

Erstellen und Testen eines Supplementes für ein Screening-Kraftbewertungsverfahren für einen begrenzten Anwenderkreis im Projekt Kraftatlas-Weiterführung

Karlheinz SCHAUB, Jurij WAKULA, Knut BERG

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

Kurzfassung: In den Jahren 2006-2008 wurde das Projekt „Montagespezifischer Kraftatlas“ durchgeführt (Wakula et al.2009a; BGIA Report 3/2009). Ziel des Projektes war die Messung maximaler isometrischer Aktionskräfte (Ganzkörper – und Finger-Hand) für ausgewählte Körperhaltungen sowie die Erarbeitung eines klassischen Kraftbewertungsverfahrens zur Ermittlung von maximal empfohlenen Aktionskräften.

Im Folgeprojekt "Kraftatlas-Weiterführung" (2013-2014) wurde ein Supplement für ein Screening-Verfahren (als Papier- und Bleistift-Variante sowie als EXCEL spreadsheet) für einen begrenzten Anwenderkreis erarbeitet, durch eine kurze Handlungsanleitung ergänzt und in der Praxis getestet. Anwendungsfelder des Supplementes für das Screening Verfahren sind vorrangig getaktete industrielle Montagetätigkeiten.

Schlüsselwörter: Montagespezifischer Kraftatlas, Screening Verfahren, Ganzkörperkräfte, Finger-Handkräfte, Gefährdungsbeurteilung, Risikoanalyse

1. Einleitung

Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems sind Ursache für rund ein Viertel aller Arbeitsunfähigkeitstage. Damit sind diese Erkrankungen die häufigste Einzelursache in der Statistik der Arbeitsunfähigkeitstage (BKK Faktenspiegel 9/2011).

Zwischen 2006-2008 wurde das Projekt „Montagespezifischer Kraftatlas“ durchgeführt. Ziel des Projektes war die Messung maximaler isometrischer Aktionskräfte (Ganzkörper – und Finger-Hand) für ausgewählte, bei Montagetätigkeiten häufig auftretende, Körperhaltungen bei realen Arbeitspersonen sowie die Erarbeitung eines Kraftbewertungsverfahrens zur Ermittlung von maximal empfohlenen Kräften (Schaub et al. 2009, Wakula et al. 2009b). Das Projekt-Konsortium bestand aus Industriepartnern der PKW und Nutzfahrzeugbranche sowie dem Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau (FAMFS) der BGHM, dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und dem Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD).

Nach Projektende wurde aufgrund der Komplexität der Methodik der Bedarf nach einer Handlungsanleitung und eines Anwenderseminars „Gefährdungsbeurteilung mit dem montagespezifischen Kraftatlas“ zur Verbreitung des klassischen Bewertungsverfahrens für Praktiker, z.B. für Sicherheitsfachleute (SIFAs), Arbeitsplaner und Betriebsräte, sichtbar.

Auch wurde von Seiten der Industriepartner der Wunsch nach einem Screening-

Verfahren „kraftbetonte Tätigkeiten“ als EXCEL basiertes Anwendertool „Gefährdungsbeurteilung bei kraftbetonten Tätigkeiten“ geäußert, welches durch eine kurze Handlungsanleitung für das Testen des Screening-Verfahrens in einem begrenzten Anwenderkreis ergänzt werden sollte.

2. Entwicklung eines Screening Verfahrens zur Bewertung von Aktionskräften

2.1 Vorgehensweise

Das Screening Verfahren baut auf den Informationen zum „klassischen Kraftbewertungsverfahren“ auf (Schaub et al. 2009, Wakula et al. 2009b), welche als bekannt vorausgesetzt werden.

Der Geltungsbereich des Screening-Verfahrens liegt – ebenso wie beim klassischen Verfahren – bei kurzzyklischen Tätigkeiten von ca. 1 bis 6 oder max. 8 Minuten Dauer. Eine Anwendung ist auch bei längeren Taktzeiten möglich, solange sichergestellt ist, dass die Belastungen gleichmäßig über die Schicht verteilt sind und keine Belastungsspitzen vorliegen.

