

Erweiterte Leitmerkmalmethoden (LMM-E): Algorithmen für Interpolation und Zusammenfassung

baua: Fokus

Für die Gefährdungsbeurteilung bei physischen Belastungen sind für sechs Belastungsarten Leitmerkmalmethoden (LMM) verfügbar. Jede Belastungsart hat typische Merkmale wie Zeitdauer oder Lastgewicht. Diesen Merkmalen werden je nach Ausprägung Wichtungspunkte zugeordnet. Die Verteilung der Merkmalswichtungen beruht auf mathematischen Funktionen, die eine Interpolation der Wichtungen erlauben. Unterschiedliche Teil-Tätigkeiten derselben Belastungsart können zusammengefasst werden. Mit den Erweiterten Leitmerkmalmethoden werden beide Aspekte umgesetzt. Die zugrundeliegenden Algorithmen werden in diesem baua: Fokus vollständig dargestellt.

Inhalt

1	Zielsetzung und Inhalt dieses Dokumentes	1
2	Allgemeine Beschreibung des Vorgehens bei der Beurteilung von Teil-Tätigkeiten mit physischen Belastungen mit Hilfe der Leitmerkmalmethode	2
3	Mathematische Funktionen für die Interpolation von Merkmalswichtungen.....	4
4	Belastungsartspezifische Zusammenfassung der Beurteilungen mit den LMM über mehrere Teil-Tätigkeiten	13
	Weiterführende Literatur und Links	19

1 Zielsetzung und Inhalt dieses Dokumentes

Bei der Gefährdungsbeurteilung bei physischen Belastungen mit Hilfe der Leitmerkmalmethoden werden folgende Belastungsarten unterschieden:

- Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten (HHT)
- Manuelles Ziehen und Schieben von Lasten (ZS)
- Manuelle Arbeitsprozesse (MA)
- Ausübung von Ganzkörperkräften (GK)
- Körperfortbewegung (KB)
- Körperzwangshaltungen (KH)

Für jede dieser Belastungsarten stehen entsprechende Papier-Bleistift-Versionen der Leitmerkmalmethoden zur Verfügung. Den möglichen Ausprägungen der typischen Merkmale einer Belastungsart sind dort Merkmalswichtungen in Kategorien zugeordnet. Anwender können zwar selbst zwischen den Merkmalswichtungen interpolieren, werden aber in den Papier-Bleistift-Versionen nicht durch Algorithmen unterstützt. Die Verteilung der Merkmalswichtungen in den einzelnen Kategorien basiert auf Algorithmen, die im Zusammenhang mit

der Entwicklung der neuen Leitmerkmalmethoden unter Federführung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) im Rahmen des Projekts MEGAPHYS definiert und validiert wurden.

Eine interpolierte Merkmalswichtung hat praktische Bedeutung. Beispielsweise ist es wichtig, den Effekt von Gestaltungsmaßnahmen darzustellen. Änderungen der Belastungssituation, die nicht mit einer Änderung der kategorialen Merkmalswichtung einhergehen, haben keinen Einfluss auf den Gesamtpunktwert und damit auf die Zuordnung zum Risikobereich. Mit der interpolierten Wichtung ist es möglich, den Effekt von Gestaltungsmaßnahmen darzustellen, auch wenn sie sich innerhalb einer Kategorie bewegen. Außerdem besteht der Bedarf, Teil-Tätigkeiten eines Arbeitstages mit unterschiedlichen Belastungshöhen innerhalb einer Belastungsart zu dokumentieren und zusammenzufassen. Beide Aspekte können durch die neuen Leitmerkmalmethoden erfüllt werden. Zum einen sind die Algorithmen zur Berechnung der interpolierten Merkmalswichtungen verfügbar. Zum anderen wurde für alle Belastungsarten definiert, wie die Bewertungen über unterschiedliche Teil-Tätigkeiten aggregiert werden können. Dies entspricht dem Ansatz der Erweiterten Leitmerkmalmethoden (LMM-E).

Anliegen des Dokuments ist, die in den Erweiterten Leitmerkmalmethoden verwendeten Algorithmen in kompakter Form zu vermitteln. Die Anwender der Erweiterten Leitmerkmalmethoden sollen damit in die Lage versetzt werden, die Algorithmen in einer für sie geeigneten Form zu nutzen. Zunächst wird das allgemeine Vorgehen bei der Beurteilung von Teil-Tätigkeiten mit physischen Belastungen beschrieben. Es folgen die mathematischen Funktionen für die Interpolation der Merkmalswichtungen je Belastungsart. Zum Schluss werden die Berechnungsvorschriften für die Zusammenfassung mehrerer Teil-Tätigkeiten einer Belastungsart für einen Arbeitstag erläutert und ein Hinweis für die Programmierung gegeben.

2 Allgemeine Beschreibung des Vorgehens bei der Beurteilung von Teil-Tätigkeiten mit physischen Belastungen mit Hilfe der Leitmerkmalmethode

Gibt es pro Arbeitstag mehrere unterschiedliche Teil-Tätigkeiten mit physischen Belastungen, sind diese getrennt zu ermitteln und zu beurteilen. Die Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung kann nur dann beurteilt werden, wenn alle während eines Arbeitstages vorliegenden körperlichen Belastungen ermittelt und bewertet werden.

Die während eines Arbeitstages typischerweise zu verrichtenden körperlichen Arbeiten sind so in Teil-Tätigkeiten zu unterteilen, dass jede Teil-Tätigkeit einer Belastungsart zugeordnet werden kann. Sind die Belastungsarten nicht eindeutig zuordenbar bzw. wird in der Methode für eine Belastungsart auf eine andere verwiesen, sollte der Punktwert für beide Belastungsarten berechnet werden. Für die Beurteilung der Teil-Tätigkeit wird dann die Belastungsart mit dem höheren Punktwert verwendet. Eine Besonderheit gilt für die „Körperzwangshaltung“. Diese kann zeitgleich mit anderen Belastungsarten vorliegen, beispielsweise bei manuellen Arbeitsprozessen in Über-Kopf-Arbeit oder im ständigen Stehen. In solchen Fällen wird der Punktwert für die Körperzwangshaltung parallel berechnet und beurteilt. Liegen am Arbeitstag zeitweise keine körperlichen Belastungen vor, werden diese Zeitabschnitte des Arbeitstages auch nicht mit der Leitmerkmalmethode LMM beurteilt.

