

Lean Ergonomics als Praxismethode zur Identifikation betrieblicher Verbesserungspotentiale

Lean Ergonomics as a practical method for the identification of operational improvement potentials

Stefan BRUNNER¹, Klaus KÜHNEL², Klaus BENGLER¹

¹ *Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München,
Boltzmannstraße 15, D-85747 Garching bei München*

² *Wacker Chemie AG,
Johannes-Hess-Straße 24, D-84489 Burghausen*

Kurzfassung: In diesem Beitrag wird Lean Ergonomics (LE) als mitarbeiter- und prozessbezogene Methode praxisorientiert vorgestellt. Stagnationen bei wirtschaftlichen Verbesserungen der Prozesse, verbunden mit bekannter, hoher Belastung der Basisarbeitenden am Shopfloor bei jedoch uneindeutigen Ansatzpunkten ergonomischer Maßnahmen bergen breites Analyse- und Optimierungspotential, das explorativ anhand LE aufgezeigt werden kann. 12 repräsentative Arbeitsprozesse an Großreaktoren der Chemieindustrie bilden den Untersuchungsraum. Jeder einzelne Arbeitsprozess erhält ein Lean-Ergonomics Daten Set, das sich aus Zeitdaten [Standardabweichung in min & %], objektiver Ergonomie [EAWS] und subjektiver Beanspruchung [Borg, NASA-TLX; beide pseudonymisiert] zusammensetzt. Es stehen 2 prozessual identische Produktionshallen zur Verfügung, weshalb zur weiteren allgemeineren Analyse des Arbeitssystems der Kurzfragebogen zur Arbeitsanalyse ebenfalls pseudonymisiert erhoben wird. Folglich ergibt sich eine vielfältige Datenstruktur an quantifizierbaren personenbezogenen Methoden, objektiven, prozessbezogenen Belastungsfaktoren und wirtschaftlich relevanten, ebenso prozessbezogenen Key Performance Indicators (KPIs).

Schlüsselwörter: Lean Ergonomics, Lean Management, Ergonomie, Operational Excellence

Abstract: This paper presents Lean Ergonomics (LE) as an employee- and process-related method in a practice-oriented way. Stagnations in economic improvements of the processes, combined with known, high stresses of the basic workers on the shopfloor with, however, ambiguous starting points of ergonomic measures hold broad analysis and optimization potential, which can be shown exploratively on the basis of LE. 12 representative work processes at large reactors in the chemical industry form the study area. Each individual work process receives a Lean Ergonomics data set consisting of time data [standard deviation in min & %], objective ergonomics [EAWS] and subjective ergonomics [Borg, NASA-TLX; both pseudonymized]. Two process-identical production halls are

provided, which is why KFzA is also collected pseudonymously for further more general analysis of work system design. Consequently, a diverse data structure of quantifiable person-related methods, objective, process-related loads and economically relevant, likewise process-related KPIs results.

Keywords: lean ergonomics, lean management, human factors engineering, operational excellence

1. Einleitung

Der Produktionsstandort Deutschland erfuhr mit der Corona Pandemie ein VUCA-Event (Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity) unerwarteten Ausmaßes, dessen Folgen erst verzögert sichtbar werden (Raehlmann 2020). Basisarbeitende waren insbesondere in dieser Zeit im Rampenlicht, wohingegen ihr Beitrag zum wirtschaftlichen Erfolg Deutschlands unabhängig von der Pandemie von größter Relevanz ist (Zwingmann 2022). Basisarbeit wird meist durch eine hochgradig körperliche Dimension bestimmt. Insbesondere in Hinblick auf den demografischen Wandel sind Belegschaften einem erhöhten Risiko muskuloskelettaler Überlastung ausgesetzt, wenn im Alter gleichbleibend Basisarbeit betrieben wird (Baur 2013). Die Belastung wird durch Nachtschicht und anspruchsvolle Arbeitsumgebung nochmals erhöht, was auf Rahmenbedingungen vieler Basisarbeitenden (Vicente-Herrero et al. 2016) und die Stichprobe dieses Beitrages zutrifft. Von expliziten ergonomischen Maßnahmen würden folglich viele Basisarbeitende unmittelbar profitieren (Hall & Sevindik 2020). Um Investitionen in die Arbeitsplatzergonomie zu motivieren, wird vielfach ein betriebswirtschaftlicher Erfolg erwartet, was teilweise schwer oder nur mit deutlichem Zeitversatz zu beweisen ist. Dieser Zeitversatz schreckt viele Unternehmen ab, explizit Produktionsergonomie wissenschaftlich und eigenständig zu betreiben (Chintada 2022; Jiang & Duffy 2021).

Der demografische Wandel führt weitergehend dazu, dass nicht nur altersbedingte Überlastungen auftreten werden, sondern dass Erfahrungswissen aufgrund der körperlichen Überbelastung unerwartet frühzeitig aus dem Unternehmen ausscheidet und nicht adäquat ersetzt werden kann. Für Unternehmen ist dies in Form betriebswirtschaftlicher Problematiken in Produktionsprozessen deutlich spürbar. Dies führt zum Teil zu gezielten Investitionen in die Ergonomie (Jennex & Durcikova 2009).

Derzeit fehlt eine anwenderorientierte Methode, die dem betrieblichen Akteur ermöglicht, ergonomische und betriebswirtschaftliche Verbesserungspotentiale kombiniert zu erheben und höheren Managementebenen Investitionsentscheidungen vorzubereiten, die Produktionsperformance und Ergonomie verbessern und damit ultimativ dazu führen alternde Belegschaften gezielt, mit größtmöglichem Hebel zu entlasten und Neuplanungen wettbewerbsfähig abzusichern. Um eine nachhaltige und zielgerichtete Entlastung von Basisarbeitenden in Unternehmen zu erreichen, wird nach Brunner et al. (2022) davon ausgegangen, dass wirtschaftliche Erfolgsaussichten Unternehmen motivieren, Ergonomie als Erfolgsfaktor einerseits im operativen Tagesgeschäft und andererseits als strategisch wertvollen Faktor in Form von Operational Excellence zu betrachten.

Auf dieser Grundlage wird im Folgenden dargestellt, wie Ergonomie als unternehmerischer Erfolgsfaktor nachgewiesen werden kann. Für die Realisierung dieses Forschungsansatzes wird Lean Ergonomics genutzt. Nach Brunner et al. (2022) wird Lean Ergonomics als die vereinte Betrachtung und Verfolgung

betriebswissenschaftlicher und ergonomischer Synergien und Ziele zur ganzheitlichen und nachhaltigen Produktivitätssteigerung bei gleichzeitiger Erhaltung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Mitarbeitenden verstanden.

2. Problemstellung und Motivation

Diese beschriebene, einerseits unsichere, andererseits wandlungsfähige Gemengelage im produzierenden Gewerbe legt explorative Ansätze im Sinne einer High-Risk-High-Gain Methodik nahe. Es wird angenommen, dass Betriebswissenschaft und Ergonomie synergistisch in Zusammenhang treten, wenn vorab dieser Zusammenhang statistisch und kausal, sowie praxisrelevant hergeleitet werden konnte. Dies bedeutet für das Unternehmen einen Wirtschaftlichkeitszuwachs auf zwei Ebenen. Einerseits sind bei erwiesener Abhängigkeit durch ergonomische Investitionen betriebliche Erfolge zu erwarten und andererseits können ergonomische Handlungsoptionen nach Wirtschaftlichkeit ausgewählt werden, ohne Gefahr zu laufen, Fehlinvestitionen in kurzfristige Brandherde zu stecken, die in der Gesamtheit an möglichem Verbesserungspotential nur nachrangig sinnvoll sind.

