



IFA

Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Kollaborierende Roboter – Zum Stand von Forschung, Normung und Validierung

**97. Sicherheitswissenschaftliches
Kolloquium im Institut ASER, Wuppertal**

Michael Huelke, IFA

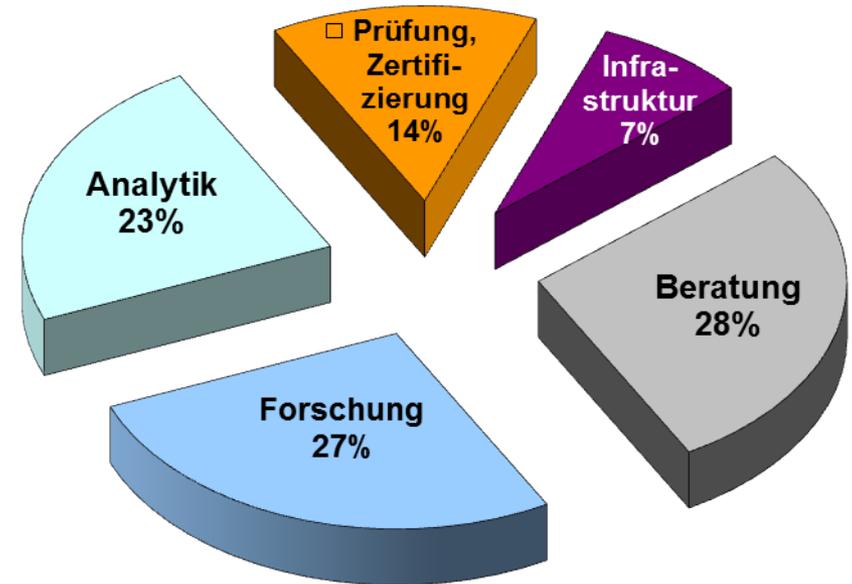
14.01.2014

Zur Person

- Dipl.-Ing. Elektrotechnik (Uni Hannover)
- Promotion Doktor der Humanbiologie (Medizinische Hochschule Hannover)
- 13 Jahre Industrieerfahrung in der Steuerungstechnik und Automatisierung von Maschinen und Anlagen
- Seit 2002 beim BGIA im FB Unfallverhütung – Produktsicherheit
- Seit 2006 Leitung des Referates „Neue Technologien, Mensch und Technik“
- Arbeitsschwerpunkte des Referates sind: funktionale Sicherheit von Steuerungen; Mensch-Maschine-Schnittstellen (informativ/mechanisch)

Zusammensetzung der Zuhörerschaft?

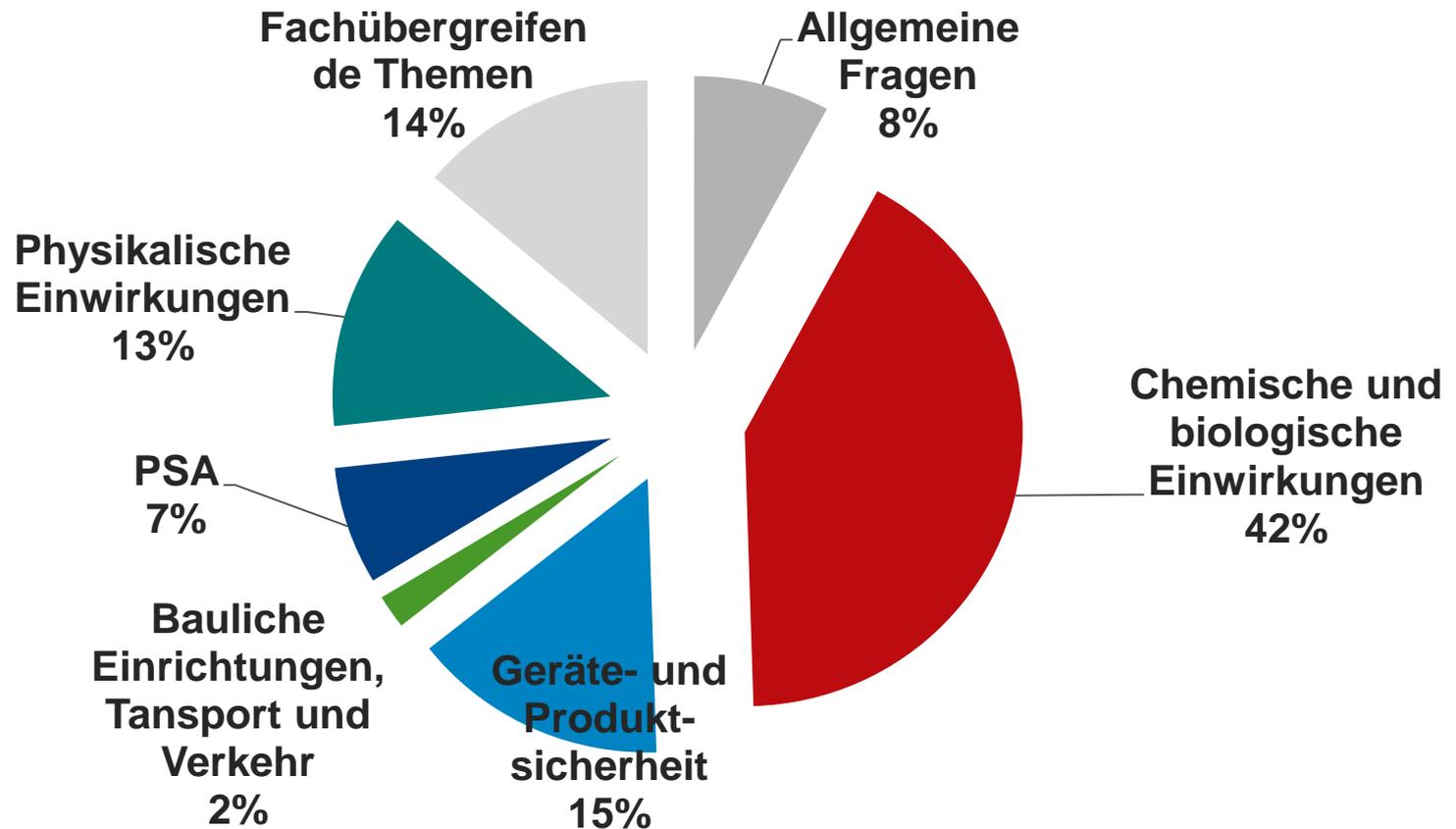
Aufgabenverteilung im IFA (2012)



Aktivitäten

- 1/4 im Bereich Unfallverhütung
- 3/4 im Bereich Berufskrankheiten und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren

Sachgebiete des IFA, relative Aufteilung (2012)



Referat 5.1 und kollaborierende Roboter

- Mechanische Körperbelastungen: Grenzwerte, Untersuchungs- und Messeinrichtungen
- Systemergonomische Untersuchungen (in Virtueller Realität)
- zusammen mit Referat 5.3 (Thomas Bömer): Schutz- und Steuereinrichtungen
 - ⇒ Promotion von Björn Ostermann

Was erwartet Sie heute?

- Einführung in das Thema „Kollaborierende Roboter“
- aus der Sicht des Arbeitsschutzes, der Unfallversicherung
- Schwerpunkt sind biomechanische Anforderungen,
- deren Festlegung und zugehörige Forschung im Umfeld des IFA
- deren Überprüfung und aktuelle Vorgehensweisen
- erste Erfahrungen aus Prüfung/Zertifizierung

Überblick

- Normung
- Was ist ein kollaborierender Roboter?
- Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
- Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
- Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
- Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion

Überblick

⇒ Normung

- Was ist ein kollaborierender Roboter?
- Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
- Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
- Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
- Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion

Normung für „Robots and robotic devices“ im ISO/TC 184/SC 2

- Anforderungen an kollaborierende Roboter verteilt auf EN ISO 10218 Teil 1 und Teil 2 - Safety requirements for industrial robots
- Detaillierte Anforderungen zu kollab. Robotern im Entwurf: ISO/TS 15066, später in 10218-2 zu überführen
- ISO/TS 15066: “Robots and robotic devices - Safety requirements - Industrial collaborative workspace”
- Empfehlungen von BG/IFA sind in den Entwurf der TS eingearbeitet und werden international diskutiert
- ISO 13482 - Safety requirements for personal care robots; Weitere Normen geplant: Medizinroboter, Serviceroboter usw.

Überblick

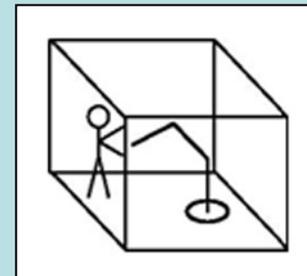
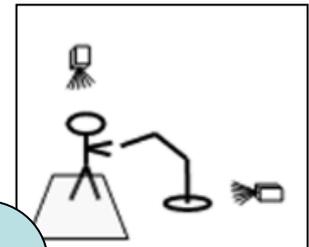
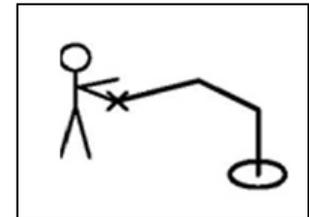
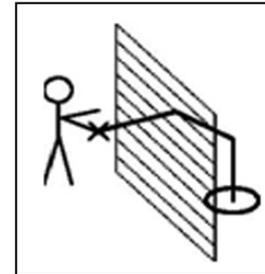
- Normung
- ⇒ **Was ist ein kollaborierender Roboter?**
- Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
- Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
- Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
- Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion

Definition eines kollaborierenden Roboters

- Aus DIN EN ISO 10218-2:2012
 - Roboter, der für das direkte Zusammenwirken mit dem Menschen innerhalb eines festgelegten **Kollaborationsraums** konstruiert ist
 - **Arbeitsraum** innerhalb des geschützten Bereichs, in dem der Roboter und der Mensch während des Produktionsbetriebs gleichzeitig [*vorher festgelegte*] Aufgaben ausführen können
 - Roboter einschließlich Werkzeug und Werkstück
 - Vier unterschiedliche Szenarien (je nach Autonomie des Roboters/Schutzmaßnahmen)
-
- Warum gibt es kaum Bilder/Videos? Viele geheime Projekte!