Die in den Formblättern der LMM beschriebenen Merkmalsausprägungen wie Lastgewichte, Kräfte, Körperhaltung, Ausführungsbedingungen etc. werden für jede Teil-Tätigkeit ermittelt. Teil-Tätigkeiten derselben Belastungsart mit ähnlicher Ausprägung der Belastung können zusammengefasst werden. Dabei sind die Regeln für die häufigkeits- oder zeitgewichtete

Mittelung, beispielsweise für wirksame Lastgewichte, zu berücksichtigen. Die Arbeitsdichteverteilung wird mit dem Merkmal „Arbeitsorganisation / Zeitliche Verteilung“ bewertet. Auf Grundlage der ermittelten Merkmalsausprägungen und zugeordneter Merkmalswichtigungen errechnet sich für jede Teil-Tätigkeit ein Punktwert. Dieser Punktwert wird einem Risikobereich zugeordnet, welcher die Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung und möglicher gesundheitlicher Folgen sowie einen daraus resultierenden Handlungsbedarf für Maßnahmen ausschließlich für diese Teil-Tätigkeit widerspiegelt.

Die Berechnung des Punktwertes je Teil-Tätigkeit kann auf unterschiedliche Weise erfolgen:

- anhand des Leitmerkmalmethoden-Formblattes ohne integrierte Rechenhilfen (Zeitwichtung sowie Wichtungen für alle anderen Merkmale sind kategorial, Verwendung von Zwischenwerten ist möglich);
- anhand der Erweiterten Leitmerkmalmethoden (LMM-E, Zeitwichtung sowie Wichtungen für einige weitere Merkmale der jeweiligen Belastungsart können mit Hilfe von mathematischen Funktionen interpoliert werden, Wichtungen für alle übrigen Merkmale sind kategorial mit der Möglichkeit der Verwendung von Zwischenwerten).

Hinweis: Die mathematischen Funktionen für die Interpolation sind in den Formblättern mit integrierten Rechenhilfen (LMM-E) enthalten, die von der BAuA zur Verfügung gestellt werden.

In den meisten Fällen von Arbeitstätigkeiten mit physischen Belastungen gibt es pro Arbeitstag mehrere unterschiedliche Teil-Tätigkeiten. Teil-Tätigkeiten derselben Belastungsart sollten für den Arbeitstag zusammengefasst werden. Die je Teil-Tätigkeit berechneten Punktwerte werden dementsprechend aggregiert. In übertragenem Sinne sind die Punktwerte mit Tages-Dosiswerten für die jeweilige Belastungsart vergleichbar, wie sie üblicherweise im Arbeits- und Gesundheitsschutz verwendet werden. Besondere praktische Relevanz hat dies beispielsweise, wenn mehrere Teil-Tätigkeiten mit „geringer“ oder „mäßig erhöhter“ Belastung an einem Arbeitstag auftreten und die Zusammenfassung durchaus zu einer „wesentlich erhöhten“ oder „hohen“ Belastung mit den entsprechenden Konsequenzen für körperliche Überbeanspruchung, gesundheitliche Folgen und erforderliche Maßnahmen führen kann.

Bei der Zusammenfassung der Punktwerte mehrerer Teil-Tätigkeiten derselben Belastungsart wird zwischen Leitmerkmalmethoden (LMM) mit linearer Zeitwichtung und LMM mit nichtlinearer Zeitwichtung unterschieden. LMM mit linearer Zeitwichtung sind: LMM-MA (manuelle Arbeitsprozesse) und LMM-KH (Körperzwangshaltungen). Zu den LMM mit nichtlinearer Zeitwichtung gehören LMM-HHT (Heben, Halten und Tragen), LMM-ZS (Ziehen und Schieben), LMM-GK (Ausübung von Ganzkörperkräften) und LMM-KB (Körperfortbewegung).

Als Grundlage der Zusammenfassung können die kategorialen Zeit- und Merkmalswichtigungen aus dem LMM-Formblatt ohne integrierte Rechenhilfen oder die interpolierten Werte aus der Erweiterten Leitmerkmalmethode dienen. Empfohlen wird, die interpolierten Wichtungen aus der Erweiterten Leitmerkmalmethode zu nutzen, da bei Verwendung der kategorialen Zeit- und Merkmalswichtigungen die aggregierten Gesamtpunktwerte unter bestimmten Voraussetzungen relativ hoch werden können.

Schlussendlich sollen anhand der Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung von Teil-Tätigkeiten mit physischen Belastungen ggf. erforderliche Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen umgesetzt, ihre Wirksamkeit überprüft und wenn nötig angepasst werden.

3 Mathematische Funktionen für die Interpolation von Merkmalswichtigungen

Im Folgenden werden die verfügbaren Algorithmen und mathematischen Funktionen für die Interpolation verschiedener Merkmalswichtigungen in den einzelnen Leitmerkmalmethoden dargestellt. Die Algorithmen wurden in den von der BAuA entwickelten PDF-Formblättern mit integrierten Rechenhilfen umgesetzt.

Folgende Erweiterte Leitmerkmalmethode (LMM-E) zur Beurteilung und Gestaltung von Belastungen steht zur Verfügung:

- Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten (LMM-HHT-E)
- Manuelles Ziehen und Schieben von Lasten (LMM-ZS-E)
- Manuelle Arbeitsprozesse (LMM-MA-E)
- Ausübung von Ganzkörperkräften (LMM-GK-E)
- Körperzwangshaltungen (LMM-KH-E)
- Körperfortbewegung (LMM-KB-E)

3.1 LMM-HHT-E – Mathematische Funktionen für Zeitwichtung (Häufigkeit) und Lastwichtung



Abb. 1 Beispiel für das Heben, Halten und Tragen von Lasten

3.1.1. Zeitwichtung

$$ZW(n_{\text{HHT}}) = 0,56 + 0,44 * \left(\frac{n_{\text{HHT}}}{5} \right)^{0,5}$$

mit: ZW = Zeitwichtung
 n_{HHT} = Häufigkeit (Anzahl) der HHT-Vorgänge
 und $ZW(n_{\text{HHT}})$ ist mindestens 1 (gesetzt)

Hinweis: Eine durchschnittliche Frequenz von 5 HHT-Vorgängen pro Minute ist gesetzt.

3.1.2. Lastwichtung für Männer

$$LW_M(L) = \begin{cases} 0,4 * L + 2; & \{3 \leq L \leq 15\} \\ 0,02 * L^2 - 0,1 * L + 5; & \{15 < L \leq 25\} \\ 2 * L - 35; & \{25 < L \leq 35\} \end{cases}$$

mit: LW_M = Lastwichtung für Männer
 L = Lastgewicht in kg

Für $L < 3$ kg wird pauschal eine Lastwichtung von 3 Punkten vergeben.
 Für $35 \text{ kg} < L \leq 40$ kg wird pauschal eine Lastwichtung von 75 Punkten vergeben.
 Für $L > 40$ kg wird pauschal eine Lastwichtung von 100 Punkten vergeben.

3.1.3. Lastwichtung für Frauen

$$LW_w(L) = \begin{cases} 0,6 * L + 3; & \{3 \leq L \leq 15\} \\ 2,6 * L - 27; & \{15 < L \leq 20\} \end{cases}$$

mit: LW_F = Lastwichtung für Frauen
 L = Lastgewicht in kg

Für $L < 3$ kg wird pauschal eine Lastwichtung von 4,5 Punkten vergeben.