Sekundär sollen geeignete Methoden recherchiert und angewandt werden, die es erlauben, subjektiv-qualitativen „Flurfunk“ und informelle Kommunikation auf dem Shopfloor in quantifizierbare Daten zu überführen. Es wird angenommen, dass die übergeordnete Unternehmenskultur und der sozio-psychologische Rahmen relevante Erkenntnis für den Ganzheitlichkeitsanspruch von Lean Ergonomics liefern. Dieser Ansatz setzt häufige Anwesenheit der LE-Experten auf dem Shopfloor und Akzeptanz durch die Belegschaft voraus. Womack et al. beschrieben für die Einführung von *lean* einen ähnlichen Prozess, nämlich das Beobachten der Produktionsprozesse auf dem Shopfloor und die Kommunikation mit den Beschäftigten, die als eigentliche Prozessexperten und Prozessexpertinnen ihr Wissen in Verbesserungen mit einbringen sollen (Womack 2007).

Konzeptionell wurde Lean Ergonomics erstmals 2022 als wissenschaftliche Teildisziplin definiert, die den Anspruch erhebt, Synergien zwischen Produktionsergonomie und Produktionsmanagement zu erfassen (Brunner et al 2022). Die International Ergonomics Association (IEA) hat in ihrem Strategiepapier über die Zukunft der Ergonomie (Dul et al. 2012) darauf hingewiesen, dass Human Factors/ Ergonomics (HFE) grundsätzlich auf zwei Resultate abzielt: „well-being“ und „performance“. Gerade letzteres Leistungsversprechen bzw. deren Wahrnehmung soll laut IEA in zukünftigen Forschungsarbeiten erarbeitet und mit Stakeholdern, primär der Stakeholder-Gruppe der Systemgestalter, kommuniziert werden. Folglich wird in der vorliegenden Arbeit erforscht, ob LE diesem Anspruch der IEA gerecht werden und ein zusammenhängendes betriebswissenschaftliches und arbeitswissenschaftliches Verbesserungspotential ausmachen kann.

In diesem Beitrag wird die Forschungsfrage untersucht, ob LE Zusammenhänge zwischen Prozess- bzw. Produktivitätskennzahlen und Mikroergonomie (objektiv und physisch bzw. psychisch) aufzeigen und mit makroergonomischer Arbeitssystemgestaltung mit wissenschaftlichem und praktischem Mehrwert verbinden kann.

3. Methode

In einer LE-Forschungskooperation mit einem Industriepartner der Chemieindustrie wird das Methodengerüst nach Brunner et al. (2022) in der Praxis ausgerollt. Der Industriepartner stellt hierzu Zugang zu zwei Produktionshallen (A & B) und zwei interne LE-Projektleiter. In beiden Hallen wird nach gleichem Prozess an chemischen Großreaktoren das gleiche Endprodukt hergestellt. Produziert wird jeden Tag 24 Stunden in Früh-, Spät- und Nachtschicht à acht Stunden in einem Fünf-Schichtsystem in kombinierter Baustellen-Werkstattfertigung. Es handelt sich um Basisarbeit, die körperlichen Einsatz unter erhöhter Umgebungsbelastung beinhaltet. Technische und organisatorische Unterschiede beider Hallen werden nur berücksichtigt, wenn für die LE-Methode relevant.

Das Projektteam setzt sich aus Beteiligten aus der Arbeitsmedizin, dem Betriebsrat (BR), dem Produktionsmanagement (PM) und der Betriebsleitung zusammen (BL).

3.1 Quantifizierung allgemeiner qualitativer Verdachtsmomente

Zu Beginn führten offene Diskussionsrunden im Projektteam und Expert/-innen-Interviews zur Definition des grundsätzlichen Vorgehens und zur Methodenauswahl. LE wird folglich innerhalb der Hallen A und B angewandt, dient aber auch zum Vergleich beider Produktionshallen. Nach Einschätzung betrieblicher Expert/-innen wird ein Hallenunterschied im Bereich der Umgebungsbelastung und Soziodemografie der beiden Belegschaften erwartet, weshalb entschieden wird, eine orientierende, pseudonymisierte Mitarbeiterbefragung mittels dem KFzA (Prümper et al. 1995) durchzuführen. In Halle A sind 112 Beschäftigte tätig, in Halle B 45. In Halle A nehmen 85 Beschäftigte an der Befragung mittels KFzA teil und in Halle B 37. Erweitert wurde der KFzA mit einer Altersabfrage in fünf Jahresintervallen von 20 bis 65 und einer Eigeneinschätzung der Gesundheit nach dem Short Form 12 Gesundheitsfragebogen (SF-12) (Wirtz et al. 2018). Aus letzterem wurden zwei Fragen (*Gesundheitszustand im Allgemeinen* und *Beeinträchtigung in Alltag und Beruf durch Schmerzen innerhalb vier Wochen*) entnommen, die je auf einer fünf-stufigen Skala von 1 (positive Ausprägung) bis 5 (negative Ausprägung) zu beantworten sind.

Aus indizienbasierten Vermutungen und informeller Kommunikation, die vor und während des Projektes vernommen wurde und der aufgestellten Forschungsfrage konnten Hypothesen abgeleitet werden, die mittels KFzA überprüft werden:

H1: Halle B ist generell unzufriedener

H2: In Halle A liegen weniger Arbeitsunterbrechungen vor

3.2 Prozessbezogene Daten

Für das LE Projekt wurden 12 repräsentative Arbeitstätigkeiten mit Expert/-innen und Beschäftigten ausgewählt. Die Anzahl von $n = 12$ wurde über eine Poweranalyse (Faul et al. 2007) für angestrebte statistische Auswertung mittels multipler linearer Regression definiert. Die 12 Prozesse bilden mit einer Gesamtdauer von vier bis fünf Stunden, bei zweimaligem Durchlaufen, in etwa eine Schicht, also einen achtstündigen Arbeitstag ab. Sie können sinnvoll voneinander abgegrenzt werden, was nötig ist, um prozessbezogene und mitarbeiterbezogene Daten innerhalb des gleichen Ausschnittes zu erheben. Die einzelnen Prozessdauern liegen zwischen fünf und 35

min. Die 12 Tätigkeiten sind Basisarbeit und primär körperlicher Natur und werden wie in Tabelle 1 dargestellt aufgeteilt. Detailliertere technische und prozessuale Angaben können aus Gründen der Geheimhaltung nicht gemacht werden und werden für Lean Ergonomics hier auch nicht benötigt. Der generelle Ablauf ist in seiner Chronologie gleichbleibend und unterscheidet sich nicht relevant zwischen den Hallen. Jeder Beschäftigte durchläuft den Ablauf gleichermaßen durchschnittlich zweimal pro Schicht.

Tabelle 1: 12 Arbeitsprozesse**Table 1:** 12 Workprocesses

	Kurzbezeichnung der Tätigkeit	Kurzbeschreibung
1	Großer Schraubenkranz	Manuelle Verschraubung eines Großreaktors (∅ ca. 2 m, Höhe ca. 3-5 m, 50-70 Schrauben à 1-2 kg mittels E-Schrauber von 3-5 kg; bauraumbedingt teils manuell mit Drehmomentschlüssel; ≤ 800 Nm möglich)
2	Verschraubung von Feingewinden	Manuelles Verschrauben (feinmotorisch, hoch repetitiv, Schulterniveau) mittels Maulschlüssel + Abdichten kleinerer Leitungen (Füge- und Überkopfarbeit)
3	Sicherungsgerüst aufbauen	Verschieben + Aufbauen einer Einkapselung des Reaktors für dessen Räumung (rollengelagert, ca. 400 kg, ca. 3x2 m)
4	Systemeingaben + Rückmeldung	Nichtkörperlich-dominierte Aufgabe; Bedienung eines Tablets und Erfassung sowie Rückmeldung von Prozessdaten (hohe Konzentration und passende Softwarebedienung nötig)
5	Kran steuern	Fahren des Hallen-Lastenkran zum Anheben der Haube der Reaktoren + Ausbau des Produktes (geringe Fehlertoleranz, enger Bauraum; Fehlsteuerung kostspielig)
6	Transport des Produkts	Das, im Reaktor, produzierte Gut (>200 kg) wird mittels E-Ameisen aus der Halle zu Weiterverarbeitung transportiert
7	Entfernen verbrauchter Betriebsmittel	Wenn die Reaktorhaube entfernt wurde, wird auf deren Bodenplatte Verbrauchsmaterial entfernt (umfängliche persönliche Schutzausrüstung nötig)
8	Reinigung	Die Bodenplatte des Reaktors wird nass gereinigt
9	Bedienung Industriestaubsauger	Nicht nass zu reinigende Elemente am Reaktor werden mittels Staubsauger von Prozessrückständen befreit
10	Neu Bestückung mit Verbrauchsmaterial	Die in 7 entfernten Betriebsmittel werden in gereinigter Form wieder auf der Bodenplatte angebracht
11	Einbau weiteren Verbrauchsmaterials	Für das Vorbereiten der Produktion der neuen Charge an Endprodukten, werden weitere Betriebsmittel in den geöffneten Reaktor eingebaut. Dieser Einbau benötigt handwerkliches Geschick und visuell-laserbasierte Überprüfung der Ausrichtung
12	Isolierung	An den Reaktor werden 10-15 Isolierkassetten angebracht (7-20 kg, 0,5 x 1 m bis 0,8 x 1,3 m)