Kollaborations-Szenarien

- Sicherer Halt
- Handführung
- Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung
- Leistungs- und Kraftbegrenzung
(Kontakte mit bewegtem Roboter möglich)



Bildquelle:
ISO 10218-2:2011

Voraussetzungen für kollaborierende Roboter

- Meist kleine, dafür konstruierte sichere Roboter
- Es sind geeignete techn. Schutzmaßnahmen zu implementieren
 - PL d, Kategorie 3 bzw. SIL 2, HFT 1
- Wesentlicher Baustein sind sichere Steuerungen. Sie können alle Bewegungen der Roboter gezielt überwachen.
- Voraussetzung: Über sichere Sensoren wie z.B. Kameras, Ultraschallsysteme oder taktile Sensoren erkennt die Robotersteuerung, wo der Mensch sich bewegt
- Dennoch verbleibt ein Restrisiko eines Kontaktes

Überblick

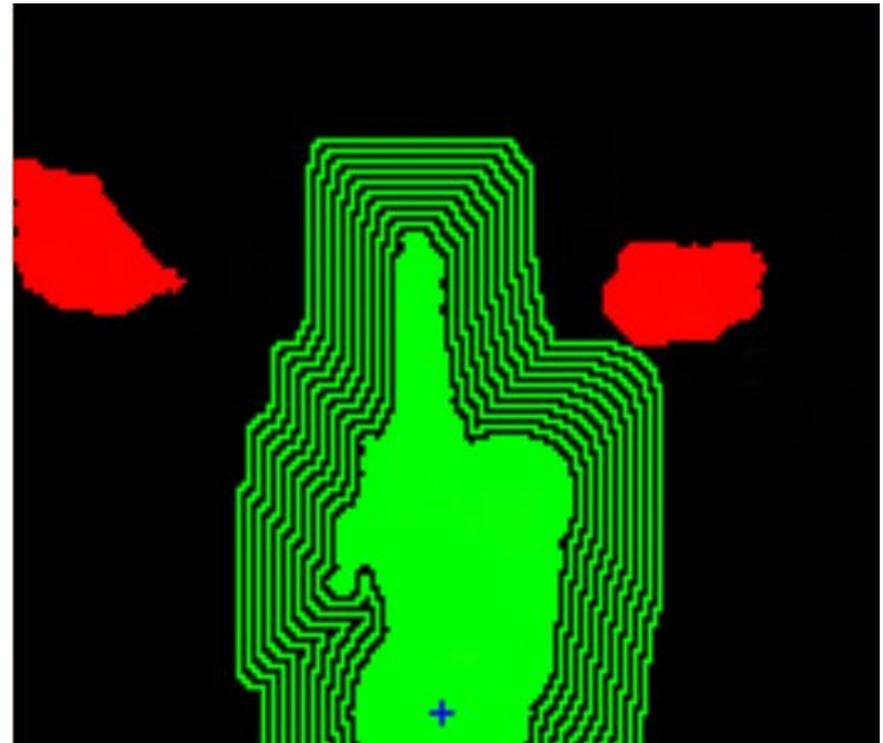
- Normung
- Was ist ein kollaborierender Roboter?
⇒ **Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen**
- Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
- Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
- Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion

Anforderungen in der Übersicht

- Technische Anforderungen
 - > Design und Steuerung des Roboters
- Biomechanische Anforderungen (bei Leistungs- und Kraftbegrenzung)
 - > Design und Steuerung des Roboters
- Ergonomische Anforderungen
 - > Design von Arbeitsplatz und Roboter
- Arbeitsorganisatorische Anforderungen
 - > Arbeitszeit, Eignung, Zugangsbeschränkungen, ...

Typische Sicherheitsfunktionen (ISO/TS 15066)

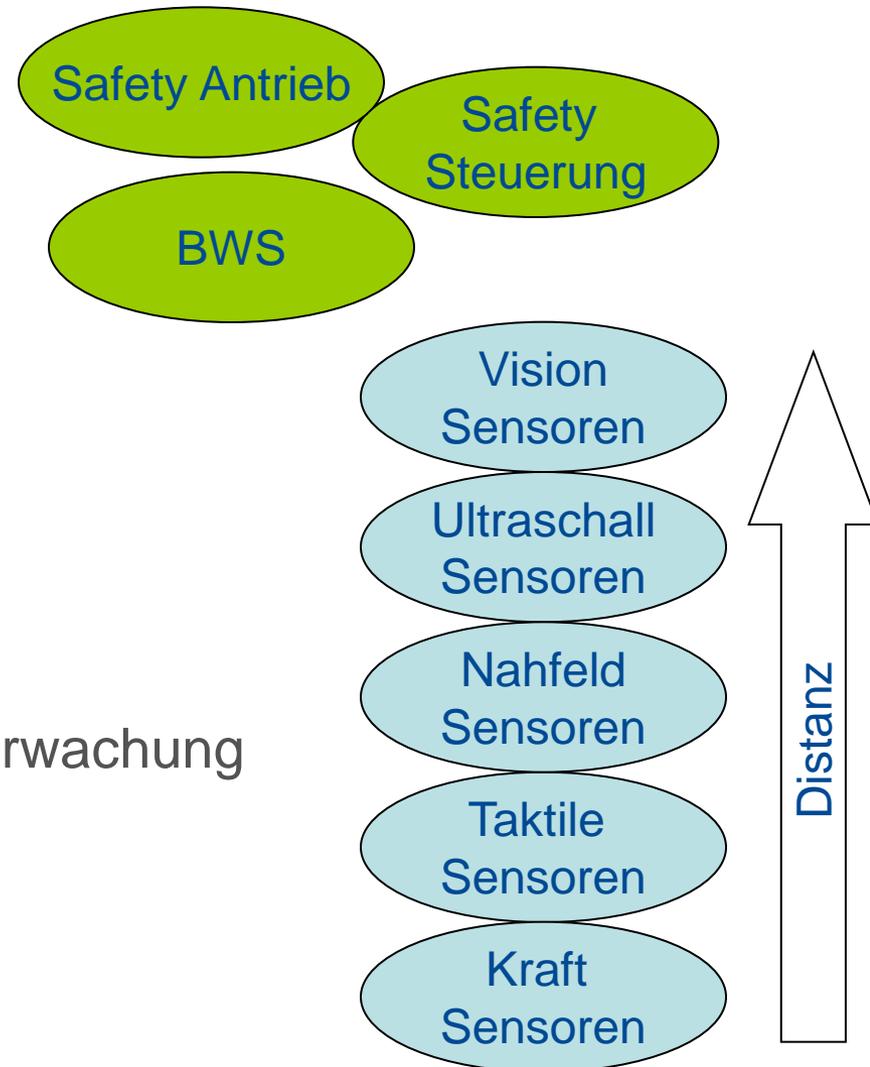
- Emergency stop function
- Protective stop function
- Minimum separation distance
- Maximum collaborative speed
- **Power/force limiting**
- ...



Bildquelle: IFA

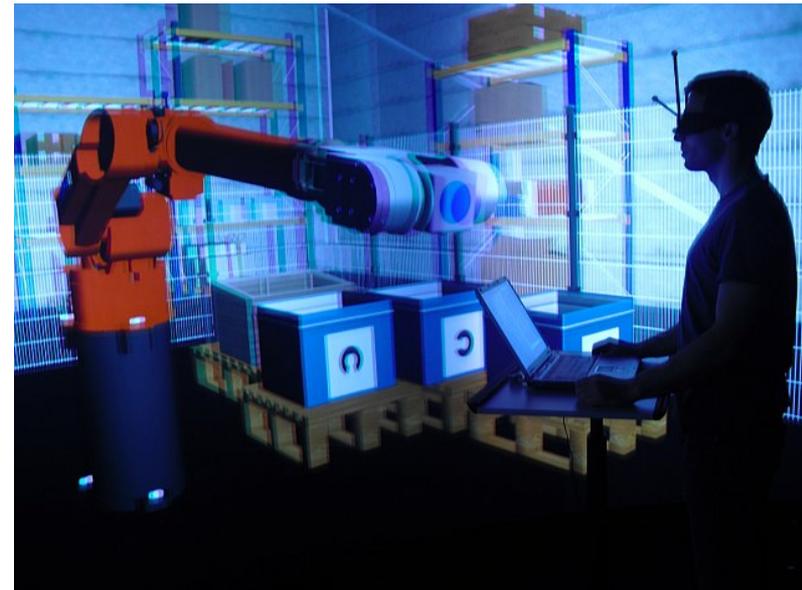
Wichtige Technologien

- Sicherer Halt
- Handführung
- Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung
- Leistungs- und Kraftbegrenzung



Ergonomische Anforderungen

- TS 15066: “Die Wahrnehmung, die Aufmerksamkeit und das Denken der Person darf durch die Arbeitsumgebung und den **kollaborierenden** Roboter nicht eingeschränkt oder gestört werden.“
- Ziel der Forschung: Konkrete Empfehlungen wie Abstand, Geschwindigkeit, Trajektorien, usw. damit Personen sicher und gesund arbeiten können
- Untersuchungen im IFA mit virtueller Realität im SUTAVE-Labor



Bildquelle: IFA

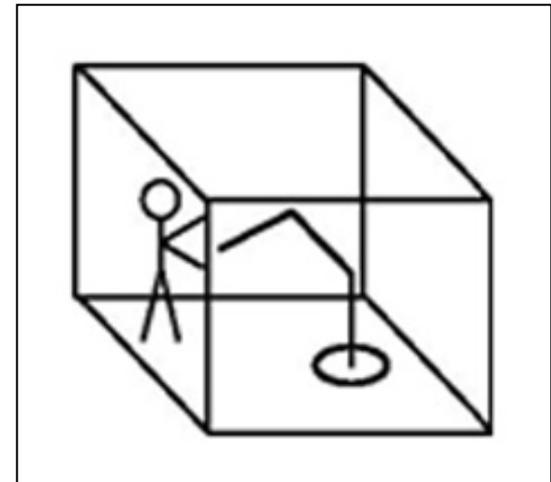
Arbeitsorganisatorische Anforderungen

- Zugangsbeschränkungen, z. B. Verbotsschilder, zum Kollaborationsraum
- Gesundheitliche Eignung einer Person sollte in geeigneten Abständen festgestellt werden
- Unterweisung über die Risiken, den Notfall und die dann erforderlichen Maßnahmen
- Rahmenbedingungen prüfen und festlegen (z. B. Arbeitszeiten, Pausen, Erste-Hilfe-Koffer, Meldebuch)
- Nach Kontakten mit dem Roboter sind die Arbeitsfähigkeit der Person und die korrekte Einrichtung des Arbeitsplatzes zu prüfen
- Arbeitsmedizinische Hinweise veröffentlicht durch Muttray et.al., JGU Mainz



