

Analyse der Rückenhaltung und Beanspruchungssituation bei industriellen Montagetätigkeiten mittels OWAS-Methode, Borg-Skala und Elektromyographie

Anne PURSCHE, Christopher BRANDL, Alexander MERTENS, Martin FRENZ,
Christopher M. SCHLICK

*Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Die vorliegende Studie untersucht durch sechs unterschiedliche Arbeitspositionen hervorgerufene Rückenhaltungen bei Montagearbeiten auf Grundlage des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes. Mittels markerbasiertem Motion Capture sowie der OWAS-Methode wird die Belastungssituation und mittels EMG und Borg-Skala die resultierende Beanspruchung erfasst und analysiert. Die Arbeitspositionen werden körpermaßbezogen vorgegeben und sind damit vergleichbar zwischen den Probanden (n=20). Mit zunehmender Höhe des Montageobjektes steigt der zeitliche Anteil an einer normalen geraden Haltung des Rückens signifikant wobei er mit zunehmendem Abstand sinkt. Das subjektive Anstrengungsempfinden ist bei einem mittleren Abstand am niedrigsten, wobei Höhe und Alter keinen signifikanten Einfluss haben. Die normierte Muskelaktivität des Musculus erector spinae steigt mit zunehmendem Abstand und Alter, mit zunehmender Höhe sinkt sie.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Körperhaltung, Montagetätigkeit, OWAS, EMG, Borg-Skala

1. Einleitung

Der demografische Wandel führt zu quantitativen Veränderungen in der Erwerbsbevölkerung. Die Bevölkerungszahlen sinken und mit ihnen die Zahl der Erwerbstätigen. Das Angebot an Arbeitskräften verringert sich. Zudem steigt der Anteil der älteren Arbeitnehmer an der Belegschaft (Allmenger & Ebner 2006). Eine gezielt ergonomische Gestaltung der Arbeitsplätze zur Gesunderhaltung der Mitarbeiter wird für Unternehmen zunehmend wichtiger, da ergonomisch ungünstige Arbeitstätigkeiten mit einem erhöhten Risiko der Erkrankung des Muskel-Skelett-Systems einhergehen.

In Deutschland zählen Muskel-Skelett-Erkrankungen zu den häufigsten Ursachen für Krankheitstage und frühzeitigen Ruhestand. Muskel-Skelett-Erkrankungen betreffen in einem hohen Maße Arbeitnehmer die einer körperlichen Arbeit nachgehen. Beispielhaft dafür ist die Berufsgruppe der Montagearbeiter in der Automobilindustrie. Ihre Arbeit ist durch kurze Taktzeiten und einer hohen Wiederholungsfrequenz der standardisierten Arbeitsabläufe mit einseitigen körperlichen Belastungen geprägt. Um die Arbeitspersonen vor den Folgen arbeitsbedingter Muskel-Skelett-Erkrankungen zu schützen, müssen die Belastungen für die Arbeitspersonen durch ihre Arbeitstätigkeiten identifiziert und bewertet werden um ggf. Interventionen einzuleiten (Schlick et al. 2010).

Untersucht wurden Montagetätigkeiten in einer Laborstudie um allgemeine Erkenntnisse zu den Belastungsfaktoren an einem Montagearbeitsplatz zu generieren. Es wurden die Auswirkungen verschiedener Arbeitspositionen auf die Haltung des Rückens der Arbeitsperson, deren Beanspruchungsempfinden und Muskelaktivität untersucht. Dazu wurde das Belastungs-Beanspruchungskonzept (Rohmert 1984) als ein in der Ergonomie und Arbeitswissenschaft anerkanntes Konzept zu Grunde gelegt (Schlick et al. 2010).

2. Methode

Für die Analyse der Körperhaltungen wurden 10 weibliche und 10 männliche Personen untersucht, welche gleichmäßig nach Alter und Geschlecht auf zwei Altersgruppen [AG1: 18-39 a; AG2: 40-65 a] verteilt sind (AM = 37,75 a; SD = 16,01 a). Die Körperhöhe der Probanden beträgt zwischen 161,5 cm und 192,5 cm (AW = 174,35 cm; SD = 8,94 cm). Alle Probanden sind rechtshändig und für die untersuchte Arbeitstätigkeit körperlich geeignet. Die Arbeitsaufgabe für die Probanden besteht im verwendeten Studiendesign darin den Deckel eines Vergasers zu demontieren, die sich darunter befindende Feder auszutauschen und die Abdeckung anschließend wieder anzubringen. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte sowie Ablageplätze für Material und Standposition des Probanden sind vorgegeben. Das Montageobjekt (Vergaser) befindet sich vor den Probanden.