Der Grundgedanke von LE wird beibehalten, indem, so weit wie möglich, aus bereits vorhandenen Daten durch sinnvolle Verbindung neues Wissen generiert wird. So

zeigten sich Zeitdaten als nützlich und sinnvoll, da diese für fast jeden einzelnen Arbeitsprozess automatisch anfallen. Für die Arbeitsprozesse, für jene keine Zeiten automatisch im System abfallen, wurde eine Zeitstudie durchgeführt. Weitere mögliche KPIs wie Ausbeute, Produktivität oder Arbeitsfehler liegen nicht in passender Granularität vor und können auch nicht auf die LE-Stichproben der Arbeitsprozesse wissenschaftlich haltbar berechnet werden. Im Konkreten wurde für jeden der 12 Arbeitsprozesse die Standardabweichung der Ausführungszeit errechnet und als wirtschaftliche KPI genutzt. Die Standardabweichungen wurden auf Basis von 20-30 Einzel-Ausführungszeiten berechnet.

Die Standardabweichung in Minuten pro Arbeitsprozess und die prozentuale Standardabweichung zur Vorgabezeit fungieren in der Methode somit als die geforderten betriebswissenschaftlichen Variablen. Sie zeigen zudem Verbesserungspotential auf, da hohe Standardabweichungen mit Unsicherheiten im Gesamtprozess assoziiert werden können, die betriebswissenschaftlich, ergonomisch, aber auch technisch auffällig sein können und daher initial, ohne weitergehende Analyse, neutrales Verbesserungspotential darstellen. Unter *neutralem Verbesserungspotential* wird hierbei die fehlende Information oder Kenntnis der Gründe einer auffallend, oder unerwartet hohen Standardabweichung verstanden. Dies kann betriebswissenschaftlicher Natur sein, wenn z. B. Wege versperrt sind, die erst frei geräumt werden müssen, um Materialfluss zu ermöglichen, oder Betriebsmittel betreffen, die nicht nach 5S-Systematik aufgeräumt wurden. Als ergonomisch begründete auffällig hohe Standardabweichung ließe sich beispielsweise Minderbeleuchtung verstehen, die bei nicht routinemäßigen Tätigkeiten erst um eine mobile Zusatzbeleuchtung ergänzt werden muss, also Standardabweichungen, die hauptsächlich durch rein ergonomischen Einfluss als erhöht auffallen. Gleiches gilt für technischen Einfluss, was beispielsweise Materialdefekt beim Werkzeug oder beim Produkt sein kann.

Die Prozesse höchster Standardabweichung in Hinblick auf die durchschnittliche Ausführungszeit sind priorisiert zu analysieren und zu verbessern und dienen als Angriffspunkt mit größtem Hebel (Mapes et al. 2000; Karsh et al. 2006; Dul & Neumann 2005). Da längere Tätigkeiten auch insbesondere höhere absolute Standardabweichungen rechtfertigen können, wurde die Standardabweichung auf die durchschnittliche Bearbeitungszeit normiert. Folglich liegt pro Tätigkeit eine absolute [min] und eine normierte [%] Standardabweichung vor. Weiterer Grund der Entscheidung für die Standardabweichung ist ebenso, dass mit dieser der Zeitabhängigkeit von EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) entgegengewirkt werden kann und folglich eine Korrelation objektiver und valider gerechnet werden kann. Es ist nämlich anzunehmen, dass der EAWS-Wert mit ansteigenden Mittelwerten der Ausführungszeiten ebenso ansteigen würde, was lediglich zu einer Scheinkorrelation führt. Bei bloßem Einbezug der Mittelwerte der Ausführungszeiten, hat das LE-Team Abhängigkeiten von EAWS und den Ausführungszeiten erwartet, was anhand Literatur geprüft werden konnte und der Logik von EAWS entspricht (Chander & Cavatorta 2017; Schaub et al. 2013).

Die ergänzend ergonomische, prozessbezogene Variable ist daher EAWS (Schaub et al. 2013). So wie die Standardabweichung der Bearbeitungszeit pro einzelnen Arbeitsprozess vorliegt, wird die Ergonomie anhand EAWS für jeden einzelnen Arbeitsschritt bewertet. Die Bewertung erfolgt unterstützt durch eine Begehung mit dem Expert-/innenteam und der TiCon Software (MTM).

Folglich liegen 12 Standardabweichungen (jeweils absolut und normiert) der Arbeitsprozesszeit und 12 EAWS Bewertungen pro Halle vor.

3.3 Mitarbeiterbezogene Daten

Auf Seiten der Beschäftigten ist das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Rohmert 1984) von hoher Bedeutung. Die Beanspruchung wird je Tätigkeitsabschnitt mitarbeiterbezogen (pseudonymisiert) mittels der Borg-Skala (Borg 1985) und dem NASA-TLX (N-TLX, Nasa Task Load Index; Hart & Staveland 1988) erhoben. Auf eine vorangehende Gewichtung der Dimensionen des N-TLX wird aus ökonomischen Gründen verzichtet.

Aufgrund der Prozessanzahl ($n = 12$), den zwei Hallen (A & B) und einer Anzahl von Mitarbeitern von $AB_{\text{Gesamt}} = 157$ wurde eine Einschränkung mitarbeiterbezogener Borg und N-TLX Erhebungen vorgenommen, da grundsätzliche Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit der LE Methode nötig ist, um eine nachfolgende Anwendung zu ermöglichen.

Pro Halle wird in einem Fünf-Schichtsystem gearbeitet. Eine möglichst gleichmäßige Verteilung an Borg und N-TLX Erhebungen über alle Schichten hinweg wurde als einzige Voraussetzung angesehen. Nach Literaturrecherchen und Expert-/innengesprächen wurde eine Spanne von 20-30 Borg- und N-TLX-Erhebungen pro Arbeitsprozess angestrebt (Saha et al. 2017; Dadashi et al. 2022). Dies konnte realisiert werden. Für Halle A wurden 29 (in vier Schichten jeweils sechs und in einer Schicht fünf) Mitarbeiter mittels Borg und N-TLX unmittelbar nach Beendigung des jeweiligen Arbeitsprozesses nach der Beanspruchung befragt und für Halle B 22 (in zwei Schichten jeweils fünf und in drei Schichten jeweils vier) Mitarbeiter. Vor der Befragung wurde nach Einverständnis gefragt und der Pseudonymisierungscode auf dem Papier notiert. Von diesen, innerhalb der Tätigkeiten befragten, Mitarbeitern liegen auch deren KFzA Fragebögen und die Gesundheitsfragen vor.

