

Analyse und Bewertung von körperlichen Belastungen bei langzyklischen Tätigkeiten als Voraussetzung für die ergonomische Arbeitsgestaltung

Karlheinz SCHAUB¹, Dorothee MÜGLICH¹, Bastian KAISER², Steffen RAST³,
Katharina RÖNICK¹, Lukas BIER¹, Andrea SINN-BEHRENDT¹, Peter KUHLANG³

¹ *Institut für Arbeitswissenschaft (IAD), Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt Str. 2, D-64287 Darmstadt*

² *Kaiser Production Consulting
Im Wesner 8g, D-64401 Groß-Bieberau*

³ *Deutsche MTM-Vereinigung e. V.
Elbchaussee 352, D-22609 Hamburg*

Kurzfassung: Belastungsbewertungsverfahren wie das Screening-Verfahren Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS) wurden für den Bereich der industriellen Fertigung mit kurzen Taktzeiten (bis 3 Min.) entwickelt und validiert. Beim Einsatz an Arbeitsplätzen mit deutlich längeren Taktzeiten oder ohne Taktung stößt das Verfahren unter Umständen an seine Grenzen. Einerseits ist der Aufwand bei der Belastungserhebung deutlich höher und wird somit schnell unwirtschaftlich. Andererseits gilt es auch die Belastungsbewertung für diese Fälle zu überprüfen. Der nachfolgende Beitrag stellt exemplarisch die mögliche Nutzung des EAWS bei langzyklischen Tätigkeiten am Beispiel eines Instandhaltungsplatzes der Deutschen Bahn vor. Dabei stehen Ansätze für die angepasste Datenerhebung im Vordergrund, aus denen sich Hinweise für mögliche erforderliche Anpassungen des Bewertungsverfahrens ableiten lassen.

Schlüsselwörter: körperliche Belastung, langzyklische Tätigkeiten, Ergonomic Assessment Worksheet, EAWS

1. Einleitung

Das Arbeitsschutzgesetz und das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz als gesetzliche Basis der Gefährdungs- und Risikobeurteilung fordert die Berücksichtigung gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse bei deren Umsetzung sowie der Arbeitsgestaltung. So entstanden mit den Leitmerkmalmethoden und dem EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) Screening Verfahren für die Gefährdungsbeurteilung überwiegend körperlicher Arbeit, die diesen Anforderungen gerecht werden. Diese Screening Verfahren haben - insbesondere in Form des EAWS - einen sehr hohen Detailierungsgrad bei der Belastungsbeschreibung erreicht. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie prozesssprachenunterstützt bereits in der Planungsphase eingesetzt werden.

Das EAWS wurde bisher überwiegend im industriellen Umfeld bei kurzgetakteten Tätigkeiten im Bereich weniger Minuten eingesetzt, wobei die Belastungen über den Arbeitstag gleichmäßig und wiederkehrend verteilt sind. Aber auch in diesen Branchen gibt es Tätigkeiten, welche langzyklisch (Zyklusdauer >10 Min.) oder ungetaktet (nicht-zyklisch) sind und somit eine sehr unterschiedliche

Belastungsverteilung vorweisen. Hier sind insbesondere der Nutzfahrzeugbau, der Schienenfahrzeugbau, aber auch die Flugzeugindustrie zu nennen. Zusätzlich treten langzyklische und ungetaktete Tätigkeiten bei Wartungs- und Reparaturaufgaben sowie in der Produktion angegliederten Bereichen auf.

Eines der Forschungsziele des IAD in Kooperation mit der MTM-Organisation ist es deshalb, das EAWS für die Bewertung langzyklischer oder ungetakteter Tätigkeiten weiterzuentwickeln. Hierbei gilt es zunächst die Herangehensweise bei der Belastungsanalyse hinsichtlich ihrer Praktikabilität zu überprüfen und ferner die Belastungsbewertung mit EAWS exemplarisch für langzyklische getaktete Arbeitsplätze vorzustellen.

