hierbei wurde sich auf ein System vorbestimmter Zeiten (SvZ) auf Grund seiner besonderen Eignung in der prospektiven zeitlichen Bewertung von Prozessen gestützt. Als SvZ mit breiter praktischer Anwendung wurde MTM-UAS (Methods-Time Measurement – Universelles Analysiersystem) verwendet. Die so erstellten Arbeitsabläufe wurden iterativ in Zusammenarbeit mit dem IASV auf ihre Eignung für das geplante Experiment überprüft und angepasst. Dazu wurden gemeinsame Workshops mit ersten Probemessungen in Dortmund und Tübingen durchgeführt. Zum Abschluss von AP 1 konnte somit ein finaler Referenzmontageprozess entworfen werden, welcher eine Soll-Zeit von etwa 63 Sekunden nach MTM-UAS aufwies. Die Ausführungsbedingungen des Prozesses am Montagearbeitsplatz im Labor des IPS wurde zudem durch geschulte Beschäftigte des IPS mittels MTM-HWD und EAWS ergonomisch beurteilt. Der Referenzprozess erfüllte sämtliche der 20 im Lastenheft definierten Anforderungen. Folgende wesentlichen Eigenschaften kennzeichnen diesen Prozess:

- manueller Montageprozesses
- Soll-Zeit von ca. 60 Sekunden
- Hohe Flexibilität hinsichtlich der Montagereihenfolge
- Hauptbelastung in den oberen Extremitäten
- Berücksichtigung definierter Belastungsarten und –höhen
- Einbindung aufeinanderfolgender Teiltätigkeiten mit vergleichbaren Kraftanforderungen (sowohl dynamisch, statisch als auch repetitiv)
- Auftreten muskulärer Ermüdung beanspruchter Muskelgruppen bei längerer Durchführung
- Mittleres ergonomisches Risiko

Der Referenzprozess bestand aus 13 Teiltätigkeiten, die in der Montagereihenfolge weitgehend unabhängig sind (siehe Zwischenbericht). Aufgrund der Auslegung als manueller Montageprozess erforderten nur zwei Vorgänge den Einsatz von Werkzeug in Form eines Stabscharubers. In Anlehnung an die MTM-Prozessbeschreibung reichten die Bewegungen der Teiltätigkeiten vom Aufnehmen und Platzieren größerer Einzelteile bis hin zum Hilfsmittel handhaben des Stabscharubers. Die einzelnen Teilaktivitäten ließen sich durch die Elemente des

Grundbewegungszyklus Hinlangen, Greifen, Bringen, Fügen und Loslassen beschreiben und setzen sich zu verschiedenen Grundvorgängen zusammensetzen. Aufgrund der unterschiedlichen Bewegungslängen fand trotz einer maximalen Ausführungszeit von ca. 3 s für einen Grundbewegungszyklus eine teilweise dynamische oder statische Beanspruchung der verschiedenen Muskelgruppen über mehrere Teilaktivitäten statt.

Das in der nachstehenden Abbildung 1 dargestellte Arbeitssystem war höhenverstellbar und entsprach dem Stand der Technik. Die einzelnen Bauteile mit Gewichten von wenigen Gramm bis 2,1 kg wurden dem Studienteilnehmenden über eine Materialbereitstellung zur Verfügung gestellt, die zur Montage erforderlichen Trays wurden über eine Rollenbahn von links in den Arbeitsbereich bewegt.

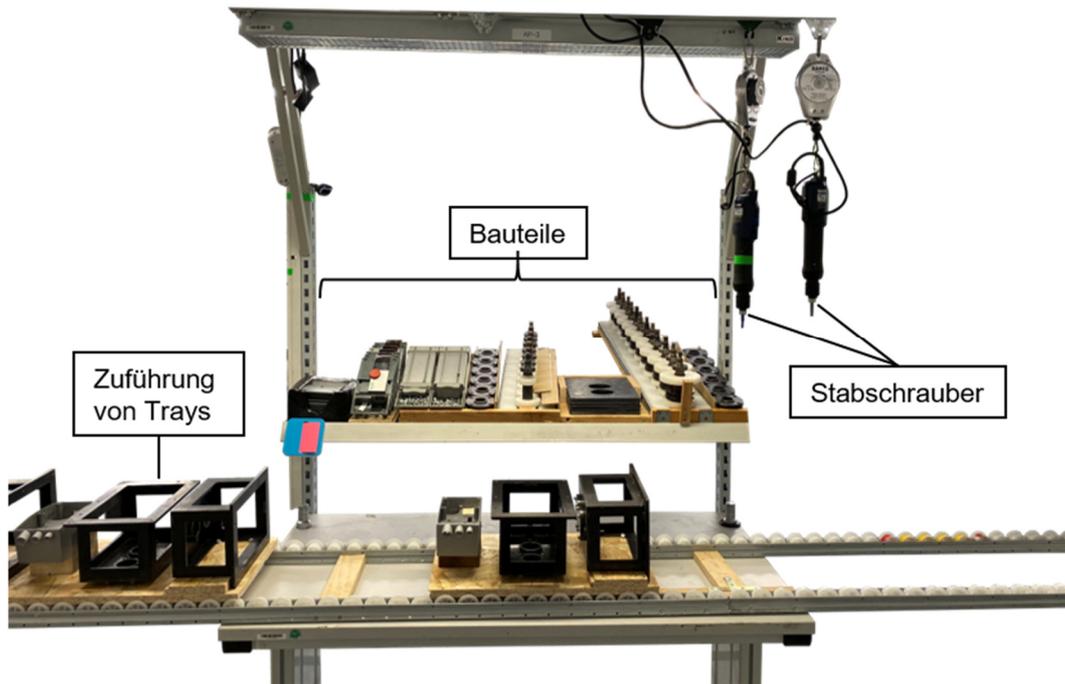


Abbildung 1: Zur im Rahmen der Vorstudie genutztes Arbeitssystem

AP 2: Herleitung des Versuchsaufbaus: Neukonfiguration des Referenzmontageprozesses

Nach der Definition des Referenzmontageprozesses erfolgte in AP 2 die Registrierung des Studienprotokolls für die vergleichende PoC-Studie dritten APs im Deutschen Register für Klinische Studien (DRKS). Ebenso erfolgte die Herleitung der Neukonfiguration des Montageprozesses. Dazu wurde eine erste Messreihe mit zehn Probanden (häufig Frauen und Männer) durch die beiden Kooperationspartner am Standort des IPS in Dortmund durchgeführt. Hierbei wurden die Studienteilnehmenden während der Tätigkeit am Referenzprozess am getakteten Arbeitssystem über eine Dauer von mind. 2 Stunden messtechnisch observiert. Sieben Studienteilnehmende führten den Referenzmontageprozess für die Mindestdauer von 2 Stunden aus, drei sogar über eine Dauer von 4 Stunden.

Die gewonnenen Daten dieser Pilotstudie gaben Auskunft über die muskuläre Beanspruchungscharakteristik während jeder einzelnen Teiltätigkeit des Referenzmontageprozesses. Durch die Neuordnung dieser Teiltätigkeiten konnte die Neukonfiguration gestaltet werden, sodass spezifische Belastungswechseln in die manuelle Tätigkeit integriert wurden. Darüber hinaus konnte aus den Beanspruchungsprofilen der

beobachteten Muskelgruppen die Beobachtungsdauer für die nachfolgend durchzuführende PoC-Studie definiert werden. Ergänzend fand die Erprobung des erarbeiteten Anlernkonzeptes sowie des allgemeinen Studienprotokolls statt.

Die Durchführung der Untersuchungen wurde gemeinsam durch das IPS und IASV betreut, wobei verschiedene Daten zu den Probanden erfasst wurden. Unter Anwendung der Oberflächenelektromyographie (OEMG) durch das IASV konnte die Aktivität arbeitsphysiologisch relevanter Muskeln im Schulter-Nacken- und Hand-Arm-System für die Teiltätigkeiten im Montageprozess aufgenommen und hinsichtlich der auftretenden muskulären Beanspruchung bewertet werden. Das Ergebnis ist beispielhaft für den rechten Trapezmuskel in der folgenden Abbildung 2 dargestellt. In dieser ist die Beanspruchung des Muskels für einen repräsentativen Belastungszyklus im Zeitverlauf dargestellt. Darüber hinaus sind für alle Probanden der Median sowie das 10. und 90. Perzentil der Beanspruchung für die einzelnen Teilaktivitäten dargestellt. Abschnitte mit einer hohen Beanspruchung sind farblich hervorgehoben. In der Abbildung ist zu erkennen, dass der obere Anteil des Trapezmuskels während des Referenzmontagezyklus über einen ca. 30-sekündigen Zeitraum dauerhaft eine risikobehaftete statische Beanspruchung (> 2 %MVE: Einheit des Amplitudenparameters der OEMG-Messung in Form des quadratischen Mittels (RMS) relativ in Prozent zum RMS bei maximaler willentlicher Kontraktion) aufweist (Aarås 1987, Jonsson 1982).