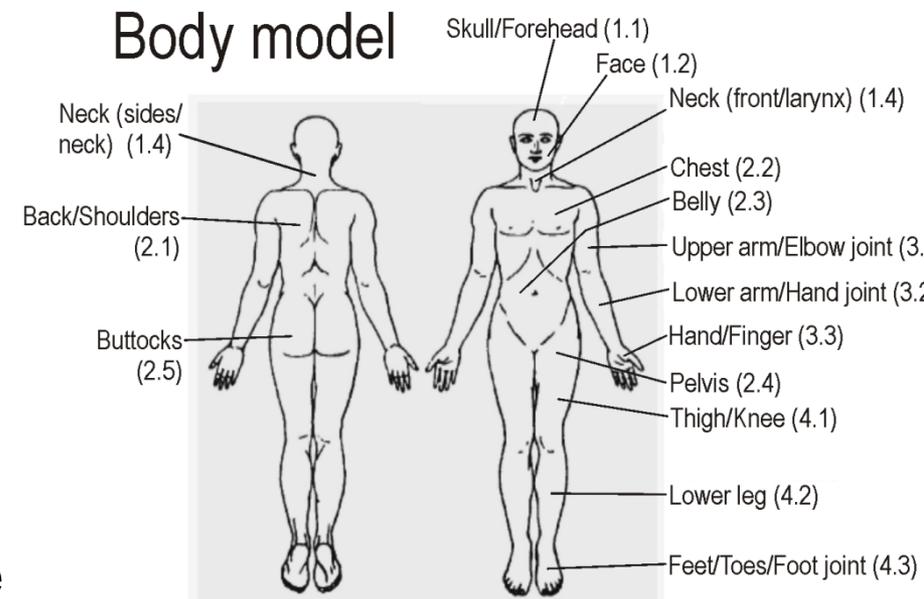
Biomechanische Anforderungen im Detail

Leistungs- und Kraftbegrenzung
(Kollisionen mit bewegtem
Roboter möglich)



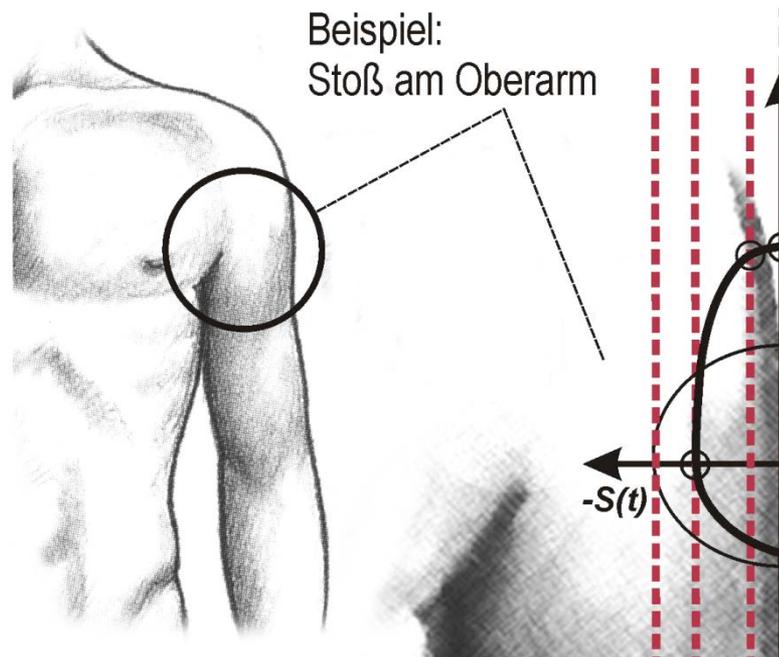
Risikoanalyse anhand eines Körpermodells

- Mechanische Belastungen führen am Körper zu unterschiedlichen Beanspruchungen
- Risikoanalyse: Welche Körperbereiche sind betroffen?
- Kollaborationsraum sollte so minimal wie möglich sein
- Möglichst wenig exponierte Körperbereiche
- Sicherheitskonzept muss Kontakte soweit möglich vermeiden
- Vom Roboter darf kein Kontakt ausgehen!

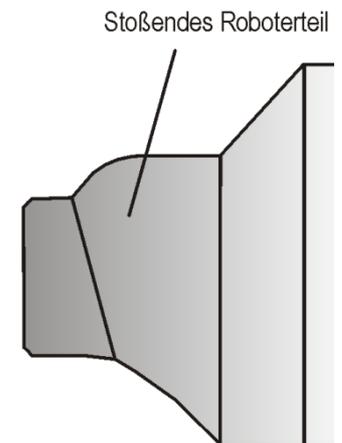


Bildquelle: IFA

Definition von Beanspruchungskriterien

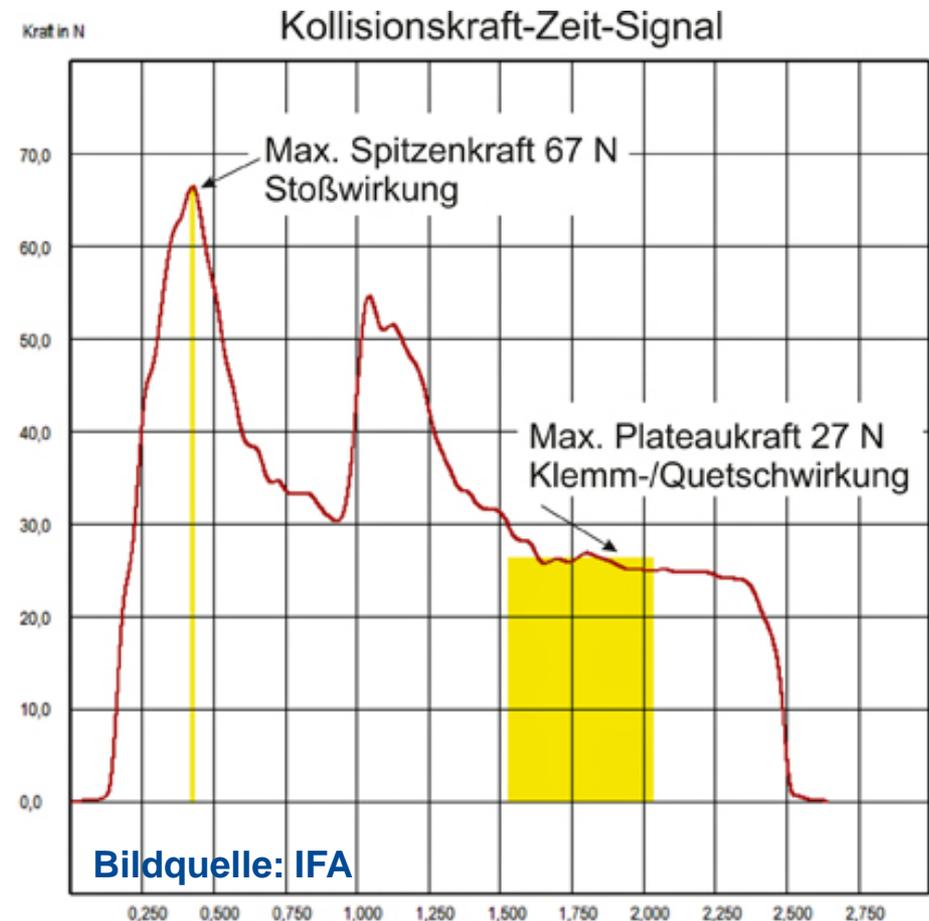


Bildquelle: IFA



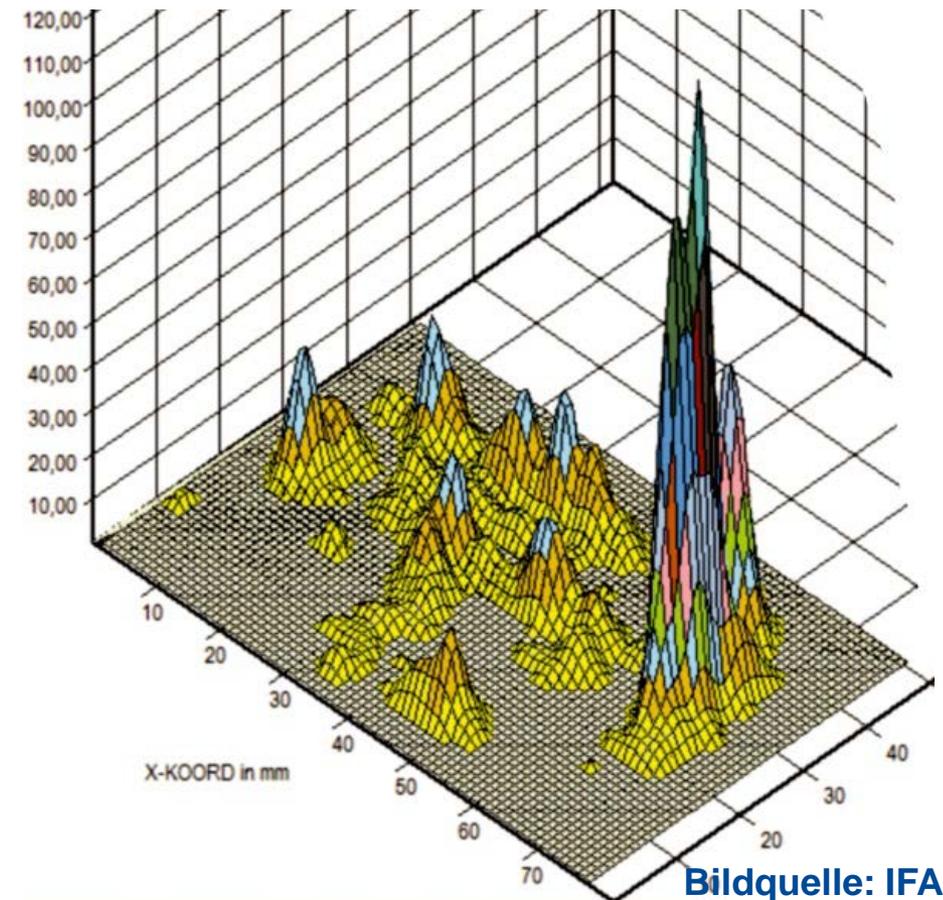
Definition von Beanspruchungskriterien

- Klemm-/Quetschkraft in [N]
- Stoßkraft in [N]



Definition von Beanspruchungskriterien

- Druck/Flächenpressung in $[N/cm^2]$
- Begrenzte lokale Beanspruchung (bis zur Verletzung) in der Kontaktfläche durch Druckspitzen