Über die Pseudonymisierung erfolgt somit die mitarbeiter- und prozessbezogene Verbindung von Borg, N-TLX und dem nicht-tätigkeits- aber mitarbeiterbezogenen KFzA mit Altersklasse in fünf Jahresabschnitten und zwei SF-12 Fragen, so wie der Einsatzort (A oder B).

3.4 Methodische Zusammenführung

Über die klare Definition von 12 Arbeitsprozessen und die Unterteilung des LE-Datensamples in mitarbeiter- bzw. prozessbezogen konnte den Mitarbeitern und dem interdisziplinären Projektteam das Vorgehen transparent aufbereitet werden. Der Begriff „Lean Ergonomics-Datensample“ wurde geläufig und dessen Nennung und Nutzung führte dazu, dass nicht der gesamte Inhalt an Methoden und KPIs pro Arbeitsprozess genannt werden musste.

Der KFzA ermöglicht keinen Prozessbezug, gibt aber über seine Unterteilung in Faktoren ein Gesamtbild ab, das einerseits zum Hallenvergleich dient und andererseits über den Pseudonymisierungscode eine Verbindung mit den Borg und N-TLX Werten zulässt. Daher können über die Faktoren des KFzA Grundvoraussetzungen abgeleitet werden, die, wenn korrelierend, Auswirkung auf das körperliche und/oder psychomenteale Beanspruchungsempfinden des Mitarbeiters während der Ausübung einer der 12 Tätigkeiten zeigen.

Die prozess- und mitarbeiterbezogenen Borg- und N-TLX Werte bilden Beanspruchungen nach Mitarbeiter und nach Arbeitsprozess ab. Ausschließlich arbeitsprozessbezogen sind die EAWS- und Zeitdaten.

Die Besonderheit dieser explorativen Forschungskoooperation ist, dass sich während dem Projekt neue Erkenntnisse über die Anwendung von LE ergaben, die durch die Methodenauswahl und einem agilen, inklusiven Projektmanagement betrieblicher und universitärer Seite entstanden sind. In Folge dessen ergibt sich ein großes Ergebnisspektrum mit diversen statistischen Verfahren. Detaillierte und methodisch anspruchsvollere Ausschnitte hiervon befinden sich bei Einreichung dieses Artikels noch in der Auswertung, daher wird der Fokus in diesem Beitrag auf universellere und makroskopische Ausarbeitung gelegt.

Auf Basis der Absätze 3.2, 3.3 und der Forschungsfrage wird Hypothese H3 aufgestellt:

H3: Die Standardabweichungen (absolut oder relativ) korrelieren positiv mit EAWS- sowie Borg- oder NASA-TLX-Werten.

4. Ergebnisse

4.1 Quantifizierung allgemeiner Verdachtsmomente

Die Polarität des KFzA wurde nach Haiden et al. (2002) für alle Faktoren gleichgerichtet, was die Interpretation erleichtert. Dies betrifft die Faktoren *qualitative Arbeitsbelastung*, *quantitative Arbeitsbelastung*, *Arbeitsunterbrechungen* und *Umgebungsbelastung*. Somit bedeutet die Auswertung eines Items keine Ausprägung der korrespondierenden Fehlbelastung „sondern verdeutlichen in einer hohen Ausprägung das Nicht-Vorhanden-Sein des entsprechenden Stressfaktors.“ (Haiden et al. 2002)

Die Schwellen zum Positiven bzw. Negativen betragen 3,5 bzw. 2,5 und sind in Abbildung 1 markiert (Prümper & Richenhagen 2011). Wie in der Abbildung gekennzeichnet (*: p-Wert < 0.05; ** < 0.01; *** < 0.001; gilt für gesamten Beitrag), unterscheiden sich die beiden Hallen signifikant in den Faktoren *Vielseitigkeit*, *quantitative und qualitative Arbeitsbelastung*, *Umgebungsbelastung*, *soziale Rückendeckung*, *Zusammenarbeit*, *Information & Mitsprache* sowie *Betriebliche Leistungen*.

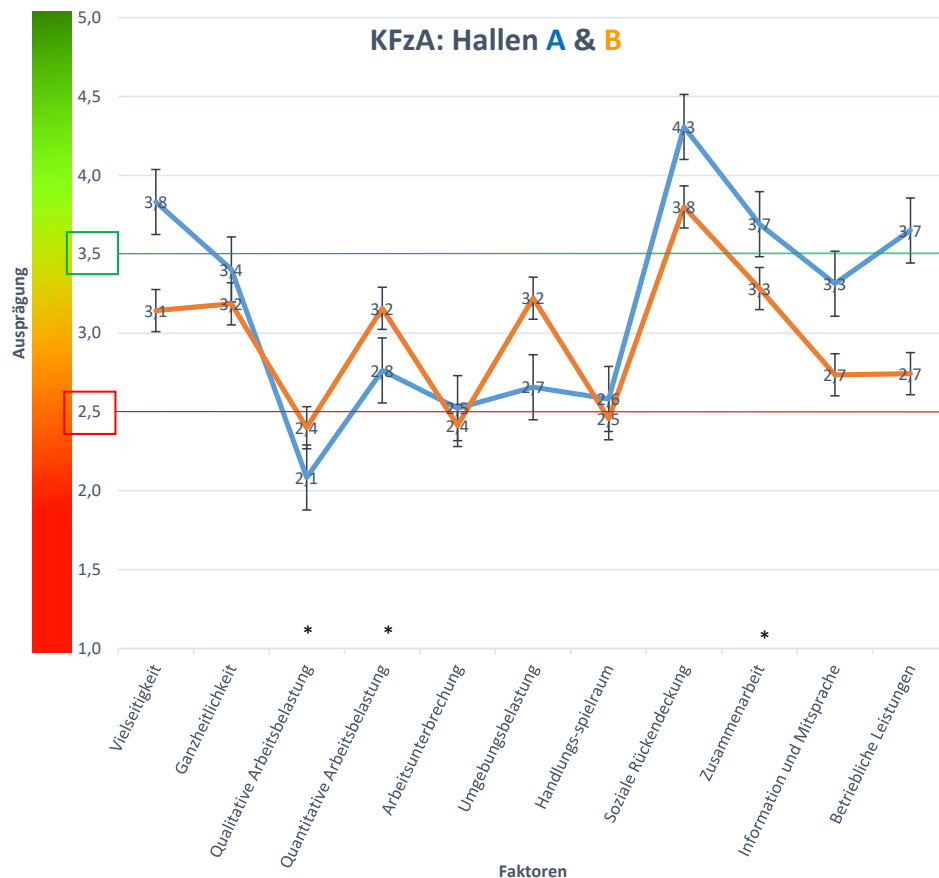


Abbildung 1: KFzA nach Halle differenziert

Figure 1: KFzA differentiated by hall

Von den 112 Mitarbeitern in Halle A erhielten wir 83 vollständige KFzA-Fragebogen und von den 45 Mitarbeitern in Halle B erhielten wir 35 vollständige Bögen. Es wurden vier Fragebögen in Gänze ausgeschlossen, die durchgehend nur maximal positiv, oder maximal negativ, oder unvollständig bewertet wurden.

Die Teilnehmer aus Halle B waren mit durchschnittlich 48 Jahren vier Jahre älter als Teilnehmer der Halle A, was den tatsächlichen demografischen Gegebenheiten der Hallen entspricht.

Halle A gibt Gesundheit mit 2,44 und Halle B mit 3,10 an. Alter korreliert in beiden Hallen signifikant ($p < .05$) mit Gesundheit (A: $r = 0.4$; B: $r = 0.5$). Ältere Mitarbeiter schätzen sich folglich weniger gesund ein.

