

# Untersuchung der Belastung und Beanspruchung repetitiver Montagetätigkeiten

Markus Jürgen HEIDL, Alexandre BOESPFLUG

*Robert Bosch GmbH, C/MPS3  
Heilbronner Straße 360, D-70191 Stuttgart*

**Kurzfassung:** Kurzzyklische Tätigkeiten gehen mit Gefährdungsbegriffen wie Überlastung durch Wiederholung, zu hohe Bewegungshäufigkeiten, ungestaltete Griffbedingungen oder auch zu hohe Kräfte einher. In einem deutschen Industrieunternehmen wurden deshalb Arbeitsplätze, an denen repetitive Tätigkeiten ausgeführt werden, genauer unter die Lupe genommen. Aus der Studie mit 249 Fragebögen geht hervor, dass die größten wahrgenommenen Beanspruchungen Engpässe vor allem in der Körperhaltung und der Arbeitsorganisation aufzeigen. Der Fokus bei der Bewertung solcher Tätigkeiten muss sich deshalb verschieben.

**Schlüsselwörter:** Repetition, Tätigkeiten, Montage, Belastung, Beanspruchung, Bewertung

## 1. Einleitung und Ziele

Um die Arbeitsbelastung von manuellen Montagetätigkeiten abschätzen zu können, sind viele unterschiedliche Methoden zur Bewertung körperlicher Arbeit bekannt. Speziell für kurzzyklische Tätigkeiten mit Zykluszeiten  $\leq 30$  s ist allerdings keine der Belastungsbewertungsmethoden validiert. Die Ergebnisse zweier Studien (siehe Kapitel 2), die offenlegen, dass die Ergebnisse verschiedener Methoden im kurzzyklischen Bereich stark auseinander gehen, überraschen deshalb nicht. Für die Praxis ist folglich unklar, mit welcher der zur Verfügung stehenden Belastungsbewertungsmethoden analysiert werden soll, um aussagekräftige Ergebnisse bzgl. der Höhe der Arbeitsbelastung, einhergehend mit eventuellen Auswirkungen auf den Arbeitsplatz, zu erhalten.

Um die vorhandenen Belastungsbewertungsmethoden für repetitive Tätigkeiten validieren zu können, muss jedoch der Belastungs- und Beanspruchungszustand der Mitarbeiter an ebensolchen Arbeitsplätzen quantifiziert sein. In einem ersten Schritt wurden deshalb im Rahmen dieser Studie 249 Mitarbeiter an 66 repetitiven Arbeitsplätzen zu ihrem persönlichen Befinden befragt. Diese Ergebnisse werden hier vorgestellt. In einem zweiten Schritt folgt die statistische Auswertung der Eignung der Belastungsbewertungsmethoden zur Bewertung repetitiver Montagetätigkeiten.

## 2. Stand der Forschung

Durch große Fortschritte im Bereich der Automatisierung konnte in den letzten Jahren in der Produktion eine deutliche Steigerung der Produktivität und eine Senkung der Kosten erreicht werden. Wegen kurzen Innovationszyklen und hohem Investitionsbedarf ist eine vollständige Automatisierung aber oft nicht sinnvoll. Dort

überwiegen die Vorteile der manuellen Produktion, wie beispielsweise durch mehr Flexibilität und Fertigkeit der Mitarbeiter in der Fertigung. Um langfristig mit der Belegschaft planen zu können, müssen die Tätigkeiten bis ins hohe Alter schädigungslos ausführbar sein.

Dafür ist eine explizite ergonomische Bewertung der Arbeitsplätze, möglichst bereits in der Planungsphase, nötig, um Fehlbelastungen rechtzeitig zu erkennen und vermeiden zu können. Vergleiche (Steinberg et al., 1998 und 2011) verschiedener Methoden zeigen eine hohe Konvergenzvalidität im Bereich der mittleren Bedingungen, erst bei extremer Ausprägung einzelner Merkmale weichen die Ergebnisse immer stärker voneinander ab.

Innerhalb der manuellen Montagetätigkeiten stellen die repetitiven Tätigkeiten einen solchen Sonderfall mit extremer Ausprägung dar. Verschiedene Quellen (z. B. Silverstein et al., 1986; DIN EN 1005-5, 2007) schlagen vor, Repetitivität dann anzunehmen, wenn ein sich kontinuierlich wiederholender Arbeitszyklus weniger als 30 Sekunden dauert. Studien, in denen die Ergebnisse der Methoden anhand von realen, repetitiven Arbeitsplätzen miteinander verglichen werden, legen besagte große Unterschiede in den Bewertungen offen (Bruder & Kaiser, 2012; Heidl, 2013). Diese reichen so weit, dass ein und dieselbe Tätigkeit von einer ersten Methode im grünen, von einer zweiten im gelben und von einer dritten Methode im roten Bereich eingestuft wird.