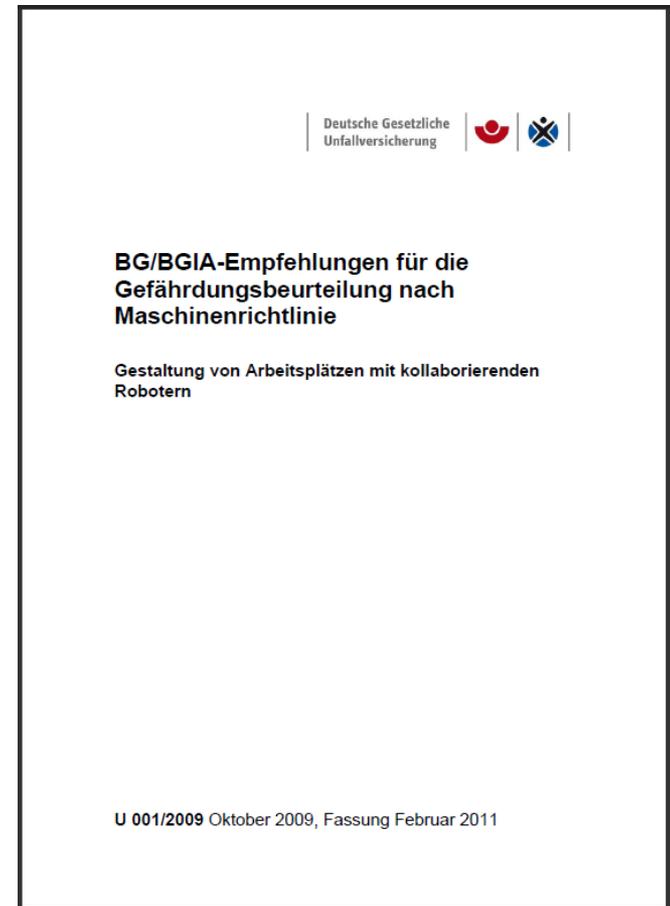


Bildquelle: IFA

BG/BGIA Empfehlungen (2009)

- Beanspruchungskriterien
- Anforderungen, orientierende Grenzwerte
- Prüfung der Anforderungen
- Vorgehensweise bei der messtechnischen Erfassung der Verletzungskriterien
- Beispiel
- Dokumentation
- Checkliste und Anwendungshilfen

Webcode d89188



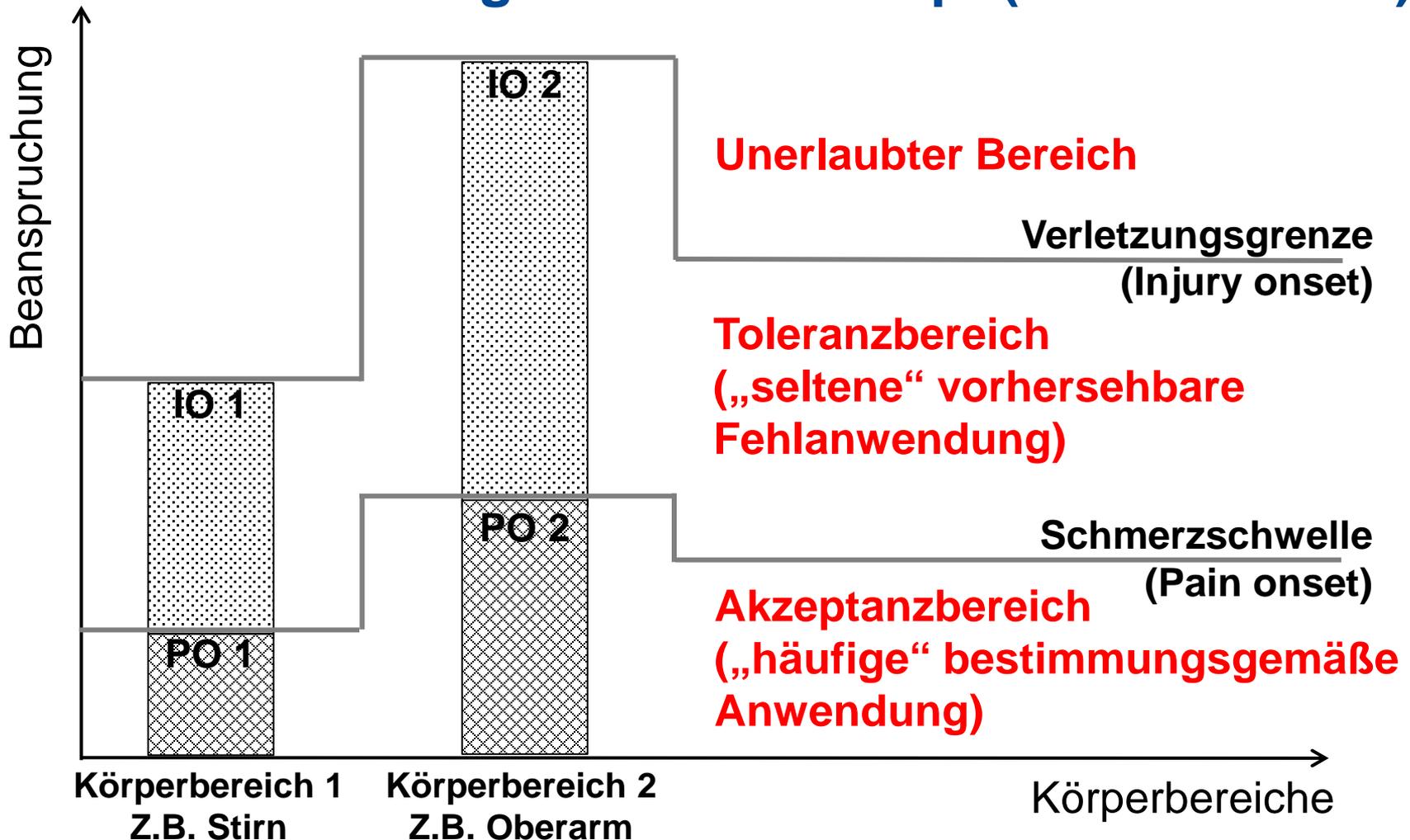
Bildquelle: IFA

Beispiel Grenzwerte

Körperrmodell (Hauptbereiche)	KB	Einzelkörperbereiche	Grenzwerte			KK
			KQK	STK	DFP	
			[N]	[N]	[N/cm ²]	[Nmm]
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

Bildquelle: IFA

Zweistufiges Risikokonzept (in Diskussion)



Überblick

- Normung
- Was ist ein kollaborierender Roboter?
- Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
- ⇒ **Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung**
- Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
- Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion

Forschungsübersicht

Mechanische Körperbeanspruchung

Grenzwerte/Skalierungen

Schmerzschwelle
(Akzeptanzbereich)

Verletzungsgrenze
(Toleranzbereich)

Uni Mainz (DGUV/IFA)
Probandenversuche

Fraunhofer IFF
Probandenversuche

DLR: Tierversuche

LMU: Simulationen

IFF (KAN): KAN-Studie 52 „Recherche“

IFA (BGHM): Datenbank

Validierung

Signalverarbeitung

Mechanische
Simulation

IFA (BGHM)
Auswertevorschrift

IFA (BGHM)
Nachgiebigkeit

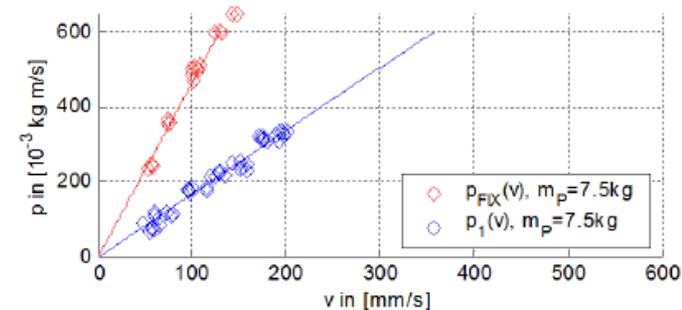
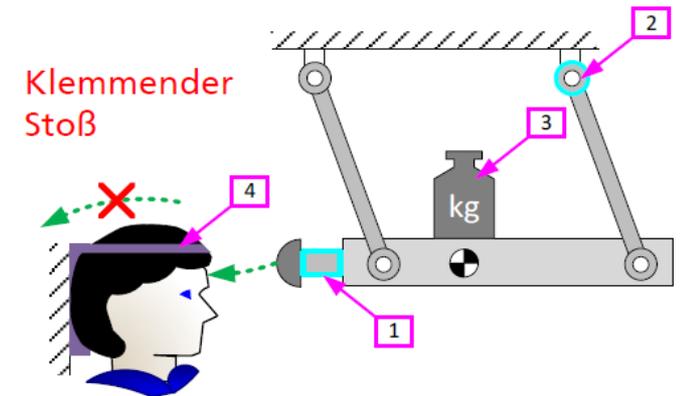
IFF (IFA,BGHM)
Trägheitseinfluss

KAN-Studie 52: Recherche Biomechanischer Belastungsgrenzen

- Projektauftrag: Kommission Arbeitsschutz und Normung KAN
- Projektnehmer: Fraunhofer IFF mit Institut für Rechtsmedizin (IFR) der Otto-von-Guericke-Universität, beide Magdeburg
- Laufzeit: November 2012 bis Dezember 2013
- Projektbegleitende Arbeitsgruppe
- Recherche von biomechanischen Belastungsgrößen/Grenzwerten
- Recherche von Verletzungsschwereskalen und -codierungen
- Erarbeitung von Vorschlägen, wie biomechanische Belastungsgrenzen sinnvoll abgestuft und strukturiert werden können
- Ergebnisse: Abschlussbericht, Datenbank

Fraunhofer IFF: Trägheitseinfluss bei Kollisionen

- Problem: Belastungsgrößen sind nur für klemmenden Stoß messbar
- Für freien Stoß (häufiger): Messwerte müssen umgerechnet werden
- Ziel: Ableitung einer Korrekturfunktion für Messgeräte; Ergänzung der Norm (Ende 2014)
- Studie im Auftrag des IFA
- Messungen an 12 Probanden
- Positives Votum der Ethik-Kommission
- Stirn: keine Reduzierung; Unterarm: hohe Reduzierung