Das Screening-Verfahren dient zur Bewertung von quasi-statischen Kraftausübungen des Arm-Schulter- bzw. Ganzkörper-Systems (Ganzkörperkräfte ab ca. 40 N) einerseits und des Hand-Finger-Systems (ab ca. 30 N) andererseits. Die Kraftausübungsdauer sollte idealerweise im Bereich 3-4 Sekunden, nicht aber unter 1 Sekunde liegen. Bei Wirkungsdauern von deutlich unter 1 s haben die Aktionskräfte meist eine erhebliche dynamische Komponente und die Bewertung auf Basis des Kraftatlas könnte zu hoch ausfallen. Bei langen statischen Kraftausübungen von ca. 6 s und mehr (Rohmert 1960, Krömer, 1977) ist dieses Kraftbewertungsverfahren nicht mehr sinnvoll anwendbar.

Die Bewertung einer Kraftausübungssituation erfolgt in beiden Bewertungsansätzen – klassisch wie Screening – auf Basis eines Ampelmodells, wie es in EN 614:1995 dargestellt ist.

Dabei ist den Ampelfarben (Risikobereiche) folgende Bedeutung zugeordnet:




- „Grün“: Niedriges Risiko - empfehlenswert; Maßnahmen nicht erforderlich.
- „Gelb“: Mögliches Risiko – nicht empfehlenswert; Maßnahmen zur erneuten Gestaltung / Risikobeherrschung ergreifen.
- „Rot“: Hohes Risiko - vermeiden; Maßnahmen zur Risikobeherrschung erforderlich.

Im „klassischen“ Bewertungsverfahren erfolgt die Zuweisung der Ampelfarben in Abhängigkeit von der Höhe eines Kraftindex FI (analog zu Waters 1994, ISO 11228-1). FI ist der Quotient aus auszuübender Kraft F_{aktuell} und maximal empfohlener Kraft $F_{\text{max_empf.}}$. $F_{\text{max_empf.}}$ leitet sich im montagespezifischen Kraftatlas aus einer isometrischen Maximalkraft (abhängig von Körperhaltung und Krafrichtung) ab, welche um tätigkeits- und evtl. personenspezifische Parameter korrigiert (verringert) wird.

Wichtigster tätigkeitsspezifischer Parameter ist die Häufigkeit der Kraftausübung (T1). T1 wurde in Analogie zu EN 1005-3 und den Kraftbewertungsverfahren nach Burandt (1978) und Schultetus (1987) gewählt. Die Häufigkeit der Kraftausübungen wird bei EN 1005-3 und Schultetus (1987) nahezu identisch bewertet; wegen der höheren Zahl der Stützstellen wurde der Ansatz nach Schultetus gewählt.

Der Screening-Ansatz beruht auf der Grundphilosophie, dass für Belastungen Punkte (scores) vergeben werden. Je höher die Belastung durch ausgeübte Aktionskraft, desto höher die Punktzahl.

Tabelle 1: Vorgehensweise zur Bewertung von Ganzkörperkräften und Finger-Hand-Kräften sowie zur Ermittlung von Risikobereich und zu treffenden Maßnahmen im Screening Ansatz.

Schritt	Beschreibung	Ganzkörperkraft	Finger-Handkraft
1	a. Kraftausübendes Körperteil wählen b. Häufigkeit der Kraftausübungen / Minute bestimmen c. Auszuübende Kraft F_{aktuell} ermitteln		
2	d. Kraftperzentil wählen (P15 Planungsanalyse, P40 Ist-Analyse) e. F_{max} bestimmen f. Faktor P1 für Alter wählen (fakultativ) g. Faktor P2 für Geschlecht wählen (fakultativ) h. Biomechanikfaktor T2 wählen i. Physiologiefaktor T3 wählen j. g. $F_{\text{max_empfohlen}}$ berechnen	Siehe Tabelle Maximalkraft F_{max} für Ganzkörperkräfte: Kraftrichtung Körperhaltung Tabelle Altersfaktor Tabelle Maximalkraft F_{max} für Ganzkörperkräfte Tabelle Biomechanikfaktor Tabelle Physiologiefaktor $F_{\text{max_empfohlen}} = F_{\text{max}} * P1 * P2 * T2 * T3$	Tabelle Maximalkraft F_{max} für Finger-Handkräfte Greifbedingungen  Tabelle Maximalkraft F_{max} für Finger-Handkräfte  $F_{\text{max_empfohlen}} = F_{\text{max}} * P2$
3	k. Kraftscore $\%F_{\text{max}} = F_{\text{aktuell}} / F_{\text{max_empf.}} * 100$ wählen l. Score für Häufigkeit der Kraftausübung wählen m. Gesamtscore berechnen	Tabelle Score F Tabelle Score n (als Funktion von T1) Score F x score n	Tabelle Score F Tabelle Score n (als Funktion von T1) Score F x score n
4	Risikobereich ermitteln und Maßnahmen ableiten		0-25 Punkte „grün“ >25 – 50 Punkte „gelb“ >50 Punkte „rot“

Beim Screening-Verfahren sind die Ampelfarben von der Höhe der Punktbewertungen abhängig. Analog zu den Leitmerkalmethoden und zum EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) gelten Punktwerte ≤ 25 als grüner, Punktwerte > 50 als roter Bereich.

