



IFA

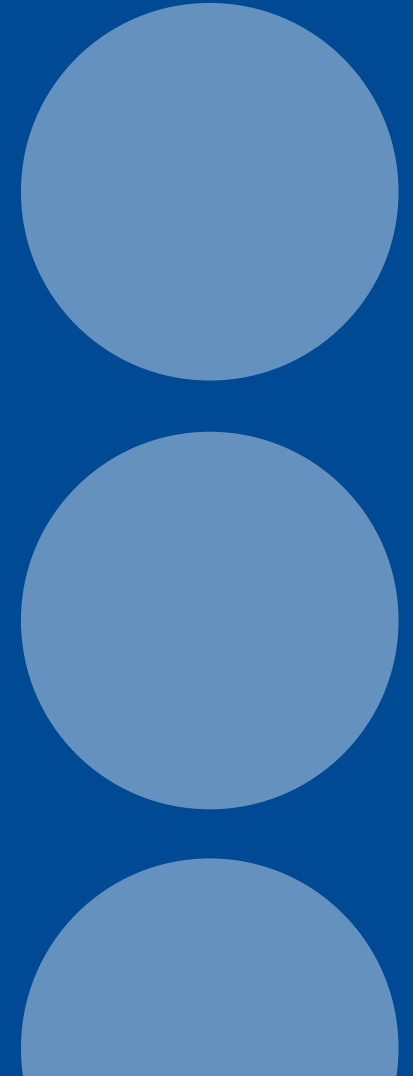
Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Messtechnische Bewertungsverfahren

