

Workshop am 31. August 2007 in Lengfurt – BG Metall Nord Süd

„Was können, dürfen und sollen kollaborierende Roboter?“

Aspekte zur Gestaltung eines akzeptablen Verletzungsrisikos
bei Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern
aus berufsgenossenschaftlicher Sicht

Dipl.-Ing. Hans Jürgen Ottersbach

BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Inhalt

1. Arbeitsschutzrechtliche Grundlagen – Thema Gefährdungsanalyse
2. Vier Schwerpunkte von Gefährdungen/Risiken (ganzheitliche Sicht)
3. Kritisches Verletzungsrisiko bei Kollision
4. Gesundheitliche Eignung von Personen, die mit kollaborierenden Robotern zusammen arbeiten
5. Prüfung von sicherheitstechnischen Anforderungen
6. Ausblick

Arbeitsschutzrechtliche Grundlagen – Ziel

■ Maschinenrichtlinie

■ Relevante Normen für Roboter: ISO/FDIS 10218 Teil1 und Teil2

- Eine Gefährdungsanalyse muss erstellt werden!
- BGZ-Report 5/2000 „Gefährdungsbeurteilung“
(Unterstützung der Betriebe bei der Gefährdungsbeurteilung durch die UVT:
Leitfäden, Handlungshilfen, Kataloge, Sicherheitschecks, Broschüren, usw.)
- Es gibt bisher keine ausreichenden Anleitungen zur Durchführung von
Gefährdungsanalysen für Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern.
- Aufgabenstellung:

***Erstellung von Handlungsanleitungen (Checklisten) zur
Durchführung einer Gefährdungsanalyse für Arbeitstätigkeiten mit
kollaborierenden Robotern***

Schwerpunkte von Gefährdungen/Risiken

- **Mechanische Gefährdungen (ISO/FDIS 10218 Teil 1 und 2)**
(Klemmen/Quetschen, Abscheren, Schneiden/Abtrennen, Erfassen, Einziehen/Fangen, Stoßen, Aufwickeln, Tordieren, Kippen des Roboters)
- **Gefährdungen durch Missachtung ergonomischer Grundsätze bei der Gestaltung** (allgemeine ergonomische Gestaltungsanforderungen; Körperhaltungen: Zwangshaltungen, statische Haltungen, Repetitionen, schwierige/unmögliche anatomische Haltungen → Aspekte der Usability bei der Gestaltung des HMI)
- **Psychomentale Gefährdungen**
(Fehlverhalten/Stress: persönliche Defizite: Akzeptanz/Kompetenzüberzeugung; hohe Anforderungen an Konzentration/Leistung, unerwartete oder zu komplexe Prozesse)
- **Manipulation der Schutz/Steuerfunktionen eines kollaborierenden Roboters**
Report: „Manipulation von Schutzeinrichtungen an Maschinen“, Februar 2006
 - Einschätzung der Manipulationshäufigkeit: 25 bis 35 % sind manipuliert
 - bei der Hälfte kann es zu Unfällen kommen
 - ein Viertel der Unfälle an Maschinen ist auf Manipulation zurückzuführenWas bedeutet dies für Arbeitsplätze mit kollaborierenden Robotern?

Kritisches Verletzungsrisiko bei Kollision

Sicherheitsanforderungen für Kollisionsereignis

$$VR = f(F, P, A, E) \leq VR_{krit.} \text{ (Quantität relevanter Einflussgrößen)}$$

Verletzungsrisiko Einflussgrößen

kritisches Verletzungsrisiko:
Verletzung = f (Quantität aller relevanten Einflussgrößen)

aus:
 Unfalldaten
 Leichenversuchen
 medizinischen Untersuchungen
 Orthopädie
 Dummyversuchen
 vorhandenen Regelungen
 z. B. Bustüren usw.



Mensch:
 anthropologische/
 biomechanische/
 physikalische
 Einflussgrößen
 (verformbar)



Kollaborierender Roboter:
 technische/
 technologische/
 physikalische
 Einflussgrößen
 (~unverformbar)

Gestaltung von relevanten Robotereigenschaften

Prüfung des Verletzungsrisikos

Was darf passieren?