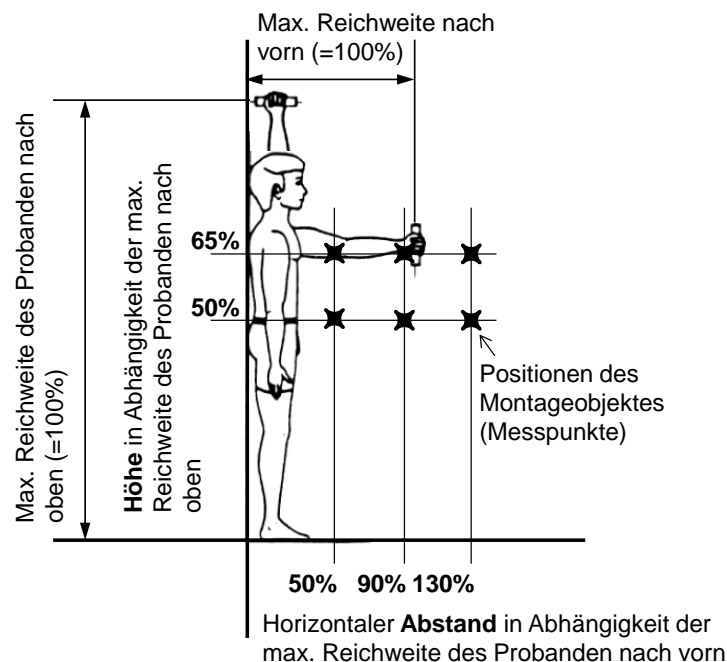


Abbildung 1: Positionen des Montageobjektes in Abhängigkeit der Reichweite der Probanden nach vorn und oben; eigene Darstellung in Anlehnung an DIN EN ISO 7250-1.

Untersucht wurden 6 Positionen des Montageobjektes, die auf die Körpermaße der Probanden bezogen sind, um sie zwischen den Probanden vergleichbar zu machen. Dazu wurden die anthropometrischen Maße maximale Reichweite nach vorn und nach oben der jeweiligen Probanden aufgenommen (DIN 33402-3, DIN EN ISO 7250-1) und das Montageobjekt in den in Abbildung 1 dargestellten Positionen angebracht. Die individuell von den Probanden eingenommenen Körperhaltungen bei

Durchführung der Montageaufgabe in den unterschiedlichen Positionen wurden mit einem passiven markerbasierten Motion Capture System aufgenommen. Dadurch kann die Position bestimmter Körperpunkte zu jeder Zeit der Tätigkeit bestimmt werden (Gudehus 2009). Die Haltung des Rückens wurde nach der OWAS-Methode (Ovaka Working Posture Analysing System) bewertet. Mittels der Borg-Skala wurde das subjektive Anstrengungsempfinden der Probanden in den jeweiligen Arbeitspositionen abgefragt. Zudem wurde die Muskelaktivität des linken und rechten Musculus erector spinae mittels Oberflächen-Elektromyographie (EMG) gemessen und ausgewertet.

2.1 Motion Capture und OWAS-Methode

Um die Haltung des Rückens zu erfassen wurden infrarotlichtreflektierende Markerkugeln jeweils auf dem Akromion (Schulter), entlang der Wirbelsäule und rechts und links auf Höhe der Hüftknochen angebracht. Aus den mittels des passiven Motion Capture Systems aufgenommenen Daten wurde der Neigungswinkel des Rückens berechnet. Ausgewertet wurden die Daten nach der OWAS-Methode. Diese teilt die möglichen Haltungen eines Körperteils in Kategorien ein und ordnet diesen Maßnahmenklassen zu. Die Haltung des Rückens wird bis zu einem Neigungswinkel von unter 20° als gerade eingestuft und als normal und natürlich bezeichnet. Es werden in diesem Fall keine Verbesserungsmaßnahmen zur Arbeitsgestaltung empfohlen (Stoffert 1985).