Für $20 \text{ kg} < L \leq 25 \text{ kg}$ wird pauschal eine Lastwichtung von 75 Punkten vergeben.

Für $25 \text{ kg} < L \leq 30 \text{ kg}$ wird pauschal eine Lastwichtung von 85 Punkten vergeben.

Für $L > 30$ kg wird pauschal eine Lastwichtung von 100 Punkten vergeben.

3.2 LMM-ZS-E – Mathematische Funktionen für Zeitwichtung (Weglänge, Dauer) und Lastwichtung / Flurförderzeug



Abb. 2 Beispiel für das Ziehen und Schieben von Lasten

3.2.1 Zeitwichtung nach Weglänge

$$ZW(s_{zs}) = 0,56 + 0,44 * \left(\frac{s_{zs}}{42}\right)^{0,5}$$

mit: ZW = Zeitwichtung
 s_{zs} = Weglänge ZS in m
 und $ZW(s_{zs})$ ist mindestens 1 (gesetzt)

Hinweis: Eine durchschnittliche Geschwindigkeit von $0,7 \text{ m/s} = 42 \text{ m/min} = 2,5 \text{ km/h}$ ist gesetzt.

3.2.2 Zeitwichtung nach Dauer

$$ZW(t_{zs}) = 0,56 + 0,44 * (t_{zs})^{0,5}$$

mit: ZW = Zeitwichtung
 t_{zs} = Dauer der Teil-Tätigkeit mit ZS in Minuten
 und $ZW(t_{zs})$ ist mindestens 1 (gesetzt)

3.2.3 Lastwichtung / Flurförderzeug

Genereller Hinweis in Bezug auf die Lastwichtung: Oberhalb der in den Funktionen definierten Bereiche wird pauschal eine Wichtung von 100 Punkten vergeben.

Schubkarre

$$LW(L) = \begin{cases} 3; & \{L \leq 50\} \\ 6,667 * 10^{-5} * L^2 + 0,03 * L + 1,333; & \{50 < L \leq 200\} \\ 50; & \{200 < L \leq 300\} \end{cases}$$

Sackkarre

$$LW(L) = \begin{cases} 2; \{L \leq 50\} \\ 6,667 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 + 0,01 \cdot L + 1,333; \{50 < L \leq 200\} \\ 0,06 \cdot L - 6; \{200 < L \leq 300\} \\ 50; \{300 < L \leq 400\} \end{cases}$$

Mülltonne (einachsig)

$$LW(L) = \begin{cases} 2,5; \{L \leq 50\} \\ LW(L) = 0,03 \cdot L + 1; \{50 < L \leq 200\} \\ 50; \{200 < L \leq 300\} \end{cases}$$

Gitterwagen, nur Lenkrollen

$$LW(L) = \begin{cases} 2,5; \{L \leq 50\} \\ 0,01 \cdot L + 2; \{50 < L \leq 300\} \\ 1,667 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 + 8,333 \cdot 10^{-3} \cdot L + 1; \{300 < L \leq 600\} \\ 50; \{600 < L \leq 800\} \end{cases}$$

Müllcontainer

$$LW(L) = \begin{cases} 3; \{L \leq 50\} \\ 0,02 \cdot L + 2; \{50 < L \leq 300\} \\ 0,04 \cdot L - 4; \{300 < L \leq 400\} \\ 50; \{400 < L \leq 600\} \end{cases}$$

Hubwagen / Gitterwagen mit Bockrollen oder feststellbaren Lenkrollen Typ 1

$$LW(L) = \begin{cases} 1; \{L \leq 100\} \\ 0,01 \cdot L; \{100 < L \leq 600\} \\ 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot L + 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot L; \{600 < L \leq 1000\} \\ 50; \{1000 < L \leq 1300\} \end{cases}$$

Gitterwagen mit Bockrollen oder feststellbaren Lenkrollen Typ 2

$$LW(L) = \begin{cases} 1; \{L \leq 100\} \\ 0,005 \cdot L + 0,5; \{100 < L \leq 300\} \\ 0,01 \cdot L - 1; \{300 < L \leq 600\} \\ 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 - 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot L + 2; \{600 < L \leq 1000\} \\ 50; \{1000 < L \leq 1300\} \end{cases}$$

Wagen mit Deichsellenkung

$$LW(L) = \begin{cases} 1; \{L \leq 100\} \\ 0,005 \cdot L + 0,5; \{100 < L \leq 400\} \\ 0,0075 \cdot L - 0,5; \{400 < L \leq 600\} \\ 0,015 \cdot L - 5; \{600 < L \leq 1000\} \\ 50; \{1000 < L \leq 1300\} \end{cases}$$

Hängebahn

$$LW(L) = \begin{cases} 1; \{L \leq 100\} \\ 0,005 \cdot L + 0,5; \{100 < L \leq 400\} \\ 0,0075 \cdot L - 0,5; \{400 < L \leq 600\} \\ 0,015 \cdot L - 5; \{600 < L \leq 1000\} \\ 0,033333 \cdot L - 23,3333; \{1000 < L \leq 1300\} \\ 50; \{1300 < L \leq 1600\} \end{cases}$$

Hängekran

$$LW(L) = \begin{cases} 2; \{L \leq 50\} \\ 0,01 * L + 1,5; \{50 < L \leq 300\} \\ 1,369 * 10^{-5} * L^2 + 5,992 * 10^{-3} * L + 1,45; \{300 < L \leq 800\} \\ 50; \{800 < L \leq 1000\} \end{cases}$$

mit: LW = Lastwichtung
L = Lastgewicht in kg

3.3 LMM-MA-E – Mathematische Funktionen für Zeitwichtung und Kraftwichtung (sehr geringe/geringe Kräfte bis kräftiges Schlagen)



Abb. 3 Beispiel für manuelle Arbeitsprozesse

3.3.1 Zeitwichtung

$$ZW(t_{MA}) = \frac{t_{MA}}{60}$$

mit: ZW = Zeitwichtung
 t_{MA} = Dauer der Teil-Tätigkeit mit MA in Minuten

Hinweis: Das bei der Papier-Bleistift-Version angegebene Minimum von 1 für die Zeitwichtung entfällt bei Verwendung der mathematischen Funktion zur Interpolation in der LMM-MA-E.