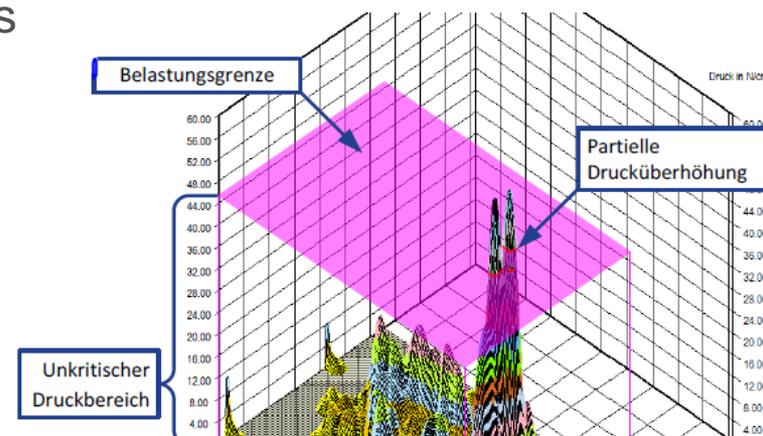
Quelle: IFF Magdeburg

Fraunhofer IFF: Bestimmung der biomech. Belastungsgrenzen mit Probandenversuchen

- BG/BGIA-Empfehlungen: orientierende Werte aus Literaturdaten abgeleitet
- Ziel: experimentelle Bestimmung der Werte (Verletzungseintrittsschwelle) für Normen mit unterschiedlichen Kollisionsgeometrien
- ab 2013: Kollisionsversuche mit Probanden
- zunehmende Beanspruchung bis Verletzungseintrittsschwelle S1 (Ödem, leichtes Hämatom, mittelstarker Schmerz)
- Bestimmung verletzungsrelevanter Größen (A, v, m, F, p, t) u. Abhängigkeiten
- Medizinische Projektpartner im Klinikum der Otto-von-Guericke-Universität
- Positives Votum der Ethik-Kommission



Quelle: IFF Magdeburg



DGUV-Projekt FP 317 „Schmerzswellenkataster“

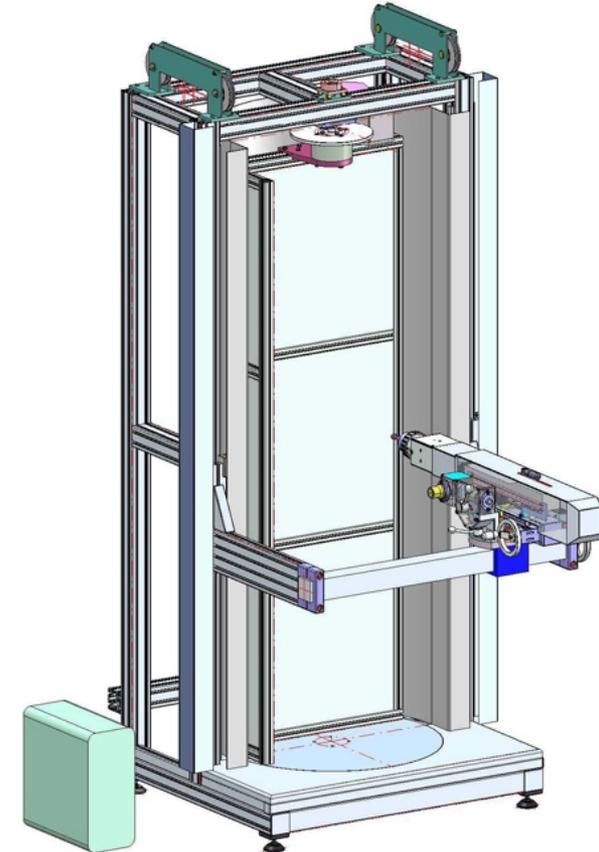
- Forschungsnehmer „Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Arbeits,- Sozial- und Umweltmedizin“.
- Ziel: Bestimmung Schmerzschwellen für 29 Messlokalisationen
- vorab Recherche der JGU Mainz (479 verwertbare Schmerzschwellen)
- Entwicklung/Fertigung Versuchseinrichtung „Druckalgometer“ durch IFA
- Pilotstudie mit 10 Probanden zur Erprobung der Untersuchungsmethode
- Hauptstudie mit einer Stichprobe von 100 Probanden (Männer und Frauen), 2 Wiederholungen/Messung (87 Messungen/Proband)
- Messungen bis Mitte 2014, danach Auswertungen, statistische Analysen, Bericht
- Hauptergebnis: Schmerzschwellenkataster für Normung, bezogen auf die Belastungskriterien: Stößelform, quasistatische Klemmung

Schmerz (-schwelle), Verwertbarkeit

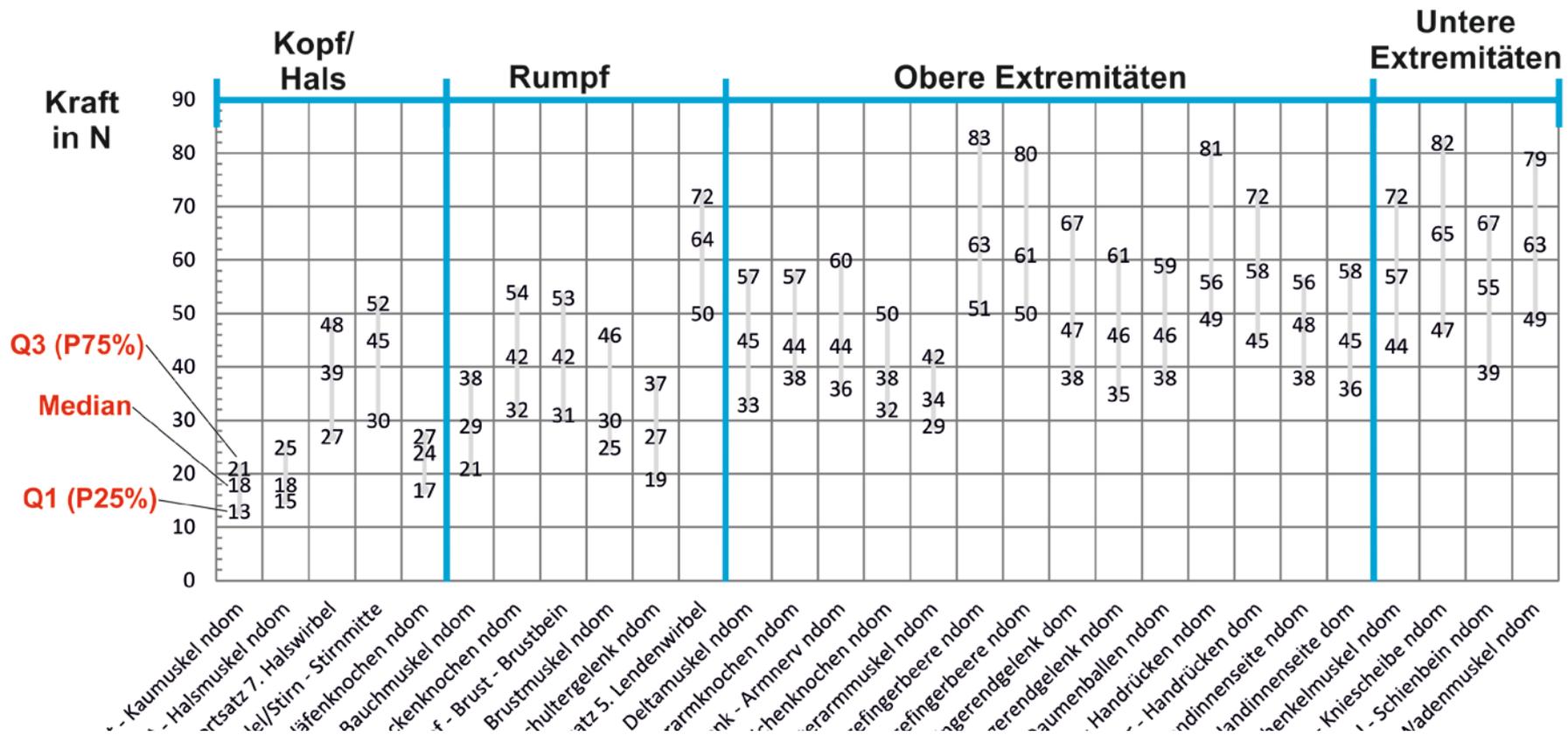
- Der Schmerz ist eine in das Bewusstsein eingetretene psychophysische Beanspruchungsreaktion auf eine spezifische Belastung des Menschen hin, z. B. Hitze oder Druck.
- Definition Schmerzschwelle (Pain entrance): Übergang von Druckgefühl in Schmerzgefühl, vom Probanden je nach Belastungsanstieg gut anzeigbar
- Als Belastungskriterien wurden die Gesamtkraft und der lokale Spitzendruck in der Kollisionsfläche definiert.
- Die Untersuchung der Schmerzschwelle wurde durch die Ethikkommission der JGU Mainz als ethisch vertretbar angesehen.

Versuchseinrichtung Druckalgometer (IFA)

Komplette Versuchseinrichtung im Labor in Mainz (CE nach MRL, SF mit PL e)