MEGAPHYS

Sicherheitswissenschaftliches Forum der BUW
und 13. VDSI-Forum NRW 2021

Dr. Britta Weber, 16.09.2021



Gliederung

1. Grundlagen MEGAPHYS
2. Messtechnische Bewertungsverfahren MEGAPHYS
3. Ausblick Messtechnische Bewertungsverfahren

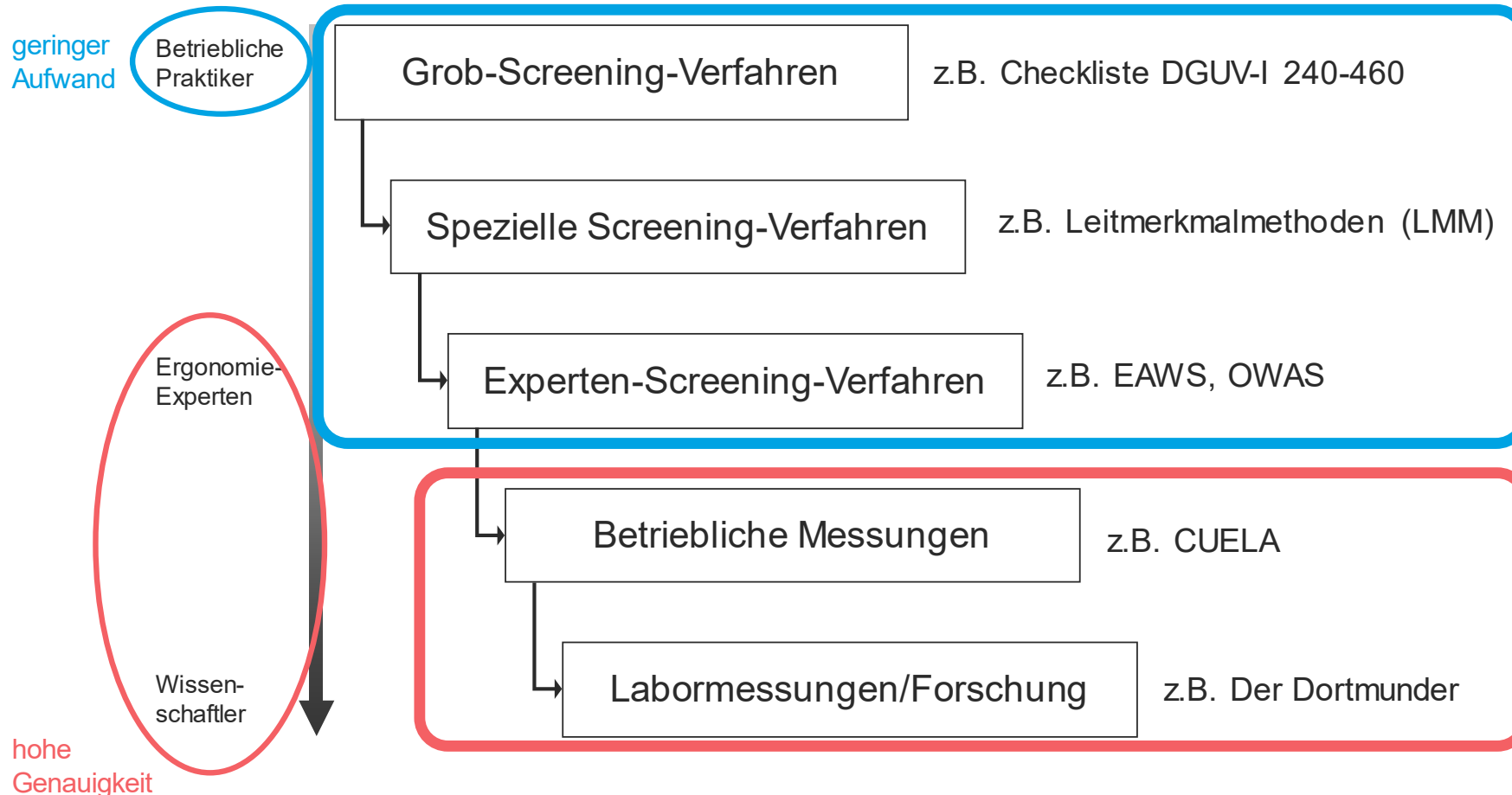


MEGAPHYS

Mehrstufige Gefährdungs-Analysen
physischer Belastungen

Kooperationsprojekt
von BAuA und DGUV

GB physische Belastung – MEGAPHYS Konzept 2010

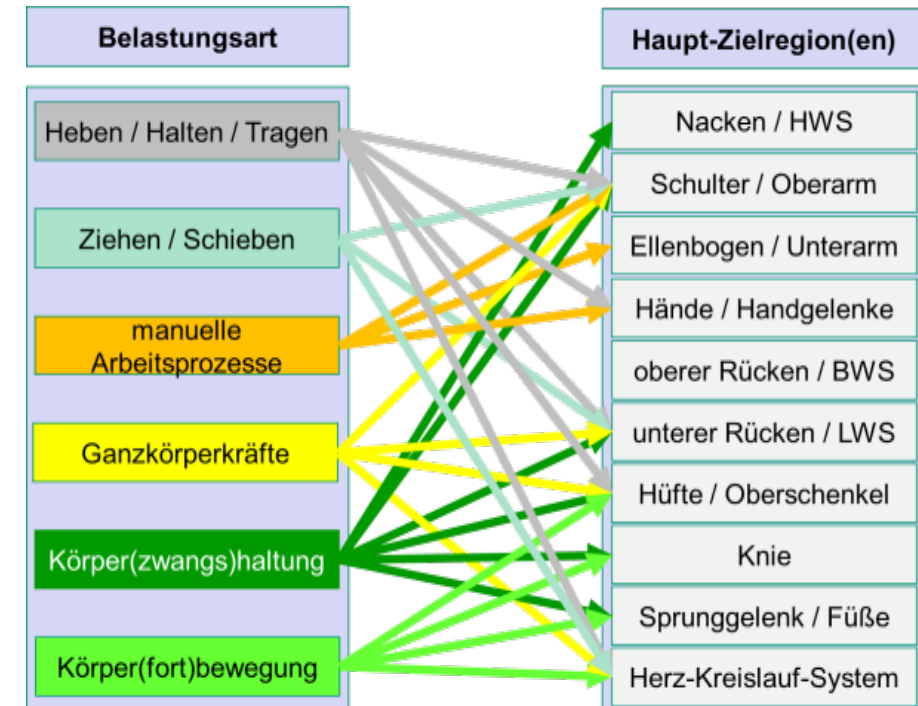
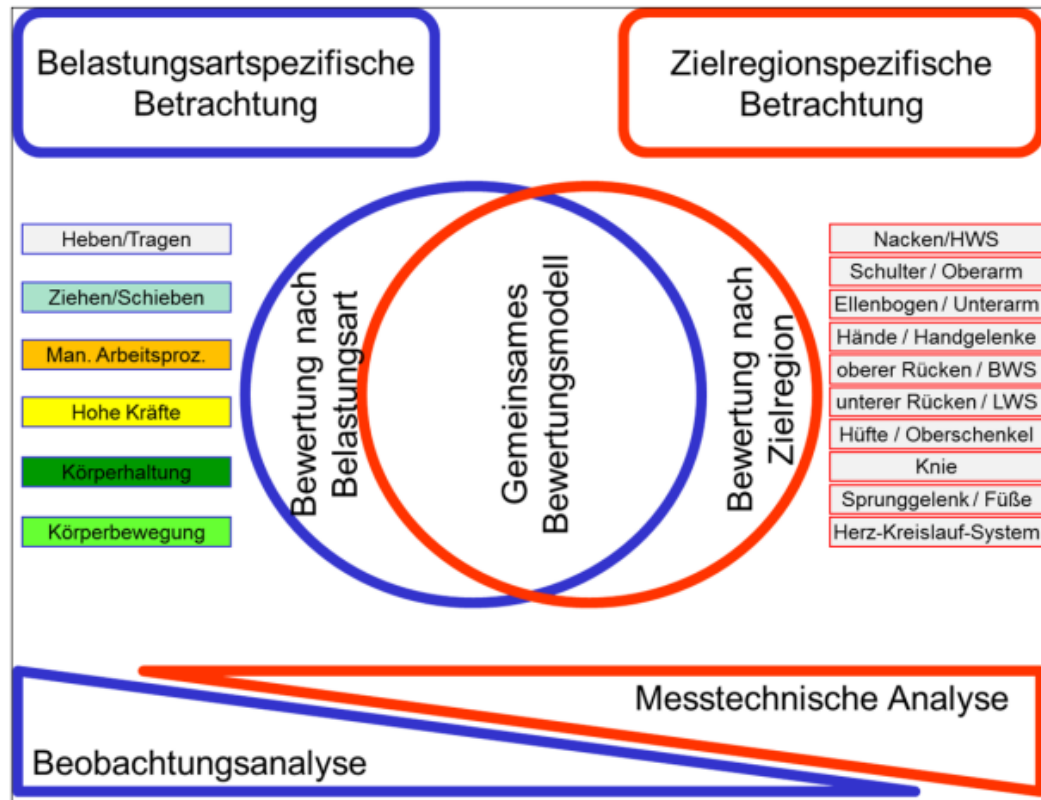


- **Beobachtungs-**
basiert
- Bewertung bezogen
auf Belastungsart

- **Messwert-**
basiert
- Bewertung bezogen
auf Körperregion

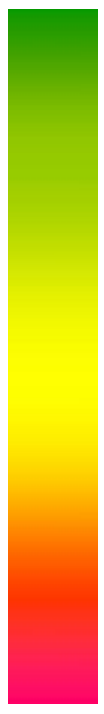
Ellegast, 2010

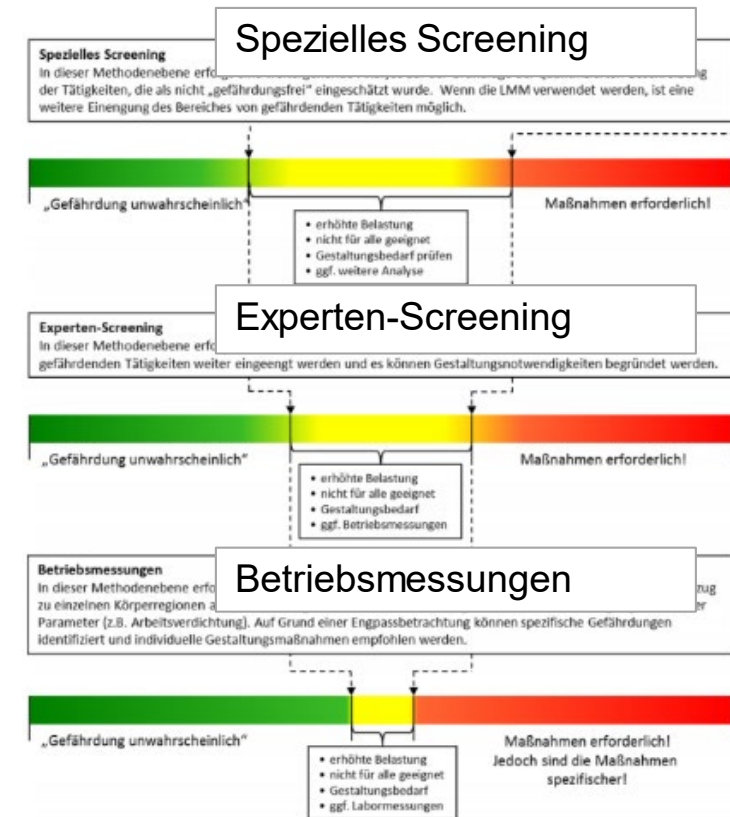
MEGAPHYS: gemeinsames Bewertungsmodell



Quelle: MEGAPHYS Abschlussbericht Band 1, 2019

MEGAPHYS: gemeinsames Risikokonzept

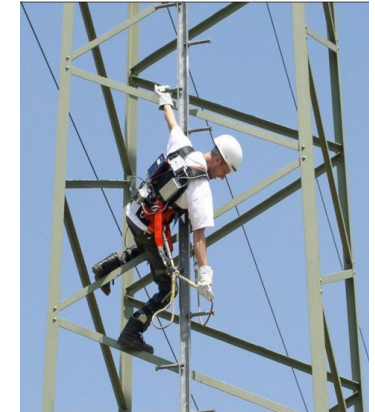
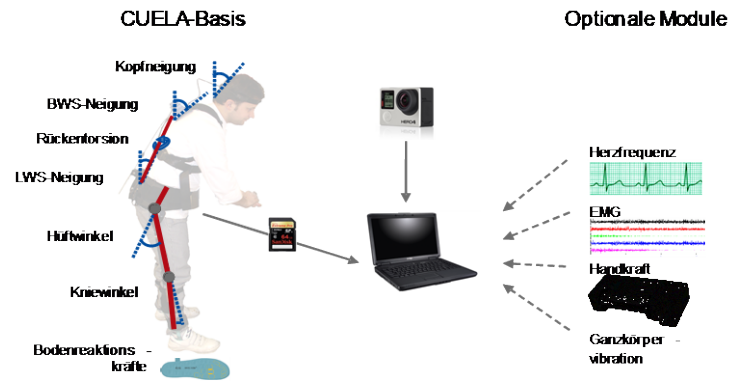
Risiko	Belastungshöhe	- Wahrscheinlichkeit einer körperlichen Überbeanspruchung - Mögliche gesundheitliche Folgen	Maßnahmen
	gering	- Eine körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich. - Gesundheitsgefährdung nicht zu erwarten.	Keine
	mäßig erhöht	- Eine körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen möglich. - Ermüdung, geringgradige Anpassungsbeschwerden, die in der Freizeit kompensiert werden können.	Für vermindert belastbare Personen sind Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sinnvoll.
	wesentlich erhöht	- Körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich - Beschwerden (Schmerzen) ggf. mit Funktionsstörungen, reversibel ohne morphologische Manifestation.	Maßnahmen zur Gestaltung und sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.
	hoch	- Körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. - Stärker ausgeprägte Beschwerden und / oder Funktionsstörungen, Strukturschäden mit Krankheitswert z. B. Chondrosen der LWS und HWS, Arthrosen, CTS.	Maßnahmen zur Gestaltung sind erforderlich. Sonstige Präventionsmaßnahmen sind zu prüfen.