3.3.2 Kraftwichtungen

Sehr geringe / geringe Kraft

Halten: $KW(t_H) = 3,5 * 1,6 * \frac{t_H}{60}$

Bewegen: $KW(f) = 3,5 * 1,6 * \frac{f}{60}$

Mittlere Kraft

Halten: $KW(t_H) = 3,5 * 2,5 * \frac{t_H}{60}$

Bewegen: $KW(f) = 3,5 * 2,5 * \frac{f}{60}$

Hohe Kraft

Halten: $KW(t_H) = 3,5 * 4 * \frac{t_H}{60}$

Bewegen:
$$KW(f) = 3,5 \cdot 4 \cdot \frac{f}{60}$$

Sehr hohe Kraft

Halten:
$$KW(t_H) = 3,5 \cdot 6,3 \cdot \frac{t_H}{60}$$

Bewegen:
$$KW(f) = \begin{cases} 3 \cdot 6,3 \cdot \frac{f}{60}; \{1 \leq f \leq 60\} \\ 100; \{f > 60\} \end{cases}$$

Spitzenkraft

Halten:
$$KW(t_H) = \begin{cases} 3,5 \cdot 40 \cdot \frac{f}{60}; \{1 \leq t_H \leq 15\} \\ 100; \{t_H > 15\} \end{cases}$$

Bewegen:
$$KW(f) = \begin{cases} 3 \cdot 40 \cdot \frac{f}{60}; \{1 \leq t_H \leq 15\} \\ 100; \{t_H > 15\} \end{cases}$$

Schlagen

Bewegen:
$$KW(f) = \begin{cases} 3 \cdot 40 \cdot \frac{f}{60}; \{1 \leq t_H \leq 15\} \\ 100; \{t_H > 15\} \end{cases}$$

mit: KW = Kraftwichtung

t_H = mittlere Haltedauer in Sekunden pro Minute (Normminute)

f = Frequenz=Anzahl der Bewegungen pro Minute (Normminute)

3.4 LMM-GK-E – Mathematische Funktionen für Zeitwichtung und Kraftwichtung (mittlere Kräfte bis Spitzenkräfte)



Abb. 4 Beispiel für die Ausübung von Ganzkörperkräften

3.4.1 Zeitwichtung

$$ZW(t_{CK}) = 0,56 + 0,44 \cdot (t_{CK})^{0,5}$$

mit: ZW = Zeitwichtung

t_{CK} = Dauer der Teil-Tätigkeit mit GK in Minuten (bei kontinuierlichen Tätigkeiten)

oder Wiederholungshäufigkeit der Teil-Tätigkeit (bei diskontinuierlichen Tätigkeiten)

und ZW(t_{CK}) ist mindestens 1 (gesetzt)

3.4.2 Kraftwichtungen

Mittlere Kräfte

$$KW(t_H \text{ bzw. } f) = 17,27 \cdot 1,39 \cdot \frac{(t_H \text{ bzw. } f)}{60}$$

Hohe Kräfte

$$KW(t_H \text{ bzw. } f) = 17,27 * 1,93 * \frac{(t_H \text{ bzw. } f)}{60}$$

Sehr hohe Kräfte

$$KW(t_H \text{ bzw. } f) = \begin{cases} 17,27 * 3,73 * \frac{(t_H \text{ bzw. } f)}{60}; & \{1 \leq t_H \text{ bzw. } f \leq 30\} \\ 100; & \{t_H \text{ bzw. } f > 30\} \end{cases}$$

Spitzenkräfte

Bewegen

$$KW(f) = \begin{cases} 17,27 * 5,18 * \frac{(f)}{60}; & \{4 < t_H \leq 15\} \\ 50; & \{15 < f \leq 30\} \\ 100; & \{f > 30\} \end{cases}$$

Halten

$$KW(t_H) = \begin{cases} 17,27 * 5,18 * \frac{(t_H)}{60}; & \{4 < t_H \leq 15\} \\ 100; & \{t_H > 15\} \end{cases}$$

mit: KW = Kraftwichtung

t_H = mittlere Haltedauer in Sekunden pro Minute (Normminute)

f = Frequenz = Anzahl der Bewegungen pro Minute(Normminute)

3.5 LMM-KH-E – Mathematische Funktionen für Zeitwichtung, Wichtungen für (A) Rückenbelastungen, (B) Schulter- und Oberarmbelastungen, (C) Knie- und Beinbelastungen



Abb. 5 Beispiel für Körperzwangshaltung

3.5.1 Zeitwichtung

$$ZW(t_{KH}) = \frac{t_{KH}}{60}$$

mit: ZW = Zeitwichtung

t_{KH} = Dauer der Teil-Tätigkeit in Minuten

Hinweis: Das bei der Papier-Bleistift-Version angegebene Minimum von 1 für die Zeitwichtung entfällt bei Verwendung der mathematischen Funktion zur Interpolation in der LMM-KB-E.

3.5.2 Haltungswichtungen A (Rückenbelastungen)

A1	Aufrechte Rückenhaltung	HW = 0,08*p
A2	Oberkörper mäßig vorgeneigt	HW = 0,297*p
A3	Oberkörper stark vorgeneigt	HW = 0,4*p
A4	Sitzen in erzwungener Haltung	HW = 0,12*p
A5	Sitzen in variabler Sitzhaltung, Wechsel der Haltung nicht möglich	HW = 0,08*p
A5	Sitzen in variabler Sitzhaltung, Wechsel der Haltung nicht möglich	HW = 0,02*p

mit: HW = Haltungswichtung
 p = Zeitanteil der Haltung innerhalb der Teil-Tätigkeit in Prozent

3.5.3 Haltungswichtungen B (Schulter- und Oberarmbelastungen)

B1	Arme angehoben, Hände über Schulterhöhe	HW = 0,4*p
B2	Arme angehoben, Hände unter Schulterhöhe	HW = 0,24*p
B3	Liegen auf dem Rücken / Bauch, Arme über / vor dem Körper	HW = 0,28*p

mit: HW = Haltungswichtung
 p = Zeitanteil der Haltung innerhalb der Teil-Tätigkeit in Prozent

3.5.4 Haltungswichtungen C (Knie- und Beinbelastungen)

C1	Ständiges Stehen	HW = 0,08*p
C2	Knien, Hocken oder Schneidersitz	HW = 0,4*p

mit: HW = Haltungswichtung
 p = Zeitanteil der Haltung innerhalb der Teil-Tätigkeit in Prozent

3.6 LMM-KB-E – Mathematische Funktionen für Zeitwichtung, Wichtungen für (A) Körperfortbewegung ohne Hilfsmittel / Last, (B) Körperfortbewegung beim Fahren mit Muskelkraft-/ Last



Abb. 6 Beispiel für Körperfortbewegung beim Fahren mit Muskelkraft

3.6.1 Zeitwichtung

$$ZW(t_{KB}) = 0,56 + 0,44 * (t_{KB})^{0,5}$$

mit: ZW = Zeitwichtung
 t_{KB} = Dauer der Teil-Tätigkeit mit KB in Minuten
 und $ZW(t_{KB})$ ist mindestens 1 (gesetzt)

3.6.2 A) Körperfortbewegung ohne HilfsmittelWichtung Typ der Fortbewegung / mitbewegte Last

Hinweis: Bei mitbewegten Lasten > 40 kg wird pauschal eine Wichtung von 100 vergeben.

