

Fachgespräch Maschinenschutz am 5./6. Mai 2009 im BGIA

Arbeitssicherheit an Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern

Dipl.-Ing. Hans Jürgen Ottersbach

*BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen
Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)*

Dr. Matthias Umbreit

*Fachausschuss Maschinen,
Fertigungssysteme, Stahlbau,
BG Metall Nord Süd*

Inhalt

1. Normen für Industrieroboter
2. Derzeitige Anforderungen an kollaborierende Roboter (Defizite)
3. Projekt:
Entwicklung ergänzender/präzisierender Anforderungen
(Vorstellung der Schwerpunkte des Projekts)
4. Ergebnis:
„Handlungshilfe zur Gestaltung von Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern“ (Praxistaugliches Dokument, Vorstellung der Schwerpunkte)
5. Weiteres Vorgehen (Forschungsaufgaben) und Ausblick

Normen für Industrieroboter

INTERNATIONAL STANDARD **ISO 10218-2**

Robots for industrial environment - Safety requirements - Part 2: Robot System and Integration

In Vorbereitung



Deutsche Norm Februar 2007

DIN EN ISO 10218-1	
---------------------------	---

Ersatz für
DIN EN 775:1993-08

Industrieroboter-
Sicherheitsanforderungen-
Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2006);
Deutsche Fassung EN ISO 10218-1:2006

Neuauflage 2007

Deutsche Norm August 1993

Industrieroboter Sicherheit <small>(ISO 10218-1:1992 modifiziert) Deutsche Fassung DIN 775</small>	DIN EN 775
--	-------------------

ZURÜCKGEZOGEN

Juli 1987

<small>VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE</small>	Sicherheitstechnische Anforderungen an Bau, Ausrüstung und Betrieb von Industrierobotern	VDI 2853
--	---	-----------------

ZURÜCKGEZOGEN

Normen für Industrieroboter

EN ISO 10218-1:2007

- Gilt für den „nackten Roboter“
- Neuausgabe im Jahr 2007
- Anpassung an ISO 13849-1 Steuerungen, startet im Mai 2009
- Gleichzeitig erfolgt die Anpassung an die in Kürze fertig gestellte ISO 10218-2

Entwurf: prEN ISO 10218 Teil 2

- Gilt für das „Robot System“ (Roboteranlage)
- Die Norm wird vollkommen neu erstellt (Vorlage USA: ANSI/RIA 15.06)
- Veröffentlichung Ende 2009 als FDIS (letzter Entwurf, nur noch editorielle Änderungen zulässig)
- Herausgabe als DIN EN 10218-2 im Jahr 2010

Derzeitige Anforderungen an kollaborierende Roboter

EN ISO 10218-1:2007

- Bei kraftbegrenzten Robotern
Begrenzung auf 150 N ohne Angabe der Flächen (Druck/Flächenpressung)
- Oder: Begrenzung der Leistung ohne Berücksichtigung der Kraft
- Geschwindigkeitsbegrenzung auf 250 mm/s ohne Berücksichtigung der Umgebung
- Keine Unterscheidung zwischen dynamischen und statischen Kräften

Entwurf: prEN ISO 10218 Teil 2

- Beschreibung von Szenarien kollaborierender Roboter (konventionell, ohne Kraftbegrenzung), z. B. Wechsel zwischen konventionellem und kollaborierendem Betrieb
- Kantenradien max. 5 mm für kraft-/momentbegrenzte Roboter
- Hinweise für Risikoanalyse nach Anhang H2 (z. B. Hinweis auf Differenzierung nach gefährdetem Körperteil, mögliche Gefahrstellen)

Fazit: Die derzeitigen Anforderungen sind noch nicht aufeinander abgestimmt und müssen überarbeitet werden.