Anhand eines SEM-Modells (structural equation modeling) werden Gesundheit und Alter analysiert. Anstatt zwei einzelner Regressionen (Gesundheit_1 & Gesundheit_2) wird Gesundheit als ein Faktor angesehen. Tabelle 2 zeigt das Ergebnis einer Strukturgleichungsmodellierung, um den Effekt der erhobenen Variable *Alter* auf den latenten Faktor *Gesundheit*, welcher innerhalb des Messmodells (unter „Latente Variablen“ in Tab. 2) von den beiden im Gesundheitsfragebogen erhobenen Variablen *Gesundheit_1* und *Gesundheit_2* gebildet wird. Das Strukturmodell („Regression“ in Tab. 2) zeigt den signifikanten linearen Zusammenhang der Variablen *Alter* auf den Faktor *Gesundheit* mit einem positiven Koeffizienten (0.052). Ein höherer Wert repräsentiert durch die Fragestellung (5-Point Likert Skala) eine „schlechtere“ Gesundheit.

Tabelle 2: *Strukturgleichungsmodell zur Erhebung des Zusammenhangs zwischen Gesundheit und Alter der Mitarbeiter*

Table 2: *Structural equation model to survey the relationship between health and employee age*

<i>Latente Variablen</i>			
	Estimate	z-value	P (> z)
Gesundheit_1	1.000		
Gesundheit_2	1.237	8.128	0.000
<i>Regression</i>			
Gesundheit ~ Alter	0.052	6.466	0.000

Es konnte jedoch keine Altersabhängigkeit im KFzA festgestellt werden.

Gesundheit korreliert in einer ersten, über beide Hallen gemittelten Korrelationsanalyse allerdings mit den KFzA Faktoren *Vielseitigkeit*, *Ganzheitlichkeit*, *Soziale Rückendeckung*, *Information & Mitsprache* und *Betriebliche Leistungen* moderat bis hoch in der Art, dass Gesundheit die Faktoren zum Positiven beeinflusst, oder vorhandene Faktoren die Gesundheit zum Positiven beeinflussen.

Eine detailliertere Auswertung hierzu liegt noch nicht vor und wird in diesem Beitrag nicht weiterverfolgt. Für weitere Auswertung und ähnliche Untersuchungen wird ein SEM empfohlen, um Besonderheiten in Unternehmen, oder Schichten von vorgegebenen Faktoren bzw. Items getrennt betrachten zu können.

4.2 Prozess- und Mitarbeiterbezug

Anhand einer multiplen linearen Regression (MLR) wird die Ausprägung des Kriteriums *Standardabweichung der Prozesszeit [min & %]* auf Basis der Prädiktoren *EAWS*, *Borg* und *N-TLX* begutachtet. Der N-TLX fließt als Mittelwert seiner sechs Dimensionen pro Mitarbeiter und pro Tätigkeit ein. Der Borg Wert steht für sich allein und fließt als Mittelwert pro Tätigkeit ein. Somit gehen in die MLR pro Halle als Prädiktoren 12 EAWS Werte, 12 N-TLX Mittelwerte und 12 Borg Mittelwerte ein, welche die Kriteriumsvariable Standardabweichung (absolut in Minuten und normiert in prozentualer Standardabweichung zur Vorgabezeit) prädizieren. Die Voraussetzungen der MLR werden nach Casson & Farmer (2014) geprüft. Die Überprüfung ergab keine signifikanten Verletzungen, die eine MLR und deren Praxisrelevanz ausschließen würden. Das Signifikanzniveau wird mit einem p-Wert $\leq \alpha$ von 0.05 festgelegt.

Das Modell MLR A1 (Index „A“ für *Halle A* und Index „B“ für *Halle B*) beinhaltet die Prädiktoren N-TLX, Borg und EAWS und die Kriteriumsvariable absolute Standardabweichung (abs. Sta.abw.). MLR A1 ist mit $R^2 = 0.692$ signifikant (F-Wert = 5.997 und p-Wert = 0.019). Die Koeffizienten und deren p-Werte sind in Tabelle 3 dargestellt.

Das Modell MLR A2 beinhaltet die Prädiktoren N-TLX, Borg und EAWS und die Kriteriumsvariable prozentuale Standardabweichung (%-Sta.abw.). MLR A2 ist mit $R^2 = 0.305$ nicht signifikant (F-Wert = 1.168 und p-Wert = 0.380). Die Koeffizienten und deren p-Werte sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 3: MLR A1

Table 3: MLR A1

Koeffizienten	unstandardisiert	t	p
N-TLX	-0.090	-0.202	0.845
Borg	-2.127	-3.287	0.011
EAWS	0.355	4.214	0.003

Tabelle 4: MLR A2

Table 4: MLR A2

Koeffizienten	unstandardisiert	t	p
N-TLX	-0.080	-0.023	0.982
Borg	-8.742	-1.698	0.128
EAWS	1.235	1.843	0.103

Das Modell MLR B1 beinhaltet die Prädiktoren N-TLX, Borg und EAWS und die Kriteriumsvariable absolute Standardabweichung (abs. Sta.abw.). MLR B1 ist mit $R^2 = 0.518$ nicht signifikant (F-Wert = 2.870 und p-Wert = 0.104). Die Koeffizienten und deren p-Werte sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: MLR B1

Table 5: MLR B1

Koeffizienten	unstandardisiert	t	p
N-TLX	0.054	0.072	0.945
Borg	0.136	0.164	0.874
EAWS	0.211	1.493	0.174

Das Modell MLR B2 beinhaltet die Prädiktoren N-TLX, Borg und EAWS und die Kriteriumsvariable prozentuale Standardabweichung (%-Sta.abw.). MLR B2 ist mit $R^2 = 0.921$ signifikant (F-Wert = 31.282 und p-Wert = 0.001). Die Koeffizienten und deren p-Werte sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: MLR B2

Table 6: MLR B2

Koeffizienten	unstandardisiert	t	p
N-TLX	6.460	0.218	0.085
Borg	4.362	0.229	0.261
EAWS	2.720	0.788	0.002

5. Interpretation und Diskussion

5.1 Allgemeine Arbeitssystemgestaltung

Der KFzA ermöglichte für universitäre und betriebliche Beteiligte zufriedenstellende und aufschlussreiche Ergebnisse. Der Vergleich von zwei Produktionshallen über die Faktoren ist als gut verständlich und sinnvoll aufgefasst worden. Die zu Beginn aufgestellten Hypothesen können wie folgt bearbeitet werden.

H1 wird auf Basis der KFzA Faktoren angenommen. Halle B unterscheidet sich signifikant bei den Faktoren *Vielseitigkeit*, *Information und Mitsprache* und *Betriebliche Leistungen* von Halle A. Insbesondere die letzten beiden Faktoren sind unerwartet, da sich beide Hallen unter gleichem Management befinden und explizit darauf geachtet wird, dass identisch informiert und kommuniziert wird. *Betriebliche Leistungen* unterscheiden sich real ebenso nicht, da diese vom Konzern bestimmt werden. Diese Einschätzung wird als Indikator erhöhter Unzufriedenheit angesehen, da Halle B geringere *quantitative Arbeitsbelastung* und *Umgebungsbelastung* angibt als Halle A, Halle A aber dennoch deutlich höhere *Vielseitigkeit*, *Information und Mitsprache* und *betriebliche Leistung* angibt, obwohl objektiv gleiche Bedingungen gelten. Das Autorenteam vermutet, dass diese Diskrepanz Ausprägung einer allgemeinen Unzufriedenheit in Halle B ist, die hier nicht näher ausgeführt werden kann, aber Verdachtsmomente der Führungskräfte bestätigen würden.

H2 wird abgelehnt. Item *Arbeitsunterbrechung* für Halle A mit 2,5 und für Halle B mit 2,4 unterscheidet sich nicht in dem Maße zu Gunsten Halle A wie Annahmen aus dem Expertengremium vermuten ließen. In Halle A wird aufgrund größerer baulicher Dimensionen Lean Management forcierter angewandt und geschult, um beispielsweise Materialflüsse am Laufen zu halten. Der Faktor *Arbeitsunterbrechung* unterscheidet sich jedoch nicht signifikant unter den Hallen.