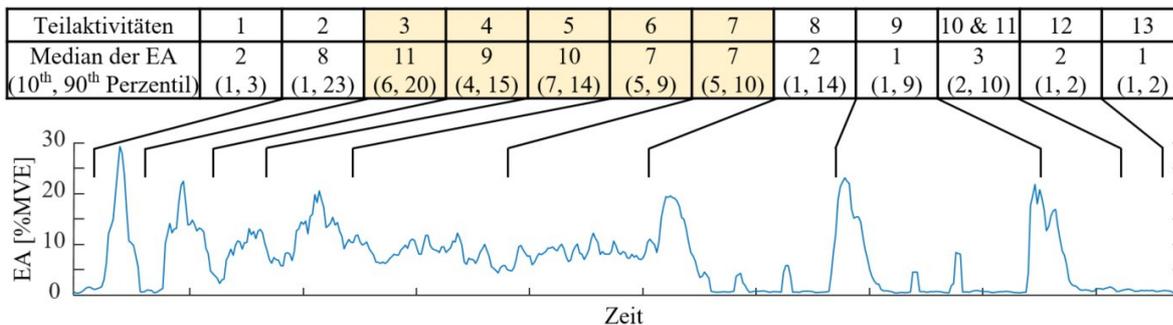


Abbildung 2: Median und Perzentile der Beanspruchung des Trapezmuskels (rechts) für alle Probanden sowie repräsentativer Verlauf eines Belastungszyklus

Obere Tabelle: Abfolge der nummerierten Teiltätigkeiten für den Referenz-Montagezyklus sowie der muskulären Beanspruchung, beschrieben anhand der Mediane des 10., 50. und 90. Perzentils des maximalkraft-normalisierten quadratischen Mittels des Amplitudenparameters der Oberflächenelektromyographischen-Messung (RMS); Gelb hinterlegte Teiltätigkeiten mit risikobehafteter statischer Beanspruchung: Median des 10. Perzentils des RMS > 2 %MVE
Untere Grafik: exemplarische Darstellung des Verlaufs des RMS und dessen Zuordnung zu Teiltätigkeiten während eines Referenzmontagezyklus

%MVE: Einheit des RMS relative in Prozent zum RMS bei maximaler willentlicher Muskelkontraktion

Zusätzlich konnte über die zweistündige Montage ein Anstieg der muskulären Beanspruchung im M. trapezius pars descendens festgestellt werden, welcher mit der höchsten Beschwerdehäufigkeit im Schulter-Nacken-Bereich (50 %) bestätigt wurde. Diese Beobachtungen führten dazu, dass der obere Anteil des rechten Trapezmuskels als Zielregion für die Neukonfiguration der Montagereihenfolge zur Erhöhung der Belastungsvariation durch muskelspezifische Belastungswechsel ausgewählt wurde. Die Ergebnisse der elektrokardiographischen Erfassung der Herzfrequenz und der subjektiven Bewertung der Anstrengung seitens der Probanden bestätigten außerdem eine leichte bis mittel schwere körperliche Beanspruchung während der gesamten 2-stündigen Montage, wie sie an einem Montagearbeitsplatz über 8 Stunden auftreten kann.

Auf Grundlage der generierten Messdaten wurde im Anschluss die Neukonfiguration des Montageprozesses vorgenommen. Das Ziel der Neukonfiguration bildet dabei die Gestaltung einer Ablaufabschnittsfolge mit möglichst hoher Variation in der muskulären Beanspruchung. Der

neukonfigurierte Montageprozess wurde dabei unter der Prämisse einer unveränderten zeitlichen und ergonomischen Bewertung generiert und das Arbeitssystem nicht verändert um Überschneidungseffekte zu vermeiden. Für die Neukonfiguration der Reihenfolge wurden die aufeinanderfolgenden Teiltätigkeiten des Referenzmontageprozesses mit einer statischen Beanspruchung > 2 %MVE mit Teiltätigkeiten geringerer statischer Beanspruchung unterbrochen, um die Dauer potentiell fehlbeanspruchender Belastungen zu reduzieren.

Das Ergebnis der Neukonfiguration ist in Abbildung 3 für den Trapezmuskel (rechts) dargestellt.

Teiltätigkeiten	1	2	10 & 11	3	12	4	6	8	5	7	9	13
Median der EA (10 th , 90 th Perzentil)	2 (1, 3)	8 (1, 23)	3 (2, 10)	11 (6, 20)	2 (1, 2)	9 (4, 15)	7 (5, 9)	2 (1, 14)	10 (7, 14)	7 (5, 10)	1 (1, 9)	1 (1, 2)

Abbildung 3: Muskuläre Beanspruchung des Trapezmuskels (rechts) für die Neukonfiguration basierend auf den Ergebnissen der Pilotstudie

Abfolge der nummerierten Teiltätigkeiten für den neukonfigurierten Montagezyklus (vgl. Abbildung 2) sowie der muskulären Beanspruchung, beschrieben anhand der Mediane des 10., 50. und 90. Perzentils des maximalkraft-normalisierten quadratischen Mittels des Amplitudenparameters der oberflächenelektromyographischen Messung (RMS); Gelb hinterlegte Teiltätigkeiten mit risikobehafteter statischer Beanspruchung: Median des 10. Perzentils des RMS > 2%MVE

%MVE: RMS relative in Prozent zum RMS bei maximaler willentlicher Muskelkontraktion

Bei der Analyse der muskulären Beanspruchung und der wahrgenommenen Beschwerden konnte bereits nach zwei Stunden ein Anstieg der Beschwerdehäufigkeit und der muskulären Beanspruchung beobachtet werden. Für die PoC-Studie wurde daher eine Messdauer von 2,5 Stunden als ausreichend erachtet. Die zusätzlich aufgezeichneten Daten zur wahrgenommenen physischen Anstrengung (mittels Borg-Skala) lagen in einem geringen bis mäßigen Bereich, passend zur EAWS-Bewertung mit mittlerem Risiko.

Ergänzend zur Erfassung der arbeitsphysiologischen Parameter fand eine Überwachung der Montage mittels zeitökonomischer und qualitativer Parameter statt. Es zeigte sich, dass sowohl der Zeitgrad als Maß für die Produktivität des Probanden als auch die Qualität der Prozessausführung innerhalb einer Montagezeit von zwei Stunden ausreichend konstant gehalten werden konnten. Bzgl. der bei der Ausführung der Montageaufgabe beobachteten Prozessfehler blieben „schwerwiegende“ Fehler (z. B. das fehlerhafte Greifen eines Bauteils) konstant gering, während „einfache“ Fehler (wie bspw. Ausgleichsbewegungen) im Sinne einer zunehmenden Sicherheit in der Prozessausführung abnahmen. An dieser Stelle ist jedoch anzumerken, dass die Erfassung der arbeitsökonomischen Parameter nicht unabhängig erfolgte, sondern auch insbesondere bei Verlassen eines definierten Toleranzbandes den Probanden kommuniziert wurden.

AP 3: PoC-Studie - Datenerhebung

Nachdem die Neukonfiguration entwickelt wurde folgte die vergleichende PoC-Studie. In dieser stand die Datenaufnahme zum Vergleich von Referenz und Neukonfiguration im Fokus. Dazu wurden Studienteilnehmende rekrutiert, welche beide Montageprozesse unter messtechnischer Überwachung ausführten. Die vorwiegend aus dem Umfeld der TU-Dortmund rekrutierten Probanden wurden dazu zur Teilnahme an zwei Terminen eingeladen, an welchen jeweils einer der beiden Prozesse ausgeführt wurde. Die Anwesenheit der Probanden im Labor des IPS in Dortmund belief sich dabei auf jeweils ca. vier Stunden. Das Experiment wurde als Within-Subject-Design mit Messwiederholung konzipiert.

Nach der Überprüfung der Einschlusskriterien (u. a. durch Prüfung körperlicher Einschränkungen im Bewegungsablauf oder kardiologischer Fitness) erfolgte die Applikation der Messtechnik, die

OEMG-Normalisierungsmessungen während maximaler willentlicher Muskelkontraktion (MVC), das Anlernen des Montageprozesses und die 2,5-stündige Montage des Referenz- oder neukonfigurierten Prozesses. Die Reihenfolge der beiden experimentellen Bedingungen (Referenzprozess und Neukonfiguration) wurde balanciert und randomisiert den Teilnehmenden zugeordnet. Außerdem wurden die Studienteilnehmenden nicht darüber informiert, welcher der Prozesse neugestaltet wurde. An die Montageausführung schloss sich eine Befragung der Probanden an.

Für die Antragstellung im vorliegenden Forschungsprojekt wurde sehr ausführlich recherchiert, welche Risikosurrogat-Parameter für den PoC verwendet werden können. In der Publikation von Steinhilber und Kollegen (2022) im Tagungsband des Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft sind diese Surrogatparameter ausführlich beschrieben und erläutert. Im Rahmen von AP 3 wurde in physiologische Daten, arbeitsökonomische Daten und Fragebogendaten unterteilt. Während der Montage wurden objektive Messwerte der Muskelaktivität via OEMG, der Unterarmbeschleunigung via Accelerometrie, der Herzfrequenz via Elektrokardiographie, der Ausbringungsmenge und der Zykluszeiten durch Beobachtung und Zeitmessung erfasst. Fehler bei der Montage wurden durch geschultes Personal des IPS beobachtet und kontinuierlich notiert. Darüber hinaus bewerteten die Teilnehmenden zu Beginn, sowie alle 30 Minuten während der Montageausführung und zum Ende des Versuchs ihre Beschwerden respektive Diskomfort in den oberen Extremitäten mittels einer Ratingskala (0 bis 10) sowie die empfundene physische Anstrengung anhand der Borg-Skala (6 bis 20). Nach beiden Montageprozessen bewerteten die Teilnehmenden zudem anhand des NASA Task Load Index (NASA-TLX) die empfundene Arbeitsbelastung und beantworteten nach dem letzten Messtermin zusätzlich Fragen zur Akzeptanz beider ausgeführter Montageprozesse. Der beschriebene Ablauf ist in der nachfolgenden Abbildung 4 visualisiert.

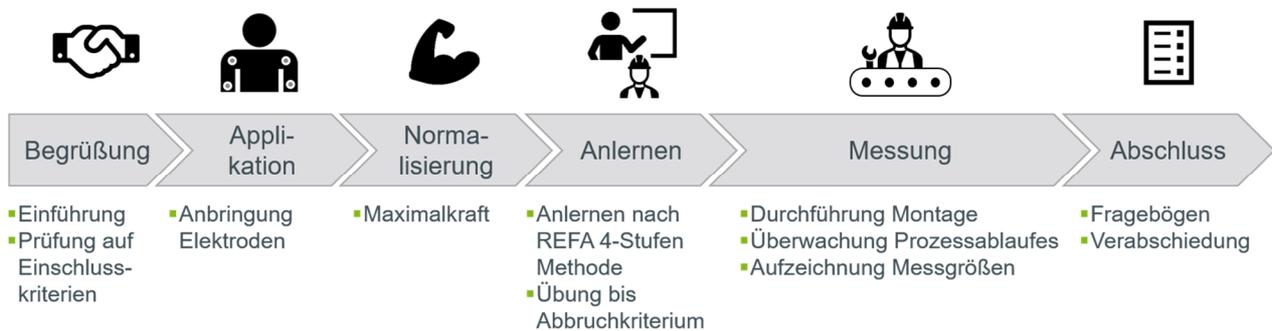


Abbildung 4: Ablauf der Messungen im Rahmen der Hauptstudie

AP 4: PoC-Studie - Datenanalyse und Ergebnisinterpretation

Auf Basis der in AP 3 erhobenen Daten, wurden in AP 4 die Daten aufbereitet, analysiert und entsprechende Erkenntnisse abgeleitet. Inhalte waren die Datenreinigung, Datenvorbereitung, Parametrisierung und die darauffolgende Datenauswertung. Im Fokus der Auswertung stand der statistische Vergleich der beiden Prozesse hinsichtlich der in den Forschungsfragen genannten Zielgrößen.

