

## **Messwertbasierte Gefährdungsbeurteilung von Schulterbelastungen – das CUELA Modul „Schulter“**

Kai HEINRICH, Britta WEBER, Christoph SCHIEFER,  
Ingo HERMANN-TRUXIUS, Rolf ELLEGAST

*Institut für Arbeitsschutz, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung,  
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin*

**Kurzfassung:** Das Schultergelenk (SG) ist eines der komplexesten Gelenke des menschlichen Bewegungsapparats. Jüngste systematische Reviews haben gezeigt, dass Schulterbeschwerden mit beruflichen Risikofaktoren, wie Arbeiten mit der Hand auf Schulterniveau und darüber, repetitiven Bewegungen im SG und Kraftanwendung im SG, zusammenhängen können. Zur objektiven Erfassung der Muskel-Skelett-Belastungen (MSB) und der Risikobereiche bietet sich neben mobilen Bewegungserfassungssystemen auch der Einsatz moderner Messtechnik an. Da bislang nur wenige Studien messwertbasierte objektive Bewertungsansätze vorlegen, wurde ein umfassender Ansatz zur Bewertung der MSB der Schulter entwickelt (CUELA Modul „Schulter“). Im CUELA-Schultermodul werden alle Risikofaktoren auf der Grundlage kontinuierlicher und präziser Messungen adressiert. Die Bewertungsansätze bilden die Risikofaktoren einzeln und in Kombination ab und ermöglichen eine kumulative Gesamtbewertung.

**Schlüsselwörter:** arbeitsbedingte Muskel-Skelett-Belastung an der Schulter, messwertbasierte Gefährdungsbeurteilung, Arbeitsplatzanalyse, berufliche Exposition

### **1. Einleitung**

Das Schultergelenk (SG) ist eines der komplexesten Gelenke des menschlichen Bewegungsapparates. Es besteht aus drei Hauptgelenken, die in Verbindung mit dem Schulterblatt einen sehr großen Bewegungsumfang von bis zu 180° ermöglichen. Die bei beruflichen Tätigkeiten von außen auf die Hand einwirkenden Belastungen (z. B. Kräfte) werden über die Hand, den Unterarm und den Oberarm auf das SG übertragen. Dort verursachen sie Muskel-Skelett-Belastungen (MSB), da den äußeren Krafteinwirkungen die von den Schultermuskeln aufgebrachten inneren Muskelkräfte entgegengesetzt werden müssen. Ein Ungleichgewicht zwischen Beanspruchung und Erholung der die Schulter umgebenden Strukturen wird mit der Entwicklung von Muskel-Skelett-Beschwerden in Verbindung gebracht. Systematische Literaturreviews haben bestätigt, dass Schulterbeschwerden mit beruflichen Risikofaktoren zusammenhängen können, z. B. Arbeiten mit der Hand auf Schulterniveau und darüber, repetitiven Bewegungen im SG und Kraftanwendung im SG (z. B. Seidler et al. 2020). Die Risikofaktoren müssen daher in entsprechenden Gefährdungsbeurteilungen ermittelt und dann einzeln und ggf. in Kombination bewertet werden.

Die MSB sind oft komplex und lassen sich nicht immer mit beobachtungsbasierten

Methoden erfassen. Ranavolo et al. empfehlen daher den Einsatz von mobilen Messsystemen zur objektiven und detaillierten Erfassung von Belastungs- und Gefahrenschwerpunkten (Ranavolo et al. 2018). Für eine objektive Erfassung der MSB und der Risikobereiche eignet sich neben den mobilen Bewegungserfassungssystemen auch der Einsatz moderner Messtechnik wie EMG und Kraftsensorik (u. a. Ranavolo et al. 2018).

Da bisher nur wenige Studien messtechnisch objektive Bewertungsansätze vorgestellt haben (z. B. Rempel & Potvin 2022), wurde ein umfassender Ansatz zur Bewertung der MSB der Schulter entwickelt (CUELA-Modul „Schulter“).

## 2. Ergebnis

In Übereinstimmung mit dem Risikokzept MEGAPHYS (BAuA 2019) und der AMR 13.2 (BAuA 2022) wurde eine standardisierte Messung und Bewertung muskuloskelettaler Belastungen auf der Basis biomechanischer und physiologischer Messdaten bezogen auf die Körperregion der Schulter entwickelt. Die ermittelten Muskel-Skelett-Belastungen (MSB) werden nach dem MEGAPHYS-Risikokzept (BAuA 2019 & 2022) den Risikobereichen 1 bis 4 zugeordnet. Die Zuordnung basiert auf epidemiologischen Befunden (u. a. Seidler et al. 2020), fundierten arbeitsphysiologischen und biomechanischen Erkenntnissen (u. a. Svensson et al. 1987), messtechnischen Untersuchungen (u. a. ACGIH 2018) (6) und auf Häufigkeitsverteilungen von tätigkeits- und arbeitsschichtbezogenen Risikofaktoren aus CUELA-Expositionsdatenbanken und Messwertkatastern.