Zwischenergebnisse: Gesamtkräfte in Kontaktfläche



Ausblick zum DGUV-Projekt „Schmerzschwellenkataster“

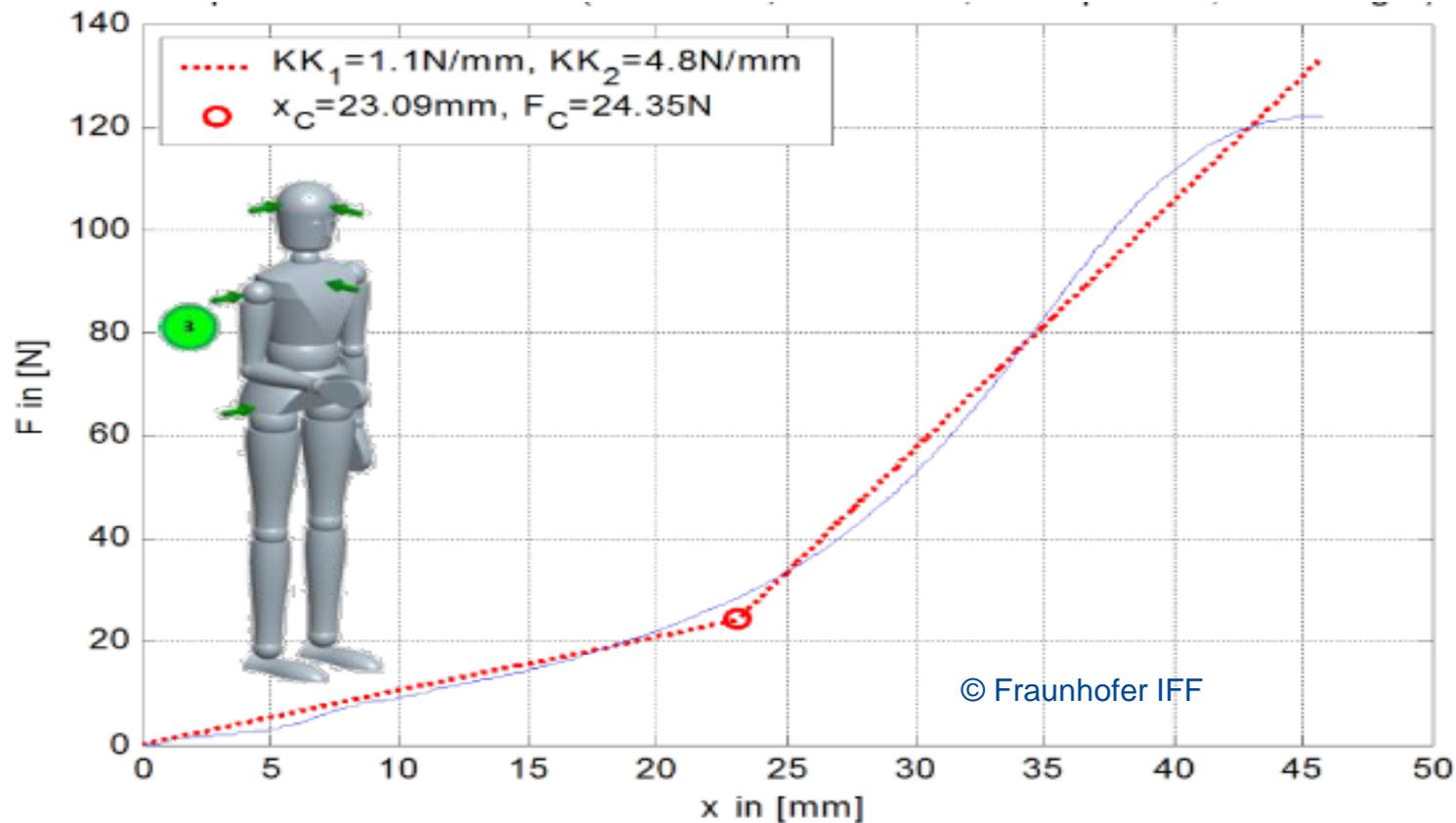
- Zwischenergebnisse wurden in der ISO-Gruppe für die Bearbeitung des TS 15066 vorgestellt
- Übernahme der Mediane der Kräfte und Drücke als statische Grenzwerte für Kollisionen bei bestimmungsgemäßer Verwendung
- Fortführung der experimentellen Studie bis zu einer Stichprobe von 100 Probanden
- Statistische Analyse der Daten bezüglich Geschlecht, Alter, teilweise Gewerbezugehörigkeit, usw.
- bei 100 Probanden ergibt sich eine hohe Signifikanz der Endergebnisse, Übernahme in TS 15066
- Geplantes Ende mit Berichterstellung bis Ende 2014

IFA-Projekt 5111 “Datenbank von Körperbeanspruchungen bei akuter mechanischer Exposition“

- Entwicklung einer Datenbank für Beanspruchungsdaten und Analysetools
- z.Z. werden Daten bekannter Literaturquellen eingegeben
- Datenbank wird zunächst im Intranet für festgelegten Nutzerkreis verfügbar sein
- Ergebnisse von Recherchen mit der Datenbank sollen zur Festlegung von Grenzwerten in der Mensch-Maschine-Schnittstelle genutzt werden
- Weiterhin als Hilfestellung bei weiteren betroffenen Forschungsarbeiten



IFA: Ermittlung der Kompressionskonstanten zur Nachbildung der menschlichen Nachgiebigkeit (KK1, KK2)



Überblick

- Normung
- Was ist ein kollaborierender Roboter?
- Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
- Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
- ⇒ **Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA**
- Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion

Was bedeutet Validierung?

- Validierung: Nachweis der Erfüllung der Sicherheitsanforderungen durch Analyse und Test
- Vision der Hersteller: Validierung aus Konstruktionsdaten des Roboters + Arbeitsplatz, Bewegungsprofilen und digitalen Menschmodellen
- Praxis der Arbeitssicherheit: Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten am konkreten Roboterarbeitsplatz (sofern keine Erfahrungen vorliegen)

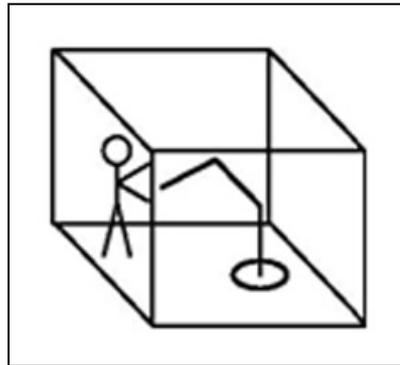


Bildquelle: MRK-Systeme

Validierung durch Messung – aber wie?

Wie muss man korrekt messen?

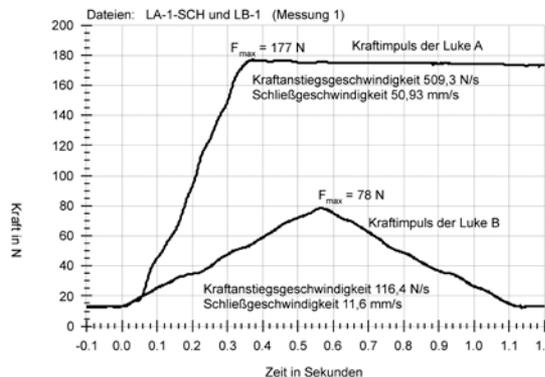
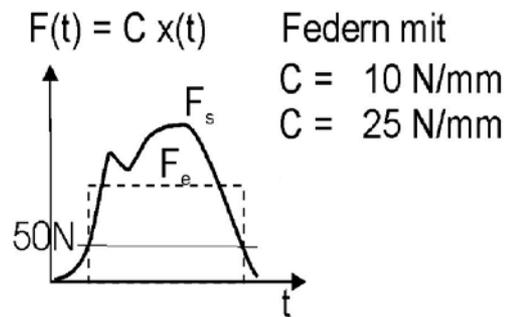
Welche biomechanisch/physikalischen Merkmale hat eine Person, wenn sie im Kollaborationsraum einem Kollisionsrisiko ausgesetzt ist?



Für die Validierung müssen diese Merkmale durch ein **mechanisch menschenähnliches** Messgerät angemessen simuliert werden ...
... denn wir können keine Testpersonen zur Validierung einsetzen!

Beispiele biofideler Messgeräte - BG Tradition

Geräte für Bustüren, Fenster, Luken



Dummy ??

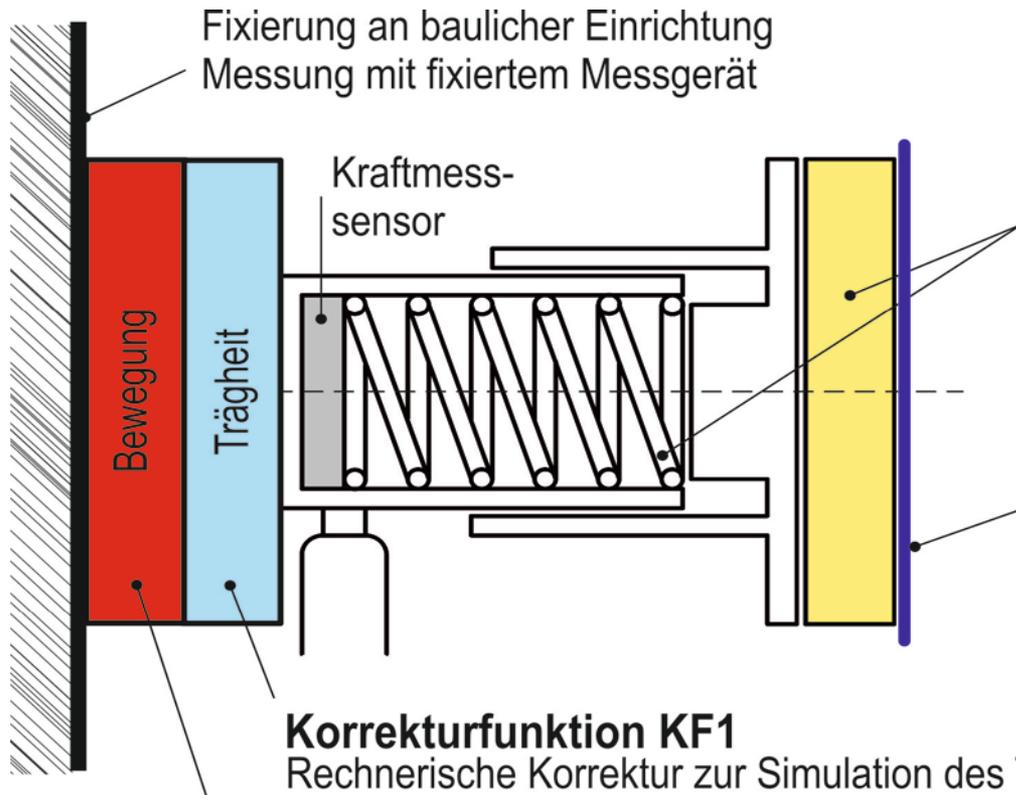


nur im KFZ zur Messung von Beschleunigungen

Anforderungen an Eigenschaften biofideler Messgeräte

- **Körpersteifigkeit** (nichtlinear, lokal und benachbarte Regionen) je nach Körperbereich
- **Trägheit der betroffenen Körpermassensysteme**
Körperhaltung/Körperpositionierung
- **Körperdynamik des betroffenen Körperteils**
Kollisionsgeschwindigkeit
- **Messsysteme** zur Messung mechanischer Größen
z. B. Kraft oder Druckmesssysteme mit spezifizierbaren Messeigenschaften (Genauigkeit, Auflösung, Frequenzgang, Reproduzierbarkeit, Kalibrierbarkeit, Vorschriften zur Signalauswertung)
- **Standardisierbarkeit** aller Eigenschaften sollte gegeben sein

Physikalisches Messkonzept (IFA-Konzept)



Verformungsmodule KK1 / KK2

Verformungs-/Kompressionselemente zur Simulation der Gewebesteifigkeit an der Messlokalisierung (lokal) und der Steifigkeit der um- oder nachliegenden anatomischen Körperstruktur/Gewebe