Für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage (vgl. Abschnitt 2) wurden OEMG-Parameter verwendet. Dazu wurde aus dem maximalkraft-normalisierten quadratische Mittel (RMS (%MVE)) und der Medianfrequenz (MPF (Hz)) der OEMG-Aktivität des rechten oberen Trapezmuskels die primären OEMG-Risikosurrogatparameter aus den letzten zwei Stunden der Montage berechnet. Die ersten 30 Minuten der Montage wurden nicht berücksichtigt, da hier mit Gewöhnungseffekten

im OEMG-Signal gerechnet wurde. Konkret wurden folgende a priori festgelegten Risikosurrogatparameter zwischen den beiden Prozessen verglichen:

- RMS_{50} (mittlere muskuläre Beanspruchung: 50. Perzentil des RMS)
- RMS_{10} (statische Beanspruchung: 10. Perzentil des RMS)
- RMS_{rest} (muskuläre Erholzeit: %-Anteil der Datenpunkte für $RMS < 0,5\%MVE$)
- $MPF_{fatigue}$ (muskuläre Ermüdung: Steigung aus linearer Regression der MPF)
- RMS_{vari} (motorische Variabilität: RMS-Standardabweichung für zehn Zyklen nach 30 min Montage)

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurden die Abfragen der Beschwerden bzw. Diskomfort im Schulter-Nackengebiet am Ende der Montage herangezogen. Dabei wurde die Beschwerdefrequenz anhand der Teilnehmenden, die entweder im rechten Schulterbereich oder dem Nacken Beschwerden/ Diskomfort angaben, berechnet. Zudem wurde die mittlere empfundene körperliche Anstrengung ebenfalls am Ende der 150 Minuten Montage mithilfe der Borg-Skala (6 - 20) verwendet, um auch den körperlichen Anstrengungsgrad zwischen den beiden Prozessen vergleichen zu können.

Im Rahmen der arbeitsökonomischen Datenanalyse für die Beantwortung der dritten Forschungsfrage wurden Vergleiche bzgl. Zeitgrades, Anlernzeiten sowie Prozess- und Produktfehler aufgestellt.

Als sekundäre Kontrollparameter erfolgten weitere Auswertungen zur muskulären Aktivität der Handgelenksmuskulatur und dem linken Nackengebiet, der Beschleunigung des rechten Unterarms, die subjektiv wahrgenommene Arbeitsbelastung (abgefragt mithilfe des NASA-TLX Fragebogens nach der Montage) und zum anderen die Akzeptanzbefragung bzgl. der Präferenz einer Montagereihenfolge auf Basis wahrgenommener Merkmale.

Um die Wirksamkeit des Konzepts zur Integration tätigkeitsspezifischer Belastungswechsel statistisch zu überprüfen bzw. positive Effekte feststellen zu können, wurde für intervallskalierte, normalverteilte Risikosurrogatparameter ein gepaarter T-Test angewandt und die Effektstärke mittels Cohen's d berechnet und interpretiert (< 0,5 niedrig, 0,5 - 0,8 mittel, > 0,8 hoch). Bei Ordinalskalierung oder Nicht-Normalverteilung wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test angewandt und die Effektstärke mittels des Spearman Rangsummenkorrelationskoeffizienten r berechnet und interpretiert (< 0,3 niedrig, 0,3 - 0,5 mittel, > 0,5 hoch). Mit Ausnahme der Beschwerdefrequenz, wurden die statistischen Tests auf Unterschiede auch auf die zusätzlich erhobenen Parameter angewandt. Für die Beschwerdefrequenz mit dichotomer Merkmalsausprägung (Beschwerden oder keine Beschwerden) wurde der McNemar-Test angewandt. Das α -Niveau wurde mit $\alpha = 0,05$ festgelegt.

AP 5: Methodik zur Integration spezifischer Belastungswechsel in der Montage

Den Ergebnissen vorweggreifend muss an dieser Stelle benannt werden, dass keine signifikanten Unterschiede in den Risikosurrogatparametern zwischen Referenzmontageprozess und Neukonfiguration vorlagen, so dass kein PoC erbracht wurde. In Absprache mit dem Fördermittelgeber wurde aufgrund dessen in AP 5 vorrangig über Ursachen und Konsequenzen für potentielle Folgestudien diskutiert. Dabei wurden verschiedene methodische Aspekte des Forschungsprojektes bezüglich der Ergebnisse analysiert, um grundlegenden Forschungsbedarf sowie Potenziale für methodisch optimierte Folgeprojekte herauszuarbeiten. Diese Ursachenanalyse und Methodendiskussion konnten im Rahmen des abschließenden Treffens des

Forschungsbegleitkreises diskutiert werden. Zur ausführlichen Darstellung der methodischen Diskussion siehe Kapitel 4.

Treffen des Forschungsbegleitkreises

Die durch die beiden Forschungsinstitute erarbeiteten Forschungsfrage und das entsprechende Studiendesign zu deren Beantwortung wurde durch die Mitglieder des Forschungsbegleitkreises (FBK), Experten aus den Bereichen der Arbeitsgestaltung, des Arbeitsschutzes sowie der Arbeitsmedizin, beraten und unterstützt. Dieser trat gemäß Vorgaben der DGUV während der Projektlaufzeit dreimalig zusammen. Dem FBK gehörten dazu neben Vertretern des Fördermittelgebers auch Mitglieder der Hochschule München, des Arbeitgeberverbands Südwestmetall und dem Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Versorgungsforschung an. Nachfolgend wird auf die Treffen des Forschungsbegleitkreises einschließlich der Darstellung erzielter Ergebnisse eingegangen. Eine ausführliche Darstellung bildet die Dokumentation der Termine einschließlich der vorgestellten Inhalte und der Ergebnisprotokolle.

Im ersten Treffen des Forschungsbegleitkreises am 15. Juni 2021 stand die Vorstellung des Projektes sowie des geplanten Projektverlaufs vor den Teilnehmern im Vordergrund. Das bisherige Vorgehen und die Erkenntnisse aus den bearbeiteten Arbeitspaketen 0 und 1 wurden den Teilnehmenden vorgestellt. Der Vorstellung der Ergebnisse schloss sich ein fachlicher Dialog zum prospektierten Vorgehen im Forschungsprojekt an. In diesem Zuge wurden mehrere der geplanten methodischen Aspekte durch die Mitglieder des Ausschusses kritisch diskutiert. So stellte sich bspw. die im Antragstext vorgesehene Altersstruktur von 50 bis 67 Jahren zum Diskurs. Das Auftreten von MSE und MSB bei unter 50-Jährigen als auch die starke Abhängigkeit der physischen Leistungsfähigkeit vom Alter wurden in diesem Zuge erörtert und in einer neuen Altersstruktur verfestigt. So wurden drei Altersgruppen (18- bis 35-Jährige, 36- bis 45-Jährige und 46- bis 60-Jährige) mit jeweils gleichmäßiger Teilnehmeranzahl als Zielzustand für die Hauptstudie definiert.

Darüber hinaus wurde über die im Montageprozess zu berücksichtigende Soll-Zeit-Vorgabe diskutiert. Insbesondere die Berücksichtigung einer Taktzeit von 15 Sekunden im Rahmen der angesetzten Studie wurde auf Grund des industriellen Trends der Abkehr von kurzzyklischen Montagetätigkeiten kritisch betrachtet. Zudem wurde angeführt, dass die Variationsmöglichkeiten in einem 15-sekündigen Takt beschränkt sind und somit nur geringe Effekte zu erwarten sein. Aufgrund dessen führte die fachliche Auseinandersetzung im FBK zur Fokussierung der angesetzten Ressourcen des Forschungsvorhabens auf Prozesse mit einer Taktzeit von 60 Sekunden.

Zur Sicherstellung einer geeigneten Praxisnähe sowie zur Sicherstellung der Identifikation geeigneter Potentiale für beanspruchungsreduzierende Belastungswechsel, entschied sich der FBK zu einem Kompromiss zwischen einem ergonomisch ideal gestalteten Arbeitsplatz und dem Einsatz gezielter Belastungen in der Montage der Studie. Die Ausgestaltung eines ergonomisch ungünstigen Arbeitsplatzes galt es jedoch zu vermeiden. Die gezielten Belastungen wurden aus realen Montageprozessen abgeleitet und in den Experimenten umgesetzt.

Im Rahmen des am 04. Februars 2022 stattgefundenen zweiten Forschungsbegleitkreistreffens erfolgte die Vorstellung des definierten Referenzprozesses mit Arbeitssystem sowie der Pilotstudie. Dieses schloss die Vorstellung der zeitökonomischen sowie ergonomischen Bewertung des Prozesses ein. Nach Darlegung der im Rahmen der Pilotstudie gesammelten Erfahrungen wurde das Konzept der vergleichenden PoC-Studie im Planungsstand vorgestellt und fachlich diskutiert.

Auf Grund der während der Bearbeitungszeit herrschenden pandemischen Corona-Lage wurde das Thema der im Rahmen der PoC-Studie zu berücksichtigende Probandenstruktur erneut diskutiert. In diesem Zuge entschied sich der FBK, die ursprünglich angestrebte Altersstruktur im Zuge des erhöhten Infektionsgeschehens zum Schutz älterer Probanden erneut abzuändern. Unabhängig vom Probandenalter wurde jedoch an einer zwischen männlichen und weiblichen Probanden balancierte Stichprobe von insgesamt 40 Teilnehmenden festgehalten. Im Rahmen der Studie konnte schließlich eine gültige Gesamtprobandenzahl von 38 (häufig männlich und weiblich) im Altersbereich von 18 bis 45 Jahren erreicht werden, welche zwischen Dezember 2021 und Mai 2022 an den Messungen der Studie teilnahmen. Weitere fünf Probanden wurden von den Messungen ausgeschlossen.

Daneben wurde eine mögliche Verzögerung auf Grund von Hemmnissen in der Probandenrekrutierung besprochen, die sich ebenfalls durch das hohe Infektionsgeschehen und daraus resultierende Schutzmaßnahmen begründete. Von einem Antrag auf Verlängerung des Forschungsprojektes wurde dennoch abgesehen.