Gehen, langsam

$$KB_A(L) = \begin{cases} 4; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0025 \cdot L^2 + 0,2955 \cdot L + 3,0013; \{3 \leq L \leq 30\} \\ -0,02 \cdot L^2 + 3,5 \cdot L - 73; \{30 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Gehen, mittel

$$KB_A(L) = \begin{cases} 8; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0025 \cdot L^2 + 0,2955 \cdot L + 7,0013; \{3 \leq L \leq 30\} \\ -0,04 \cdot L^2 + 5 \cdot L - 96; \{30 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Gehen, schnell

$$KB_A(L) = \begin{cases} 12; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0025 \cdot L^2 + 0,2955 \cdot L + 11,0013; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 0,04 \cdot L^2 - 5 \cdot 10^{-14} \cdot L - 14; \{30 < L \leq 35\} \\ 50; \{35 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Steigen, Neigungswinkel < 5°

$$KB_A(L) = \begin{cases} 10; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0025 \cdot L^2 + 0,2955 \cdot L + 9,0013; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 3 \cdot L - 70; \{30 < L \leq 35\} \\ 50; \{35 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Steigen, Neigungswinkel 5° bis 15°

$$KB_A(L) = \begin{cases} 12; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0025 \cdot L^2 + 0,2955 \cdot L + 11,0013; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 0,04 \cdot L^2 - 5 \cdot 10^{-14} \cdot L - 14; \{30 < L \leq 35\} \\ 50; \{35 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Steigen, Neigungswinkel > 15°

$$KB_A(L) = \begin{cases} 24; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0025 \cdot L^2 + 0,2955 \cdot L + 23,0013; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 0,08 \cdot L^2 - 4 \cdot L + 82; \{30 < L \leq 35\} \\ 50; \{35 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Normale Treppe steigen

$$KB_A(L) = \begin{cases} 18; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0036 \cdot L^2 + 0,2668 \cdot L + 17,116; \{3 \leq L \leq 25\} \\ 50; \{25 < L \leq 30\} \\ 100; \{30 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Steile Treppe steigen

$$KB_A(L) = \begin{cases} 24; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0057 \cdot L^2 + 0,2255 \cdot L + 23,254; \{3 \leq L \leq 20\} \\ 50; \{20 < L \leq 25\} \\ 100; \{25 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Sehr steile Treppe steigen

$$KB_A(L) = \begin{cases} 30; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,0095 \cdot L^2 + 0,1619 \cdot L + 29,429; \{3 \leq L \leq 15\} \\ 50; \{15 < L \leq 20\} \\ 100; \{20 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Besteigen von Leitern

$$KB_A(L) = \begin{cases} 24; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,2857 \cdot L + 23,143; \{3 \leq L \leq 10\} \\ 50; \{10 < L \leq 15\} \\ 100; \{15 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Klettern

$$KB_A(L) = \begin{cases} 30; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,2857 \cdot L + 29,143; \{3 \leq L \leq 10\} \\ 50; \{10 < L \leq 15\} \\ 100; \{15 < L \leq 40\} \end{cases}$$

Kriechen, stark gebücktes Gehen

$$KB_A(L) = \begin{cases} 24; \{0 \leq L < 3\} \\ 0,2857 \cdot L + 23,143; \{3 \leq L \leq 10\} \\ 50; \{10 < L \leq 15\} \\ 100; \{15 < L \leq 40\} \end{cases}$$

mit: KB_A = Wichtung Körperfortbewegung ohne Hilfsmittel
 L = mitbewegte Lastmasse in kg

Wichtung Lage des Lastschwerpunktes

Keine Last oder Last < 3kg oder Last körpernah im Tragegestell oder Rucksack auf den Schultern

$$LS(L) = 0$$

Last körpernah, mit den Händen gehalten oder auf einer Schulter getragen

$$LS(L) = \begin{cases} 0,2667 \cdot L; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 12; \{L > 30\} \end{cases}$$

Last körperfern, mit den Händen gehalten

$$LS(L) = \begin{cases} 0,2667 \cdot L + 4; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 16; \{L > 30\} \end{cases}$$

mit: LS = Wichtung für Lage des Lastschwerpunktes
 L = mitbewegte Lastmasse in kg

Wichtung Rumpfhaltung (vorgeneigt, verdreht, seitlich geneigt)

Gelegentlich

$$RH(L) = \begin{cases} 0,5; \{L < 3\} \\ 0,1333 \cdot L; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 6; \{L > 30\} \end{cases}$$

Häufig bis ständig

$$RH(L) = \begin{cases} 2; \{L < 3\} \\ 0,1333 \cdot L + 2; \{3 \leq L \leq 30\} \\ 8; \{L > 30\} \end{cases}$$

mit: RH = Wichtung für Rumpfhaltung
 L = mitbewegte Lastmasse in kg

3.6.3 B) Körperfortbewegung beim Fahren mit Muskelkraft

Wichtung Fortbewegung / mitgeführte Last

Langsam	$KB_B(L) = 0,03 \cdot L + 1,5$
Mittel	$KB_B(L) = 0,04 \cdot L + 4$
Schnell	$KB_B(L) = 0,06 \cdot L + 6$

mit: KB_B = Wichtung Körperfortbewegung beim Fahren mit Muskelkraft
 L = zu bewegendes Lastgewicht inklusive Fahrzeug in kg
 und KB_B für Langsam ist mindestens 3 (gesetzt)

KB_B für Mittel ist mindestens 6 (gesetzt)

KB_B für Schnell ist mindestens 9 (gesetzt)

Hinweis: Die Wichtungen werden halbiert, wenn ein unterstützender Elektroantrieb vorhanden ist.

Wichtung Fahrweg – ungünstige Ausführungsbedingungen

$$BF(L) = 0,04 \cdot L + 6 \text{ für } \{0 \leq L \leq 150\}$$

mit: BF = Wichtung für Beschaffenheit des Fahrwegs

L = zubewegendes Lastgewicht inklusive Fahrzeug in kg

und $BF = 0$ wenn Beschaffenheit des Fahrwegs nicht eingeschränkt ist

$BF = 16$ für $L > 150$ (gesetzt)

4 Belastungsartspezifische Zusammenfassung der Beurteilungen mit den LMM über mehrere Teil-Tätigkeiten

Zum Ansatz der Erweiterten Leitmerkmalmethoden gehört, dass die mit den LMM-Formblättern ermittelten Merkmalswichtungen für alle Teil-Tätigkeiten je Belastungsart für einen Arbeitstag nach bestimmten Algorithmen aggregiert werden können. Die im Folgenden vorgestellten Algorithmen beschreiben das Vorgehen. Die Algorithmen sind im Formblatt LMM-Multi-E umgesetzt. Anwender werden mit dem Formblatt bei der Aggregation von Teil-Tätigkeiten unterstützt. Es komplettiert damit die Umsetzung des Ansatzes der Erweiterten Leitmerkmalmethoden (LMM-E).