Druckmesssensor zum Messen der Druckverteilung in der Kollisionsfläche

Korrekturfunktion KF1

Rechnerische Korrektur zur Simulation des Trägheitsverhaltens des belasteten Körperbereichs

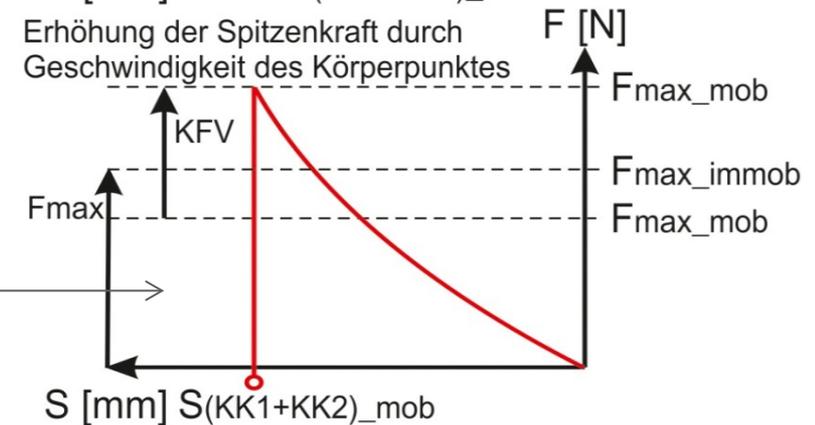
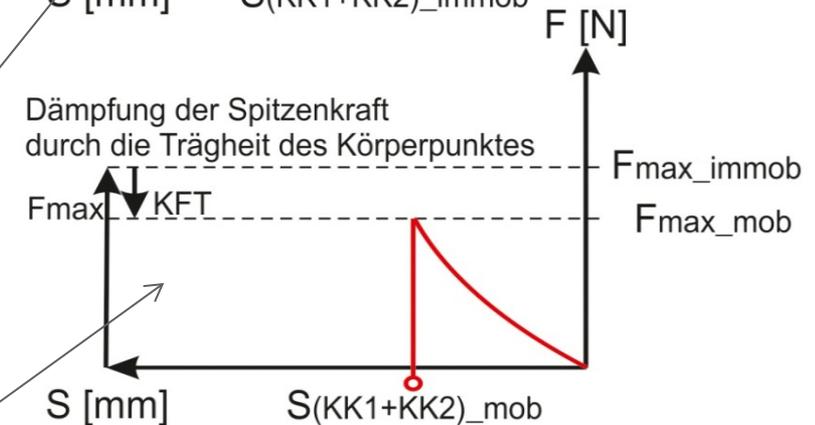
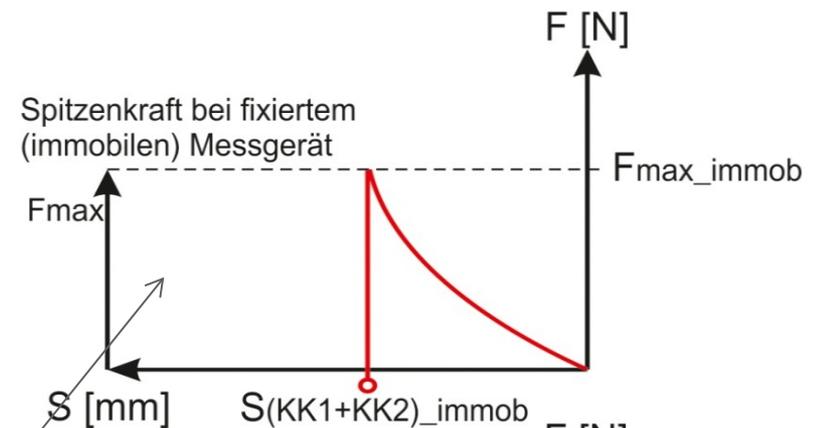
Korrekturfunktion KF2

Rechnerische Korrektur zur Simulation des Bewegungsverhaltens des belasteten Körperbereichs

Wirkungen der Korrekturfunktionen

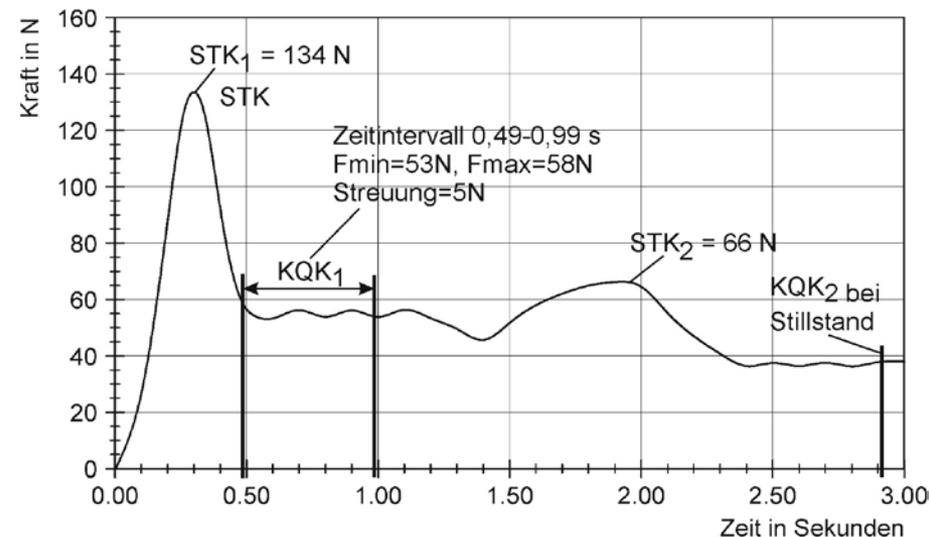
Messung mit der Körperverformbarkeit (abgebildet durch KK1 und KK2) mit feststehendem Messgerät

- Körperteilträgheit
 - „Dämpfung“ der Kollisionsbelastung durch Trägheitsbewegung (Einfluss der Körperhaltung bei Kollision)
- Bewegung
 - **Kollisionsgeschwindigkeit** des Körperpunktes (Körpermodell)



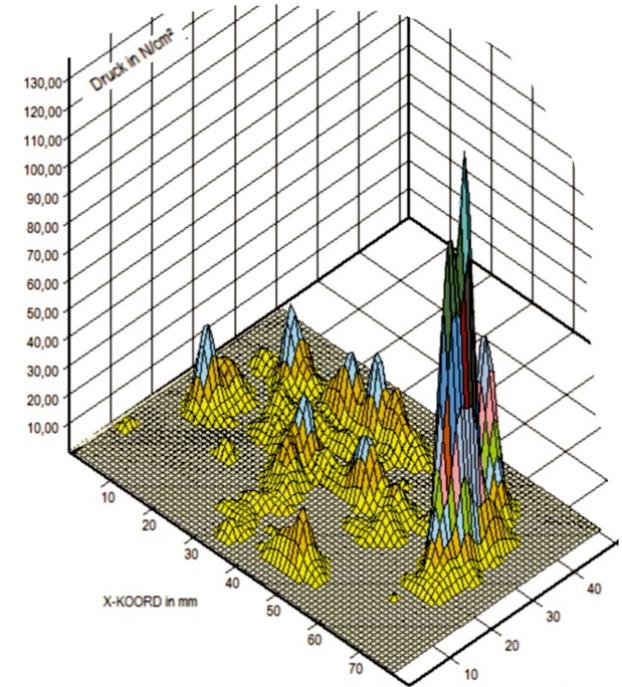
Technische Spezifikationsdaten

- **BG/BGIA - Empfehlungen**
- **TS 15066 (ISO 10218 Teil 2)**
- Mess- und Auswertevorschrift für die Messung von Kräften
 - **Abtastfrequenz** zur Erfassung der Kraftsignaldynamik
 $F_{abt} := 5 - 10\text{kHz}$
 - **Filterspezifikation** (CFC 1000)
 - Algorithmen zur Ermittlung von
 - **Stoßkraftanteilen:** F_{max} mit steigender/fallender Flanke von 5 N
 - **Klemm-/Quetschkraftanteilen:** Änderung $F < 5\text{ N}$ bei Intervall von 0,5 s