Das abschließende Treffen des Forschungsbegleitkreises erfolgte am 19. September 2022 nach Abschluss der operativen Projektbearbeitung. In dem abschließenden Treffen stand die Vorstellung der Hauptstudie einschließlich Ergebnisvorstellung im Vordergrund. Hierbei wurde tiefergehend auf die Methodik sowie die aus den Ergebnissen gewonnenen Erkenntnisse der zweiten Messreihe eingegangen. Es schloss sich eine Einordnung in den Gesamtkontext des Forschungsvorhabens sowie ein fachlicher Diskurs an.

Auf Grund des nicht erbrachten PoC wurden mögliche Ursachen von den projektbearbeitenden Stellen identifiziert und im Rahmen eines strukturierten Fachdialogs vorgestellt. Hierbei konnten weitere Forschungsbedarfe aufgedeckt werden. Letztere werden ausführlich in Kapitel 4 erörtert.

4. Ergebnisse des Gesamtvorhabens

Die Ergebnisse der vergleichenden PoC-Studie ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Montageprozessen. Es lag dementsprechend kein Hinweis dafür vor, dass die Neukonfiguration der Montagereihenfolge eine positive Auswirkung auf die mit muskuloskelettalen Beschwerden oder Erkrankungen assoziierten Parameter hat.

Insgesamt nahmen 43 Personen an der PoC-Studie teil, wovon die Daten von 38 Teilnehmenden zur Auswertung genutzt werden konnten. In Tabelle 2 sind die anthropometrischen Eigenschaften des finalen Studienkollektivs dargestellt. Ursächlich für den Ausschluss von 5 Studienteilnehmenden war:

- 1x Auftreten eines Defekts am Arbeitssystem
- 2x Anlernen nicht erfolgreich (Nichterreichen von Zykluszeit bei gleichzeitiger Fehlerfreiheit)
- 2x Studienprotokoll aufgrund von nichtvorgesehenen Montagepausen verletzt

Tabelle 2: Anthropometrische Charakteristika der Teilnehmenden mit Anzahl der Teilnehmenden nach Geschlecht und Mittelwerten (Standardabweichung) sowie weiteren anthropometrischen Charakteristika des Probandenkollektivs

Geschlecht (♀/♂) [N]	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]
19/19	26 (6)	176 (10)	75 (15)

Ergebnisse zur Forschungsfrage 1

Im Rahmen der ersten Forschungsfrage wurde der positive Einfluss belastungsabhängiger Tätigkeitswechsel bzw. einer Erhöhung der Belastungsvariation auf die unter AP 4 aufgeführten OEMG-basierte Risiko-Surrogatparameter für MSB/ MSB überprüft.

Im Rahmen der Auswertung der der muskulären Beanspruchung, der Erholzeit und Ermüdung fand ein Ausschluss eines Teilnehmenden statt. Ursächlich hierbei war die Identifikation der Muskelaktivität bei den Normalisierungsmessungen als unplausibel. Daneben fand für den OEMG-Parameter motorische Variabilität der Ausschluss zweier weiterer Teilnehmenden statt. Dies ist zum einen auf unvollständige Messdaten sowie auf eine zu hohe Fehlerquote (> 50%) während der Prozessausführung zurückzuführen. Insgesamt zeigte die Neukonfiguration der Montagereihenfolge keinen positiven Einfluss auf die am rechten oberen Teil des Trapezmuskels erhobenen OEMG-Parameter im Sinne einer Beanspruchungsreduktion oder Verringerung des Risikos für arbeitsbedingte MSB/ MSE.

Im Einzelnen konnten durch die Neukonfiguration des Montageprozesses keine statistisch signifikanten Effekte für die mittlere und statische Muskelbeanspruchung, die muskuläre Ermüdung, die muskuläre Erholzeit oder die motorische Variabilität festgestellt werden. Darüber hinaus zeigte sich ein negativer statistisch signifikanter Effekt der neukonfigurierten Montage mit mittlerer Stärke auf die statische Beanspruchung. In Tabelle 3 sind die wichtigsten Verteilungskenngrößen sowie der vergleichenden statistischen Analyse zu den beiden Prozessen und analysierten Zielgrößen dargestellt. Abbildung 5 veranschaulicht die Risikosurrogatparameter deskriptiv.

Tabelle 3: Statistischer Vergleich oberflächenmyografischer Risiko-Surrogatparameter zwischen Referenz- und neukonfiguriertem Montageprozess

Parameter	Montageprozess	Mittel/ Median (SD/ IQR)	t-/ z-Wert	p-Wert	d/ r
-----------	----------------	--------------------------	------------	--------	------

RMS ₅₀ [%MVE]	Referenz	6,54 (2,52)	-0,09	0,932	-0,01
	Neukonfiguration	6,56 (2,43)			
^a RMS ₁₀ [%MVE]	Referenz	1,19 (0,84)	-2,32	0,021*	-0,38
	Neukonfiguration	1,22 (1,42)			
^a RMS _{rest} [%]	Referenz	0,51 (1,76)	-1,07	0,285	-0,18
	Neukonfiguration	0,54 (1,71)			
MPF _{fatigue} [Hz/h]	Referenz	-0,65 (0,61)	0,97	0,339	0,16
	Neukonfiguration	-0,74 (0,69)			
RMS _{vari} [%MVE]	Referenz	5,09 (1,96)	0,39	0,703	0,07
	Neukonfiguration	5,03 (1,86)			

Mittlere Muskelaktivität (RMS₅₀), statische Muskelaktivität (RMS₁₀), muskuläre Erholzeit (RMS_{rest}), muskuläre Ermüdung (MPF_{fatigue}) und motorische Variabilität (RMS_{vari}).

^a Bei nicht-normalverteilten und/oder ordinal skalierten Parametern wurde statt eines gepaarten T-Tests der Wilcoxon-Rangsummen-Test für den statistischen Vergleich zwischen Referenz- und neukonfigurierter Montage verwendet. Zudem wird statt Mittelwert und Standardabweichung (SD) Median und Interquartilsabstände (IQR) angegeben, statt dem t- der z-Wert sowie statt dem Effektmaß Cohen`s d der Rangkorrelationskoeffizient r

* Statistisch signifikanter Effekt (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$)

Interpretation der Effektstärke: Cohen`s d niedrig < 0,5, mittel 0,5 – 0,8, hoch > 0,8; Rangkorrelationskoeffizient r niedrig < 0,3, mittel 0,3 – 0,5, hoch > 0,5

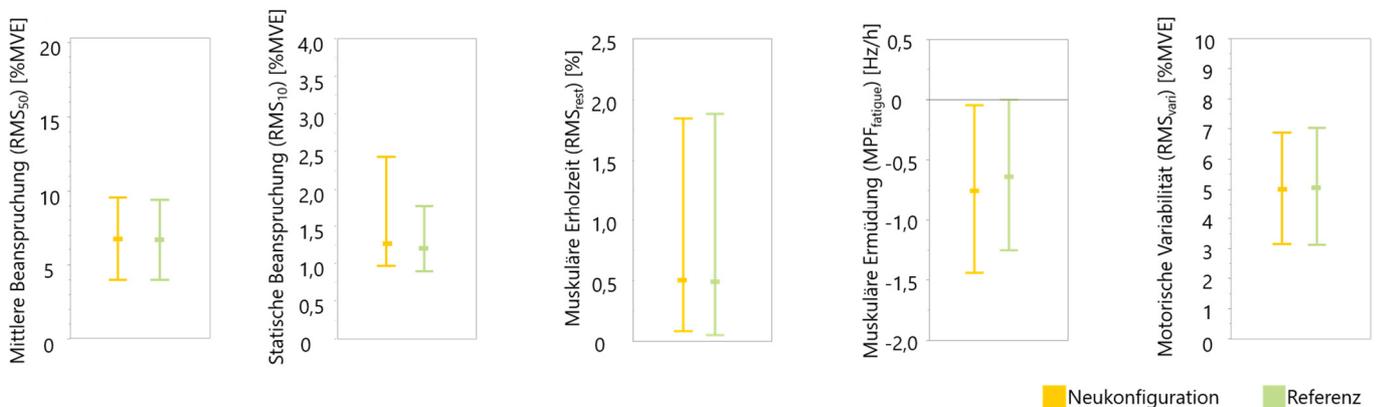


Abbildung 5: Deskriptiver Vergleich oberflächenmyografischer Risikosurrogatparameter zwischen Referenz- und neukonfiguriertem Montageprozess.

Mittelwerte und Standardabweichung für RMS₅₀, MPF_{fatigue}, RMS_{vari}; Median und Interquartilsabstand für RMS₁₀, RMS_{rest}; erhoben am oberen Anteil des rechten Trapezmuskels

Ergebnisse zur Forschungsfrage 2

Im Rahmen der zweiten Forschungsfrage wurde überprüft, ob die Durchführung von belastungsabhängigen Tätigkeitswechseln bzw. die Erhöhung der Belastungsvariation die subjektiv wahrgenommene MSB (Beschwerden respektive Diskomfort und Anstrengung) verringert.

Zunächst bestätigten sich die Ergebnisse aus der Pilotstudie derart, dass auch in der vergleichenden PoC-Studie nach 150 Minuten Montage von den 38 Teilnehmenden der Nacken und die rechte Schulter als die am häufigsten von Beschwerden betroffenen Körperregionen der oberen Extremität genannt wurden. Dies traf auf beide Montageprozesse in ähnlicher Weise zu (Nacken Referenz n = 17, Neukonfiguration n = 17; Schulter rechts: Referenz n = 17, Neukonfiguration n = 21; Anhang 1). Für den statistischen Vergleich zwischen Referenz und Neukonfiguration mittels McNemar-Test wurde die Anzahl der Probanden erfasst, die entweder am Nacken oder der rechten Schulter während der Montage Beschwerden angaben, wobei kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte (Referenz n = 30, Neukonfiguration n = 28, p = 0.625). Für die Körperregionen, die nicht Ziel der Neukonfiguration waren zeigten sich deskriptiv kaum Unterschiede. Nach 150 Minuten Montage zeigten sich Hinweise auf Unterschiede in der Beschwerdehäufigkeiten für die Bereiche der linken Schulter und der rechten Hand, welche

allerdings insgesamt eine niedrige Häufigkeit zeigten (linke Schulter Referenz $n = 6$, Neukonfiguration $n = 11$; Schulter rechts: Referenz $n = 11$, Neukonfiguration $n = 6$) (vgl. Anhang 1). Zusätzlich konnten deskriptiv keine Hinweise auf Unterschiede in der Beschwerdeintensität für die rechte Schulter und den Nacken beobachtet werden (vgl. Anhang 2).