4.1 Zusammenfassung mehrerer Teil-Tätigkeiten einer Belastungsart bei linearer Zeitwichtung (LMM-MA-E, LMM-KH-E)

Die Zeitwichtung der Leitmerkmalmethoden LMM-MA und LMM-KH folgt generell einer linearen Funktion als Funktion der Zeit:

$$ZW_1 = f_1(t) = \frac{t}{60}$$

mit

ZW_1 = Zeitwichtung linear

t = Zeitdauer der Teil-Tätigkeit mit der jeweiligen Belastungsart in Minuten

Für jede Teil-Tätigkeit errechnet sich der Punktwert PW über die Multiplikation der Intensität I (Summe der Merkmalswichtungen) mit der Zeitwichtung ZW . Das ist der Wert, der auf den LMM-Formblättern als Punktwert auf Seite 3 ermittelt wird.

$$PW = ZW * I$$

Die einzelnen Punktwerte (PW_1 bis PW_n) aller n Teil-Tätigkeiten am Arbeitstag mit derselben Belastungsart, hier „Manuelle Arbeitsprozesse“ oder „Körperzwangshaltung“, können unverändert addiert werden. Die Reihenfolge der Aufsummierung innerhalb derselben Belastungsart spielt dabei keine Rolle. Es können sowohl die Punktwerte aus der Papier-Bleistift-Version als auch die mit Formel interpolierten Punktwerte der Erweiterten Leitmerkmalmethoden (LMM-E) verwendet werden.

Die mathematische Formel der Berechnung ist folgende:

$$PW_{ges} = \sum_{i=1}^n PW_i$$

mit

PW_{ges} = Gesamtpunkt看 für diese Belastungsart für den Arbeitstag

PW_i = Punkt看 für Teil-Tätigkeit i in dieser Belastungsart

i = Index des Punktwertes der Teil-Tätigkeit in dieser Belastungsart

n = Anzahl der Teil-Tätigkeiten mit der jeweiligen Belastungsart am Arbeitstag

Dabei ist folgendes zu beachten: Legt man die Punktwerte aus der Papier-Bleistift-Version zugrunde, erhält man höhere oder in Einzelfällen dieselben Gesamtpunktwerte wie mit den Werten aus den interpolierenden Erweiterten Leitmerkalmethoden LMM-E.

Es sollten möglichst die interpolierten Zeitwichtungen und Merkmalswichtungen der LMM-E zugrunde gelegt werden. In den LMM-E entfällt die Mindestwichtung 1 für die Zeitwichtung bei den Belastungsarten „Manuelle Arbeitsprozesse“ und „Körperzwangshaltung“. Hintergrund ist, dass erfahrungsgemäß Anwender, die die Erweiterten Leitmerkalmethoden nutzen, eine detailliertere Arbeitsanalyse durchführen. Dabei werden häufig Tätigkeiten gleicher Belastungsart in mehrere Teil-Tätigkeiten unterteilt, die ohne weiteres eine Dauer von weniger als einer Stunde aufweisen können. Eine Mindestzeitwichtung von 1 (entspricht bei LMM-MA und LMM-KH einer Stunde) würde hier zu unverhältnismäßig hohen Gesamtpunktwerten führen. Die Mindestzeitwichtung ist der Papier-Bleistift-Version vorbehalten, die das Ziel hat, als erste Abschätzung zunächst nach Belastungsschwerpunkten zu suchen.

4.1.1 Beispiel für die Zusammenfassung von drei Teil-Tätigkeiten mit der Belastungsart „Manuelle Arbeitsprozesse“ am Arbeitstag

Angenommen, bei der Beurteilung der drei Teil-Tätigkeiten haben sich folgende Punktwerte ergeben:

Teil-Tätigkeit 1: $PW_1 = 13$ Punkte

Teil-Tätigkeit 2: $PW_2 = 26$ Punkte

Teil-Tätigkeit 3: $PW_3 = 18$ Punkte

Die einzelnen Punktwerte können unverändert addiert werden:

$$PW_{ges} = \sum_{i=1}^3 PW_i = 13 + 26 + 18 = 57$$

Unter Berücksichtigung der drei Teil-Tätigkeiten 1 bis 3 errechnet sich ein Gesamtwert von 57 Punkten für die Belastung durch manuelle Arbeitsprozesse am betrachteten Arbeitstag.

4.2 Zusammenfassung mehrerer Teil-Tätigkeiten einer Belastungsart bei nichtlinearer Zeitwichtung (LMM-HHT-E, LMM-ZS-E, LMM-GK-E, LMM-KB-E)

Die Zeitwichtung der Leitmerkalmethoden LMM-HHT, LMM-ZS, LMM-GK und LMM-KB ist nichtlinear und folgt generell einer Potenzfunktion als Funktion der Zeit:

$$ZW_{nl} = f_{nl}(t) = 0,56 + 0,44 \cdot (t^{0,5})$$

mit

ZW_{nl} = Zeitwichtung nichtlinear

t = Zeitdauer der Teil-Tätigkeit mit der jeweiligen Belastungsart in Minuten

Hinweis: Bei LMM-HHT-E und LMM-ZS-E ergibt sich die Zeitdauer, die in dieser Formel verwendet wird, aus den Setzungen von 5 HHT-Vorgängen pro Minute und einer mittleren Geschwindigkeit beim Ziehen und Schieben von 42 m/min.

Für jede Teil-Tätigkeit errechnet sich der Punktwert PW über die Multiplikation der Intensität I (Summe der Merkmalswichtungen) mit der Zeitwichtung ZW. Das ist der Wert, der auf den LMM-Formblättern als Punktwert auf Seite 3 ermittelt wird.

$$PW = ZW * I$$

Aufgrund der Nichtlinearität der Zeitwichtung ist eine einfache Addition der Punktwerte der jeweiligen Belastungsart nicht möglich. Um bei nichtlinearer Zeitwichtung die einzelnen Punktwerte PW der verschiedenen Teil-Tätigkeiten derselben Belastungsart zu einem Gesamtpunktwert (PW_{ges}) zusammenfassen zu können, werden im ersten Schritt die Intensitäten I (Summe der Wichtungen aller Leitmerkmale ohne Multiplikation mit der Zeitwichtung ZW) der Größe nach sortiert, beginnend mit der höchsten Intensität:

$$I_1 > I_2 > I_3 > \dots > I_n$$

Die zugehörigen Zeiten t (Dauer der Teil-Tätigkeiten in Minuten) sind $t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, t_n$. Da die Intensitäten nach Größe sortiert sind, haben die zugehörigen Zeiten unterschiedlichste Werte ohne Sortierung. Den Intensitäten und zugehörigen Zeiten wird der Index $i = 1 \dots n$ fest zugeordnet. Die Einhaltung dieser Reihenfolge ist wichtig für die nächsten Schritte, da eine veränderte Reihenfolge zu unterschiedlichen Ergebnissen führt.