Die Faktoren *Qualitative Arbeitsbelastung*, *Arbeitsunterbrechung* und *Handlungsspielraum* liegen im kritischen Bereich und werden als Verbesserungspotential identifiziert. Der kritische Bereich wurde als kleiner gleich 2,5 je Item des KfZA festgelegt (s. o.; Haiden et al. 2002; Prümper & Richenhagen 2011).

Der Faktor *Handlungsspielraum* des KFzA unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Hallen, liegt bei beiden jedoch auf der Schwelle zum Negativen, was bedeutet, dass dieser Faktor in der Arbeit kritisch bzw. zu wenig ausgeprägt ist. Der Faktor korreliert mit den Dimensionen *Zeitdruck* und *Frustration* des N-TLX in der Bewertung des Einzelprozesses. Mitarbeiter, die Handlungsspielraum im KFzA als niedrig bewerten geben in den 12 konkreten Arbeitstätigkeiten auch signifikant niedrigere Zeitdruck- und Frustrationswerte beim N-TLX an. Positiv ausgeprägter und somit mehr als zufriedenstellend vorhandener Handlungsspielraum in der gesamten Arbeitssystembewertung anhand KFzA führt demnach zu mehr Toleranz auf Einzeltätigkeitsstufe in den Faktoren Frustration und Zeitanforderung (beide N-TLX). Es tritt eine Art Pufferwirkung ein, die betrieblich verfolgt und wissenschaftlich weiter untersucht werden sollte.

Die fehlende Altersabhängigkeit des KFzA ist als positiv zu werten. Die Arbeitssystemgestaltung erscheint alters- und altersgerecht.

5.2 MLR Modelle

Um schnelle und verständliche Modelle bzw. Aussagen erzeugen zu können wurde MLR als bevorzugte Methode genutzt. Die vier Modelle bilden den größtmöglich makroskopischen Rahmen des Lean Ergonomics Projektes und leiten Indizien für Zusammenhänge von Betriebswissenschaft und Ergonomie praxisorientiert ab.

MLR A1 zeigt hohe Aufklärung der absoluten Standardabweichung über eingespielte Prädiktoren. Die unstandardisierten Koeffizienten können nicht in Gänze empirisch erklärt werden. Insbesondere Borg, wird mit -2.127 auffällig, weil mit einer Erhöhung des Borg-Ratings, also einer erhöhten körperlichen Beanspruchung die absolute Standardabweichung der Ausführungszeiten um 2.127 Minuten reduziert würde. Eine Erklärung kann sein, dass bei höher werdender körperlicher Beanspruchung ein „schnelleres Abarbeiten“ der aktuellen und bevorstehenden Aufgaben angestrebt wird (Bosch et al. 2011; Straker & Mathiassen 2009). Eine Erhöhung des EAWS Scores um einen Punkt führt zu 0.355 Minuten längerer Standardabweichung der Ausführungszeit. Eine Abhängigkeit von EAWS und absoluten Standardabweichung wurde vorab bereits vermutet, wenn die Annahme gilt, dass tendenziell längerer Arbeitstätigkeiten auch höhere Werte der Standardabweichung verursachen, weshalb entschieden wurde die prozentuale Standardabweichung an der Vorgabezeit der Arbeitstätigkeit in einem weiteren Modell zu berücksichtigen.

Da längere Ausführungszeiten der Tätigkeiten auch mit höheren Standardabweichungen einhergehen können wurde für beide Hallen ein Modell prozentualer Standardabweichung von der Ausführungszeit erzeugt. Bei Halle A ergab sich für das Modell A2 keine Signifikanz.

Modell B1 würde mit $R^2 = 0.518$ eine gute Aufklärung liefern, wird aber aufgrund fehlender statistischer Signifikanz nicht angenommen. Dies bedeutet, dass die vorliegenden, absoluten Standardabweichungen in keinerlei Beziehung zu körperlicher und psycho-mentaler Beanspruchung und der objektiven Arbeitsplatzergonomie treten.

Modell B2 ist bei hoher Aufklärung ($R^2 = 0.921$) signifikant. Die prozentuale Standardabweichung steht in engem Verhältnis zur objektiven Ergonomie anhand EAWS, der körperlichen Beanspruchung über Borg und der psycho-mentalenen Beanspruchung über N-TLX. Bei weiterer Untersuchung der erhobenen Daten muss auf Einzelprozessebene ausgewertet werden, da zu vermuten ist, dass das Beanspruchungsgeflecht heterogen ist, dies entspräche einem mikroskopischen LE-Ansatz. Die unstandardisierten Koeffizienten decken sich mit Beobachtungen aus der Empirie und mit Einschätzung betrieblicher Experten. N-TLX wird mit $p = 0.085$ nicht signifikant, es wird jedoch Praxisrelevanz angenommen. Unter dieser Annahme führen erhöhte psycho-mentale Beanspruchungen während der Arbeitstätigkeiten zu höheren prozentualen Standardabweichung, was analog zu einer ganzen Arbeitsschicht auch Macdonald & Bendak 2000 feststellten. Warum die Zusammenhänge in der A-Modellreihe nicht erkennbar sind, können wir zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nicht datenbasiert aufklären. Ein Ansatz könnte ein mediierender Effekt der oben beschriebenen Unzufriedenheit für Halle B sein, der sich hier im N-TLX zeigt. Eine Erhöhung des N-TLX Ratings um einen Punkt führt zu um eine 6.46 Prozentpunkte erhöhte Standardabweichung. EAWS verhält sich analog dazu mit einer Erhöhung um 2.72 Prozentpunkten. Dies lässt vermuten, dass die körperliche Beanspruchung anhand Borg, bereits von EAWS und N-TLX abgedeckt wird, da Borg nicht signifikant wurde. Die körperliche Dimension ist bereits in N-TLX inkludiert, was dazu führt, dass

Borg keine neue Aufklärung in das Modell bringt (Chatterjee et al. 2022). Dies wird ebenfalls durch die hohe Korrelation ($r = 0.764$) zwischen den Variablen „Borg“ und „N_TLX_körperl.“ bestätigt (s. Tab. 7). Eine bloße Bewertung mittels EAWS, ohne Erhebung von N-TLX, hätte diese Erkenntnis nicht liefern können. Das zukünftige Versuchsdesign wird ohne Borg geplant. Die nicht-signifikanten N-TLX Koeffizienten in allen vier Modellen lassen sich dadurch erklären, dass die Modelle über alle Prozesse berechnet wurden. Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, bedienen die Prozesse teilweise äußerst unterschiedliche psycho-mentale sowie arbeitsphysiologische Anforderungen, Kompetenzen und Leistungsvoraussetzungen. Während z. B. die Prozesse 4 und 5 anhand der Beschreibung eine geringere körperliche Anforderung vermuten lassen, sind die Schritte 1 und 12 besonders physischer Natur. Der Einfluss der einzelnen Items des N-TLX wird in diesen genannten Prozessen wahrscheinlich unterschiedlich ausfallen. Zukünftige Auswertungen sollten dies berücksichtigen und den N-TLX in seine Items aufteilen sowie Prozesse nach ihren Profilen aggregieren. Die Korrelationsmatrix in Tab. 7 deutet daraufhin, dass ebenso N-TLX Items aggregiert werden könnten. Des Weiteren wird auf Basis der hohen Korrelation von *Borg* und *N-TLX_körperl.* und aus ökonomischen Gründen empfohlen auf Borg für ähnliche Untersuchungen zu verzichten. Es ist kein klarer Mehrwert durch Borg erkennbar. Basierend auf der von der IEA geforderten Zusammenführung von "performance" und "well-being" bietet LE eine praktikable Methodik, die nachvollziehbar und flexibel anwendbar ist.

In einer Matrix-Struktur können die diversen Variablen unterschiedlichen Beteiligten und Interessenten ansehnlich dargestellt werden und dementsprechend für dedizierte Analysen herangezogen werden. So konnte festgestellt werden, dass gut ausgeprägter *Handlungsspielraum* (KFzA) auf Tätigkeitsebene als eine Art Puffer für *Frustration* und *Zeitanforderung* (beide N-TLX) fungiert.