Weiterhin zeigte sich für die empfundene körperliche Anstrengung, welche mithilfe der Borg-Skala während des Montierens nach 150 Minuten Montagezeit abgefragt wurde, kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Montageprozessen (Median (Interquartilsabstand) bei Referenz 12,5 (3,3) und Neukonfiguration 13,0 (5,0), z -Wert = -0,98 $p = 0,330$).

Ergebnisse zur Forschungsfrage 3

In der Auswertung zur dritten Forschungsfrage wurde überprüft, ob die Durchführung der belastungsabhängigen Tätigkeitswechsel bzw. die Erhöhung der Belastungsvariation einen Einfluss auf die Ausprägung der arbeitsökonomischen Parameter hat.

Es zeigte sich, dass im Rahmen der zeitökonomischen als auch qualitätsbezogenen Parameter im Rahmen der Hauptstudie keine signifikanten Unterschiede zu identifizieren sind. Auch im direkten Vergleich der beobachteten Anlernzeiten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In Hinblick auf den beobachteten Zeitgrad der Probanden konnte jedoch bei beiden Prozessen ein Lerneffekt aufgezeigt werden, welcher sich in einem steigendem Zeitgrad äußerte (Anhang 4). Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Untersuchung hinsichtlich des Kontrollparameters Zeitgrad zugunsten der Vergleichbarkeit der Arbeitsbelastung nicht unabhängig durchgeführt wurde. Wurde während der Versuchsdurchführung ein Verlassen des Toleranzbandes von 10% um die definierte Normleistung festgestellt, wurden die Probanden auf die Abweichung hingewiesen. Insgesamt wurden bei der Versuchsdurchführung 216 Produktfehler gezählt, wovon 111 Fehler (51%) auf den Referenzmontageprozess entfallen. Damit ist im Prozessvergleich kein signifikanter Unterschied nachweisbar. Im Terminvergleich sind positive Effekte feststellbar, was ein klares Indiz dafür ist, dass das Anlernen durch das verwendete Anlernkonzept noch nicht komplett abgeschlossen war. Aufgrund des balancierten und randomisierten Versuchsdesigns, verteilten sich diese anhaltenden Lerneffekte jedoch gleichmäßig auf die beiden Montageprozesse.

Ergänzende Ergebnisse zu sekundären Kontrollparametern:

Während die statische muskuläre Beanspruchung der zusätzlich erhobenen Muskelregionen den gleichen Effekt wie der rechte Trapezmuskels zeigte, d. h. höhere Werte während der Neukonfiguration, konnten keine negativen statistisch signifikanten Effekte für die mittlere oder die dynamische Beanspruchung festgestellt werden. Zusätzlich zeigten während der Montage erfasste objektive Kontrollparameter für die körperliche Anstrengung (Herzfrequenz) und Armkinematik (Höhe der Unterarmbeschleunigung in medio-lateraler und antero-posteriorer Richtung) keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Montageprozessen (Anhang 3).

Mithilfe des NASA-TLX Fragebogens wurde ein generell niedriges bis mittleres durchschnittliches Gesamtniveau der Arbeitsbelastung (ca. 45 von 100) festgestellt (Anhang 5). Die geistigen Anforderungen sowie die körperlichen Anstrengungen wurden durch die Probanden bei dem Referenzmontageprozess als signifikant geringer eingestuft, als für die Neukonfiguration. Die Auswertungen der Akzeptanzbefragung zeigte eine höhere Präferenz (etwa 2/3) für den Referenzprozess (Anhang 6).

Fazit und Diskussion der Ergebnisse mit dem Forschungsbegleitkreis:

Im Gesamtkontext der Forschungsfrage konnte der PoC nicht erbracht werden. Dieses lässt basierend auf den erwarteten Effekten auf die Notwendigkeit einer Überarbeitung des methodischen Ansatzes schließen. Dazu wurde in Zusammenarbeit der Projektpartner eine Ursachenanalyse durchgeführt, in der negative Effekte bei der Neukonfiguration berücksichtigt wurden. Diese Analyse wurde anschließend im Rahmen eines fachlichen Dialogs im dritten und abschließenden Treffen des FBK diskutiert. Dabei konnten neben Schwächen in der dem Forschungsprojekt zugrundeliegenden Methodik ebenso Fehlstellen im Bereich grundlegender Forschung identifiziert werden.

So wurde als potentielle Schwäche die nicht in gleichem Maße intuitive Montagereihenfolge von Referenzprozess und Neukonfiguration identifiziert. Ursächlich durch die Ableitung der Neukonfiguration aus der auf Basis eines intuitiv erstellten Montageablaufes erarbeiteten Referenz, könnte diese zu einer Beeinflussung der subjektiven Bewertung der Arbeitsbelastung durch die Probanden geführt haben. Außerdem könnten damit zusammenhängende höhere Anforderungen an die Bewegungsausführung auf kognitiver Ebene die muskuläre Erholung negativ beeinflusst haben, wobei der Parameter der muskulären Erholzeiten mit einem Anteil von 0,5 % auf einem sehr niedrigen Niveau keine Änderung zeigte.

Darüber hinaus wurde erörtert, ob die durch die Prozesse hervorgerufene mittlere Belastungshöhe generell zu niedrig angesetzt worden sei. Außerdem wurde diskutiert, inwiefern die Teiltätigkeiten des Montageprozesses unterschiedliche muskuläre Beanspruchungen hervorriefen. Sollten die Teiltätigkeiten generell zu ähnlich sein, könnten sich keine wesentlichen ergonomischen Vorteile ergeben. Darüber hinaus wurde die im Forschungsantrag definierte und im Rahmen des FBK fixierte Taktzeit von ca. 60 Sekunden kritisch diskutiert. So könne eine zu kurze Zykluszeit zu einer hohen Dynamik in der muskulären Beanspruchungen geführt haben und somit bereits zum Auftreten von Belastungswechseln innerhalb der Teiltätigkeiten geführt haben.

Abschließend wurden darüber hinaus die Anlernzeiten im Rahmen der Studie einer kritischen Betrachtung gewürdigt. Eine Verlängerung dieser über das im Rahmen des Forschungsprojektes umgesetzte Maß hätte zu einer Reduzierung der beobachteten Lerneffekte während der Versuchsdurchführung führen können. Ein besser eingelernter Zustand entspreche in höherem Maße der Anforderung an die Praxisnähe, da in der industriellen Praxis ein eingeschwungener Zustand vorzufinden sei. Eine Verlängerung der Versuchsdurchführung wäre wünschenswert gewesen, da dadurch der Einfluss von Lerneffekten weiter reduziert worden wäre. Unklar bleibt jedoch, ob dadurch mögliche Unterschiede zwischen den beiden Prozessen zum Tragen gekommen wären oder ob es sogar zu weiteren Überlagerungen z. B. durch das Einsetzen von Kompensationsbewegungen aufgrund von Ermüdung, gegeben hätte.

Neben den im Forschungsansatz identifizierten Limitationen lassen sich im Rahmen der Studie aufgedeckte offene Punkte im Sinne fehlender Forschungsgrundlagen benennen. Insbesondere in der Abschätzung der notwendigen mittleren Belastungshöhe (s. o.) sowie der Belastungsspitzen fehlen Grundlagenerkenntnisse für Montagetätigkeiten, die ein Minimum für das Auftreten beobachtbarer Effekte darstellen. Darüber hinaus konstatierte der FBK, dass es zu erforschen gelte, inwiefern Anlernzeiten und Lerneffekte einen Einfluss auf das Auftreten muskulärer Beanspruchungen besitzen. Zuletzt sei auch nicht bekannt, inwiefern sich psychologische und kognitive Effekte auf die Aktivität der Muskulatur auswirkten. Insbesondere sei hiervon im betrachteten Versuch die Trapezmuskulatur betroffen.

Auch im Bereich der Berücksichtigung und Vermeidung von Überlagerungseffekte fehlt es an Grundlagenkenntnissen. Da sich im Rahmen der Versuchsdurchführung verschiedene Effekte überlagert haben können und diese somit in den Auswertungen nicht explizit nachvollziehbar und trennbar sind, können Ursachen für den nicht erbrachten signifikanten Effekt nur vermutet und nicht trennscharf identifiziert werden. Im Allgemeinen bedarf es daher zunächst einer tiefergreifenderen Erforschung von Grundlagen in den zuvor genannten Bereichen, um darauf aufbauend ein Folgeprojekt zur Identifikation von Belastungswechseln als probates Mittel zur ergonomischen Gestaltung von Taktarbeit durchzuführen.

5. Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

Zur Überprüfung wurde die im Antrag beschriebene Literatursuche in Pubmed vom 29.10.2019 am 29.11.2022 für die Jahre 2021 und 2022 wiederholt. Die Suche ergab 39 Treffer, deren Titel und Abstracts gesichtet wurden. Dabei wurde eine Publikation mit direkter Relevanz für das Forschungsvorhaben bzw. den hier überprüften Ansatz zur Integration von tätigkeitsspezifischen Belastungswechsel bei Taktarbeit identifiziert, die nicht bereits im Zwischenbericht aufgeführt wurde. Diese Publikation zeigt einen Einfluss der Abfolge bei Tätigkeiten mit unterschiedlicher Beanspruchungsintensität auf Indikatoren muskulärer Ermüdung (Abfall der Medianfrequenz des OEMG-Signals).

Motabar H., Nimbarte A.D. The effect of task rotation on activation and fatigue response of rotator cuff muscles during overhead work. Appl Ergon. 2021 Nov, 97, 103461.

6. Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

Nach einer Studie der BAuA arbeiten 45% der Beschäftigten von produzierenden Unternehmen in Deutschland in taktgebundener Arbeit. Taktarbeit findet dabei v.a. vor dem Hintergrund der Maximierung der Produktivität und Transparenz über Produktionsprozesse sowie einer Reduzierung der Anlernzeit neuer Beschäftigter Anwendung (Rosen 2018). Eine Abkehr von der Taktarbeit ist aufgrund ihres hohen Verbreitungs- bzw. Anwendungsgrads, die sich vor allem durch die Flexibilität des Menschen begründet, jedoch sehr unwahrscheinlich. Auf Grund hoher Belastungen durch geringe Zykluszeiten gilt taktgebundene Arbeit jedoch als ein wesentlicher Risikofaktor für die Entstehung verschiedener MSE und MSB. Somit bedarf es innovativer Ansätze zur Reduzierung der physischen Beanspruchungen bei Taktarbeit durch Anpassung dieser an den Menschen, wie in vorliegendem Forschungsvorhaben fokussiert.