2.2 Subjektive Selbsteinschätzung nach Borg-Skala

Gegenstand der Beanspruchungsmessung ist neben den objektiv messbaren Werten auch die Erfassung der subjektiv erlebten Eindrücke der Arbeitsperson. Borg (2004) hat basierend auf psychophysiologischen psychophysikalischen Untersuchungen eine Skala entwickelt, welche einen linearen Zusammenhang von subjektiv empfundener Anstrengung und objektiv gemessenen Werten der Herzfrequenz widerspiegelt. Diese Schätzskala wird Borg-Skala RPE (ratings of perceived exertion) genannt, da sie als Bemessungsgröße der wahrgenommenen Anstrengung dient (ebd.). Sie ersetzt aufwendige Messungen der Herzfrequenz und ist aussagekräftig genug um die Anstrengung der Probanden einordnen und vergleichen zu können. Die Skala beinhaltet den Zahlenbereich von 6 (überhaupt nicht anstrengend) bis 20 (maximale Anstrengung) und wurde den Probanden jeweils nach der Durchführung der Montageaufgabe in einer der 6 Positionen vorgelegt. Sie wurden gebeten ihr Anstrengungsempfinden spontan nach der Borg-Skala einzuschätzen.

2.3 Oberflächen-Elektromyographie

Eine Möglichkeit der objektiven Beanspruchungsmessung stellt die Elektromyographie (EMG) dar. Sie ist das Studium der Muskelfunktion durch Erforschung des elektrischen Signales, das die Muskeln erzeugen (Basmajian & Luca 1985). Bei der Oberflächen-EMG werden die Elektroden auf die Haut geklebt, in diesem Fall auf den linken und rechten Musculus erector spinae (L3).

Vor der eigentlichen Messung während der Arbeitsaufgabe wird für den Muskel eine Übung durchgeführt um die Maximalkontraktion (MVC) des Muskels zu messen. Dabei ist nicht der maximale Kraft-Output von Bedeutung sondern die maximale

Innervation (Freiwald et al. 2007). Die während der Arbeitsaufgabe gemessenen Werte werden ins Verhältnis zu den MVC-Werten gesetzt. Man spricht von einer MVC-Normalisierung der Werte um sie zwischen den Probanden und Arbeitspositionen vergleichbar zu machen.

3. Ergebnisse

Die Daten der OWAS-Bewertung, Borg-Werte und relativen Muskelaktivität wurden mittels einer Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholungen) statistisch ausgewertet. Es wurde ein Signifikanzlevel von $\alpha = 0,05$ gewählt um die Nullhypothese auszuwerten. Der Post-hoc Test wurde mittels einer Bonferroni-Korrektur durchgeführt.

3.1 Rückenhaltung und Borg-Werte

Dargestellt ist der prozentuale Anteil an der Gesamtausführungszeit in der die Haltung des Rückens der OWAS-Kategorie 1 (gerade Haltung) zugeordnet werden kann. Wie im linken Teil der Abbildung 2 dargestellt, sinkt der zeitliche Anteil in einer normalen geraden Haltung des Rückens mit zunehmendem Abstand signifikant ($p < 0,001$), mit zunehmender Höhe steigt er ($p < 0,001$). Es kann kein signifikanter Einfluss des Alters festgestellt werden ($p = 0,858$), weshalb die Auswertung für beide Altersgruppen zusammen dargestellt ist.