Das mikroskopische LE-Sample setzt sich aus einer Arbeitstätigkeit, für die eine EAWS-Bewertung vorliegt, den subjektiven Werten aus Borg und N-TLX und der Standardabweichung zusammen. Letztere kann als KPI des Systems, oder der Technik verstanden werden und wahlweise auch durch Alternativen ersetzt oder ergänzt werden. Es ergibt sich daher eine praxisnahe und flexibel Methodik die anthropozentrisches und technozentrisches Engineering verbindet was von Dworschak & Zaiser (2014) empfohlen wurde. Entsprechend der Vorstudie von Tropschuh et al. (2022) und theoretischer Herleitung von Brunner et al. (2022) wird das anthropo- und technozentrische Engineering einander näher gerückt. Die Methode verbleibt auf Meister-Ebene im Unternehmen. Finales Ziel muss sein beides synergistisch anzureichern, was wiederum zu Wirtschaftlichkeit führt und der Methode in der Industrie weitere Attraktivität verleiht.

5.4 Limitationen

Die 12 eingeschlossenen Arbeitstätigkeiten unterscheiden sich in ihrer Länge. Es ist nicht klar, wie sich Beanspruchungen in Abhängigkeit der Länge vorgefundener Arbeitsprozesse darstellen. Aus Gründen des Produktionsprinzips ist eine zeitliche Vereinheitlichung (gleichlange Takte) nicht möglich gewesen und wäre nicht sinnvoll, da dies die realen Gegebenheiten auf dem Shopfloor verzerren würde. Eine Ergänzung der Standardabweichung um eine weitere betriebswissenschaftliche KPI wurde angestrebt, konnte aber aufgrund der Datenlage nicht realisiert werden, was als Potential und Learning seitens des Industriepartners aufgefasst wird. Die Tätigkeiten unterscheiden sich aufgrund der kombinierten Baustellen- und Werkstattfertigung nicht

nur in ihrer Länge, sondern auch in ihren Anforderungen körperlicher und psychomentaler Beanspruchungen, weshalb entschieden wurde die bekannte und prozessualbedingte Abfolge nicht abzuändern. Auch die strikten physikalisch-chemischen Restriktionen, wie Bauräume, Zu- und Ableitungen, Dimensionierungen und wechselnde persönliche Schutzausrüstung führen zu erhöhter Komplexität, in Vergleich zu taktgebundener Montage, die klare LE-Samples ermöglicht (Tropschuh et al. 2022). Aufgrund vorgegebener Prozessabfolge existieren im Versuch u. a. Tätigkeiten wie *Kran fahren*, für welche keine weitere betriebswissenschaftliche KPI außer Zeitdaten zugeschnitten oder erhoben werden konnte. Größen wie Ausbringung pro Schicht o. Ä. sind vorhanden, können aber nur auf wenige Tätigkeiten verlässlich berechnet werden.

Dem Industriepartner wurde empfohlen die Möglichkeit equipmentbezogener Datenerhebung zu prüfen (Bae et al. 2019; Fischer et al. 2021). Hiermit würde man nicht Gefahr laufen leistungsbezogene Daten zu erheben, könnte die Datenlandschaft aber dennoch zielführend anreichern, was auch dem erfolgreichen Übergang in die Industrie 4.0 fördern würde.

EAWS wurde im Expert-/innenteam durchgeführt und ergänzend mit TiCon (MTM-Softwarehaus) ausgearbeitet. Die 12 Tätigkeiten füllen den durchschnittlichen Arbeitstag nur zu ca. 80-90 %. Um valide Ergebnisse für EAWS zu erhalten wurden weitere Anteile an realistischen und vergleichbaren Tätigkeiten definiert und so ein Arbeitstag gebaut, der von betrieblichen und universitären Vertretern als realistisch eingeschätzt wurde.

Befragungen mittels Borg und N-TLX können von zufällig ausgewählten Beschäftigten absichtlich verfälscht werden. Die Projektleiter achteten auf diese Gefahr und alle Angaben wurden als glaubwürdig und realistisch erachtet. Beim KFzA wurden vier Fragebögen in Gänze ausgeschlossen, die durchgehend nur maximal positiv, oder maximal negativ, oder unvollständig bewertet wurden.

5.5 Erfahrungen aus der praktischen Anwendung

Limitationen im Projekt führten auch dazu, dass dem Industriepartner auf deren Basis klare Handlungsempfehlungen mit auf den Weg gegeben werden konnten, so zeigte sich die Datenlage als herausfordernd. Ein Ergebnis ist die Einführung equipmentbezogener Datenerhebung. Dies ermöglicht feinere Granularität im Messen und somit Verbesserungen der Prozesse und hat das Potential Kontroll- und Quittiertätigkeiten weg von Beschäftigten hin auf Betriebsmittel zu übertragen und somit psycho-mentale Beanspruchungen zu optimieren. Es ist denkbar, in Folge dessen den Handlungsspielraum erweitern zu können, welcher sich im N-TLX als auffällig im Kontext der Faktoren *Frustration* und *Zeitanforderung* erwies. Diese Erkenntnis fügt sich nahtlos in die klassischen Maßnahmen der Lean Production wie „Job Enrichment“ und „Job Enlargement“ ein und verdeutlicht auch auf dieser Ebene die Vereinbarkeit von Ergonomie und Betriebswissenschaft.

Durch die Arbeit mit Vertretern verschiedener Ebenen und Abteilungen ergab sich automatisch eine kontinuierliche Evaluierung von Lean Ergonomics an sich und eine interdisziplinäre Kommunikation über Ergonomie. Dies entspricht einer der Strategien des von Dul et al. (2012) formulierten Exzellenzplans, die HFE (Human Factors/Ergonomics) in Form der IEA in Zukunft verfolgen wird. Im Gesamten wurde großes Interesse festgestellt, auch innerhalb Fachabteilungen die von der Ergonomie weit weg sind, was ein Vorteil von LE sein kann. Auf dem Shopfloor zeigten sich auch zurückweisende Haltungen und kritische Fragen, derer die Methode jedoch

gewachsen sein muss. Dies wurde vielfach durch das Verdeutlichen des Mitarbeiterfokus erreicht, indem Mitarbeiter in ihren Tätigkeiten begleitet und befragt wurden.

Die Universalität der Methode und die ihr integrale Voraussetzung Prozesse und Beschäftigte zu begleiten, eröffnet neue Perspektiven, die im Kontext von Industrie 4.0 und Operational Excellence klaren Mehrwert generieren. Das Einpflegen automatisch anfallender betriebswissenschaftlicher und technischer Daten ergänzt um eine, zum Beispiel, tägliche Beanspruchungsrückmeldung seitens der Beschäftigten an Smartwatches oder Tablets könnte LE in eine Software überführen. Eine derartig angereicherte Datenlage macht LE für ebenso für Operationsmanagement relevant, da sie die Vorbereitung und Unterstützung strategischer Entscheidungen ermöglicht. Die ursprüngliche Beschreibung von LE (Brunner 2022) richtet sich auf Produktionsarbeit, in welcher Basisarbeit einen hohen Stellenwert hat. Weiterentwicklung zu *administrative Lean Ergonomics*, um Verschwendungen und deren Verhältnis zur Belastung und Beanspruchung in indirekt produktiven Bereichen aufzuzeigen sind sinnvoll.