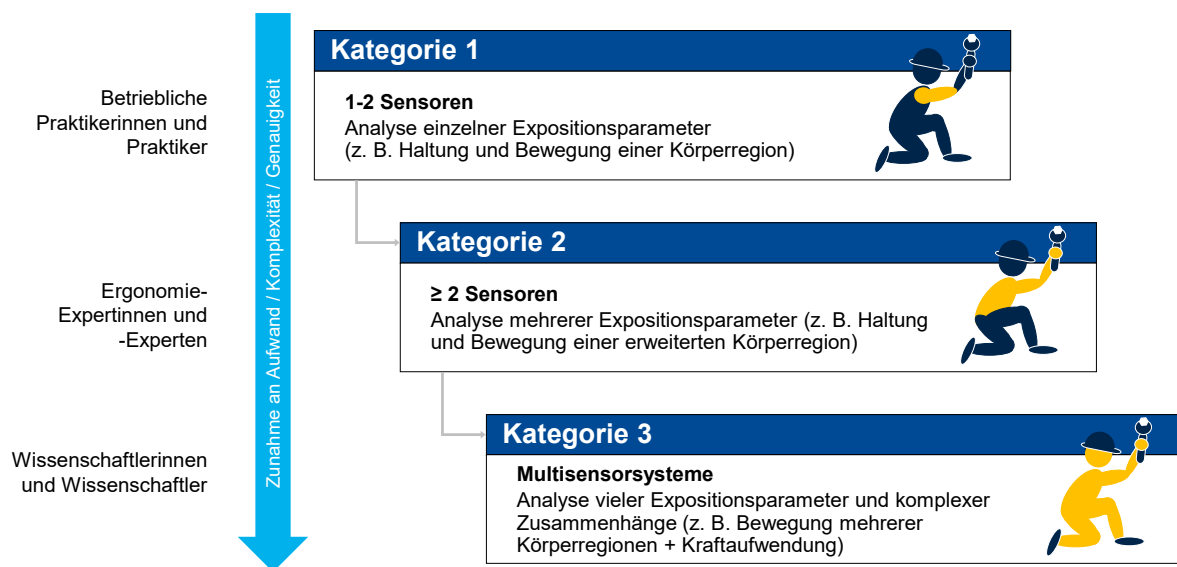
Als Hauptrisikofaktoren für die Entstehung von arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen des Schultergelenks gelten ungünstige Haltungen des Oberarms (Haltung), sich wiederholende, häufige Bewegungen des Oberarms im Schultergelenk (Repetition), Krafteinwirkungen im Schultergelenk (Kraft) und Hand-Arm-Vibrationen (HAV) (u. a. Seidler et al 2020). Darüber hinaus können die Analyse der kardiovaskulären Belastung und die Beurteilung des Bewegungsverhaltens die Belastungsbewertung unterstützen.

Um die Risikofaktoren Haltung und Repetition für das Schultergelenk zu erfassen, ist mindestens ein Inertial-Bewegungssensor (IMU) am Oberarm der dominanten Hand erforderlich. Zusätzliche IMUs, z. B. am Rumpf, an beiden Armen und an den Händen, ermöglichen einen detaillierteren Blick auf kinematische Belastungsfaktoren, wie z. B. die Orientierung des Oberarms relativ zum Rumpf oder die Position der Hände.

Die äußeren Gelenkmomente gelten als aussagekräftige Indikatoren für Kraftanwendungen, da die Muskulatur entsprechende innere Kräfte aufbringen muss, um den äußeren Gelenkmomenten entgegenzuwirken. Das äußere Gelenkmoment stellt somit eine wichtige Kenngröße zur Bewertung der Gelenkbelastung dar und ermöglicht eine Unterscheidung zwischen hoch und weniger hoch belasteten Gelenken (u. a. Svensson et al. 1987). Sind die Lastgewichte bzw. die aufzubringenden Aktionskräfte bekannt, können bereits mit je einem Bewegungssensor am Ober- und Unterarm Abschätzungen der Schultergelenkmomente vorgenommen werden. Für komplexere biomechanische Modellberechnungen (z. B. zur Bestimmung von dreidimensionalen Schultergelenkmomenten) werden zusätzliche IMUs zur Erfassung der Bewegung der gesamten biomechanischen Kette der oberen Extremitäten und ggf. Kraftsensoren zur