Der angestrebte Nachweis über den positiven Effekt des Einsatzes von spezifischen Belastungswechseln zur Reduktion und Vorbeugung von MSE und MSB in taktgebundener Arbeit konnte im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes jedoch nicht abschließend erbracht werden. Es besteht aber die allgemeine Einschätzung der Mitglieder des Forschungsbegleitkreises, dass die Relevanz des Forschungsansatzes für ergonomische Arbeitssystemgestaltung hoch ist, es jedoch an weiterer Grundlagenforschung in diesem Bereich bedarf. Das durchgeführte Forschungsprojekt zeigt Forschungsbedarfe u. a. in den Bereichen der Auswahl von Belastungshöhen, Anlernzeiten und -effekten, psychologischen Auswirkungen auf die Trapezmuskulatur und Überlagerungseffekten. Für zukünftige und aus diesem Projekt folgende Forschungsvorhaben können die aus der Ursachenanalyse gewonnen Erkenntnisse genutzt werden. Auf Basis dieser Erfahrungen kann ein optimierter methodischer Ansatz entwickelt werden. Als Beispiel wurden eine generell zu niedrige Belastung der Montagetätigkeiten und zu ähnliche tätigkeitsspezifische Beanspruchungen als Gründe für die nicht-signifikanten Unterschiede bzw. positiven Effekte erfasst werden konnten, identifiziert.

Nach Einschätzung des FBK sollte dazu zunächst die Wirkung weiterer Dimensionen von Belastungswechseln erforscht werden. Dies könnte beispielsweise den Einfluss der Belastungsdifferenz zwischen aufeinanderfolgenden Teiltätigkeiten unter Berücksichtigung des mittleren Belastungsniveaus umfassen. In einem zweiten Schritt könnten diese Erkenntnisse in einen methodischen Ansatz zur Erhöhung der Belastungsvariation integriert werden, um eine Übertragbarkeit und eine daraus zu entwickelnde Gestaltungsmethodik für taktgebundene Arbeitssysteme und -prozesse der industriellen Praxis zu überprüfen. Auf Basis der in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse wurden Anhaltspunkte für weitere möglicherweise relevante Dimensionen von Belastungswechsel herausgearbeitet, die eine Modifikation des methodischen Ansatzes für weitere Forschungen an diesem Thema nahelegen.

7. Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

Das Forschungsvorhaben wurde im Rahmen einer PoC Studie umgesetzt und das Konzept der gezielten Reduktion von physiologischen Belastungen und Vorbeugung daraus resultierender Berufskrankheiten durch tätigkeitsspezifische Belastungswechsel untersucht.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sind neben dem vorliegenden Abschlussbericht bereits verschiedene Veröffentlichungen entstanden, die die Inhalte des Projektes sowie seine Ergebnisse beleuchten. Hierbei sind unter anderem das Konzept und Studiendesign zu nennen, in dem die Problemstellung, das Forschungsvorhaben, die ausführliche Planung der Projektumsetzung sowie der Methodische Ansatz publiziert wurden. Die Publikation erfolgte durch die Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA). Darüber hinaus wurde im Laufe des Forschungsprojektes ein Zwischenbericht publiziert, indem die Ergebnisse aus den bis dato abgeschlossenen Arbeitspaketen aufgetretene Probleme und entsprechende Anpassung dargestellt wurden. Der Projektfortschritt bis zu diesem Zeitpunkt beinhaltet die Definition des Referenzmontageprozesses auf Basis von Literaturrecherche und Experteninterviews. Darauf folgte die Herleitung des Versuchsaufbaus und die Neukonfiguration des Montageprozesses. Das letzte Paper, das im Rahmen des Projektes bisher veröffentlicht wurde, ist eine Publikation durch die Wissenschaftliche Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik e. V. (MHI). In dieser wurden die Ergebnisse der Pilotstudie, die zur Ableitung der Neukonfiguration und als Basis für die PoC-Studie dienten, publiziert.

In aktueller Umsetzung befindet sich die Erarbeitung einer Veröffentlichung, in der die Ergebnisse aus der vergleichenden PoC-Studie zur Überprüfung der Wirksamkeit der Neukonfiguration zur Verringerung der physischen Beanspruchung abgebildet werden. Diese zielt auf Veröffentlichung in wissenschaftlichen Journals wie Applied Ergonomics, Human Factors, (International Journal of Industrial Ergonomics) ab.

Die ausstehende Ausarbeitung eines Ansatzes für die Erarbeitung eines Methodenleitfadens zur Bewertung von bestehenden sowie zur Auslegung von neuen Arbeitssystemen und die Integration dessen in die Praxis der Gesetzlichen Unfallversicherung ist auf Grund des gescheiterten PoC nicht möglich. Die Erkenntnisse können allerdings Forschungsinhalt für Folgeprojekte oder Grundlage für die Ausarbeitung einer entsprechenden Methode darstellen.

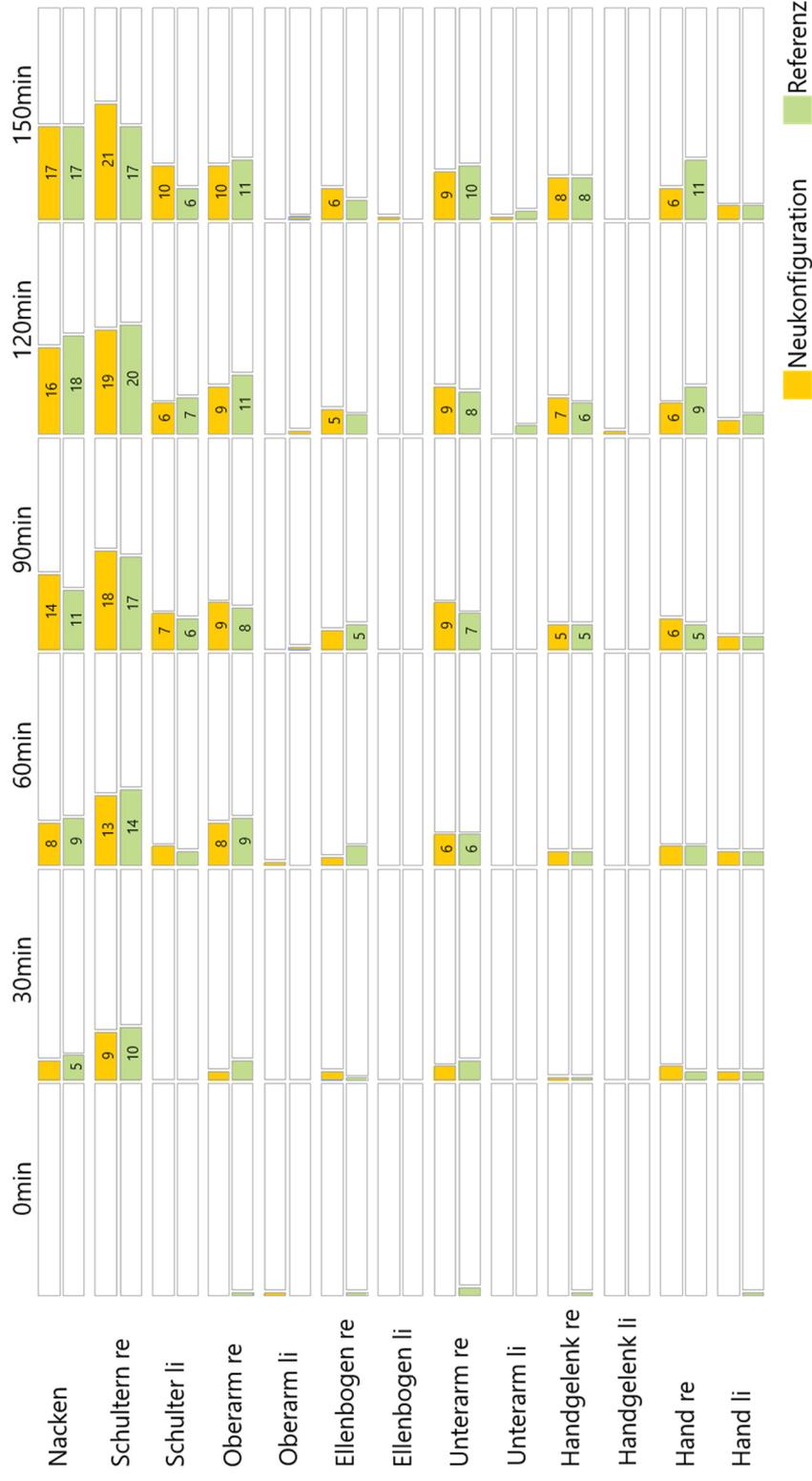
Eine Übersicht erfolgter Publikationen kann nachfolgender Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Veröffentlichte Publikationen im Rahmen des Forschungsprojektes