Kritisches Verletzungsrisiko VR_{krit}

- Ermittlung für alle relevanten Körperbereiche (Körpermodell); Einteilung im Sinne von zu unterscheidender Verletzungsschwere
- Ermittlung für alle relevanten Belastungsarten (Stößen, Quetschen, usw.)
- Orientierung an Verletzungsschwereskalen (z. B. Abbreviated Injury Scale – AIS) und anerkannter Klassifizierung von Verletzungen (z. B. ICD 10)
- Formulierung des VR_{krit} in „Verletzung“ und „Verursachende Einflussgrößen“
- Ergebnisse:
 - Ableitung von Anforderungen: Sets an Grenz- und Strukturwerten für alle Körperbereiche und Belastungsarten
 - Gestaltungsdaten für Design, Steuer- und Sicherheitsfunktionen (Überprüfbarkeit)

Akzeptieren wir das ?



Modell relevanter Körperbereiche

HKB		EKB		HKB		EKB	
1	Gesamtorganismus	1.1	Gesamtbereich	5	Rumpf	5.1	Gesamtbereich
2	Kopf	2.1	Gesamtbereich	6	Untere Gliedmaßen	5.2	Brustwand
		2.2	Schädel			5.3	Brusteingeweide
		2.3	Gesicht			5.4	Brustwirbelsäule
		2.4	Augen			5.5	Bauch
		2.5	Ohren			5.6	Oberer Rücken
		2.6	Nase			5.7	Unterer Rücken
		2.7	Mund			5.8	Lendenwirbelsäule
3	Hals	3.1	Gesamtbereich			6.1	Gesamtbereich
		3.2	Kehlkopf	6.2	Becken		
		3.3	Vorderer Bereich	6.3	Hüften		
		3.4	Seitlicher Bereich	6.4	Hüftgelenke		
		3.5	Rückwärtiger Bereich	6.5	Oberschenkel		
		3.6	Halswirbelsäule	6.6	Knie		
4	Obere Gliedmaßen	4.1	Gesamtbereich	6.7	Kniegelenke		
		4.2	Schultern	6.8	Unterschenkel		
		4.3	Schultergelenke	6.9	Füße		
		4.4	Oberarme	6.10	Fußgelenke		
		4.5	Ellenbogengelenke	6.11	Zehen		
		4.6	Unterarme	6.12	Zehngelenke		
		4.7	Hände				
		4.8	Handgelenk				
		4.9	Finger				
		4.10	Fingergelenke				

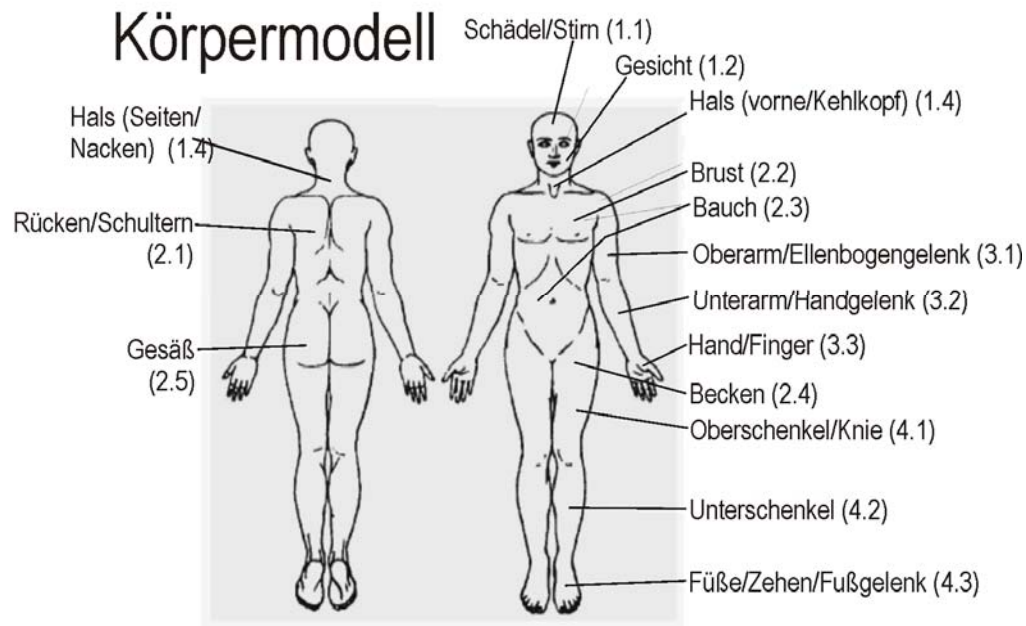
HKB	Hauptbereiche des Körpermodells
EKB	Einzelbereiche des Körpermodells

- Einteilung in Haupt- und Einzelbereiche
- Grenzbeanspruchungen für
 - Haupt- und Einzelbereiche
 - Belastungsarten

z. B.:

- **Rumpf Stoßereignis**
 Maximale Kraft
 Maximale Flächenpressung
- **Untere Gliedmaßen Klemm-/Quetschereignis**
 Maximale Klemmkraft
 Maximale Flächenpressung
- **Hände Scheerereignis**
 Maximale Scherkraft
 Maximale Scherspannung
- usw.