→ **Medizinisch/biomechanische Grenzwerte fehlen!**

Verletzungsschwere – Grenzen

- In den festgelegten Haupt- und Einzelkörperbereichen nach Körpermodell dürfen ausschließlich solche Beanspruchungen der Haut und des darunter liegenden Binde- oder Muskelgewebes eintreten, bei denen es nicht zu einem tieferen Durchdringen der Haut und des Gewebes mit blutenden Wunden sowie zu Frakturen oder anderweitigen bleibenden Schäden des Skelettsystems kommt.
- Es dürfen darüber hinaus keine Verletzungen entstehen, bei denen die Verletzungsschwerekategorie 1 der Abbreviated Injury Scale – AIS [\[1\]](#) sowie Verletzungsschweren mit den Kodierungen für oberflächliche Verletzungen des ICD-10-GM 2006 [\[2\]](#) überschritten werden.

[\[1\]](#) Abbreviated Injury Scale – AIS 2005

[\[2\]](#) ICD-10-GM 2006 Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme



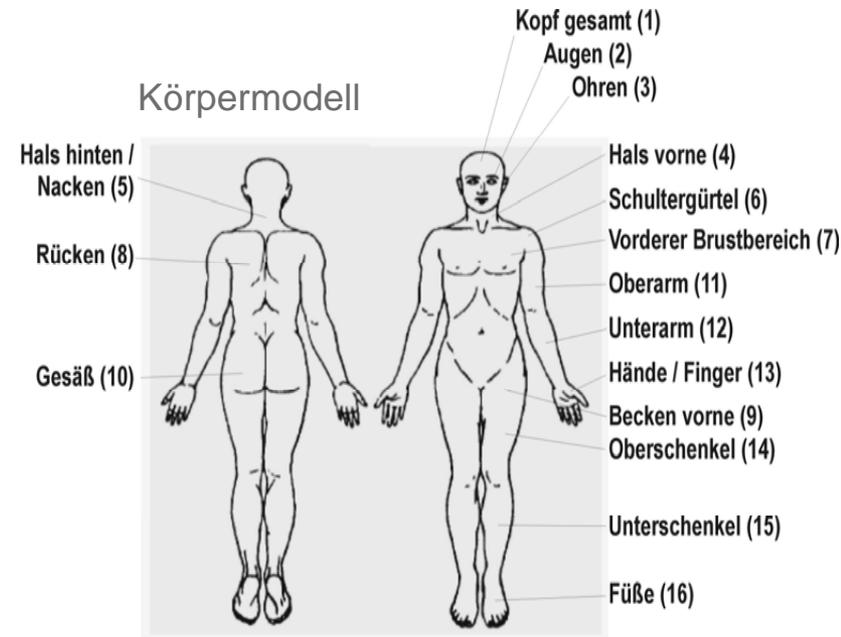
Kollision ist ein Unfall!

Technologische Anforderungen:

- Keine scharfen, scherenden, schneidenden Kanten oder raue Konstruktionsteile
- Flächenhafte Berührungen (Gehäuse, Abdeckungen, Trennflächen)

Körpermodell

Körpermodell (Hauptbereiche)	Code des Körperbereichs	Einzelkörperbereiche
Hauptbereich 1: Kopf mit Hals	1.1	Schädel/Stirn
	1.2	Gesicht
	1.3	Hals (Seiten/Nacken)
	1.4	Hals (vorne/Kehlkopf)
Hauptbereich 2: Rumpf	2.1	Rücken/Schultern
	2.2	Brust
	2.3	Bauch
	2.4	Becken
	2.5	Gesäß
Hauptbereich 3: Obere Extremitäten	3.1	Oberarm/Ellenbogengelenk
	3.2	Unterarm/Handgelenk
	3.3	Hand/Finger
Hauptbereich 4: Untere Extremitäten	4.1	Oberschenkel/Knie
	4.2	Unterschenkel
	4.3	Füße/Zehen/Fußgelenk



- Anwender/Systemintegrator/verantwortliche Person entscheidet, welche Körperbereiche betroffen sind
- Reduzierung des Kollaborationsraumes begrenzt Körperbereiche