Vergleichswerte für die in dieser Studie ebenso erhobenen Beschwerde- und Schmerzempfindungen liefern zum einen Wittig, Nöllenheidt und Brenscheidt (2013), die von Probanden aller Berufe die Beschwerden im Rücken, in Nacken und Schultern, Armen sowie Händen und Fingern erfassten. Zum anderen untersuchten Kotzab (2014) und Steinberg et al. (2011) das Beschwerdeempfinden von Produktionsmitarbeitern und erfassten den Rücken, den Nacken, die Schultern, die Ellenbogen sowie die Unterarme und Hände. Die genauen Werte sind in der Diskussion aufgeführt.

### 3. Methode

Um eine Datengrundlage für Belastung und Beanspruchung bei repetitiven Montagetätigkeiten zu schaffen, wurden in fünf unterschiedlichen Werken eines deutschen Automobilzulieferers 66 Arbeitsplätze aufgenommen und bewertet.

Insgesamt wurden 249 Probanden, die regelmäßig an den bewussten Arbeitsplätzen eingesetzt werden, zu ihrem subjektiven Anstrengungsempfinden sowie ihren Beschwerden befragt. Dafür wurde ein Fragebogen aufgesetzt, der folgende Punkte umfasste:

- Allgemeine Angaben zur Person (z. B. Alter, Berufserfahrung)
- Eine BORG-Skala (Borg, 2004)
- Ausgewählte Merkmale nach Slesina (1987, siehe Abbildung 1)
- Eine erweiterte Form des nordischen Fragebogens (in Anlehnung an Kuorinka, 1987)

Die Beantwortung des Fragebogens war freiwillig und anonym. Nach einer kurzen Einführung wurden die Bögen von den Probanden selbstständig ausgefüllt, bei Fragen war der Versuchsleiter zugegen.

Bei den Merkmalen nach Slesina wurden psychische Aspekte außen vor gelassen und sich auf die physische Belastung/Beanspruchung beschränkt. Abgefragt wurden

deshalb insgesamt 29 Merkmale, sowohl nach Häufigkeit als auch nach Beanspruchung/Belastung.

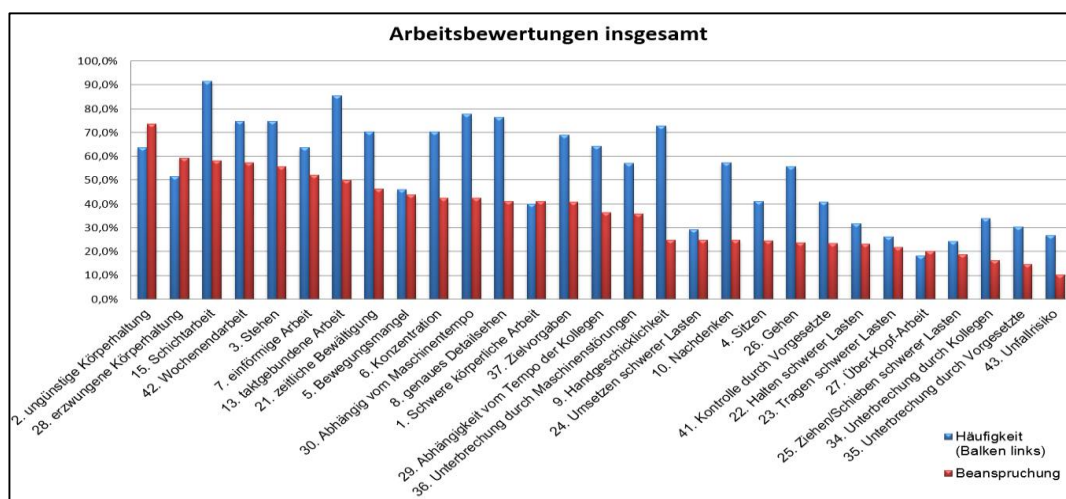
Erst im Anschluss werden alle Arbeitsplätze mit Belastungsbewertungsmethoden bewertet und die Ergebnisse verglichen. In vergangenen Untersuchungen (Heidl, 2013) erwiesen sich für die Belastungsbewertung repetitiver Tätigkeiten die Methoden EAWS (European Assessment Worksheet), OCRA Checkliste (Occupational Risk Assessment), LMM MA (Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse), HARM (Hand Arm Risk Assessment) und SI (Strain Index) als am besten geeignet.