Der Kraftindex FI (auszuübende Kraft F_{aktuell} / maximal empfohlene Kraft $F_{\text{max_empf.}}$) des klassischen Bewertungsansatzes und die Punktwerte des Screening Ansatzes

sind aufeinander abgestimmt. Ein Punktwert von 25 Punkten entspricht einem Kraftindex von 0,85; ein Punktwert von 50 Punkten einem Kraftindex von 1,2 (siehe Handlungsanleitung zum klassischen Kraftbewertungsverfahren).

Der Ablauf des Screening Verfahrens ähnelt dem des klassischen Verfahrens. In einer vierstufigen Vorgehensweise werden der Risikobereich und die zu treffenden Maßnahmen ermittelt (siehe Tabelle 1).

2.2 Das EXCEL spreadsheet MONKRAS (Montagespezifischer Kraftatlas)

Das EXCEL Tool MONKRAS (Montagespezifischer Kraftatlas) dient als Unterstützung bei Kraftbewertungen sowohl mit dem klassischen als auch mit dem Screening-Verfahren. Es ist für homogene und heterogene Kraftausübungsfälle, wie sie typischerweise bei getakteten industriellen Tätigkeiten auftreten, geeignet.

- Homogene Kraftfälle sind gekennzeichnet durch wenige unterschiedliche Kraftausübungsfälle in ähnlichen Kraftniveaus (Schwankungen bis 20 %).
- Heterogene Kraftfälle sind gekennzeichnet durch (stark) unterschiedliche Kraftausübungsfälle mit (sehr) unterschiedlichen Kraftniveaus (Schwankungen über 20%) oder Krafrichtungen / Greifarten bei Ganzkörper- und Hand-Arm-Kräften.

Lassen sich einfache / homogene Kraftausübungsfälle auf Basis von Papier- und Bleistiftmethoden bewerten, so sind komplexe / heterogene Kraftfälle nur rechnergestützt sinnvoll zu bewerten.

Zur Realisierung des Screening Ansatzes wurden verschiedene Algorithmen implementiert, um zum einen eine größtmögliche Kompatibilität mit dem Papier- und Bleistift Ansatz zu erhalten, aber auch der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Kraftscores nicht nur eine Funktion des Kraftniveaus ($\%F_{\max}$) sind, sondern zusätzlich auch noch von der Betätigungshäufigkeit abhängen.

Abbildung 1 zeigt die MONKRAS Bildschirmmaske für Ganzkörperkräfte.

Alle MONKRAS Eingabefelder sind weiß hinterlegt. Mögliche Eingabefelder sind:

- Beschreibung der Tätigkeit, Beschreibung des Kraftfalles
- Auszuübende Kraft (Faktuell), Maximal empfohlene Kraft ($F_{\max_empf.}$)
- Anzahl der Kraftausübungen pro Schicht (oder pro Takt)
- Taktdauer (in Minuten), Angabe fakultativ, Schichtdauer (in Minuten)
- Biomechanikfaktor T2 (Berücksichtigung von asymmetrischen und einhändigen Kraftausübungen)
- Physiologiefaktor T3 (Berücksichtigung von ungünstigen Körperhaltungen während der Kraftausübungen)
- Faktor P1 für das Alter (alternativ zur Benutzung eines Kraftperzentils)
- Faktor P2 für das Geschlecht (alternativ zur Benutzung eines Kraftperzentils)

Alle gelb hinterlegten Felder stellen Zwischenergebnisse dar (Kraftindex FI (klassischer Ansatz), score F x score n (Screening Ansatz) sowie $F_{\text{aktuell}} / F_{\max}$ (Screening Ansatz)). Die Standardhintergrundfarbe ist hellgrün.