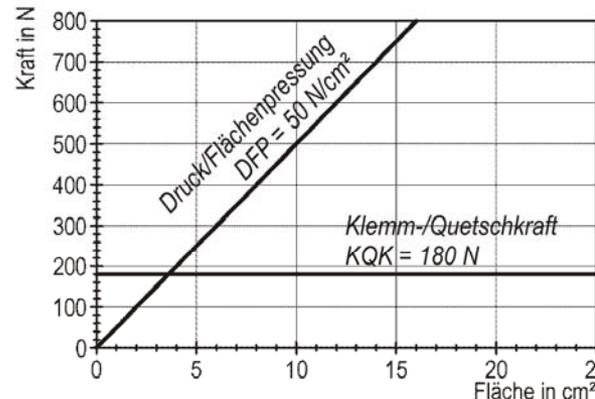
Verletzungskriterien/Gestaltungsgrößen

Verletzungskriterien

- **Klemm-/Quetschkraft (KQK in [N])**
einwirkende Kollisionskraft
- **Stoßkraft (STK in [N])**
einwirkende Kollisionskraft
- **Druck/Flächenpressung (DFP in [N/cm²])**
in der Kollisionsfläche

Orientierende Gestaltungsgrößen

- **Kompressionskonstante (KK in [N/mm])**
des individuellen
Körperbereiches
- **Minimale Kollisionsfläche (gleiche Partialdrücke in der Fläche)**
- usw.



Beispiel einer Kollision:

Klemm-/Quetschvorgang an der Hand

Grenzwerte der Verletzungskriterien:

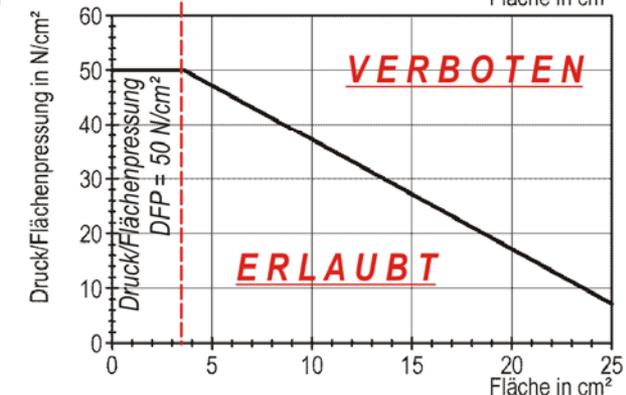
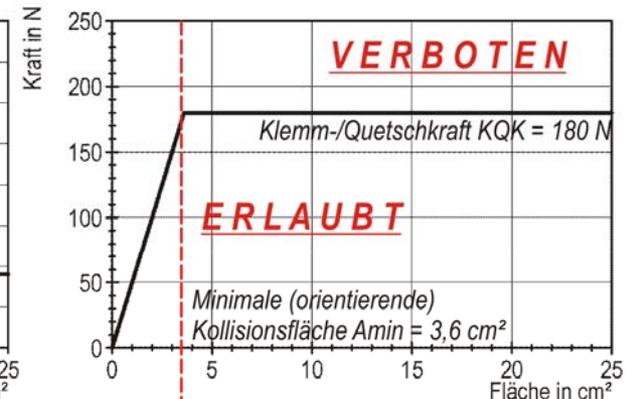
Klemm-/Quetschkraft KQK = 180 N
Druck/Flächenpressung DFP = 50 N/cm²

Orientierende Kollisionsfläche:

Minimale Kollisionsfläche $A_{min} = 3,6 \text{ cm}^2$

Verformung der Hand:

Kompressionskonstante KK = 75 N/mm
Maximale Kompression $K_{max} = 2,4 \text{ mm}$



Grenzwerte (Literaturstudie/PTL-Kontrollversuche)

Vorstudie: Literaturrecherche zu Verletzungsdaten bei mechanischen Einwirkungen bezogen auf alle einzelnen Körperbereiche (Angaben: Verletzungen, einwirkende mechanische Größen: z. B. : statische/dynamische Bruchkräfte, Pain-Tolerance-Level-Werte, Druckwerte, Energien, Geschwindigkeiten, Zeitdauern)