2. Ausgangssituation

Die Analyse und Bewertung von körperlichen Belastungen bei kurzzyklischen Tätigkeiten wird durch das EAWS wesentlich vereinfacht. Aspekte der sukzessiven Belastungssuperposition können bei kurzzyklischen Tätigkeiten wesentlich vereinfacht werden. Aspekte der simultanen Superposition werden in unterschiedliche Sektionen der Belastungsarten Körperhaltung, Aktionskräfte, das Handhaben von Lasten sowie repetitive Belastungen der oberen Extremitäten abgehandelt, welche per Definition nicht zeitgleich auftreten können (Schaub et al. 2012).

Studien zur Belastungsbewertung von langzyklischen oder ungetakteten Tätigkeiten existieren bislang wenige. Im Jahr 2011 wurden in Zusammenarbeit mit einem Hersteller von Nutzfahrzeugen und dem IAD ca. 100 langzyklisch getaktete Montagearbeitsplätze in der Busproduktion untersucht. Dabei wurden 12 Modell-Arbeitsplätze per Video aufgezeichnet und detailliert analysiert, um die Belastungssituation der Werker mittels EAWS zu erheben (IAD 2013).

Eine neue vielversprechende Möglichkeit den Analyseaufwand bei langzyklischen Tätigkeiten zu verkürzen bietet eine Untersuchung von MTM bei der Deutschen Bahn (DB) in den Werken Wittenberge und Dessau an, welches die Vorzüge einer Multimoment-Häufigkeitsaufnahme und einer EAWS-Analyse kombiniert (Kuhlang et al. 2015). Durch Beschreiben und Festlegen der Ablaufarten werden mit diesem Verfahren ergonomische Einflussgrößen generiert. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 8509 Beobachtungen in festgelegten Zeitabständen bei ca. 20 Arbeitsplätzen durchgeführt. Des Weiteren wurden langzyklische Arbeitsplätze in der Lebensmittelindustrie und Metallbearbeitung betrachtet.

3. Methodik

Das EAWS-Verfahren wurde zur Datenerhebung von langzyklischen Tätigkeiten weiterentwickelt, sodass zeitgleich zur Durchführung der Tätigkeit die Belastungsfaktoren erfasst werden können. Die neu entwickelte sog. Belastungsmatrix dient der Dokumentation einer chronologischen Belastungsabfolge über einen längeren Zeitraum, wenn die Möglichkeit von Videoaufnahmen oder sonstigen Hilfsmitteln zur Aufzeichnung der Tätigkeiten nicht gegeben ist. Abmessungen des Arbeitsplatzes, Kraftanstrengungen, Gewichte o.ä. müssen zusätzlich erhoben werden. Eine Vorstrukturierung der Matrix in Teiltätigkeiten (vgl.

Wells 1997) ist ebenso vorgesehen. Später kann die Gesamtbelastung durch die zeitliche Gewichtung der einzelnen Teiltätigkeiten ermittelt werden.

Die Belastungsmatrix besteht aus zwei Aufnahmebögen. Der erste Bogen dient der Dokumentation von Körperhaltung und -bewegung, der asymmetrischen Neigung und Drehung vom Rumpf sowie einer körperfernen Reichweite der Arme (Abb. 1).












Matrix		Arbeitsplatz-CODE:		Mitarbeiter-Code:	
Beschreibung		Teiltätigkeiten			
		Dauer (von: - bis:)			
I. Körperhaltung/Bewegung					
Stehen					
1		Stehen	mit Abstützung		
2			ohne Abstützung		
3		Nach vorne gebeugt	20° - 60°		
4			60°		
5			mit Abstützung		
6		Ellenbogen auf/ über Schulterhöhe			
7		Hände über Kopf			
Sitzen					
8		Aufrecht mit Rückenstütze, ggf. leicht nach vorne/hinten geneigt			
9		Aufrecht ohne Rückenstütze (für Einschränkung siehe Extrapunkt)			
10		nach vorne gebeugt			
11		Ellenbogen auf/ über Schulterhöhe			

Abbildung 1: Ausschnitt der Belastungsmatrix (1. Bogen)

Mit dem zweiten Bogen können Aktionskräfte, das Handhaben von Lasten, repetitive Belastungen sowie Besonderheiten der Tätigkeit wie Umgebungseinflüsse (z.B. Lärm) oder besondere Gelenkstellungen erfasst werden. In der Kopfzeile jedes Bogens werden die zu bewertende Teiltätigkeit sowie deren Gesamtdauer notiert. Damit ist jeder Teiltätigkeit eine Spalte zugeordnet, in der die beobachteten Belastungen erfasst werden. Zur Vereinfachung und der schnelleren Handhabung des Bogens ist jede Belastung mit einer Nummer codiert. Diese Nummer wird bei Beobachtung in die Spalte eingetragen, dahinter werden Werte für Dauer und Häufigkeit notiert. Bei der Aufnahme von Handhaben von Lasten sowie Aktionskräften wird zusätzlich die Höhe der Last bzw. der Kraft festgehalten.