Quelle: MEGAPHYS Abschlussbericht Band 1, 2019

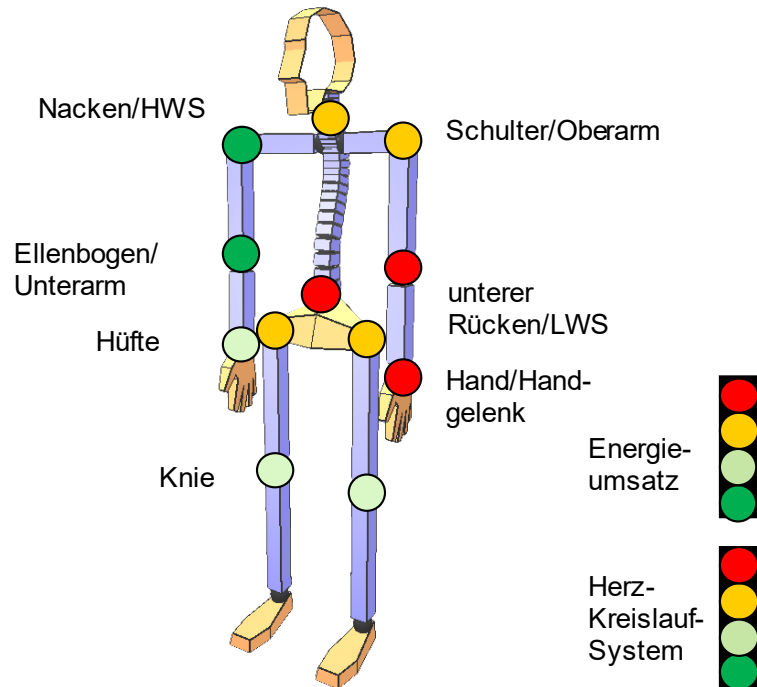
CUELA Verfahren

Messwertbasierte Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems

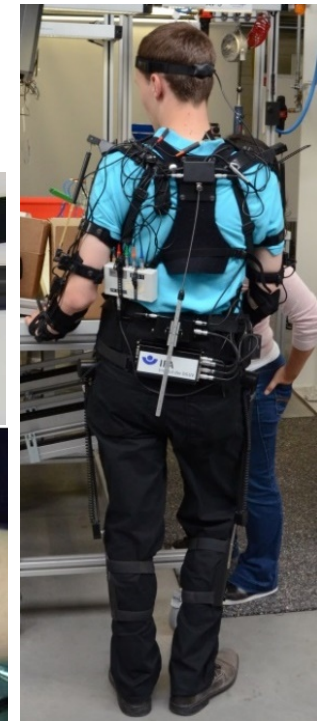
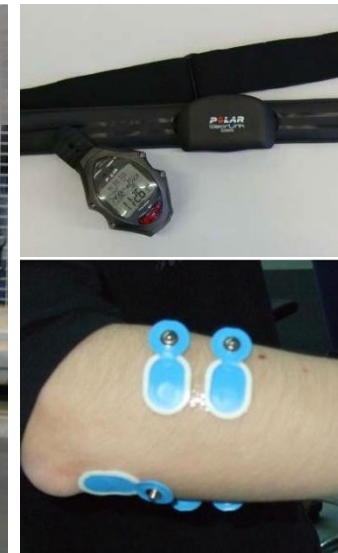


Messtechnische Analyse in MEGAPHYS

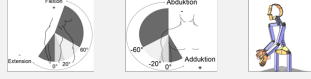
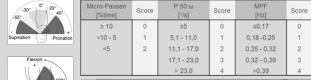
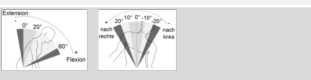
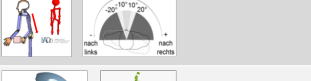
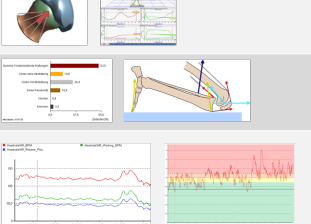
CUELA: Körperregion-bezogene Bewertungsverfahren



- Bewegungserfassung (Ganzkörpersystem)
- Elektromyographie (EMG)
- Herzfrequenz
- Video



28 CUELA Belastungsindikatoren

Körperregion	CUELA-Belastungsindikatoren (kumulative Schichtwerte)
Nacken / HWS	Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Kopf [%] 
Schultern / Oberarme	- Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Oberarme [%] - Schultermoment [Nm/h] 
Ellenbogen / Unterarme	- Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Ellenbogen [%] - Repetitionsscore 
Hände / Handgelenke	- Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Handgelenke [%] - Repetitionsscore - Kraftaufwendung Unterarme: P90 %MVC - Zeitanteil muskelphysiol. Mikropausen [%] 
Unterer Rücken (LWS)	- Zeitanteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen Rumpf [%] - Bandscheibendruckkraft L5/S1 [kN/h] - Anzahl Richtwert-überschreitender Vorgänge - Anzahl Lastgewichtshandhabungen 
Hüfte	Kompressionskraft Hüftgelenk bei hüftbel. Tätigkeiten [%BWh] 
Knie	- Zeitanteil Kniebelastende Haltungen [%] - Haltungswechsel in kniebel. Haltungen 
Herz-Kreislauf-System/ Energieumsatz	- mittlere Arbeitsherzfrequenz [bpm] - mittlere %Herzfrequenzreserve - Zeitanteil oberhalb Dauerleistungsgrenze [%] - Arbeitsenergieumsatz [kJ] 

biomechanische Indikatoren

kinematisch

Körperhaltungen/-bewegungen
Repetition

...

kinetisch

Gelenkmomente
Kompressionskräfte

...

leistungs-physiologische Indikatoren

Muskelaktivität

muskuläre Beanspruchung
muskelphysiol. Mikropausen

Herzfrequenz

mittl. HF_{Arbeit}
mittl. $\%HF_{\text{Reserve}}$

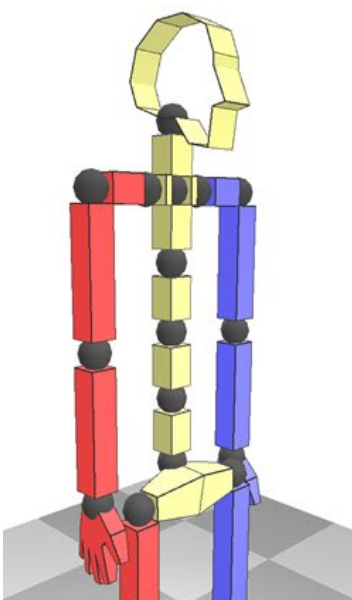
...

Energieumsatz

EU_{Arbeit}

Schnittstelle zur Ebene Laborsimulation

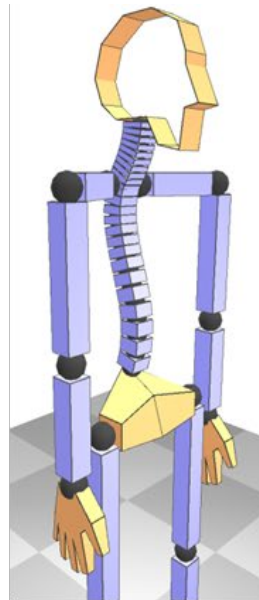
u.a. Kopplung CUELA u. *Dortmunder* → *CUELA-Dortmunder*