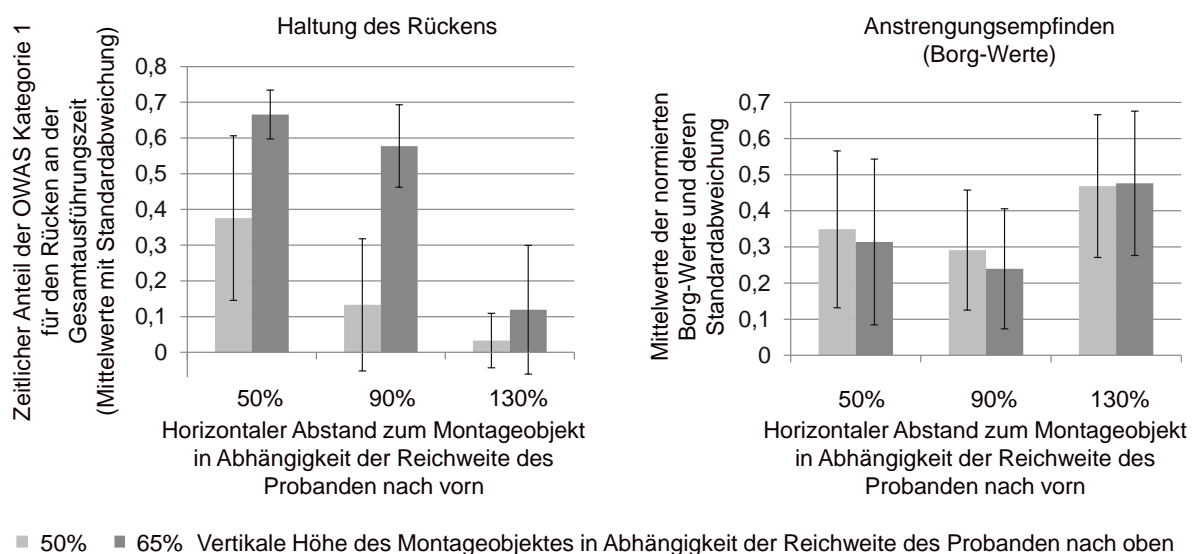


Abbildung 2: links: Zeitlicher Anteil des Rückens in OWAS Kategorie 1; rechts: Normierte Borg-Werte.

Das subjektive Anstrengungsempfinden der Probanden wurde nach der Formel $((\text{Wert}-6)/((20-6)))$ auf das Skalenniveau normiert. Im rechten Teil der Abbildung 2 sind die Mittelwerte der normierten Werte dargestellt. Es liegt ein signifikanter Einfluss des Abstands vor ($p < 0,001$), wobei ein Abstand von 90% die niedrigsten Borg-Werte unter den ausgewerteten Positionen erzielt. Ein Arbeiten in diesem Abstand wird als am wenigsten anstrengend empfunden. Ein signifikanter Einfluss der Höhe ($p = 0,134$) oder des Alters ($p = 0,672$) liegt nicht vor.

3.2 Muskelaktivität

Die Mittelwerte aus den Versuchen (Arbeitspositionen) wurden in Relation zu den gemittelten Maximalkraftwerten (MVC) gesetzt und prozentual dargestellt.

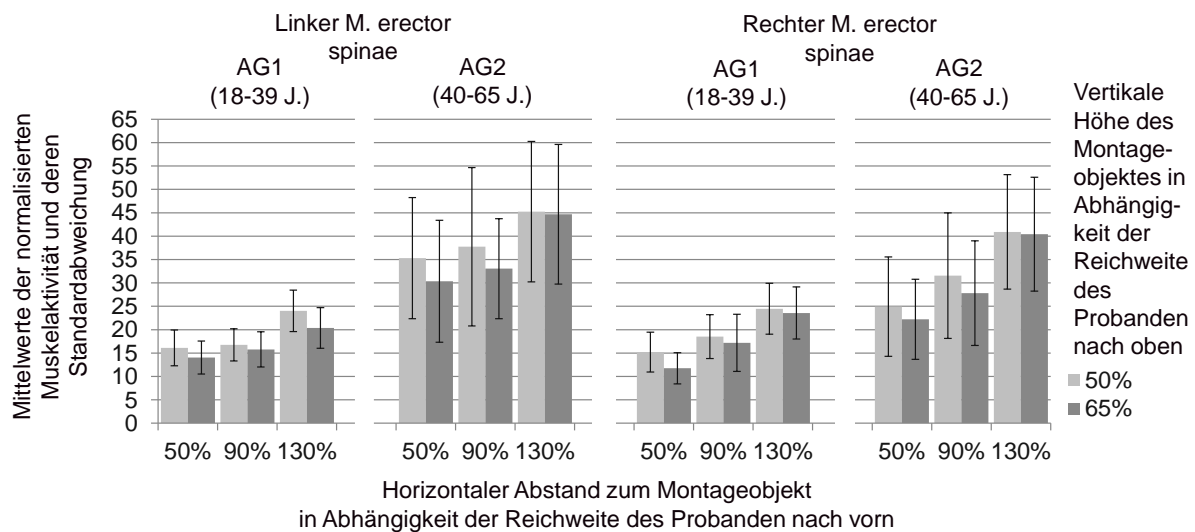


Abbildung 3: Normalisierte Muskelaktivität des rechten u. linken M. erector spinae differenziert nach Altersgruppen.

Die Auswertung der Muskelaktivität erfolgt für den linken und rechten Musculus erector spinae getrennt. Wie Abbildung 3 zu entnehmen ist steigt die normalisierte Muskelaktivität des linken Muskels mit zunehmendem Abstand zum Montageobjekt signifikant ($p < 0,001$), mit zunehmender Höhe sinkt sie ($p < 0,001$). Dieser Einfluss ist auch beim rechten Muskel zu beobachten. Allerdings ist hier der Einfluss der Höhe nicht signifikant ($p = 0,011$). Mit zunehmendem Alter steigt die normierte Muskelaktivität wie im Vergleich der Altersgruppen in Abbildung 3 dargestellt ist. Der linke und rechte Muskel zeigt jeweils eine ungefähr gleich hohe Aktivität. Die Standardabweichung ist bei AG2 größer als bei der AG1.