Einfaches Körpermodell mit Verletzungskriterien/Strukturkriterien



Verletzungskriterien

- Stoßkraft
- Klemm-/Quetschkraft
- Druck/Flächenpressung

Strukturkriterien

- Weichheit/Kompressionsfähigkeit, usw.

Allgemeine Anforderungen

- keine irreversiblen Verletzungen; keine inneren Verletzungen, keine stark blutenden Wunden, keine Knochenbrüche

Aspekte einer gesundheitlichen Eignung

- Festlegung einer allgemeinen Gesundheit im Sinne von Mindestanforderung
 - Kriterien, orientiert am Tätigkeitsprofil/Risikoprofil (z. B. eingeschränkte Sehfähigkeit, eingeschränkte Bewegungsfreiheit der Glieder, Krankheitsstatus, usw.)
- Check der gesundheitlichen Eignung
 - z. B. in Anlehnung an die Arbeitsmedizinische Grundsatzuntersuchung: „G25 – Fahr-, Steuer- und Überwachungstätigkeiten“ (Sehschärfe Ferne/Nähe, räumliches Sehen, Farbsinn, Gesichtsfeld, Hörvermögen)
 - Erhebung Krankheitsstatus (keine chronischen/akuten Krankheiten, die die relevante gesundheitliche Eignung herabsetzen; Festlegung der Wiederholung (z. B. alle drei Jahre), Maßnahmen, Empfehlungen, wenn die Eignung eingeschränkt ist, usw.)
 - Reaktionsfähigkeit, Wahrnehmung, Kontroll-/Kompetenzüberzeugung

Aufgabenstellung: Erarbeitung von Anforderungskriterien für die Feststellung der gesundheitlichen Eignung (Arbeitsmediziner/Betriebsarzt)

Prüfung der Anforderungen (Verletzungsrisiko)

■ Beispiel (Basis ist die Gefährdungsanalyse):

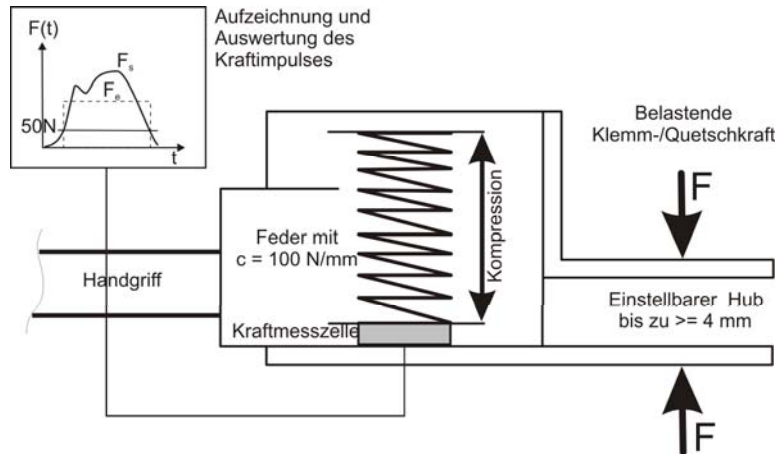
- In einem Kollisionsraum liegt die Gefährdung Klemmen (Quetschen) der Finger und der Hände bis in den Bereich der Unterarme vor.
- Gefährdungsanalyse $\rightarrow VR_{krit} \rightarrow$ Set (Grenzwerte)
- Es gilt die kleinste der maximalen Klemmkräfte FK_{max} für die Körperbereiche: Finger, Hände, Unterarme.
- Anforderungswert beträgt $FK_{max} = 100 \text{ N}$
- Weitere Anforderungen müssen berücksichtigt werden.

■ Prüfung der sicherheitstechnischen Anforderungswerte:

- Simulation der Kollision
- Prüfung der Kräfte mit einem Klemm-/Quetschkraftmessgerät (z. B. mit Messgerät für fremdkraftbetätigte Bus-Luken und Pkw-Fenster)