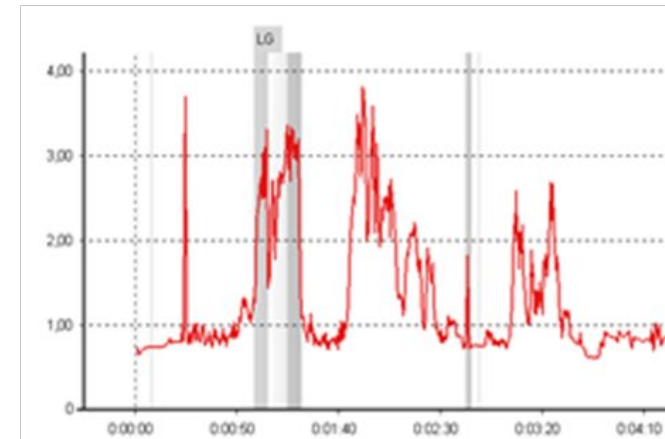
CUELA



Der Dortmunder

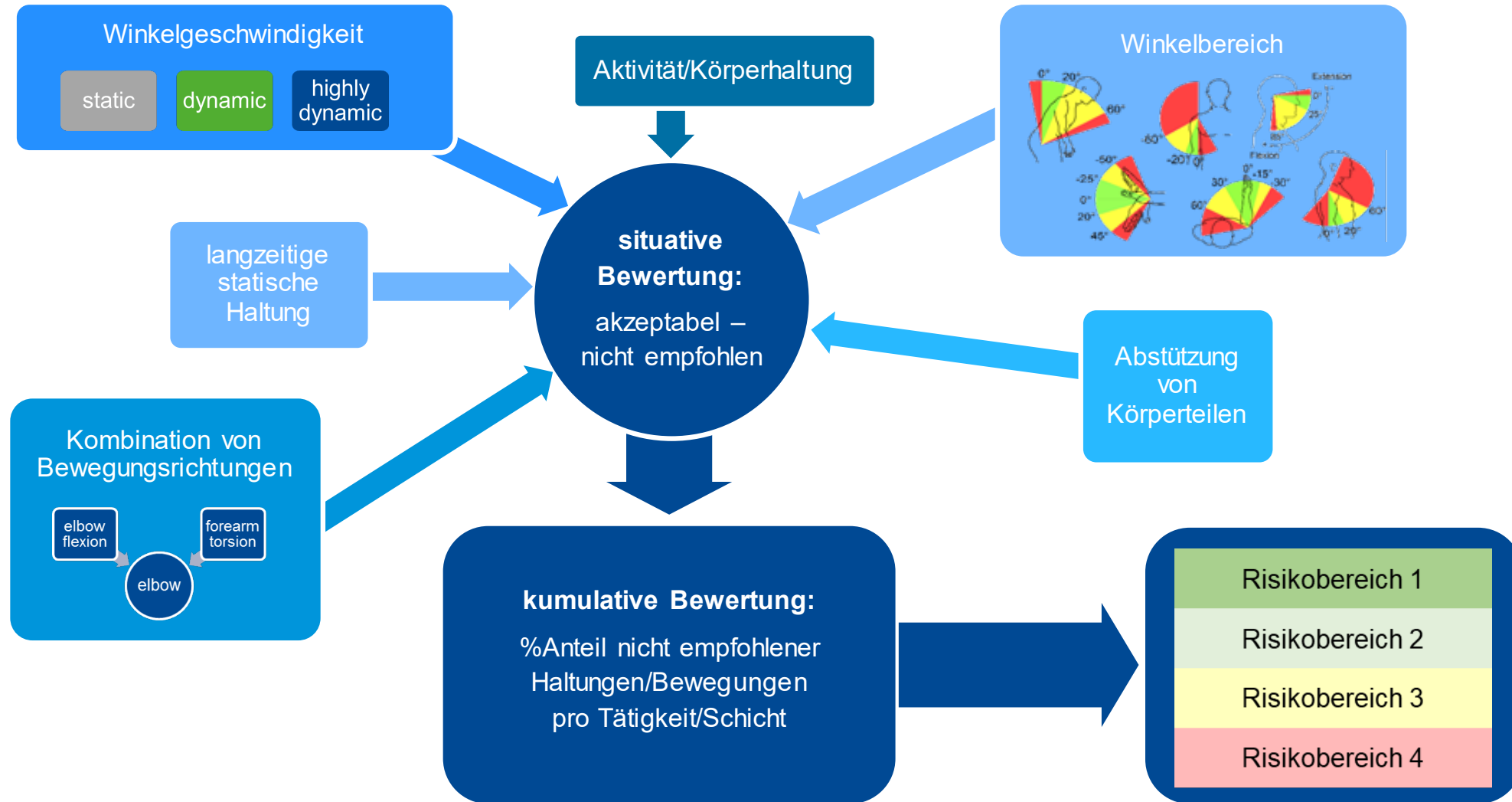


CUELA Dortmunder



Kompressionskraft L5/S1

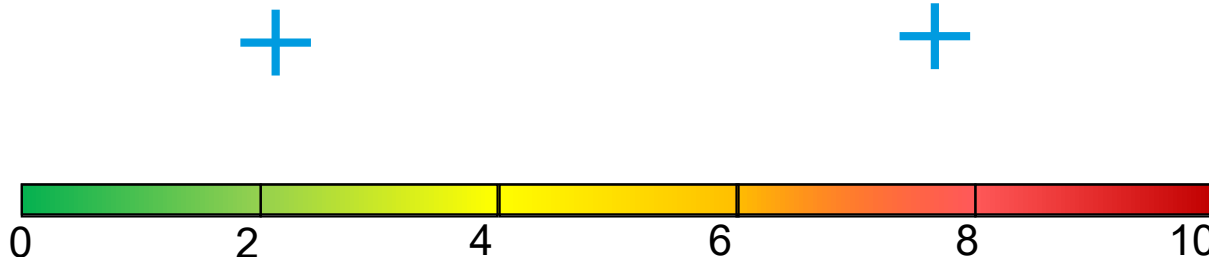
Anteil nicht empfohlene Haltungen/Bewegungen [% NEH]



Repetitionsscore (Handgelenk Flex./Ext. / Unterarm Sup./Pronation)

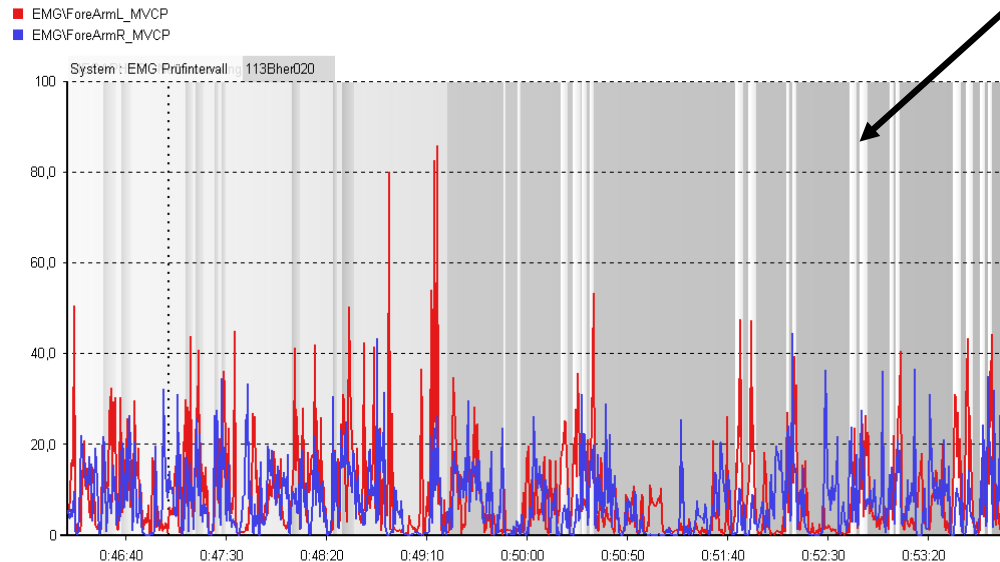
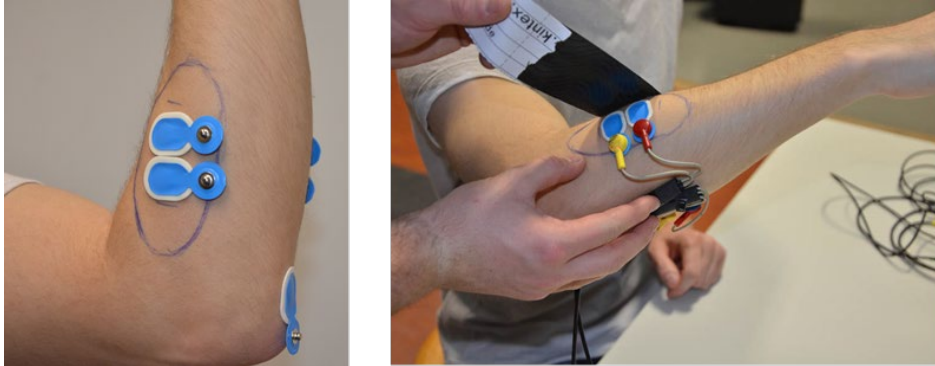
Mean Power Frequency (MPF) 50. Perzentil [Hz]			Winkelgeschwindigkeit (ω) 50. Perzentil [°/s]			Mikropausen* (MP) [% Zeit]		
MPF ^b	MPF-Score	Verbale Verankerung ^a	ω ^b	ω -Score	Verbale Verankerung ^a	MP ^b	MP-Score	Verbale Verankerung ^a
≤ 0.17	0	Nicht häufig	≤ 5	0	Extrem langsame Bewegung, (keine Anstrengung)	≥ 10	0	Lange reguläre Pausen
> 0.17 bis ≤ 0.25	1	Langsam, stetig	> 5 bis ≤ 11	1	Sehr langsame Bewegung	≥ 5 bis < 10	1	Konsistente, auffallend lange Pausen
> 0.25 bis ≤ 0.32	2	Stetig	> 11 bis ≤ 17	2	Bewegung	< 5	2	Selten lange/häufig kurze Pausen
> 0.32 bis ≤ 0.39	3	Schnell, stetig	> 17 bis ≤ 23	3	Moderate Bewegung (Anstrengung)			
> 0.39	4	Schwierigkeit den Takt zu halten	> 23	4	Schnelle Bewegung (Anstrengung)			