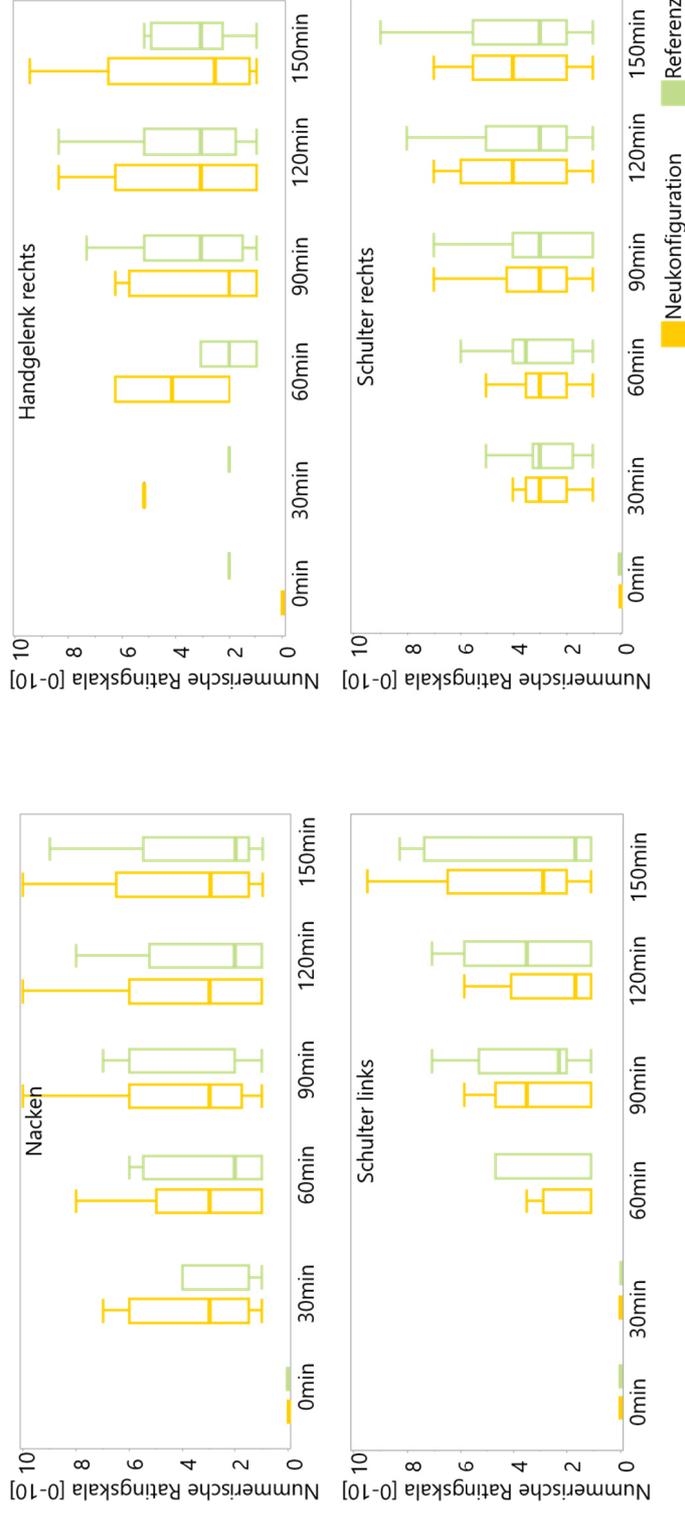
Nr.	Veröffentlichung	Zeitpunkt
1	S. Jansing, C. Rieger, J. Deuse, F. Wagenblast, B. Steinhilber. Zwischenbericht zum Vorhaben „FF-FP 0458“ Integration tätigkeitspezifischer Belastungswechsel zur Verringerung der physischen Beanspruchung bei Taktarbeit, 30.11.2021.	Q4 / 2021
2	B. Steinhilber, F. Wagenblast, R. Seibt, J. Gabriel, J. Spieler, S. Jansing, C. Rieger, T. Jabs, J. Deuse. Tätigkeitsspezifische Belastungswechsel durch Variation der Tätigkeitsreihenfolge - ein möglicher Ansatz zur Verringerung der physischen Beanspruchung? Konzept und Studiendesign, in Dokumentation des 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses (Nr.: 39), Magdeburg, 02. - 04.03.2022.	Q1 / 2022
3	S. Jansing, C. Rieger, T. Jabs, J. Deuse, F. Wagenblast, R. Seibt, J. Gabriel, J. Spieler, M.A. Rieger, B. Steinhilber. <i>Exploratory pilot study for the integration of task-specific load alternation into a cyclic assembly process</i> , in Tagungsband des 7. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter, Karlsruhe, 20.-21.07. 2022. [im Druck]	Q3 / 2022
Nr.	Geplante Veröffentlichungen	Zeitpunkt
4	F. Wagenblast, S. Jansing, C. Rieger, J. Deuse, J. Gabriel, R. Seibt, M.A. Rieger, B. Steinhilber. Integration von tätigkeitspezifischen Belastungswechsel in einen simulierten taktgebundenen Montageprozess – Effekte auf Risikoindikatoren für muskuloskelettale Beschwerden und Erkrankungen, in Dokumentation des 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses (Nr.: 40), Hannover, 01. - 03.03.2022. [angenommener Konferenzbeitrag]	Q1 / 2023
5	Arbeitstitel: Effects of task-specific load alterations in simulated cyclic assembly on muscle rest, muscle fatigue, motor variability, and discomfort – results of a proof-of-concept study. Zieljournals: Applied Ergonomics, Human Factors oder International Journal of Industrial Ergonomics [in Bearbeitung]	Q1 / 2023

8. Anhang/Anhänge

Anhang 1: Verlauf der Beschwerdefähigkeiten in der oberen Extremität während beider Montageprozesse



Anhang 2: Verlauf der Beschwerdeintensität im Nacken, der rechten und linken Schulter sowie des rechten Handgelenks für beide Montageprozesse (Boxplots)



Anhang 3: Statistischer Vergleich von objektiven und subjektiven Kontrollparametern zwischen Referenz- und neukonfiguriertem Montageprozess

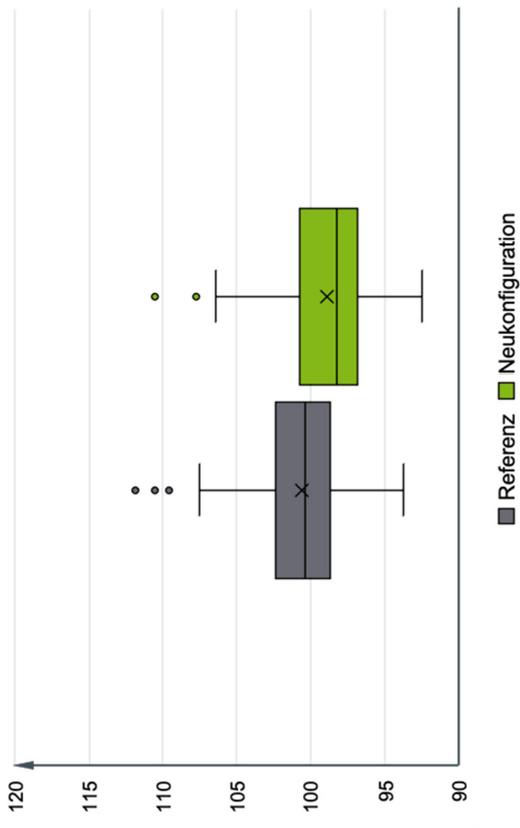
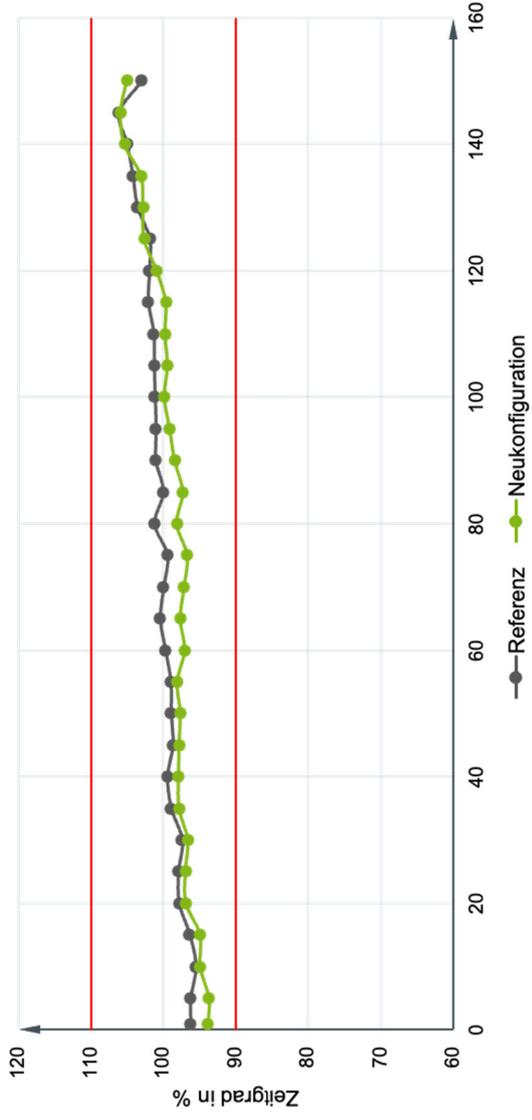
Parameter	Montageprozess	Mittel/ Median (SD/ IQR)	t-/ z-Wert	p-Wert
RMS ₉₀ [%MVE] (oberer Anteil Trapezius rechts)	Referenz	13,7 (4,8)	0,42	0,679
	Neukonfiguration	13,5 (4,5)		
RMS ₈₀ [%MVE] (oberer Anteil Trapezius links)	Referenz	12,1 (4,0)	-0,14	0,894
	Neukonfiguration	12,2 (4,5)		
RMS ₅₀ [%MVE] (oberer Anteil Trapezius links)	Referenz	5,3 (2,1)	-1,42	0,164
	Neukonfiguration	5,5 (2,3)		
^a RMS ₁₀ [%MVE] (oberer Anteil Trapezius links)	Referenz	1,6 (2,1)	-2,44	0,015*
	Neukonfiguration	2,2 (2,0)		
RMS ₉₀ [%MVE] (Handgelenksextensor)	Referenz	17,6 (5,8)	2,75	0,009*
	Neukonfiguration	16,2 (5,5)		
RMS ₅₀ [%MVE] (Handgelenksextensor)	Referenz	8,6 (3,1)	1,87	0,069
	Neukonfiguration	8,0 (2,9)		
^a RMS ₁₀ [%MVE] (Handgelenksextensor)	Referenz	1,9 (1,6)	-2,18	0,027*
	Neukonfiguration	2,5 (1,2)		
RMS ₉₀ [%MVE] (Handgelenksflexor)	Referenz	12,1 (5,5)	-0,85	0,400
	Neukonfiguration	12,8 (5,1)		
RMS ₅₀ [%MVE] (Handgelenksflexor)	Referenz	5,0 (2,6)	-1,35	0,186
	Neukonfiguration	5,5 (2,6)		
^a RMS ₁₀ [%MVE] (Handgelenksflexor)	Referenz	0,5 (0,5)	-2,68	0,007*
	Neukonfiguration	0,6 (0,5)		
^a ACC _{med-lat} [mm/s ²]	Referenz	1528,0 (906,1)	-0,82	0,411
	Neukonfiguration	1536,5 (955,9)		
^a ACC _{ant-post} [mm/s ²]	Referenz	1137,9 (691,1)	-0,91	0,372
	Neukonfiguration	1127,9 (721,8)		
mHR [bpm]	Referenz	95,1 (13,4)	0,60	0,552
	Neukonfiguration	94,2 (14,6)		

OEMG-Parameter: dynamische Muskelaktivität (RMS₉₀), mittlere Muskelaktivität (RMS₅₀), statische Muskelaktivität (RMS₁₀); accelerometrische Parameter: Beschleunigung rechter Unterarm in medio-lateraler Richtung (ACC_{med-lat}) und antero-posteriorer Richtung (ACC_{ant-post}); elektrokardiographischer Parameter: mittlere Herzfrequenz (mHR); Parameter der subjektiven Anstrengung: Mittelwert der Anstrengungsbewertung nach Borg (RPE).