6. Schlussfolgerungen

In diesem Beitrag zur praktischen Anwendung von LE wurde der grundsätzliche methodische Aufbau von LE aus Brunner et al. (2022) in der Praxis angewandt und anhand konkreter Ergebnisse dargestellt. Die 4 Modelle der MLR zeigen im Gesamten Indizien, dass Ergonomie zu Stabilität und Dauer von Arbeitsprozessen beiträgt. Neben diesem Prozessbezug wird über einen Pseudonymisierungscode, der für N-TLX und Borg auf Prozessebene galt ein ganzheitlicher Eindruck der Arbeitssystemgestaltung mittels KFzA im Arbeitssystem hergestellt, der den quantitativen Ansatz in *lean* um *ergonomics* ergänzt. In Hinblick auf die Limitationen wird empfohlen den Aufbau des Versuchsdesigns bei gleich-, oder ähnlich langen Arbeitstätigkeiten beizubehalten. Neben der weitergehend nötigen inhaltlichen Ausarbeitung von LE ist eine systemtheoretische und managementbasierte Betrachtung erforderlich, um Fragen betrieblicher Zuständigkeiten und Einbettung in eine potentielle Aufbau- und Ablauforganisation zu klären.

7. Literatur

- Bae J, Kim K, Hong D (2019) Automatic Identification of Excavator Activities Using Joystick Signals. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 20: 2101–2107.
- Baur X (2013) Arbeitsmedizin. [mit klinischer Umweltmedizin]. Springer, Berlin
- Borg G (1985) An introduction to Borg's RPE-scale. Mouvement Publications.
- Bosch T, Mathiassen SE, Visser B, Looze MP de, van Dieën JH (2011) The effect of work pace on workload, motor variability and fatigue during simulated light assembly work. Ergonomics 54: 154–168.
- Brunner S, Knott V, Bengler K (2022) Lean Ergonomics—are relevant synergies of digital human models and digital twins defining a new emerging subdiscipline? Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 76: 401–415.
- Casson RJ, Farmer LDM (2014) Understanding and checking the assumptions of linear regression: a primer for medical researchers. Clinical & Experimental Ophthalmology 42: 590–596.
- Chander DS, Cavatorta MP (2017) An observational method for Postural Ergonomic Risk Assessment (PERA). International Journal of Industrial Ergonomics 57: 32–41.
- Chatterjee T, Bhattacharyya D, Yadav A, Pal M (2022) Heart rate variability, task load and perceived exertion associated with a long-distance military ski exercise: A pilot study. IJPP 66: 196–202.

- Chintada A, V U (2022) Improvement of productivity by implementing occupational ergonomics. *Journal of Industrial and Production Engineering* 39: 59–72.
- Dadashi N, Lawson G, Marshall M, Stokes G (2022) Cognitive and metabolic workload assessment techniques: A review in automotive manufacturing context. *Hum. Factors Man.* 32: 20–34.
- Dul J, Bruder R, Buckle P, Carayon P, Falzon P, Marras WS, Wilson JR, van der Doelen B. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*. 2012;55(4):377-95. doi: 10.1080/00140139.2012.661087 . Epub 2012 Feb 15. PMID: 22332611 .
- Dul J, Neumann P (2005) Ergonomics Contributions to Company Strategy.
- Dworschak B, Zaiser H (2014) Competences for Cyber-physical Systems in Manufacturing – First Findings and Scenarios. *Procedia CIRP* 25: 345–350.
- Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A (2007) G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods* 39: 175–191.
- Fischer A, Liang M, Orschlet V, Bi H, Kessler S, Fottnner J (2021) Detecting Equipment Activities by Using Machine Learning Algorithms. *IFAC-PapersOnLine* 54: 799–804.
- Haiden C, Geißler-Grube B, Molnar M (2002) Betriebliche Analyse der Arbeitsbedingungen: Erkennen von Stressfaktoren und Optimieren von Ressourcen. <https://www.impulstest2.com/fileadmin/pdf/publikationen/impulsbaa.pdf> (4.7.23).
- Hall A, Sevindik U (2020) Einfacharbeit in Deutschland - wer arbeitet was und unter welchen Bedingungen? Ergebnisse aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018. 1. Auflage Verlag Barbara Budrich, Leverkusen.
- Hart SG, Staveland LE (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hart SG, Staveland LE (Hrsg.) *Human Mental Workload* 139–183. Elsevier.
- Jennex ME, Durcikova A (2009) Assessing Knowledge Loss Risk. https://www.researchgate.net/publication/220890413_Assessing_Knowledge_Loss_Risk (12.07.23).
- Jiang J, Duffy VG (2021) Modern Workplace Ergonomics and Productivity – A Systematic Literature Review. In: 509–524. Springer, Cham.
- Karsh B-T, Holden RJ, Alper S J, Or CKL (2006) A human factors engineering paradigm for patient safety: designing to support the performance of the healthcare professional. *BMJ Quality & Safety* 15: i59-i65.
- Macdonald W, Bendak S (2000) Effects of workload level and 8- versus 12-h workday duration on test battery performance. *International Journal of Industrial Ergonomics* 26: 399–416.
- Mapes J, Szwejcowski M, New C (2000) Process variability and its effect on plant performance. *Int Jnl of Op & Prod Mngemnt* 20: 792–808.
- Prümper J, Hartmannsgruber K, Frese M (1995) KFZA. Kurz-Fragebogen zur Arbeitsanalyse. <http://people.f3.htw-berlin.de/professoren/pruemper/instrumente/kfza-skalenkonstruktion.pdf>.
- Prümper J, Richenhagen G (2011) Von der Arbeitsunfähigkeit zum Haus der Arbeitsfähigkeit. Der Work Ability Index und seine Anwendung. Ältere Beschäftigte: Zu jung, um alt zu sein. *Konzepte–Forschungsergebnisse–Instrumente*: 135–146.
- Raehlmann I (2020) Corona! Die Krise der Verschlinkung und ihre Folgen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 74: 216–221.
- Rohmert W (1984) Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Z. Arb. Wiss.* 38: 193–200.
- Saha P, Basu B, Devashish Sen D (2017) Ergonomic evaluation of physiological stress of building construction workers associated with manual material handling tasks. *Prog Health Sci* 7: 54–62.
- Schaub K, Caragnano G, Britzke B, Bruder R (2013) The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 14: 616–639.
- Straker L, Mathiassen SE (2009) Increased physical work loads in modern work--a necessity for better health and performance? *Ergonomics* 52: 1215–1225.
- Tropschuh B, Brunner S, Dillinger F, Hagemann F (2022) An Approach to Analyze Human-caused Work Errors. *Procedia CIRP* 106: 9–14.
- Vicente-Herrero MT, Torres Alberich JI, Capdevila García L, Gómez JI, Ramírez Iñiguez de la Torre, María Victoria, Terradillos García MJ, Garrido JA, López-González ÁA, Morató Moscardó L, Buedo VE (2016) Night shift work and occupational health. *Spanish Journal of Legal Medicine* 42: 142–154.
- Wirtz MA, Morfeld M, Glaesmer H, Brähler E (2018) Normierung des SF-12 Version 2.0 zur Messung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität in einer deutschen bevölkerungsrepräsentativen Stichprobe. *Diagnostica* 64: 215–226.

Herbstkonferenz 2023, Düsseldorf:

„Menschengerechte Arbeitsgestaltung – Basisarbeit und neue Arbeitsformen“

Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Sankt Augustin (Hrsg.)

Womack JP (2007) The Machine That Changed the World. The Story of Lean Production. Free Press, New York.

Zwingmann B (2022) „Gute Basisarbeit“ – ein sozialpolitisches Anliegen. In: Das Gesundheitswesen : Gesundheitswesen WS-03-3. Georg Thieme Verlag.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Menschengerechte Arbeitsgestaltung – Basisarbeit und neue Arbeitsformen

Herbstkonferenz der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Im Rahmen des 38. Internationalen A+A
(Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) Kongresses 2023,
Messe Düsseldorf

26. Oktober 2023

GfA-Press

Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. im Rahmen des A+A Kongresses am 26. Oktober 2023, Messe Düsseldorf unter Beteiligung von:

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Berlin

Bundesarbeitsgemeinschaft für Sicherheit und Gesundheit (Basi), Sankt Augustin

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2023

ISBN 978-3-936804-33-1

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de