Rep
Score =



- * Mikropausen: kontinuierliche Zeitsequenz $\geq 0.5s$ & geringe Winkelgeschwindigkeit ($< 1.0/s$) nach Hansson et al. (1996)
- a nach Latko Skala (ACGIH, 2001, 2018; Latko et al., 1997)
- b nach Arvidsson et al., 2003; Balogh et al. 2003; Barrero et al., 2012; Hansson et al., 2009; Hansson et al., 2004; Hansson et al., 2000; Nordander et al., 2013; Ohlsson et al., 1994; Stal et al., 1999

P90 %MVC Unterarme



- **MVC**
= maximum voluntary contraction
- **%MVC-Werte**
= zur MVC in Relation gesetzte EMG-Daten
- **P90 %MVC**
= 90. Perzentil der %MVC-Werte
→ **Muskuläre Belastungsspitzen**
- **Bewertung*:**

≤10%

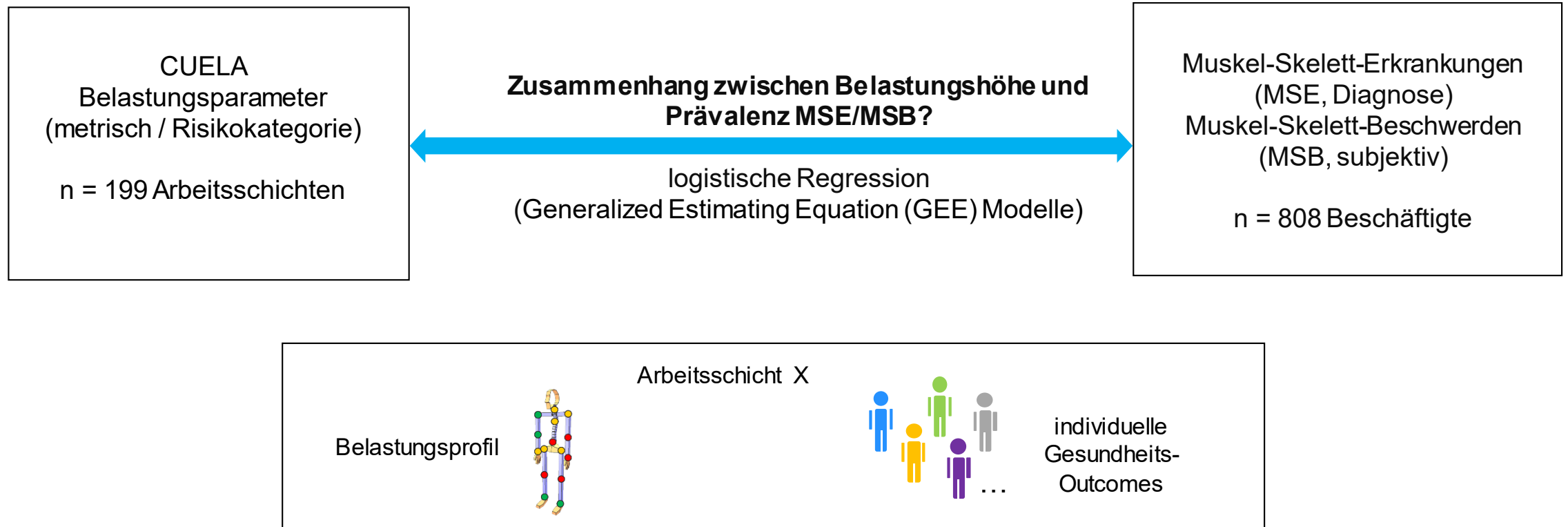
10%-20%

20%-30%

>30%

*Kategorisierung nach Hansson et al. 2004, 2009

Validierung der CUELA Indikatoren



Ergebnisse & Diskussion Validierung

- **viele positive Zusammenhänge zwischen Körperregion-bezogenen Gesundheits-Outcomes und CUELA-Belastungsindikatoren, bspw.**
 - CTS – Zeitanteil n. empf. Halt./Bew. Handgelenk
 - Arthrose distale Gelenke – Rep.score Hand & Ellenbogen | Zeitanteil n. empf. Halt./Bew. Ellenbogen | Kraftaufw. Unterarm
 - Beschwerden Handgelenke – Rep.score Hand | Zeitanteil n. empf. Halt./Bew. Hand | Kraftaufwendung Unterarm
 - Beschwerden LWS – Anz. Richtwert-überschr. Vorgänge LWS | Zeitanteil n. empf. Halt./Bew. Rumpf | Zeitanteil oberh. DLG | Kraftaufw. Unterarm

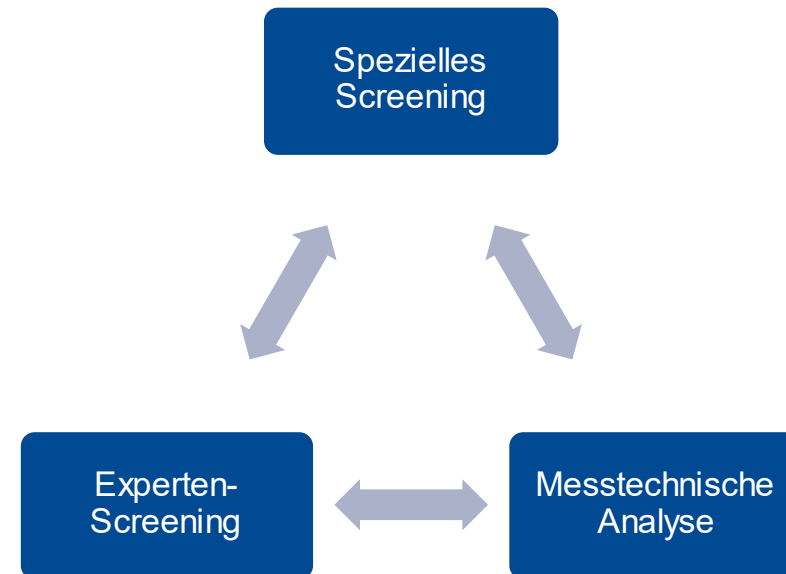
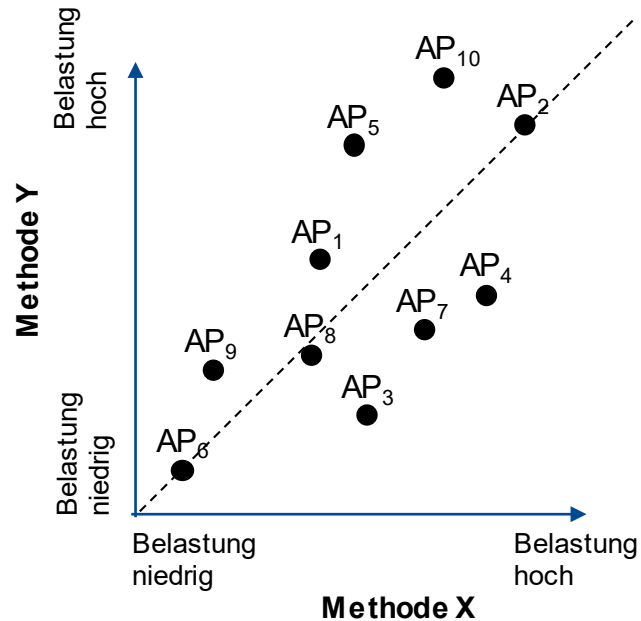
- **einige negative Zusammenhänge**

Mögliche Ursachen: Healthy Worker Effekt; Verzerrungen durch Arbeitsplatz-/Probanden-Auswahl, Untersuchungssituation, Hochrechnung auf Schicht,...