Einige Zellen enthalten oben rechts ein kleines rotes Dreieck. Bewegt sich der Cursor über diese Zelle, so wird ein erläuternder Kommentar zu dieser Zelle eingeblendet, welcher den Inhalt und die Funktionalität dieser Zelle näher beschreibt.

Version 1.9.7 Bewertung von Ganzkörperkräften												
Beschreibung der Tätigkeit												
Beispiel Ganzkörperkräfte												
Biomechanisch kritischer Lastfall! $F_{\text{aktuell}} / F_{\text{max empfohlen}} \geq 0,8$												
Fall #	Beschreibung	F_{aktuell} [N]	F_{max} [N]	Anzahl / Schicht oder Takt	Biomechanikfaktor T2	Physiologiefaktor T3	Altersfaktor P1	Geschlechtsfaktor P2	Kraftindex FI	Punktwert $F \cdot n$	$F_{\text{aktuell}} / F_{\text{max empf.}}$	
3	Fall 3	80	100	2	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00	35	0,80	
1	Fall 1	70	100	60	1,0	1,0	1,0	1,00	0,90	31	0,70	
5	Fall 5	55	80	8	1,0	1,0	1,0	1,00	0,86	30	0,69	
4	Fall 4	40	60	24	1,0	1,0	1,0	1,00	0,84	29	0,67	
2	Fall 2	50	200	240	1,0	1,0	1,0	1,00	0,35	10	0,25	
6	Fall 6	50	400	240	1,0	1,0	1,0	1,00	0,18	4	0,13	
7					1,0	1,0	1,0	1,00				
8					1,0	1,0	1,0	1,00				
9					1,0	1,0	1,0	1,00				
10					1,0	1,0	1,0	1,00				
11					1,0	1,0	1,0	1,00				
12					1,0	1,0	1,0	1,00				
13					1,0	1,0	1,0	1,00				
14					1,0	1,0	1,0	1,00				
15					1,0	1,0	1,0	1,00				
16					1,0	1,0	1,0	1,00				
17					1,0	1,0	1,0	1,00				
18					1,0	1,0	1,0	1,00				
19					1,0	1,0	1,0	1,00				
20					1,0	1,0	1,0	1,00				
		Häufigkeit / Schicht		574,00	656,00		Taktdauer [min]					
		Häufigkeit / Minute		1,37			Schichtdauer [min]		420			
		Häufigkeit / Takt										
Sortieren FI		Sortieren Rückgängig										
Nach jedem Ändern / Ergänzen von Lastfällen immer "Sortieren FI" drücken												
Mittlere Belastung				Klassisches Verfahren		Screening Verfahren		(Gesamthäufigkeit der Kraftausübungen und häufigkeitsgewichteter Mittelwert der Kraftbeträge)				
				0,28	0,28	8	8					
Spitzenbelastung und Inkremente				Klassisches Verfahren		Screening Verfahren		(Schwerste Belastungssituation (maximales $F_{\text{aktuell}} / F_{\text{max empf.}}$) * Häufigkeit + Inkremente der übrigen Kraftfälle)				
				1,26	1,26	54	54					
				Farbverlauf		Farbverlauf						
				Farbstufe		Farbstufe						

Abbildung 1: MONKRAS Bildschirmmaske zur Bewertung von Ganzkörperkräften.

3. Praxistestung des Screening Verfahrens

Das Screening Verfahren wurde bei mehreren OEMs der Automobilindustrie getestet. In der Gruppe der Testpersonen waren Arbeitsplaner, Arbeitsmediziner und Fachkräfte der Arbeitssicherheit vertreten.

Bewertet wurden von den Testpersonen folgende Kriterien:

1. Definitionen in der Handlungsanleitung sind klar und verständlich dargestellt
2. Grundlagen des Screening Kraftbewertungsverfahrens (Ganzkörper- und Finger-Hand-Kräfte) sind verständlich dargestellt
3. Information zur Ermittlung F_{aktuell} ist verständlich und ausreichend beschrieben
4. Informationen zur Ermittlung von $F_{\text{max empf.}}$ sind verständlich dargestellt
5. Algorithmus zur Ermittlung von $F_{\text{max empf.}}$ ist verständlich dargestellt
6. Berücksichtigung der Häufigkeit der Kraftausübungen in den beiden Verfahren (Ganzkörper- / Finger-Hand-) ist verständlich beschrieben
7. Informationen zum "Biomechanikfaktor" sind verständlich dargestellt
8. Informationen zum "Physiologiefaktor" sind verständlich dargestellt
9. Informationen zu personenbezogenen Faktoren (Alter, Geschlecht, Trainiertheit) sind verständlich dargestellt
10. Informationen zur Bewertung von Kraftausübungen gemäß dem Ampelschema sind verständlich dargestellt
11. Beispiele der Kraftbewertungen für homogene Kraftfälle im Anhang sind verständlich und hilfreich

Die abgefragten Parameter wurden alle als sehr positiv gestaltet empfunden. Nur weniger als 1/5 der Teilnehmer bewerteten den Erfüllungsgrad der oben genannten Kriterien eher negativ.