Messung externer Kräfte benötigt. Die optional elektromyographisch aufgezeichnete Aktivität der Schultermuskulatur kann ebenfalls als Indikator für die Krafteinwirkung im Schultergelenk verwendet werden. Für die Untersuchung von Hand-Arm-Vibrationen werden frequenz- und richtungsgewichtete Beschleunigungen aus 3D-Beschleunigungssensor- bzw. IMU-Beschleunigungsdaten ermittelt. Im CUELA-Schultermodul werden die Risikofaktoren auf der Basis von kontinuierlichen und präzisen Messungen berücksichtigt. Die Beschreibungen einzelner Verfahren und ihre Validierung finden sich ganz oder teilweise im DGUV Report 3/2020 (DGUV 2020).

Je nach Art der Fragestellung können entsprechend unterschiedlich komplexe Messsysteme (Kategorie 1-3) für verschiedene Anwendungsfälle und anwendende Personen (Abbildung 1) eingesetzt werden (Holtermann et al. 2017).



**Abbildung 1:** Kategorien von Messsystemen (nach Holtermann et al. 2017).

Zur Bewegungserfassung werden IMUs in allen drei Kategorien eingesetzt, von einzelnen IMUs bis hin zu „Full Body MoCap“-Systemen. Weitere Messtechniken werden ab Kategorie 2 eingesetzt, z. B. zur Quantifizierung von muskulärer Aktivität, Herzfrequenz, Kraft oder Vibration. Bei Bedarf können zeitsynchrone Videoaufzeichnungen zur Unterstützung der Analyse und zur Dokumentation hinzugezogen werden. Die Verarbeitung und Visualisierung der Messdaten erfolgt mit Hilfe der CUELA-Software WIDAAN. Die Auswertung, Bewertung und Darstellung der biomechanischen und ggf. physiologischen Belastungsparameter erfolgt auf verschiedenen Berechnungsebenen, z. B. Gelenkwinkel über die Zeit, Perzentile der Winkelgeschwindigkeitsverteilung oder Dosis der Gelenkmomente. Neben der Bewertung der einzelnen Risikofaktoren wird auch eine Gesamtbewertung der identifizierten Schulterbelastung vorgenommen. Die Bewertungsmethode bildet die Risikofaktoren sowohl einzeln als auch in Kombination ab und ermöglicht eine kumulative Gesamtbewertung. Auch können einzelne Situationen, ganze Tätigkeiten oder ganze Schichten bewertet werden.

### 3. Literatur

- ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (2018) Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®).
- BAuA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2019) MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Gemeinsamer Abschlussbericht der BAuA und der DGUV. Band 1: 1–987.
- BAuA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2022) AMR Nr. 13.2 Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen mit Gesundheitsgefährdungen für das Muskel-Skelett-System. In: GMBI, Gemeinsames Ministerialblatt 7: 125.
- DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (2020) DGUV Report 3/2020 MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Gemeinsamer Abschlussbericht der BAuA und der DGUV. Band 2: 1–984.
- Holtermann A, Schellewald V, Mathiassen SE, Gupta N, Pinder A, Punakallio A, Veiersted KB, Weber B, Takala EP, Draicchio F, Enquist H, Desbrosses K, García Sanz MP, Malińska M, Villar M, Wichtl M, Strebl M, Forsman M, Lusa S, Tokarski T, Hendriksen P, Ellegast R (2017) A practical guidance for assessments of sedentary behavior at work: A PEROSH initiative. *Applied Ergonomics* 63: 41–52.
- Ranavolo A, Draicchio F, Varrecchia T, Silveti A, Iavicoli S (2018) Wearable Monitoring Devices for Biomechanical Risk Assessment at Work: Current Status and Future Challenges – A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (9): 1–26.
- Rempel D, Potvin J (2022) A Design Tool to Estimate Maximum Acceptable Manual Arm Forces for Above-Shoulder Work. *Ergonomics* 65 (10): 1338–1351.
- Seidler A, Romero Starke K, Freiberg A, Hegewald J, Nienhaus A, Bolm-Audorff U (2020) Dose–Response Relationship between Physical Workload and Specific Shoulder Diseases — A Systematic Review with Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (4): 1–19.
- Svensson OK, Arborelius UP, Ekholm UP (1987) Relative Mechanical Load on Shoulder and Elbow Muscles in Standing Position When Handling Materials Manually. A Study of Packing Work. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 19 (4): 169–78.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

## Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher  
und nachhaltiger Arbeitssysteme  
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023**

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und  
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023  
ISBN 978-3-936804-32-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Sankt Augustin

**Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

### **Geschäftsstelle der GfA**

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

[info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)