Körpermodell (Hauptbereiche)	KB	Einzelkörperbereiche	Grenzwerte			KK
			KQK	STK	DFP	
			[N]	[N]	[N/cm ²]	
Hauptbereich 1: Kopf mit Hals	1.1	Schädel/Stirn	130	175	30	150
	1.2	Gesicht	65	90	20	75
	1.3	Hals (Seiten/Nacken)	145	190	50	50
	1.4	Hals (vorne/Kehlkopf)	35	35	10	10
Hauptbereich 2: Rumpf	2.1	Rücken/Schultern	210	250	70	35
	2.2	Brust	140	210	45	25
	2.3	Bauch	110	160	35	10
	2.4	Becken	180	250	75	25
	2.5	Gesäß	210	250	80	15
Hauptbereich 3: Obere Extremitäten	3.1	Oberarm/Ellenbogengelenk	150	190	50	30
	3.2	Unterarm/Handgelenk	160	220	50	40
	3.3	Hand/Finger	135	180	60	75
Hauptbereich 4: Untere Extremitäten	4.1	Oberschenkel/Knie	220	250	80	50
	4.2	Unterschenkel	140	170	45	60
	4.3	Füße/Zehen/Gelenk	125	160	45	75

Größe	Einheit	Anforderungskriterien in der HMI-Schnittstelle
KQK	[N]	Klemm-/Quetschkräfte
STK	[N]	Stoßkräfte
DFP	[N/cm ²]	Drücke/Flächenpressungen
KK	[N/mm]	Kompressionskonstante des Körperbereiches

Beispiel:

- Obere Extremitäten
- KQK = 135 N
- STK = 180 N
- DFP = 50 N/cm²
- KK = 75 N/mm



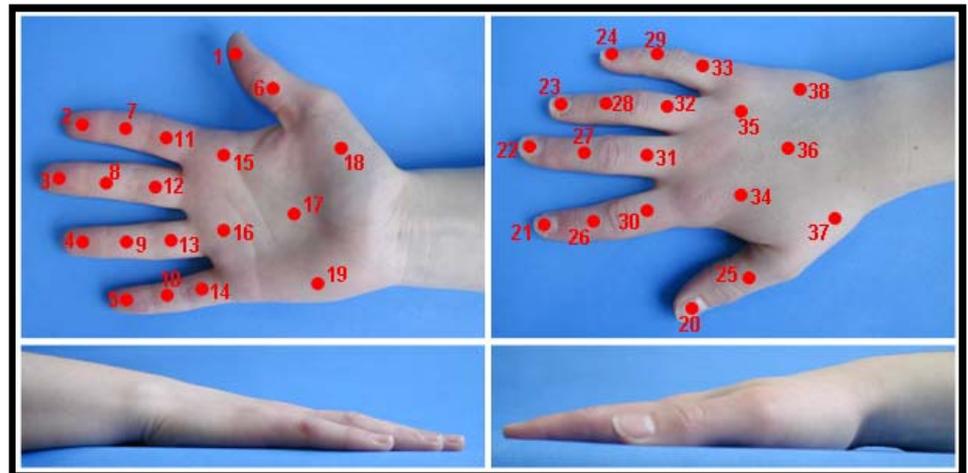
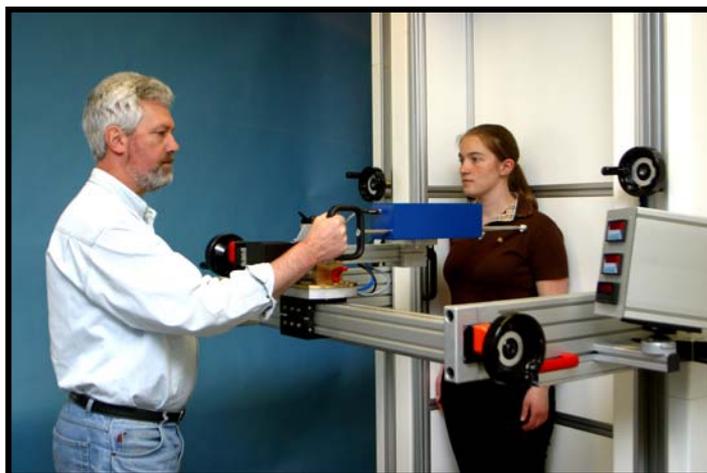
Arbeitssicherheit an Arbeitsplätzen mit kollaborierenden Robotern