4. Diskussion

Mit dem Screening Verfahren des Montagespezifischen Kraftatlas wurde für die Praxis ein einfach zu bedienender Bewertungsansatz gefunden. Homogene Krafftälle lassen sich gut auf der Basis von Papier- und Bleistift bearbeiten; für heterogene Krafftälle steht eine EXCEL Lösung zur Verfügung. Für das Screening wurden unterschiedliche Algorithmen implementiert und getestet.

Die Auswahl der final zu empfehlenden Algorithmen wird nach einer weiteren Phase der Praxistestung getroffen werden.

5. Literatur

- Arbeitsunfähigkeit: BKK Faktenspiegel 9/2011. – Essen: BKK Bundesverband.
- BGIA-Report 3/2009 <http://www.dguv.de/ifa/Publikationen/Reports-Download/Reports-2009-bis-2010/BGIA-Report-3-2009/index.jsp> (Der montagespezifische Kraftatlas)
- Burandt, U.: Ergonomie für Design und Entwicklung. O. Schmidt, Köln 1978
- EN 614-1:1995: Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Gestaltungsgrundsätze - Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze, 1995
- EN 1005-3: Sicherheit von Maschinen-Menschliche körperliche Leistung- Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung. Beuth, Berlin 2002
- ISO 11228-1: Ergonomics -- Manual handling -- Part 1: Lifting and carrying
- ISO 11228-2: Ergonomics - Manual Handling – Part 2: Pushing and Pulling
- Krömer KHE: Die Messung der Muskelstärke des Menschen. BAuA, Fb. 161, 1977:
- Rohmert, W.; Statische Haltearbeit des Menschen : Mit Tabellen zur Ermittlung d. Erholungszuschlages. Verband f. Arbeitsstudien REFA, Darmstadt 1960
- Schaub, K.; Berg, K.; Wakula, J.; Glitsch, U.; Ellegast, R.P.; Bruder, R. Entwicklung eines Kraftbewertungsverfahrens im Rahmen des montagespezifischen Kräfteatlas. 55. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 4.-6. März 2009, Dortmund - Vortrag. Berichtsband und CD-ROM, S. 665-668, 10 Lit., 2 Abb. Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA-Press, Dortmund. ISBN: 978-3-936804-07-9 (Sprache:D)
- Schultetus, W.; Lange, W. (Hrsg.); Doerken, W. (Hrsg.): Montagegestaltung : Daten, Hinweise u. Beispiele zur ergonomischen Arbeitsgestaltung. TÜV Rheinland, 1987.
- Wakula, J.; Berg, K.; Schaub, K.; Bruder, R.; Glitsch, U.; Ellegast, R.P.: Der montagespezifische Kraftatlas. BGIA-Report 3/2009. 275 S., zahlr. Tab. und Abb. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2009. ISBN: 978-3-88383-788-8 (Sprache:D)
- Wakula, J.; Berg, K.; Schaub, K.; Bruder, R.; Glitsch, U.; Ellegast, R.P. Statische maximale Ganzkörper- und Hand-Fingerkräfte für realtypische Kraftausübungen für den montagespezifischen Kraftatlas. 55. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 4.-6. März 2009, Dortmund - Vortrag. Berichtsband und CD-ROM, S. 455-459, 5 Lit., 3 Tab., 2 Abb. Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA-Press, Dortmund. ISBN: 978-3-936804-07-9 (Sprache:D)
- Waters, T. et al.: Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. ERGONOMICS 1993, Vol. 36, No. 7 749-776

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt der BG Holz und Metall (BGHM) für das Interesse an dieser Studie und die finanzielle Förderung dieses Projektes.

Ein herzliches Dankschön auch an die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), namentlich dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) für die konstruktive fachliche Zusammenarbeit.