#### 4. Ergebnisse

Die Stichprobe der befragten Beschäftigten besteht aus 249 Mitarbeitern der direkten Fertigung aus fünf unterschiedlichen Werken eines deutschen Automobilzulieferers. Der Anteil weiblicher Probanden beträgt 58,6 %. Weiterhin sind 60,6 % der Befragten jünger als 50 Jahre. Im Durchschnitt führen die Mitarbeiter ihre aktuelle Tätigkeit seit 5,54 Jahren aus (SD: 5,64) und arbeiten bereits 13,16 Jahre (SD 10,28) in der Montage. 31,7 % der Befragten geben an, neben der körperlich fordernden Arbeit auch in der Freizeit noch Sport der oberen Extremitäten (z. B. Krafttraining, Kampfsport, Handball, etc.) zu betreiben, 18,9% übten früher solchen Sport aus.

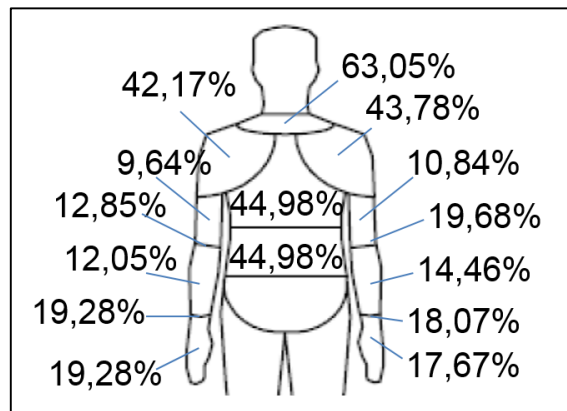
Insgesamt wurden 66 unterschiedliche Arbeitsplätze mit Zykluszeiten zwischen fünf und 64 Sekunden untersucht. Weil teilweise mehrere Teile pro Zyklus bearbeitet wurden, gibt es sechs Arbeitsplätze mit Zykluszeiten > 30 Sekunden. Der Gesamtdurchschnitt beläuft sich auf 19,68 Sekunden (SD 11,78).

Abbildung 1 zeigt, nach der Beanspruchung von links nach rechts sortiert, die Häufigkeit der Nennung der Merkmale nach Slesina. In Blau dargestellt sind die häufigsten vorkommenden Merkmale, angeführt von „Schichtarbeit“ (91,4%), „taktgebundene Arbeit“ (85,4%), „Abhängigkeit vom Maschinentempo“ (77,7%), „genaues Detailsehen“ (76,4%), „Stehen“ (74,8%) und „Wochenendarbeit“ (74,7%). In Rot dargestellt sind die als am beanspruchendsten wahrgenommenen Merkmale, angeführt von „ungünstige Körperhaltung“ (73,5%), „erzwungene Körperhaltung“ (59,3%), „Schichtarbeit“ (58,2%), „Wochenendarbeit“ (57,4%) und „Stehen“ (55,7%).



**Abbildung 1:** Häufigkeit und wahrgenommene Beanspruchung der 29 ausgewählten Merkmale nach Slesina (2009), n=249

Ferner wurden, wie in Abbildung 2 gezeigt, die Häufigkeit der Schmerzen und Beschwerden der oberen Extremitäten sowie des Nackens und des Rückens aufgenommen. Keine Schmerzen zu haben geben lediglich 18,07% der Befragten an. Die Mehrheit nennt Beschwerden in Nacken, Rücken und/oder Schultern.



**Abbildung 2:** Häufigkeit des Auftretens von Beschwerden und Schmerzen in den Körperregionen, n=249

Die subjektiven Einschätzungen der Belastung und Beanspruchung liefern auf der zehnstufigen CR10-BORG-Skala Mittelwerte zwischen 1,33 und 8. Der Gesamtmittelwert liegt bei 3,64 (SD 1,50).

Die Belastungsbewertungsverfahren liefern unterschiedliche Ergebnisse (für jeden Platz wurden die Bewertungen von zwei unterschiedlichen Personen durchgeführt, angezeigt in Tabelle 1 durch Bewerter A und B). Die neuere EAWS-Version stuft die Arbeitsplätze etwas strenger ein als die alte, dennoch wird größtenteils, wie auch bei der Leitmerkmalmethode und HARM, im Bereich zwischen grün und gelb gewertet. Die OCRA CL bewertet wie der SI am strengsten. Die abweichenden Bewertungen der beiden Bewerter erklärten sich durch Rundungen und Interpretationen (Anzahl der Aktionen, Griffbedingungen).