Dann wird pro Belastungsart wie folgt vorgegangen:

$$PW_1 = I_1 * ZW(t_1)$$

$$PW_2 = I_2 * (ZW(t_1 + t_2) - ZW(t_1))$$

$$PW_3 = I_3 * (ZW(t_1 + t_2 + t_3) - ZW(t_1 + t_2))$$

$$PW_4 = I_4 * (ZW(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) - ZW(t_1 + t_2 + t_3))$$

usw. ...

$$PW_{ges} = PW_1 + PW_2 + \dots + PW_i + \dots + PW_n$$

mit

I_i = Intensität der Teil-Tätigkeit i (Summe aller Merkmalswichtungen ohne Multiplikation mit Zeitwichtung)

PW_i = Punktwert der Teil-Tätigkeit i, berechnet unter Verwendung des Inkremets der kumulativen Zeiten

ZW = Zeitwichtung der Teiltätigkeit, berechnet unter Verwendung von kumulativen Zeiten

t_i = Dauer der Teil-Tätigkeit i in Minuten

1,2,3,...i...n = zu I , PW und t gehöriger fest zugeordneter Index i

Der Punktwert für die Teil-Tätigkeit mit der höchsten Intensität bleibt bei dieser Berechnung erhalten. Addiert werden jeweils die Produkte aus der nächst niedrigeren Intensität und dem Inkrement der Zeitwichtungen der kumulativen Zeiten.

Derselbe Sachverhalt als Formel ausgedrückt sieht folgendermaßen aus:

$$PW_{Ges} = \sum_{i=1}^n \left(I_i * (ZW(\sum_{j=1}^i t_j) - ZW(\sum_{j=1}^{i-1} t_j)) \right)$$

mit

PW_{ges} = Gesamtpunktwert für diese Belastungsart

I_i = Intensität der Teil-Tätigkeit i

ZW = Zeitwichtung

t_j = Dauer der Teil-Tätigkeit j in Minuten

i = Index der Intensität der Teil-Tätigkeit i

j = Index der Dauer der Teil-Tätigkeit j

n = Anzahl der Teil-Tätigkeiten und

$$ZW \left(\sum_{j=1}^{i-1} t_j \right) \text{ für } i=1 \text{ ist } 0 \text{ (gesetzt)}$$

Unter Verwendung der Potenzfunktion für ZW ergibt sich folgende Formel:

$$PW_{ges} = \sum_{i=1}^n \left(I_i * \left(0,56 + 0,44 * \left(\sum_{j=1}^i t_j \right)^{0,5} \right) - \left(0,56 + 0,44 * \left(\sum_{j=1}^{i-1} t_j \right)^{0,5} \right) \right)$$

mit

PW_{ges} = Gesamtpunktwert für diese Belastungsart

I_i = Intensität der Teil-Tätigkeit

t_j = Dauer der Teil-Tätigkeit j in Minuten (ggf. in Minuten umrechnen)

i = Index der Intensität der Teil-Tätigkeit

j = Index der Dauer der Teil-Tätigkeit

n = Anzahl der Teil-Tätigkeiten und

$$0,56 + 0,44 * \left(\sum_{j=1}^{i-1} t_j \right)^{0,5} \text{ für } i=1 \text{ ist } 0 \text{ (gesetzt)}$$

Für die Leitmerkmalmethoden „Heben, Halten, Tragen“ (HHT) und „Ziehen und Schieben“ (ZS) gelten folgende Zusammenhänge zwischen der Dauer der Teil-Tätigkeit t in Minuten und der Häufigkeit (Anzahl) der Vorgänge (HHT) bzw. Weglänge in Metern (ZS):

- $t = \text{Häufigkeit} * \frac{1}{5} \text{ [min]}$ (entspricht 5 Vorgängen pro Minute)
- $t = \text{Weglänge [m]} * \frac{1}{42} \left[\frac{\text{min}}{\text{m}} \right]$

(entspricht einer Gehgeschwindigkeit von 42 m/min oder 0,7 m/s oder 2,5 km/h)

Bei den Leitmerkmalmethoden „Ganzkörperkräfte (LMM-GK)“ und „Körperfortbewegung (LMM-KB)“ wird die Zeit (Dauer der Teil-Tätigkeit) wie in den Formblättern beschrieben direkt verwendet, und zwar in Minuten. Bei LMM-GK ist für diskontinuierliche Teil-Tätigkeiten (diskontinuierliche Vorgänge innerhalb einer betrachteten Teil-Tätigkeit, unterbrochen durch Erholungsphasen, wie z.B. Ankippen von schweren Fässern, Verlaschen von Containern) alternativ die Verwendung der Wiederholungshäufigkeit als Grundlage für die Zeitwichtung vorgesehen. Solche Vorgänge dauern in der Regel bis zu einer Minute und bilden somit über die Anzahl überschlägig den Zeitanteil in Minuten ab.

Es können die Intensitäten (Summe aller Merkmalswichtungen ohne Multiplikation mit der Zeitwichtung) aus der Papier-Bleistift-Versionen oder aus den interpolierenden Erweiterten Leitmerkmalmethoden LMM-E zugrunde gelegt werden. Mit den Intensitäten aus den Papier-Bleistift-Versionen erhält man einen höheren oder in Einzelfällen denselben Gesamtpunktwert wie mit den interpolierenden LMM-E. Es wird empfohlen, die interpolierten Intensitäten aus den LMM-E zu verwenden. Bei der Berechnung der Zeitwichtungen für die kumulierten Zeiten muss ohnehin die Potenzfunktion der LMM-E benutzt werden. An dieser Stelle sollten LMM-E und Papier-Bleistift-Version nicht vermischt werden.

4.2.1 Beispiel für die Zusammenfassung von drei Teil-Tätigkeiten mit Belastungsart „Heben, Halten, Tragen“ am Arbeitstag

Zur Demonstration des Unterschiedes zum Zusammenfassen bei linearer Zeitwichtung werden in diesem Beispiel dieselben drei Punktwerte PW1 bis PW3 wie oben (13, 26 und 18) verwendet. Als zugehörige Intensitäten I_1 bis I_3 werden fiktiv 13, 10 und 6 angenommen. Daraus ergeben sich die angenommenen Zeitwichtungen ZW_1 bis ZW_3 von 1, 2,6 und 3. Die drei Teil-Tätigkeiten mit dem Punktwert $PW=I * ZW$ werden in absteigender Reihenfolge der Höhe der Belastungsintensität sortiert. Die zugehörigen Zeiten in Minuten t_1 bis t_3 ergeben sich aus

$$t = \text{Häufigkeit} * \frac{1}{5} [\text{min}].$$

$$\begin{aligned} PW_1 &= I_1 * ZW_1 = 13 * 1 = 13 && \text{mit Häufigkeit} = 5 \text{ und } t_1 = 1 \\ PW_2 &= I_2 * ZW_2 = 10 * 2,6 = 26 && \text{mit Häufigkeit} = 108 \text{ und } t_2 = 21,6 \\ PW_3 &= I_3 * ZW_3 = 6 * 3 = 18 && \text{mit Häufigkeit} = 153 \text{ und } t_3 = 30,6 \end{aligned}$$