Des Weiteren kam ein Datenerfassungsblatt, das pro Arbeitsfolge (AFO) angewandt wird, bei der Erhebung zum Einsatz. Das standardisierte Datenerfassungsblatt stellt ebenfalls sicher, dass alle relevanten Einflussgrößen vollständig erfasst werden können (Abb. 2).

Datenerfassungsblatt		AFO-Nr.	AFO-Nr.
Körperhaltungen und Armbewegungen		Start:	Start:
2D günstig		% geschätzt	Ende:
2D ungünstig			
2D / 3D			
Aktionskräfte (Häufigkeit pro Strich)			
Finger-/Hand	normal		
	erschwert		
Arm-/Schulter/Ganzkörperkräfte	normal		
	hoch		
	extrem		
Anmerkungen			
Lastenhandhabung (Häufigkeit pro Strich)			
Umsetzen	normal		
	erschwert		

Abbildung 2: Ausschnitt des Datenerfassungsblatts

Dabei werden die Arbeitsobjekte (z.B. Bauteile) in den Handhabungsarten (z.B. Umsetzen) mittels Gewicht, Anzahl und Häufigkeit zugeordnet. Für die zeitliche Erfassung werden die Hauptkörperhaltungen (symmetrisch oder asymmetrisch)

festgehalten. Über das Erfassen der Anzahl und Häufigkeit werden die Einflussgrößen pro Arbeitsfolge für die weitere Bewertung bestimmt. Die Arbeitsfolgen sind chronologisch eingeordnet. Mit dieser Methodik wird eine systematische Übertragung der Daten in das Analysetool EAWSdigital erleichtert.

4. Exemplarische Anwendung der Methodik

In einer Feldstudie wurde die Anwendung der Methoden exemplarisch an einem langzyklisch getakteten Arbeitsplatz in der DB-Instandhaltung im Werk Dessau durchgeführt. Bei dem Arbeitsplatz handelt es sich um die Demontage, Reinigung und Montage von Ringfedersegmenten an Schienenfahrzeugachsen. Der Arbeitsplatz ist charakterisiert durch hohe physische Belastung durch Lastenhandhabung und Kraftaufwendungen. Die berechnete Zyklusdauer dieses Montagearbeitsplatzes liegt bei ca. 4 Std. pro Achse (319 Minuten).

Der Arbeitsplatz wurde über die gesamte Zeitspanne mit den oben beschriebenen Methoden (siehe Kap. 3) durch drei Personen aus verschiedenen Perspektiven begutachtet. Es wurden außerdem ein Ablaufprotokoll sowie Fotos von einzelnen Arbeitssituationen angefertigt. Zusätzlich wurde eine subjektive Belastungsbewertung durch Ergonomie-Experten, Gesundheitsmanager, Meister und Werker durchgeführt.

5. Erkenntnisse

Bei kurzzyklischen Tätigkeiten können bei einer vor Ort Beobachtung mehrere gleiche Zyklen beobachtet werden, um Belastungsparameter wie Körperhaltungen, Tätigkeitsdauern und –häufigkeiten gründlich und fehlerfrei zu erheben. Bei langen Zykluszeiten ist es weder wirtschaftlich noch aus Erhebungssicht sinnvoll, mehrere Zyklen zu betrachten. Um ein valides Ergebnis zu gewährleisten ist es daher notwendig, die Datenerhebung sehr gut vorzubereiten. Für eine effektive und effiziente Datenerhebung ist es zunächst wichtig, dass der Beobachter die Tätigkeit (Teiltätigkeiten, verwendete Arbeitsmittel, Bauteile) kennt. Folgende Dokumente sollen daher im Vorfeld der Datenerhebung ausgewertet werden:

- Tätigkeitsbeschreibungen und Arbeitsanweisungen
- Ablaufanalysen (z.B. MTM-UAS oder MTM-MEK)
- Wertstromanalysen und Bewegungsgraphen
- Stücklisten und Arbeitsmittelbeschreibungen

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei langzyklischen Tätigkeiten ist häufig die hohe Abweichung von Arbeitsmethode (Soll-Ablauf) und Arbeitsweise (Ist-Ablauf) (vgl. Bokranz & Landau 2012). Gründe dafür können weniger strikte Definitionen von Soll-Abläufen oder hohe Komplexität bei langzyklischen Tätigkeiten sein. Nach Sichtung der Soll-Abläufe aus Tätigkeitsbeschreibungen oder Ablaufanalysen sollten diese mit erfahrenen Mitarbeitern oder Vorarbeitern durchgesprochen und auf Unterschiede geprüft und diese diskutiert werden. Erfolgreich ist auch die Erstellung einer Arbeitssystem-Beschreibung auf Basis der Aussagen erfahrener Mitarbeiter, um Einflüsse zu erkennen, die die Arbeitsmethode behindern, befördern oder auch stören können.

Langzyklische Tätigkeiten enthalten oft sich wiederholende Teiltätigkeiten. Die Identifikation und Beschreibung dieser Teiltätigkeiten im Vorfeld nützt bei der

Erhebung vor Ort. Dabei ist jedoch immer darauf zu achten, ob innerhalb der sich wiederholenden Teiltätigkeiten Abweichungen in der Arbeitsweise auftreten können. Gerade bei Arbeiten an großen oder komplexen Objekten kommt es häufig vor, dass verschiedene Varianten eines Produktes vorliegen, die zu unterschiedlichen Belastungen und Arbeitsstrategien führen können. Um eine möglichst realistische Belastungssituation abbilden zu können, sollte im Vorfeld geklärt werden, welche die häufigsten Produktvarianten sind und wodurch sie sich von den anderen Varianten abgrenzen.

Während der Erhebung vor Ort hat sich gezeigt, dass neben der Strukturierung der Datenerhebung mit Aufnahmebögen (siehe Kap. 3) auch weitere Aspekte bedacht werden sollten. Oftmals sind langzyklische Tätigkeiten mit einem größeren Arbeitsbereich und wechselnden Arbeitsorten verbunden. Es ist daher auf eine erhöhte Mobilität zu achten. Als weiteres nützliches Instrument hat sich die Erfassung der Arbeitssituation mit Video- oder Fotoaufzeichnungen erwiesen. Dadurch können unklare Situationen im Nachhinein überprüft werden.

Um Fehler in der Erfassung komplexer langzyklischer Tätigkeiten zu vermeiden, ist es sinnvoll, im Nachgang die Erhebungsdaten auf Plausibilität zu überprüfen. Hierzu kann ein Abgleich der erfassten Tätigkeitshäufigkeiten (z.B. beim Umsetzen von Arbeitsobjekten) mit Stücklisten, Tätigkeitsbeschreibungen und sonstigen Dokumenten erfolgen und deren Diskussion mit den Werkern hilfreich sein.

Die Untersuchung dieses Beispielarbeitsplatzes hat gezeigt, dass eine Bewertung der physischen Belastungen mit EAWS, nach Erfassung mit der beschriebenen Methodik, bei langzyklischen Tätigkeiten möglich ist.

6. Diskussion

Die beschriebenen Aufnahmemethoden (siehe Kap. 3) und anschließende EAWS-Bewertung stellen eine gute Möglichkeit dar, alle Belastungsarten, die bei langzyklischen Tätigkeiten auftreten können, mit ihrer Intensität, Dauer und zeitlichen Abfolge zu berücksichtigen. Jedoch wäre es sinnvoll die Vorzüge beider Aufnahmemethoden zu prüfen, wo sie sich ersetzen oder gar ergänzen könnten. Dabei ist die Belastungsmatrix ablauforientiert und erfasst vor allem Körperhaltungen und Belastungsdauern sehr detailliert, wo hingegen das Datenerfassungsblatt objektorientiert ist und vor allem die Häufigkeiten bei Körperkräften und Lastenhandhabungen einfacher erfasst. Verglichen mit der Bewertung einer kurzzyklischen Tätigkeit kann jedoch festgehalten werden, dass die Datenerhebung sowie Datenauswertung wesentlich aufwendiger und schwieriger ist.