Kontrollmessungen – PTL-Level

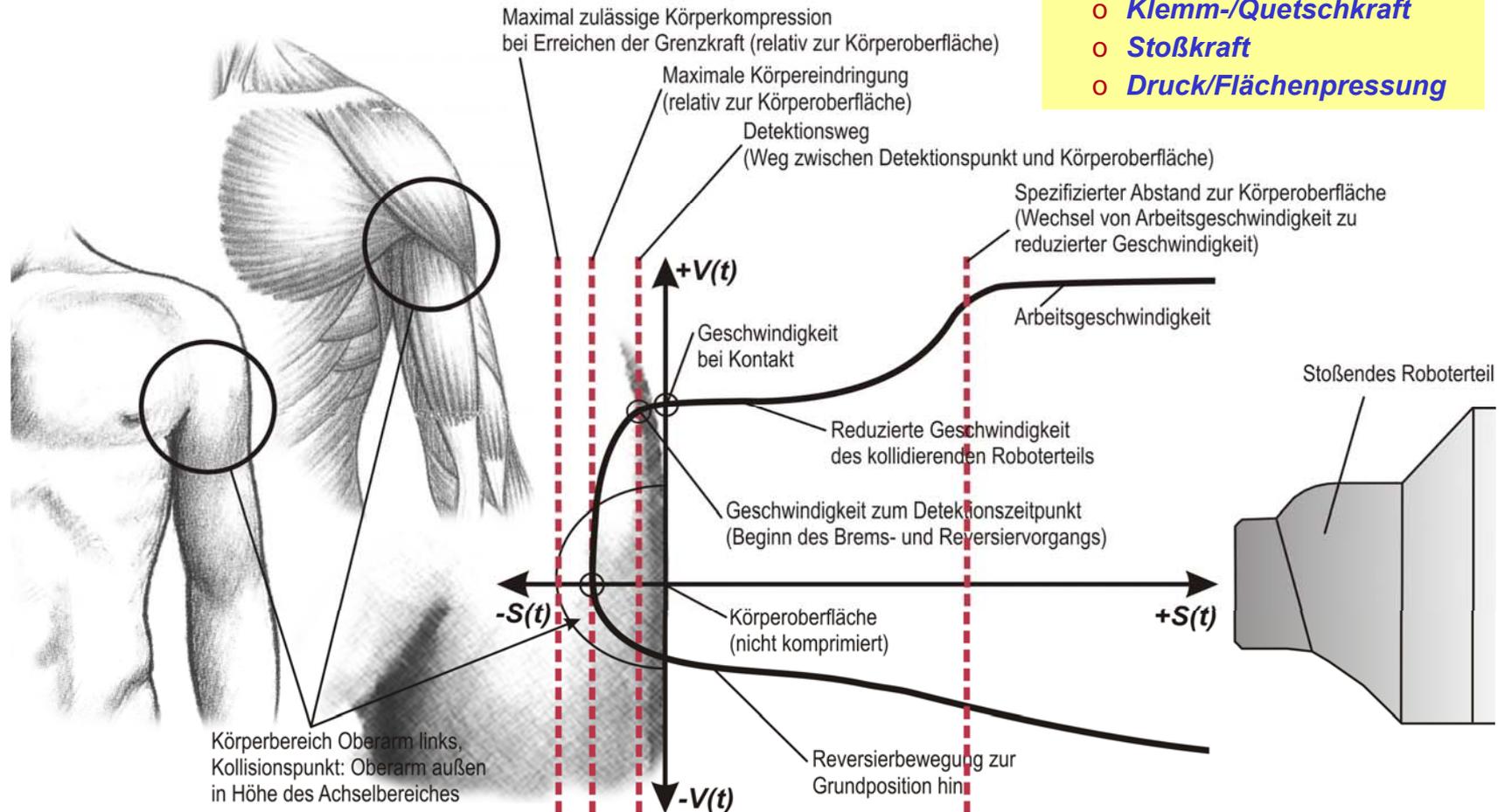
KQK(Hand) = 135 N

	Innenseite der Hand		Außenseite der Hand		Beide Handseiten	
F_{\min}	164	N	79	N	79	N
F_{\max}	396	N	211	N	396	N
F_{mittel}	268	N	125	N	197	N
25. Perzentil	233	N	96	N	124	N
10. Perzentil	198	N	86	N	93	N
Weg_{\min}	1,9	mm	1,4	mm	1,4	mm
Weg_{\max}	16,0	mm	7,2	mm	16,0	mm
Weg_{mittel}	5,0	mm	2,9	mm	3,9	mm
25. Perzentil	3,3	mm	1,7	mm	2,4	mm
10. Perzentil	2,4	mm	1,5	mm	1,6	mm



Kollisionsprozess

- Charakterisierende Verletzungskriterien**
- **Klemm-/Quetschkraft**
 - **Stoßkraft**
 - **Druck/Flächenpressung**



Handlungshilfe

ENTWURF

**Handlungshilfe zur Gestaltung von
Arbeitsplätzen mit Kollaborierenden Robotern**

Erstellt: Institut für Arbeitsschutz – BGIA
der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - DGUV

Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin

Initiator: Fachausschuss Maschinenbau, Fertigungssysteme, Stahlbau
Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd

Wilhelm-Theodor-Römheld-Straße 15
55130 Mainz-Weisenau

Dokument: HHKR : April 2009

Datum: 30.04.2009

Seite 1 von 27

Inhalt

- Einleitung
- Zweck
- Kollision und Verletzungskriterien
- Vorgehensweise bei der Anwendung der Handlungshilfe
- Anforderungen
 - Technologische Anforderungen
 - Medizinisch/biomechanische Anforderungen