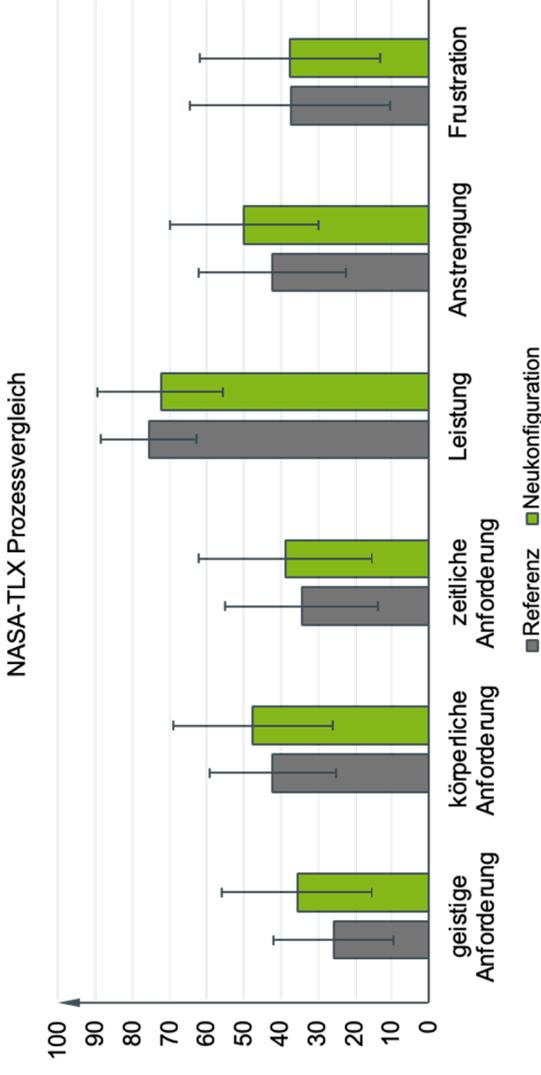
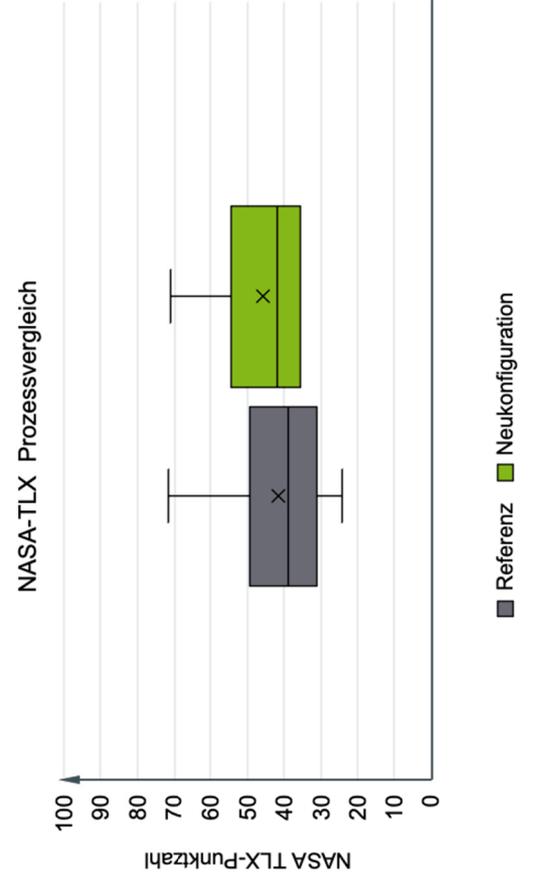
^a Bei nicht-normalverteilten und/oder ordinal skalierten Parametern wurde statt eines gepaarten T-Tests der Wilcoxon-Rangsummen-Test für den statistischen Vergleich zwischen Referenz- und neukonfigurierter Montage verwendet. Zudem wird statt Mittelwert und Standardabweichung (SD) Median und IQR angegeben

* Statistisch signifikanter Effekt (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$)

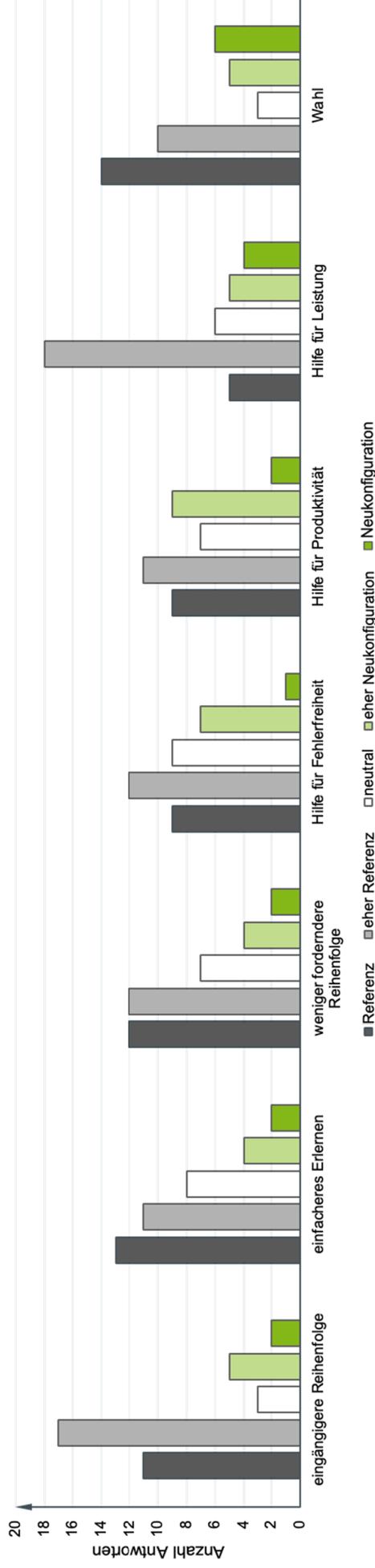
Anhang 4: Vergleich des Zeitgrades zwischen Referenz- und Neukonfigurationsprozess



Anhang 5: Subjektive Bewertung der wahrgenommenen Arbeitsbelastung mithilfe des NASA Task Load Index



Anhang 6: Auswertung der Akzeptanzbefragung



Literaturverzeichnis

Aarås A. Postural load and the development of musculo-skeletal illness. Scand J Rehabil Med Suppl. 1987, 18, 5-35.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2021. Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Berichtsjahr 2020, Unfallverhütungsbericht Arbeit; 1. Auflage.

Da Costa B.R., Vieira E.R., 2010. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. Am J Ind Med. 53 (3), 285-323.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2020. <https://www.dguv.de/de/zahlen-fakten/bk-geschehen/bestaetigte-bk-faelle/index.jsp> Zugriff: 07.05.2020.

Distefano G., Goodpaster B.H. Effects of Exercise and Aging on Skeletal Muscle. Cold Spring Harb Perspect Med. 2018 Mar, 8(3), a029785.

Feldes, W., Fergen, A., Pickshaus, K., Römer, B., Wagner, H., 2006. Gute Arbeit braucht Erholpausen – Argumente und Fakten. IG Metall Vorstand (Hrsg.). Projekt Gute Arbeit in Zusammenarbeit mit Funktionsbereich Tarifpolitik.

Jürgens U., 2006. Weltweite Trends in der Arbeitsorganisation. In: Clement, U.; Lacher, M (Hrsg.): Produktionssysteme und Kompetenzerwerb – zu den Veränderungen moderner Arbeitsorganisation und ihren Auswirkungen auf die berufliche Bildung. Franz Steiner Verlag.

Jonsson B. Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constrained work. J Hum Ergol (Tokyo). 1982 Sep, 11(1), 73-88.

Koukoulaki, T., 2014. The impact of lean production on musculoskeletal and psychosocial risks: An examination of sociotechnical trends over 20 years. Applied Ergonomics 45, S. 198-212

Landau, K., 2007. Lexikon Arbeitsgestaltung. Alfons W. Gentner Verlag.

Mathiassen S.E., Winkel J. Electromyographic activity in the shoulder-neck region according to arm position and glenohumeral torque. Eur J Appl Physiol Occup Physio. 1990, 61(5-6), 370-9.

Nof S.Y., Wilhelm W., Warnecke H., 2012. Industrial Assembly. Springer Science & Business Media.

Padula R.S., Comper M.L.C., Sparer E.H., Dennerlein J.T. Job rotation designed to prevent musculoskeletal disorders and control risk in manufacturing industries: A systematic review. Appl Ergon. 2017 Jan, 58, 386-97.

Palmerud G., Sporrang H., Herberts P., Kadefors R. Consequences of trapezius relaxation on the distribution of shoulder muscle forces: An electromyographic study. J Electromyogr Kinesiol. 1998, 8(3), 185-93.

Rosen, P.H., 2016. Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt - Handlungs- und Entscheidungsspielraum, Aufgabenvariabilität. BAuA, Dortmund.

Rosen P.H., 2018. Tätigkeitsspielräume in Produktionsaufgaben — arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse und Gestaltungsoptionen. ASU Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 53 (Sonderheft), 9-14.

Seidel D.H., Ditchen D.M., Hoehne-Hückstädt U.M., Rieger M.A., Steinhilber B. Quantitative Measures of Physical Risk Factors Associated with Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Elbow: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Jan,16(1), 130.

Visser B., Van Dieen J.H. Pathophysiology of upper extremity muscle disorders. *J Electromyogr Kinesiol*. 2006, 16(1), 1-16.

Westad C., Westgaard R.H., De Luca C.J. Motor unit recruitment and derecruitment induced by brief increase in contraction amplitude of the human trapezius muscle. *J Physiol*. 2003, 552(Pt 2), 645-56.

Westgaard R.H. Effects of physical and mental stressors on muscle pain. *Scand J Work Environ Health*, 1999, 25 Suppl4, 19-24.

Wilmore J.H., Costill D.L., 2004. *Physiology of sport and exercise*. 3rd ed. Leeds: Human Kinetics.