4. Diskussion und Fazit

Im vorliegenden Beitrag konnten die Auswirkungen verschiedener Arbeitspositionen auf die Rückenhaltung der Arbeitsperson, deren Beanspruchungsempfinden und Muskelaktivität identifiziert werden. Es konnte sowohl ein signifikanter Einfluss des Abstands der Probanden zum Montageobjekt und ebenfalls der Höhe des Montageobjektes auf die OWAS-Bewertung, die Borg-Werte und die normalisierte Muskelaktivität festgestellt werden. Zudem wurde der Einfluss des Alters untersucht. Bei älteren Probanden ist die normalisierte Muskelaktivität höher. Die hohen Standardabweichungen der AG2 sind auf die größeren inter- und intraindividuellen Unterschiede der Arbeitspersonen zurückzuführen.

Die Gültigkeit und Anwendbarkeit des Belastungs-Beanspruchungskonzepts kann bestätigt werden. Unterschiedliche Belastungen, also Körperhaltungen hervorgerufen durch die Arbeitspositionen, führen zu unterschiedlichen Beanspruchungen, welche sich in den Borg-Werten und den gemessenen Muskelaktivitäten äußern. Die Ergebnisse weisen die gleichen Tendenzen auf. Bei der Interpretation ist jedoch zu

beachten, dass in der vorliegenden Auswertung nur ein Muskel (Beanspruchungsindikator) betrachtet wird, wobei sich die subjektive Einschätzung der Probanden auf den gesamten Körper bezieht.

Die Durchführung einer Laborstudie, um den Einfluss der unabhängigen Variablen Abstand und Höhe des Arbeitsobjektes zu untersuchen, erwies sich als sinnvoll. Störgrößen und systematische Fehler konnten durch standardisierte Laborbedingungen weitestgehend ausgeschlossen werden und die Auswirkungen der Position des Arbeitsobjektes auf die Beanspruchung der Arbeitsperson und letztendlich deren Gesundheit konnten systematisch untersucht werden.

Eine Untersuchung weiterer körpermaßbezogener Arbeitspositionen mit einer größeren Stichprobe und einem Fokus auch auf andere Körperteile und Muskeln trägt zu präziseren Ergebnissen bezüglich der Einflüsse und Auswirkungen der Positionen bei. Besonders in weiter unten gelegenen Positionen ist eine größere Variabilität in den Körperhaltungen zu erwarten. Ziel einer erweiterten Studie kann es sein Körperhaltungen bei vorgegebenen Positionen des Montageobjektes vorhersagen zu können, z.B. auf Grundlage der anthropometrischen Maße der Arbeitspersonen. Diese Informationen können zu einer ergonomisch günstigen Arbeitsplatzgestaltung herangezogen werden und damit zur Gesunderhaltung der Arbeitspersonen beitragen.

5. Literatur

- Allmenger J, Ebner C (2006) Die Zukunft der Beschäftigung in Deutschland. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O, 50, 4. Göttingen: Hogrefe, 227-239.
- Basmajian J, Luca C de (1985) Muscles alive. Their functions revealed by electromyography. 5. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Borg G (2004) Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. In: Deutsches Ärzteblatt, Jg. 101, Heft 15, A1016-1021.
- DIN 33402-3 Körpermaße des Menschen; Bewegungsraum bei verschiedenen Grundstellungen und Bewegungen, 1984-10.
- DIN EN ISO 7250-1 (2010) Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung- Teil 1: Körpermaßdefinitionen und -messpunkte (ISO 7250-1:2008); Deutsche Fassung EN ISO 7250-1:2010.
- Freiwald J, Baumgart C, Konrad P (2007) Einführung in die Elektromyographie. Sport -Prävention – Rehabilitation. Balingen: Spitta.
- Gudehus T (2008) Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing. Dissertation. Kassel: kassel university press GmbH.
- Rohmert W (1984) Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 38, 193-200.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. 3.Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Stoffert G (1985) Analyse und Einstufung von Körperhaltungen bei der Arbeit nach der OWAS-Methode. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 39, 31-38.

Danksagung: Das diesem Beitrag zugrundeliegende Forschungsvorhaben „ENGAGE4PRO – Ergonomie-Navigator für die alters- und altersngerechte Produktion“ wurde mit Mitteln des BMBF (FKZ: 16SV6143) gefördert. Projektträger ist der VDI/VDE-IT.