 - Ergonomische Anforderungen
 - Arbeitsorganisatorische Anforderungen
- Prüfung der Anforderungen
- Vorgehensweise bei der messtechnischen Erfassung der Verletzungskriterien
- Beispiel zur Anwendung der Handlungshilfe
- Dokumentation
- **Anlagen:**
- Orientierende Informationen und Daten
- Checkliste und Empfehlungen zur Anwendung der Handlungshilfe in der betrieblichen Praxis

Weiteres Vorgehen und Ausblick

1. Erprobung der Handlungshilfe in der betrieblichen Praxis
2. Durchführung von weiteren Aufgabenstellungen (Projekten)
 - a) Erstellung eines Ganzkörper-Schmerzkatasters – Probanden
(in Kooperation mit der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Prof. Letzel)
 - b) Präzisere Verletzungsskalierung in AIS 1
 - c) Weitere Arbeiten zum Körpermodell
(grobtes Raster in PRINT-Form – hochauflösendes digitales Menschmodell)
 - d) Weitere Recherche zu medizinisch/biomechanischen Verletzungsdaten
(Sammeln der Daten in einer Datenbank, usw.)
 - e) Laboruntersuchungen zur Ermittlung weiterer dynamischer Belastungsdaten
(Stoßversuche mit Dummy-Hybrid III – Prüfung der Nutzbarkeit biomechanischer Verletzungskriterien zur Ermittlung von Verletzungsschwere)
 - f) Entwicklung von geeigneten Prüfgeräten zum Messen der Verletzungskriterien
(Signalverläufe: Stoßkraft/Quetsch-/Klemmkraft, Druck/Flächenpressung)