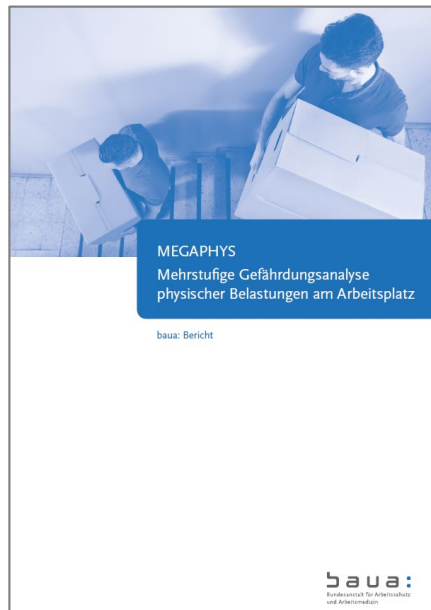
➔ **Indikatoren für die Quantifizierung & Bewertung physischer Arbeitsbelastung geeignet**

Konvergenzbetrachtung

Zusammenhang zwischen den Bewertungen der verschiedenen Methoden?



Projektberichte MEGAPHYS



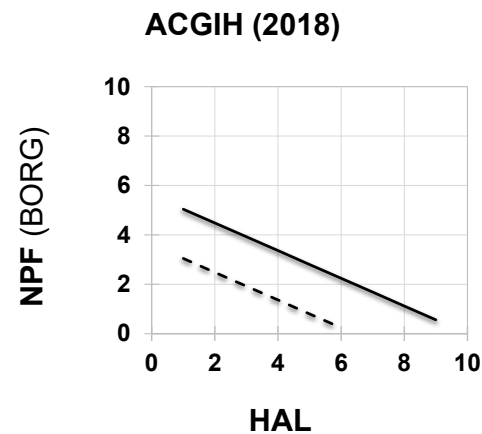
https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2333.pdf?__blob=publicationFile&v=11



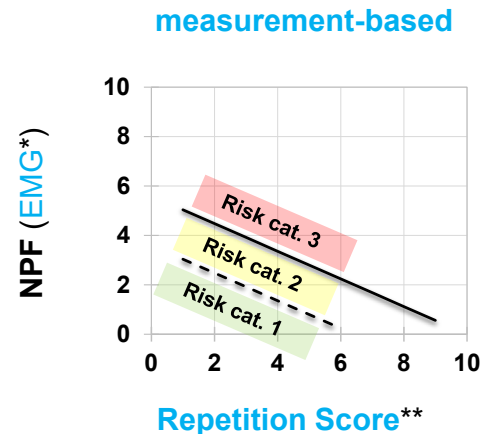
<https://publikationen.dguv.de/forschung/dguv-report/3635/dguv-report-3/2020-megaphys-mehrstufige-gefaehrungsanalyse-physischer-belastungen-am-arbeitsplatz>
Webcode: p012862

Ausblick CUELA Bewertungsverfahren

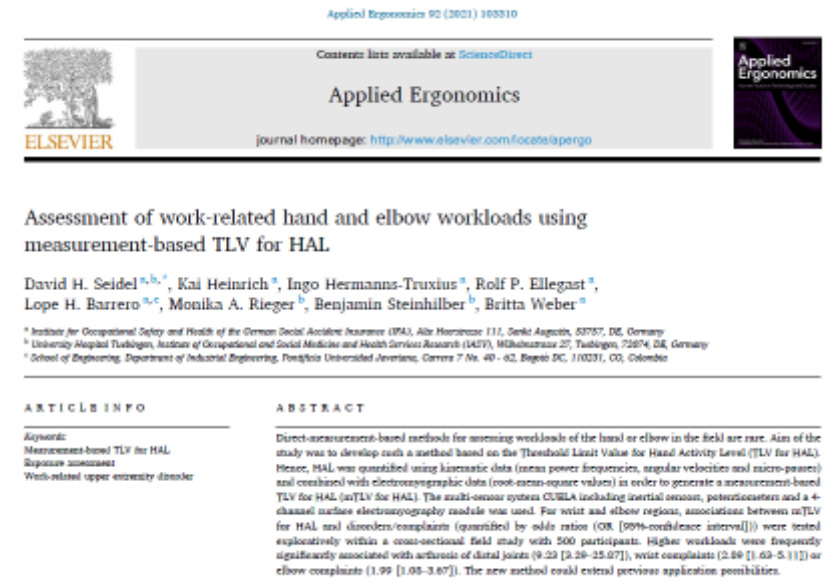
- Weitere Prüfung und Ergänzung des CUELA-Bewertungskonzepts
- weitere Indikatoren, z.B. Kombination Repetition & Kraftaufwendung distale obere Extremität



— Threshold Limit Value (TLV)
 - - - Action Limit (AL)



* P90 %MVC Unterarm
 ** df: Handgelenk Flex./Ext. / Unterarm Sup./Pronation

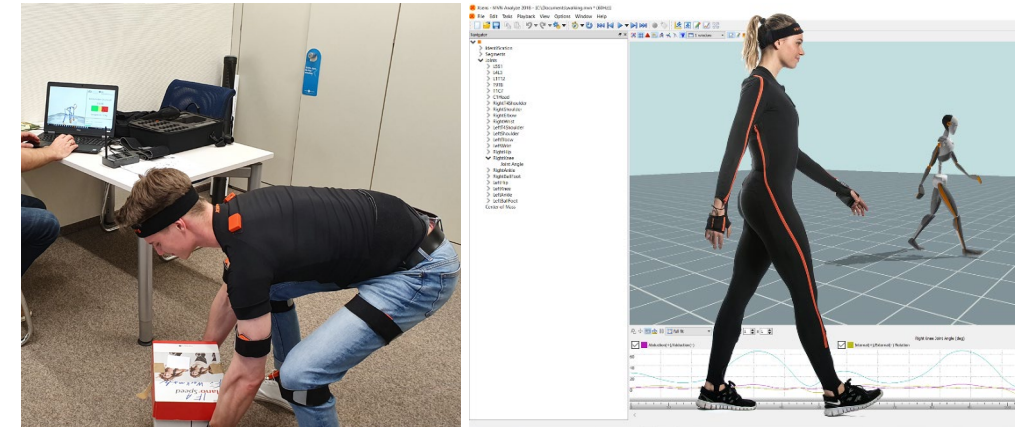


Ausblick CUELA Messtechnik

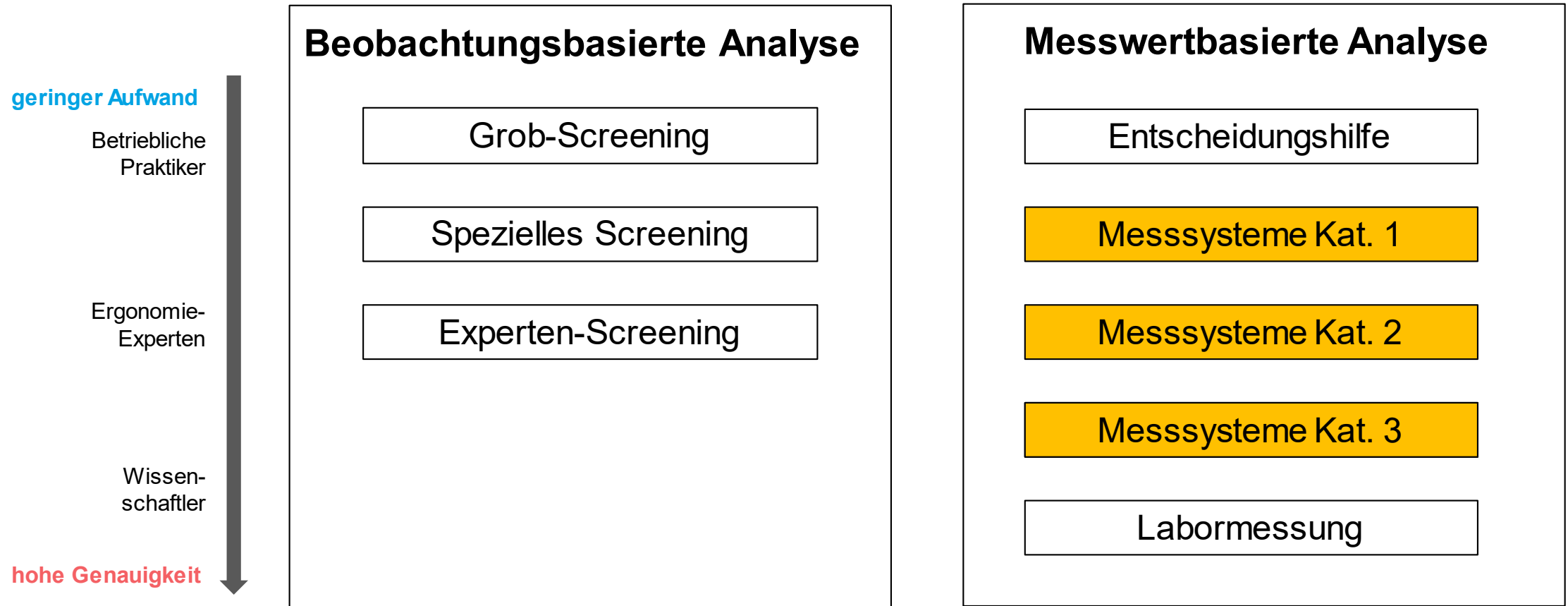
Anwendung der CUELA-Bewertungsansätze
in der Gefährdungsbeurteilung