Für die Zusammenfassung werden die ursprünglichen Punktwerte nun nach der oben beschriebenen Prozedur vor der Addition anhand der Wichtungen der kumulativen Zeiten reduziert und dann addiert:

$$\begin{aligned} PW_1 &= I_1 * ZW(t_1) = 13 * ZW(1) = 13 * 1 = 13 \\ PW_2 &= I_2 * (ZW(t_1 + t_2) - ZW(t_1)) = 10 * (ZW(22,6) - ZW(1)) = 10 * (2,65 - 1,0) = 16,5 \\ PW_3 &= I_3 * (ZW(t_1 + t_2 + t_3) - ZW(t_1 + t_2)) = 6 * (ZW(53,2) - ZW(22,6)) = 6 * (3,77 - 2,65) = 6,7 \\ PW_{\text{ges}} &= 13 + 16,5 + 6,7 = 36,2 \end{aligned}$$

Unter Berücksichtigung der drei Teil-Tätigkeiten 1 bis 3 errechnet sich ein Gesamtpunktwert von 36,2 Punkten für die Belastung durch Heben, Halten und Tragen von Lasten am betrachteten Arbeitstag. Der Gesamtpunktwert fällt im Vergleich zur Zusammenfassung bei linearer Zeitwichtung geringer aus.

4.3 Hinweis für die Programmierung

Zusätzlich wird hier der mathematische Nachweis erbracht, dass für die Zusammenfassung von Teil-Tätigkeiten der Belastungsarten mit linearer Zeitwichtung dasselbe Prozedere und dieselben Formeln verwendet werden können wie für Teil-Tätigkeiten der Belastungsarten mit nichtlinearer Zeitwichtung. Dies könnte für die Programmierung der Berechnungen interessant sein.

Das Ergebnis der einfachen Addition der Punktwerte von Teil-Tätigkeiten der Belastungsarten mit linearer Zeitwichtung ist unabhängig davon, ob die Teil-Tätigkeiten nach der Intensität sortiert wurden oder nicht. Man kann die Punktwerte genau wie bei den Belastungsarten mit nichtlinearer Zeitwichtung als Produkt von Intensität und Zeit ausdrücken und die Werte nach Größe der Intensität sortieren.

Die Zeitwichtung der Leitmerkmalmethoden LMM-MA und LMM-KH folgt generell einer linearen Funktion als Funktion der Zeit:

$$ZW_i = f_i(t) = \frac{t}{60}$$

mit

ZW_i = Zeitwichtung linear

t = Dauer der Teil-Tätigkeit in Minuten

In die Summenformel für die Berechnung nach nichtlinearer Zeitwichtung eingesetzt, ergibt sich:

$$PW_{ges} = \sum_{i=1}^n \left(I_i \cdot \left(\frac{t}{60} \left(\sum_{j=1}^i t_j \right) - \frac{t}{60} \left(\sum_{j=1}^{i-1} t_j \right) \right) \right)$$

$$\sum_{i=1}^n (I_i \cdot \left(\frac{t}{60} t_j = i \right)) = \sum_{i=1}^n (I_i \cdot ZW_{j=i})$$

$$\sum_{i=1}^n PW_i$$

mit

PW_{ges} = Gesamtpunkt看wert für diese Belastungsart

I_i = Intensität der Teil-Tätigkeit i

t_j = Dauer der Teil-Tätigkeit j in Minuten (ggf. in Minuten umrechnen)

i = Index der Intensität der Teil-Tätigkeit i

j = Index der Dauer der Teil-Tätigkeit j

n = Anzahl der Teil-Tätigkeiten und

$$\frac{1}{60} \left(\sum_{j=1}^{i-1} t_j \right) \text{ für } i=1 \text{ ist } 0 \text{ (gesetzt)}$$

Nach Umstellung und Zusammenfassung der Formel ergibt sich somit die einfache Addition der Punktwerte.

4.4 Das Formblatt LMM-Multi-E zur Unterstützung der belastungsartspezifischen Zusammenfassung der Beurteilungen mehrerer Teil-Tätigkeiten

Die oben beschriebenen Algorithmen zur belastungsartspezifischen Zusammenfassung der Beurteilungen über mehrere Teil-Tätigkeiten für alle sechs LMM, also sowohl die LMM mit linearer als auch mit nichtlinearer Zeitwichtung, sind im Formblatt LMM-Multi-E integriert. Das Formblatt ermöglicht, bis zu 24 beurteilte Teil-Tätigkeiten eines Arbeitstages zu dokumentieren und belastungsartspezifisch, also für jede der sechs Belastungsarten einzeln, zusammenzufassen. Damit können Belastungsschwerpunkte eines Arbeitstages verdeutlicht und Hinweise auf Gestaltungsmaßnahmen abgeleitet werden. Das Formblatt LMM-Multi-E kann auch genutzt werden, um die zeitliche Abfolge der Teil-Tätigkeiten mit physischen Belastungen an einem Arbeitstag inklusive Ruhepausen sowie anderer Arbeiten ohne physische Belastung zu dokumentieren. So kann gleichzeitig die zeitliche Verteilung der körperlichen Belastungen abgebildet werden. Das Formblatt gestattet jedoch nicht die Zusammenfassung unterschiedlicher körperlicher Belastungsarten für einen Arbeitstag im Sinne der Beurteilung von physischen Mischbelastungen. Hierfür existieren Konzepte, die im Forschungsbericht zum Projekt F2333 (siehe weiterführende Literatur) beschrieben sind. Diese sind jedoch bisher nicht validiert worden und wurden daher auch nicht im Formblatt der LMM-Multi-E integriert.

Als Angaben werden im Formblatt der LMM-Multi-E folgende Informationen aus den LMM verwendet: die Belastungsart, die Bezeichnung der Teil-Tätigkeit, die Dauer der Teil-Tätigkeit (in Minuten) und die Intensität (Summe aller Merkmalswichtungen ohne Multiplikation mit der Zeitwichtung). Das Formblatt LMM-Multi-E ist dafür ausgelegt, die notwendigen Angaben aus den PDF-Formblättern der LMM-E mit integrierten Rechenhilfen automatisch zu übernehmen.

Weiterführende Literatur und Links

[1] MEGAPHYS - Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Gemeinsamer Abschlussbericht der BAuA und der DGUV. Band 1, 1. Auflage 2019 Dortmund/Berlin/Dresden, doi:10.21934/baua:bericht20190821 (online), www.baua.de/dok/8820522

[2] Download der Leitmerkmalmethoden als Papier-Bleistift-Version, der Formblätter mit integrierten Rechenhilfen einschließlich der implementierten Algorithmen zu den Erweiterten Leitmerkmalmethoden und der zugehörigen Nutzungshinweise: www.baua.de/leitmerkmalmethoden