**Tabelle 1:** Bewertungen der 66 unterschiedlichen Tätigkeiten von zwei Bewertern (A und B)

	EAWS 1.3.2c		EAWS 1.3.3		OCRA CL		LMM MA		SI		HARM	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<b>Grün</b>	41	41	35	39	11	18	45	41	11	19	25	26
<b>Gelb</b>	18	22	22	20	13	13	21	25	23	26	38	39
<b>Rot</b>	7	3	9	7	42	35	0	0	32	21	3	1

## 5. Diskussion und Ausblick

Wie bereits im Stand der Forschung vermutet, bestätigt diese Studie, dass die unterschiedlichen Belastungsbewertungsmethoden repetitive Tätigkeiten verschieden bewerten. Es ist nicht offensichtlich ersichtlich, ob es eine Methode gibt, die Belastung und Beanspruchung zuverlässig einstuft. Darüber hinaus fokussieren die Belastungsbewertungsmethoden bei „repetitiven Tätigkeiten“ auf Überlastung durch Wiederholung, zu hohen Bewegungshäufigkeiten oder auch ungestalteten Griffbedingungen. Eine, wie diese Studie zeigt, unvollständige Sichtweise.

Wie die Studie mit 249 Probanden zeigen konnte, liegen die höchsten wahrgenommenen Beanspruchungen nicht nur im Bereich der Arme, sondern vielmehr im gesamten Körper. Insbesondere beansprucht werden Schultern und Nacken, sowie die Arme und auch die Hände und Finger.

Ebenso unerwartet fällt die Bewertung der Merkmale nach Slesina aus. Die am beanspruchendsten wahrgenommenen Merkmale sind dort mit Abstand die der ungünstigen bzw. erzwungenen Körperhaltung. Passend dazu werden auch die Merkmale „Stehen“ und „Bewegungsmangel“ als sehr beanspruchend eingestuft. Es folgen Merkmale der Arbeitsorganisation wie „Schicht“- oder „Wochenendarbeit“ bevor die im Vorfeld mit repetitiven Arbeiten assoziierten Merkmale „einförmige Arbeit“, „taktgebundene Arbeit“ oder „zeitliche Bewältigung“ genannt werden.

Die Vergleiche für die Werte des Beschwerde- und Schmerzempfindens sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Im Rahmen der Erwerbstätigenbefragung von Wittig et al. (2013) wurden 15239 Vollzeitbeschäftigte aller Berufe befragt. Im Vergleich mit an repetitiven Arbeitsplätzen Beschäftigten liegen die Beschwerden des unteren Rückens im gleichen Bereich, die Beschwerden des Nackens und der Schultern, der Arme und der Hand/Finger sind hingegen deutlich geringer.

Einen weiteren Vergleich erlauben die Untersuchungen von Kotzab (2014) und Steinberg et al. (2011), die das Beschwerdeempfinden von Produktionsmitarbeitern aufnahmen. Steinberg et al. (2011) erhielten Antworten von 1293 Beschäftigten, die zu etwa gleichen Teilen in Probanden, die manuelle Arbeiten ausführen und Probanden mit Bildschirmtätigkeiten aufgeteilt sind. Die Prävalenz an Beschwerden im Muskel-Skelett-System ist für das gesamte Studienkollektiv angegeben. Dieses zeigt durchgängig weniger Beschwerdewerte als diese Studie. Die Beschwerden in den Ellenbogen sind vergleichbar, die anderen Körperregionen unterscheiden sich deutlich: der untere Rücken liegt in dieser Studie zehn, der Nacken sieben Prozentpunkte höher. Noch deutlicher fällt der Vergleich der Schultern sowie der Unterarme und Hände aus, die sich um ca. 15 Prozentpunkte unterscheiden.

Kotzab (2014) wiederum befragte 621 Mitarbeiter an drei unterschiedlichen Montagelinien mit Zykluszeiten von 25-84 Sekunden. Die Beschwerden sind in dieser Studie im oberen Rücken, im Nacken sowie in den Schultern größer, dafür im unteren Rücken und in den Handgelenken geringer. Die Beschwerden in den Ellenbogen liegen im selben Bereich.