Verwendung kommerzieller Messtechnik

- umfassende Experten-Messsysteme
- einfache Messtechnik für einzelne Körperregionen

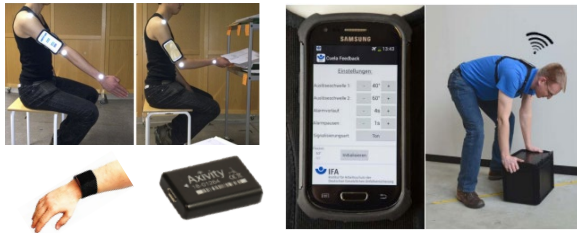


GB physische Belastung – digitale Weiterentwicklung 2020+



Kategorisierung von Messsystemen

Kategorie 1



1-2 Sensoren

Analyse einzelner Expositionsparameter
(z. B. Haltung und Bewegung einer
Körperregion)

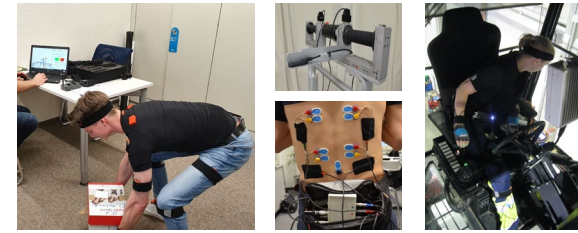
Kategorie 2



≥ 2 Sensoren

Analyse mehrerer Expositionsparameter
(z. B. Haltung und Bewegung einer
erweiterten Körperregion)

Kategorie 3



Multisensorsysteme

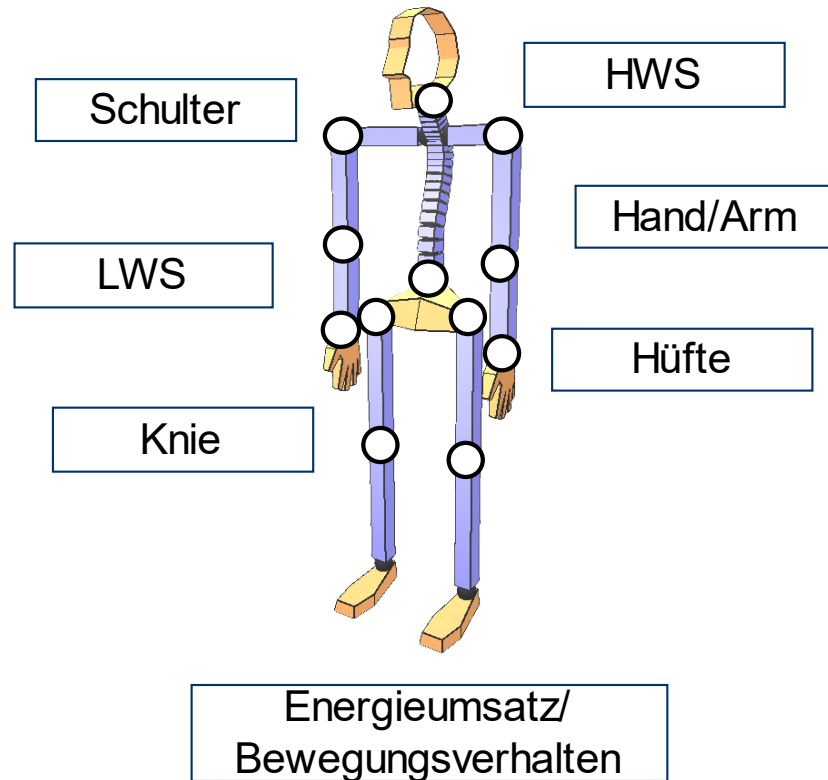
Analyse vieler Expositionsparameter und
komplexer Zusammenhänge
(z. B. Bewegung mehrerer Körperregionen +
Kraftaufwendung)

zunehmende Anzahl an Sensoren / verschiedenen Sensortypen

Zunahme an Aufwand / Komplexität / Genauigkeit

nach Holtermann et al., 2017

Ausblick CUELA Module



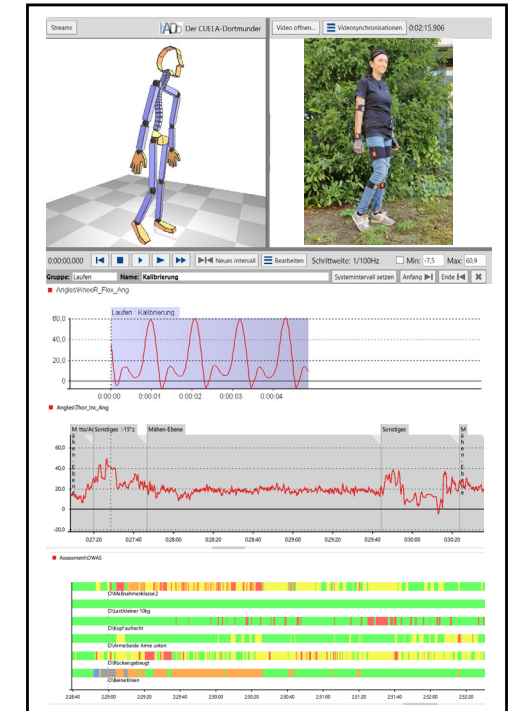
Kategorie 1
betriebliche Praktiker



Kategorie 2
Ergonomie-Experten



Kategorie 3
Wissenschaftler



CUELA LWS Modul: Kategorie 1

System-Beispiel:

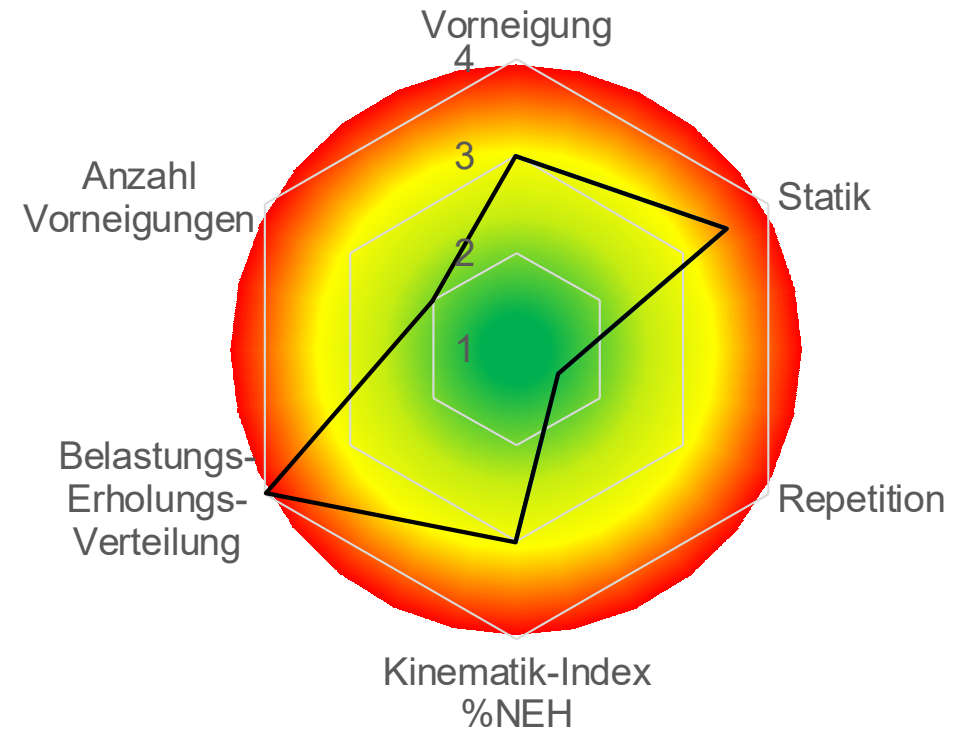
1 Sensor am Rücken (BWS)