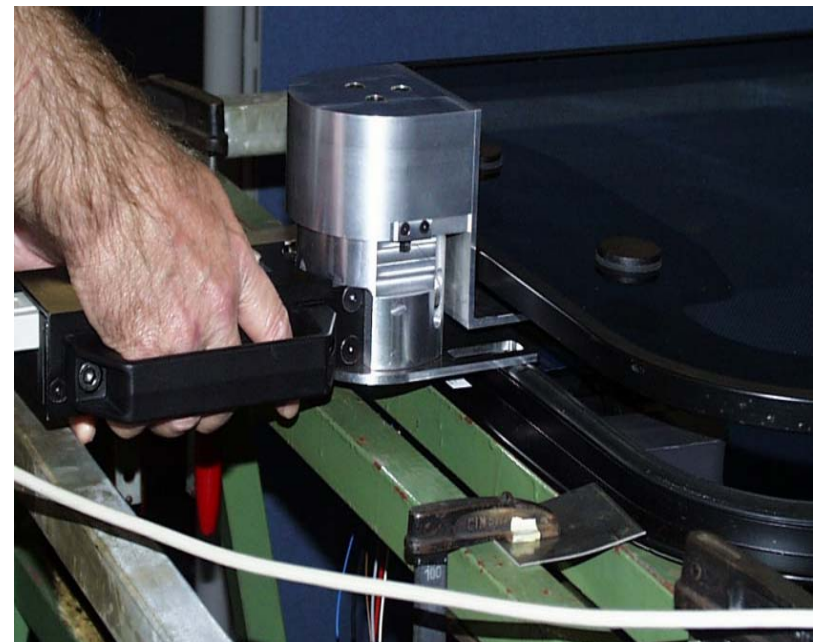
■ **Bewertung**

Schließkraftmessgerät für Luken/Fenster



- Federsteifigkeit von 100 N/mm (bildet in grober Näherung die Verformbarkeit der Hand ab)
- Aufzeichnen des Kraftimpulses
- Berechnung von F_{\max}
- Berechnung von FK (nach z. B. 5 s)
- **Bewertung**

- Die Klemmkraft wird mit einer seitlichen Gabelkonstruktion mechanisch aufgenommen.
- Dadurch können Kräfte in Spaltbreiten bis 4 mm gemessen werden (Fensterscheiben/Luken).



Prüfung der Anforderungen (Verletzungsrisiko)

- Beispiel (Basis ist die Gefährdungsanalyse):
 - In einem Kollisionsraum liegt eine Stoßgefährdung des Kopf-Hals-Bereiches vor.
 - Gefährdungsanalyse $\rightarrow VR_{krit} \rightarrow$ Set (Grenzwerte)
 - Es gilt die kleinste der maximalen Stoßkräfte für die Einzelbereiche $FS_{max} = 120$ N.
 - Weitere ergonomische und allgemeine Anforderungen müssen berücksichtigt werden.
- Prüfung der sicherheitstechnischen Anforderungswerte:
 - Simulation der Stoßkollision mit einem *biofidelen Prüfkörper* (Spezifische mechanische Verformungseigenschaften des Kopf-Hals-Bereiches; spezifisches Gesamtträgheitsverhalten des Körpers, Reproduzierbarkeit!)
 - Kraft-/Druckmessung an der Kontaktstelle; Messen von inneren Beschleunigungen
 - Anwendung von biomechanischen Verletzungskriterien (z. B. im Halsbereich mit dem NIC (Neckcriteria), Spitzenwerte von Beschleunigungen, andere kinematische Größen: z. B. Rotationsbeschleunigungen, Winkel, usw.)
- **Bewertung**

Zusammenfassung und Ausblick

- Die Gefährdungsanalyse besitzt zentrale Bedeutung für die Gewährleistung der Arbeitssicherheit bei Tätigkeiten mit kollaborierenden Robotern.
- Die Erstellung von Handlungsanleitungen mit klarem, strukturiertem Leitfaden wäre sinnvoll, um ein gleiches und umfassendes Anforderungsniveau zu schaffen.
- Erfassung, Bewertung von Gefährdungen/Risiken mit interdisziplinärer Struktur, gesundheitliche Eignung, geeignete differenzierte Maßnahmen
- Zum jetzigen Zeitpunkt liegen mehrere Problemstellungen für Forschungsarbeiten vor:
 - Entwicklung eines Körperbereichsmodells
 - Ermittlung von Verletzungsschwere (Körperbereiche und Belastungsarten)
 - Festlegung von kritischen Verletzungsschweren VR_{krit}
(Sets an Anforderungswerte: Grenz-, Orientierungs- und Gestaltungswerte)
 - Eignungsprüfung (Gesundheitscheck, Standardwerte für Reaktion und Wahrnehmung)
 - Prüfungsverfahren zur Prüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen
- ***Einsetzen einer Arbeitsgruppe zur Bearbeitung der Themen
(Einbindung des Deutschen Werksärzteverbandes)***