**Tabelle 2:** Beschwerdewerte einzelner Körperbereiche der unterschiedlichen Studien im Vergleich

	Heidl & Boespflug (2015)	Wittig et al. (2013)	Steinberg et al. (2011)	Kotzab (2014)
Ob. Rücken	44,98 %			32,37% (-12,61)
Unt. Rücken	44,98 %	46,37 % (+1,39)	35,19 % (-9,79)	57,81% (+12,83)
Nacken	63,05 %		55,84 % (-7,21)	43,16% (-19,90)
Schultern	55,42 %		41,30 % (-14,12)	41,22% (-14,20)
Nacken & Schultern	73,90 %	47,52 % (-26,38)		
Arme	44,58 %	20,95 % (-23,63)		
Ellenbogen	21,69 %		18,95 % (-2,74)	22,71% (+1,02)
Handgelenk	26,10 %			36,07% (+9,97)
Hand/Finger	26,10 %	15,47 % (-10,63)		
Unterarme & Hände	43,37 %		27,76 % (-15,61)	

Im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Studie steht die bisherige Herangehensweise der Belastungsbewertungsmethoden: dort werden zwar beispielsweise auch nach der Dauer der repetitiven Tätigkeiten, nach den Pausen und nach der Möglichkeit der Unterbrechungen Punkte vergeben, der Fokus liegt aber klar auf den Aktionen pro Minute in Kombination mit Kraft und Griffbedingungen sowie Gelenkstellungen während der Tätigkeiten. Ganzkörperbelastungen werden außen vor gelassen oder separat bewertet.

In Zukunft sollten repetitive Tätigkeiten ganzheitlicher betrachtet werden. Beispielsweise auch, weil bei vielen repetitiven Tätigkeiten durchgängig gestanden wird, was erwiesenermaßen zu Beschwerden in Beinen und Rücken führt (u.a. Garcia, Läubli & Martin, 2015). Der Stehanteil wird aber etwa in EAWS nur für den Ganzkörperwert herangezogen und bleibt in Sektion 4 unberücksichtigt. Weiterhin findet der Nacken, der bei einem erheblichen Anteil der Probanden für Beschwerden sorgt, bisher keinerlei Berücksichtigung in den Belastungsbewertungsmethoden. Solche und andere Ganzkörperbelastungen sollten Eingang in die Bewertung repetitiver Tätigkeiten finden.

Im nächsten Schritt wird statistisch ausgewertet, ob es eine Methode gibt, die sich am besten zur Belastungsbewertung repetitiver Tätigkeiten eignet. Daraufhin werden Vorschläge erarbeitet, wie die bewusste Methode an die Ganzkörperbelastung angepasst werden kann, um das Ergebnis genauer zu machen.

## 6. Literatur

- Borg G (2004) Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. Dtsch Arztebl 2004; 101: A 1016–1021 [Heft 15]
- Bruder R, Kaiser B (2012) Abschlussbericht der Studie Arbeitsplatzgestaltung bei repetitiven Tätigkeiten. Robert Bosch Fahrzeugelektrik Eisenach GmbH, Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt, Darmstadt, 03.12.2012
- DIN EN 1005-5 (2007) Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 5: Risikobeurteilung für kurzzyklische Tätigkeiten bei hohen Handhabungsfrequenzen; Deutsche Fassung EN 1005-5:2007
- Garcia M-G, Läubli T, Martin B J (2015) Long-Term Muscle Fatigue After Standing Work. Human Factors, Vol. 57, November 2015, pp. 1162-1173
- Heidl MJ (2013) Untersuchung der Anwendbarkeit des Verfahrens OCRA zur Bewertung repetitiver Tätigkeiten. Masterthesis, TU Darmstadt, 26.11.2013
- Kotzab D (2014) Vergleich ergonomischer Bewertungsmethoden mit dem subjektiven Befinden der Mitarbeiter. Kassel university press GmbH, Band 12, Kassel 2015.
- Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sørensen F, Andersson G, Jørgensen K (1987) Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. Appl Ergon. 1987 Sep; 18(3):233-7.
- Silverstein BA, Fine LJ, Armstrong TJ (1986) Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. British Journal of Industrial Medicine 1986; 43:779-784.
- Slesina W (1987) Arbeitsbedingte Erkrankungen und Arbeitsanalyse – Arbeitsanalyse unter dem Gesichtspunkt der Gesundheitsvorsorge. Enke, Stuttgart, 1987.
- Steinberg U, Caffier, G, Mohr D, Liebers F, Behrendt S (1998) Modelhafte Erprobung des Leitfadens Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten. 1. Auflage. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH
- Steinberg U, Liebers F, Klußmann A, Gebhardt HJ, Rieger MA, Behrendt S, Latza U (2011) Leitmerkmalermethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision, Forschung Projekt F 2195. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Berlin, Dresden 2012
- Wittig P, Nöllenheidt C, Brenscheidt S, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.) (2013) Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2012 – Männer/Frauen in Vollzeit. Dortmund, Berlin, Dresden.