Anwendungsbeispiele:

- einfache Gefährdungsanalyse
- Feedback-System

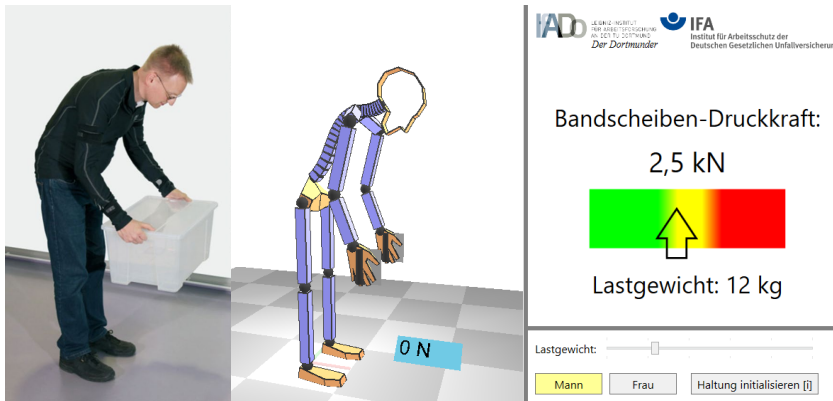
Beurteilung der Risikofaktoren



CUELA LWS Modul: Kategorie 2

System-Beispiel:

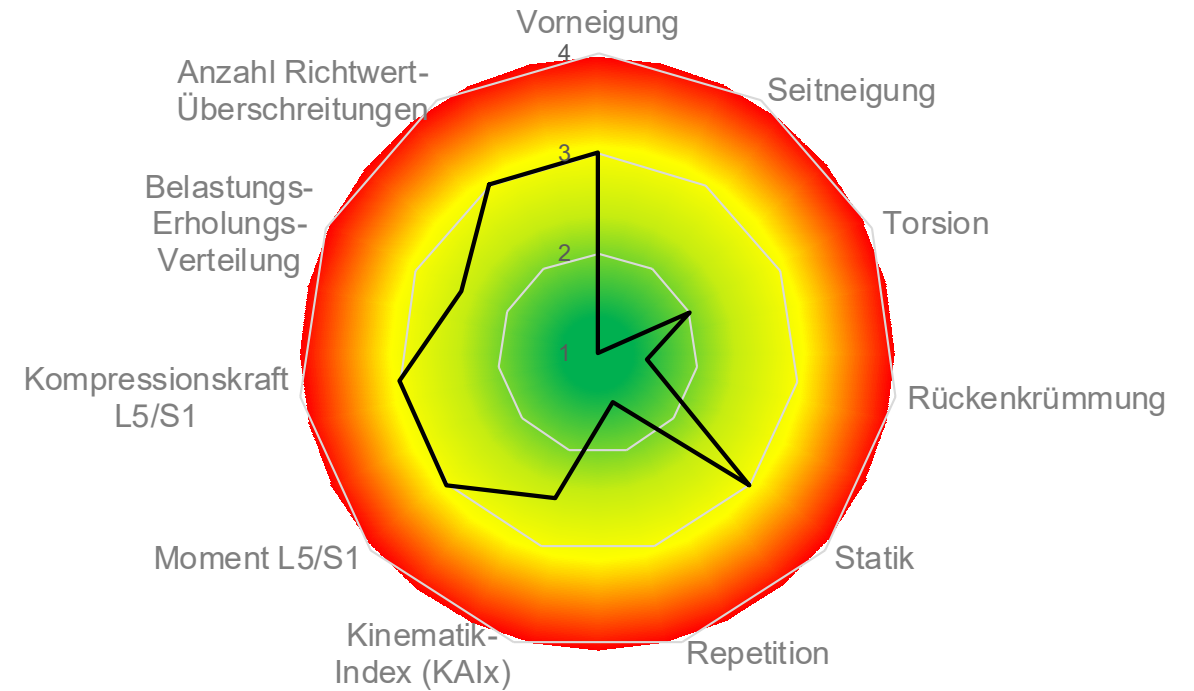
6 Sensoren an Rücken und Armen:
BWS (1), LWS (1), Arme (2+2)



Anwendungsbeispiele:

- spezifische Gefährdungsanalyse
- Training rückenschonender Verhaltensweisen

Beurteilung der Risikofaktoren



CUELA LWS Modul: Kategorie 3

System-Beispiel:

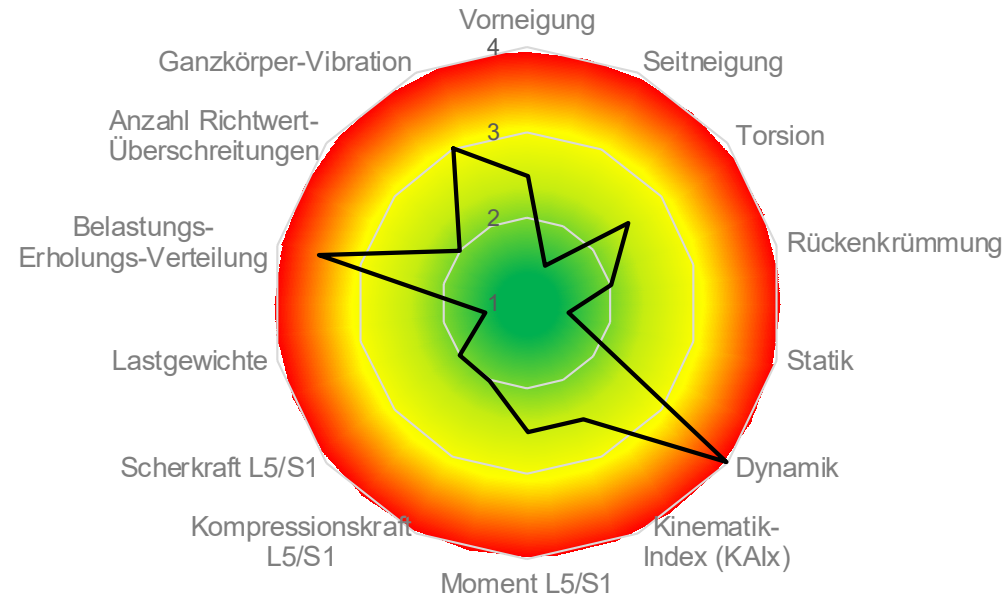
16 Sensoren am ganzen Körper:
Kopf (1), BWS (1), LWS (2), Arme (2+2),
Hände (2), Beine (2+2) Füße (2)



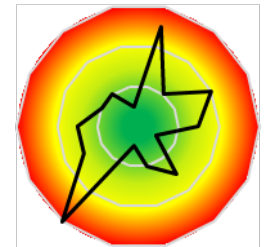
Anwendungsbeispiele:

- Expertenanalyse im Feld
- wissenschaftliche Laborstudien

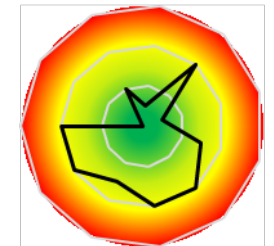
Beurteilung der Risikofaktoren



HWS



Schulter



weitere
Lokalisationen...

Fazit

CUELA Indikatoren

- Messwertbasierte Verfahren zur Erkennung von Belastungs- und Gefährdungsschwerpunkten des Muskel-Skelett-Systems

Digitale Weiterentwicklung

- Verfahren können mit unterschiedlich komplexen Messsystemen eingesetzt werden (Kategorie 1 - 3)

Digitale Gefährdungsbeurteilung

- Nutzung der Verfahren in der digitalen Arbeitsplanung (Simulation, VR)



IFA

Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit.**

britta.weber@dguv.de