Die langzyklischen Tätigkeiten sind durch weniger Zeitdruck gekennzeichnet. Damit können zum einen langandauernde statische Zwangshaltungen vermieden werden. Andererseits können langandauernde statische Belastungen entstehen, welche aufgrund der zeitlichen Ausprägung kurzgetakteter Tätigkeiten dort nicht auftreten würden. Zudem sind Belastungen oftmals nicht gleichmäßig verteilt, sondern können sich in Form von Belastungsspitzen in bestimmten Phasen konzentrieren (Finke 2011). Annahmen, die bei der Entwicklung von Belastungsbewertungsverfahren zur Erholung und zur Ermüdung (vgl. Schulte 1987) getroffen wurden sind demzufolge nicht übertragbar.

Für die sichere Anwendung einer EWAS-Bewertung bei langzyklischen Tätigkeiten sollten folgende Kriterien zutreffen (Sinn-Behrendt & Schaub 2011, Kuhlmann et al. 2015):

- keine singulären Lastspitzen
- keine konzentrierten oder kumulierten Belastungseffekte
- keine länger andauernden Ermüdungseffekte, welche eine Erholzeit erfordern
- keine Umgebungseinflüsse, welche die körperliche Leistungsfähigkeit negativ beeinträchtigen

7. Ausblick

Neben der Anwendung der Belastungsmatrix bei der DB-Instandhaltung im Werk Dessau wird diese Belastungsmatrix derzeit auch zur Erfassung von körperlichen Belastungen bei ungetakteten Tätigkeiten im Baugewerbe eingesetzt. Nach der Testung der Methoden in der Praxis sollte als nächstes eine umfassende Validierung der Verfahren erfolgen. Hierfür sollten langzyklische bzw. ungetaktete Tätigkeiten sowohl mit den Aufnahmebögen als auch mit Videoaufnahmen und den erforderlichen Zusatzinformationen erhoben werden. Anschließend erfolgen für die jeweiligen Tätigkeiten sowohl eine Bewertung auf Basis der Video- und der begleitenden Daten als auch eine Bewertung mithilfe der neuen Ansätze. Auf Basis dieser Ergebnisse sollten die Methoden weiter abgesichert und verfeinert werden. Gleichzeitig sollten sie auf ihre Praktikabilität überprüft werden.

8. Literatur

- Bokranz R, Landau K (2012) Handbuch Industrial Engineering. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) (2013) IAD-Report Nr.3. Online verfügbar (09.12.2015). http://www.iad.tu-darmstadt.de/media/iad/presse_2/20130917_IADReport_finale_Version_DD.pdf.
- Finke K (2011) Studie zur Analyse und Bewertung von langzyklischer Montagetätigkeit. Diplomarbeit: IAD, TU Darmstadt.
- Kuhlang P, Rast S, Liebig S, Lüben A, Finsterbusch T, Mühlbradt T (2015) Methoden und Perspektiven zur ergonomischen Bewertung und Gestaltung langzyklischer Tätigkeiten in der Fahrzeuginstandhaltung. In: Biedermann H (Hrsg) Praxiswissen Instandhaltung, Intelligente, lernorientierte Instandhaltung – Smart Maintenance. Köln: TÜV Media GmbH, 181-193.
- Schaub K, Caragnano G, Britzke B, Bruder R (2012) The European Assembly Worksheet. Theoretical Issues in Ergonomics Science 14: 616-639.
- Schulte B (1987) Praxisorientiertes arbeitswissenschaftliches Instrumentarium zur analytischen Ermittlung von Erholungszeiten. Eschborn: RKW-Verlag.
- Sinn-Behrendt A, Schaub K (2011) Grenzen und Einsatzmöglichkeiten des EAWS. INQA Veranstaltung bei der BGHM, Mainz.
- Wells R, Norman R, Nuemann P, Andrews D, Frank J, Shannon H, Kerr M (1997) Assessment of physical work load in epidemiologic studies: common measurement metrics for exposure assessment. Ergonomic 40: 51-61.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt der Deutschen Bahn für die Durchführung der Untersuchungen.