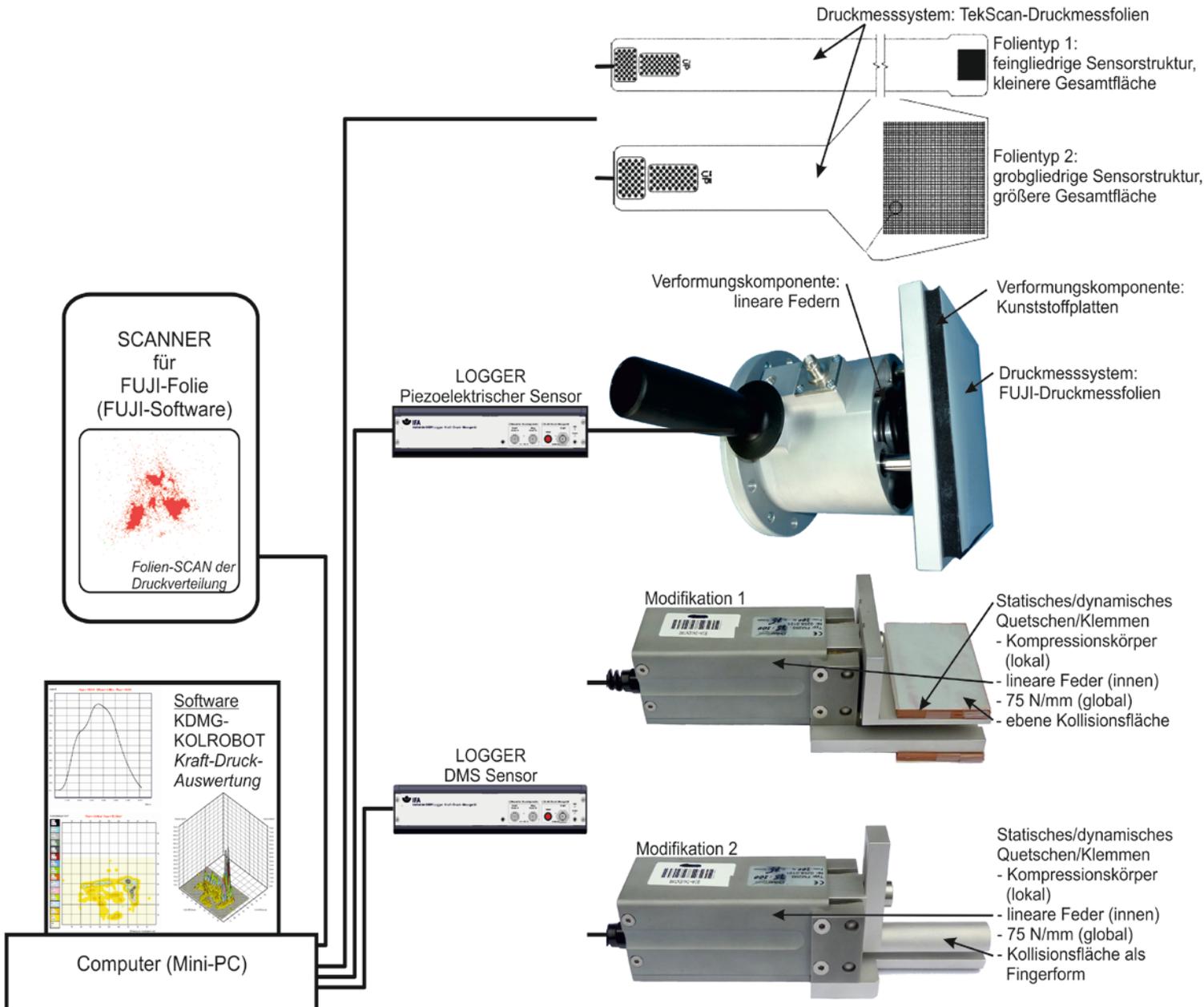
Technische Spezifikationsdaten

- **BG/BGIA - Empfehlungen**
- **TS 15066 (ISO 10218 Teil 2)**
- Mess- und Auswertevorschrift für die Messung von Drücken
 - **Abtastfrequenz** zur Erfassung der Drucksignaldynamik
 $F_{\text{abt}} := 5 - 10\text{kHz}$
 - **Filterspezifikation** (CFC 1000)
 - Definition einer **flächenbezogenen Auflösung für eine Druckverteilungsmessung: $\geq 1 \text{ mm}^2$** je nach Druckstreuung/Kollisionsfläche
 - Algorithmen zur Ermittlung von
 - **Partialstoßdrücken:** P_{max} mit Flankenfläche von 5N/cm^2
 - **Partialklemm-/Quetschdrücken:** Änderung $P < 5\text{N/cm}^2$ bei Intervall von $0,5 \text{ s}$

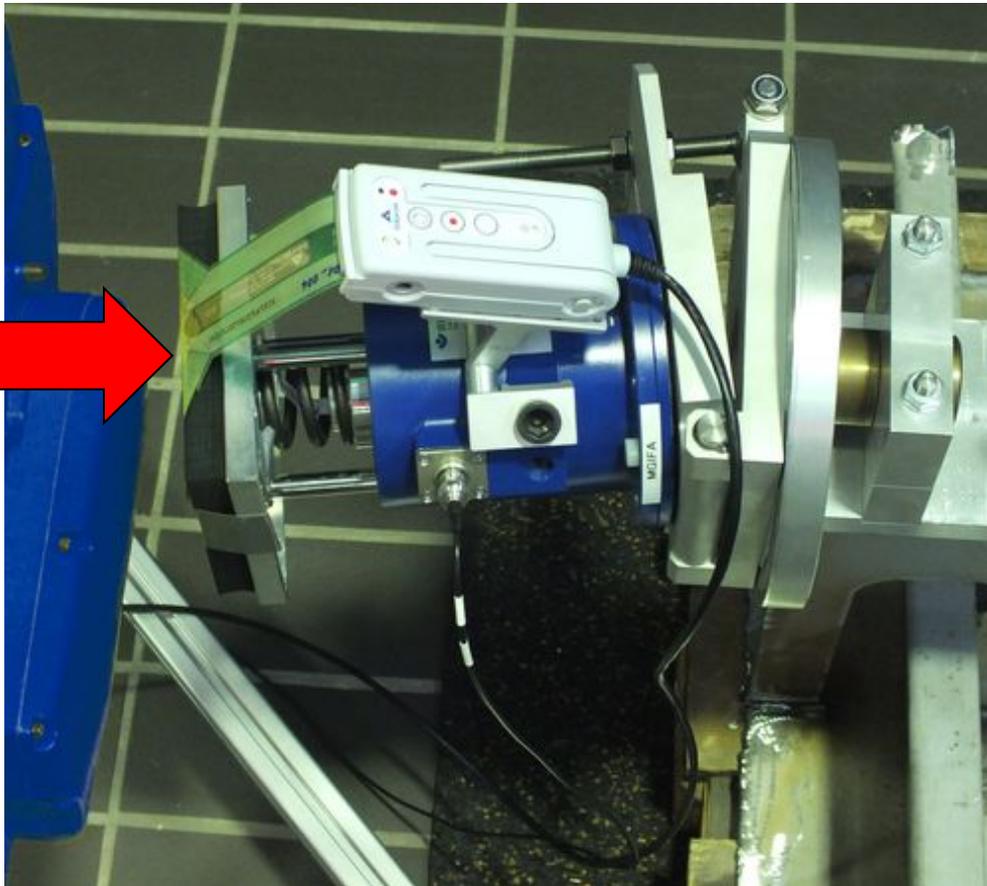


Technische Realisierung

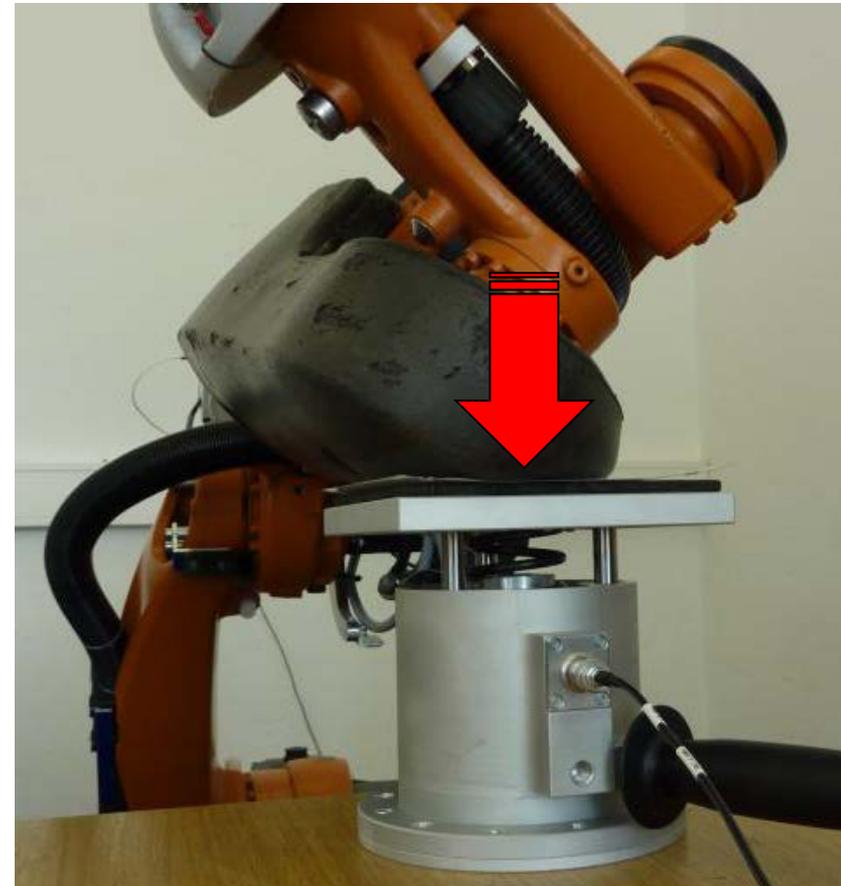
IFA Kraft-Druck-Messgerät KDMG-KOLROBOT



Messaufbauten mit dem IFA-KDMG



Bildquelle: IFA



Bildquelle: MRK-Systeme

Eingabe der Begleittexte, Parametrisierung des Kollisionsmodus und Vorgaben/Bewertungsgrößen nach UVT/IFA-Empfehlungen Okt/2010

Messung Nr.:	4	4	<input checked="" type="checkbox"/>	
Datum:	21.02.2012			
Uhrzeit:	14:23:15	Uhr		
Ort der Messung:	Fertigungsgebäude FFg12.0F		<input checked="" type="checkbox"/>	
Temperatur:	22	°C	<input checked="" type="checkbox"/>	
Luftfeuchtigkeit:	52	%rF	<input checked="" type="checkbox"/>	
Kraftmesssensor:	MG01 (Piezo-Sensor)	MG01 (Piezo-Sensor)	<input checked="" type="checkbox"/>	
Druckmesssensor:	FF 3LWM [Ultra Super Low] Momentary	FF 3LWM [Ultra Super Low] Momentary	<input checked="" type="checkbox"/>	
Roboter:	Prototyp KR-S021		<input checked="" type="checkbox"/>	
Kollisionsgeschwindigkeit:	45	mm/s	45	<input checked="" type="checkbox"/>
Kollisionsform Roboter:	Kugel 10 mm	Kugel 10 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	
Körperpunkt (Prüfpunkt):	Finger		<input checked="" type="checkbox"/>	
Druckplatte am Messgerät:	Druckplatte 160 x 250 mm exzentrisch		<input checked="" type="checkbox"/>	
Körpereinzelnbereich:	KB3.3 Hand/Finger		<input checked="" type="checkbox"/>	
Körperhaltung:	Stehen gerade, Arme nach vorne gestreckt		<input checked="" type="checkbox"/>	
Kollisionsgeschwindigkeit:	0	mm/s	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Bemerkung 1:	Bemerkung1		<input checked="" type="checkbox"/>	
Bemerkung 2:	Bemerkung2		<input checked="" type="checkbox"/>	
Bemerkung 3:	-		<input type="checkbox"/>	

Vorgaben/Bewertung nach:
 UVT/IFA-Empfehlungen zur Gestaltung
 von Arbeitsplätzen mit kollabo-
 rierenden Robotern, Version: Okt/2010
 und
 TS 15066

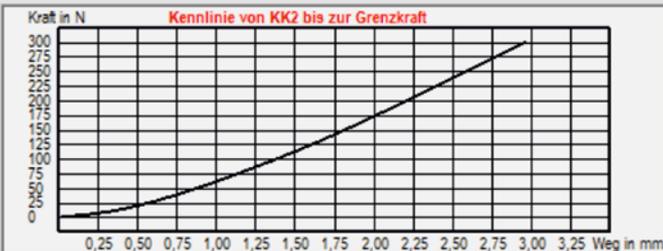
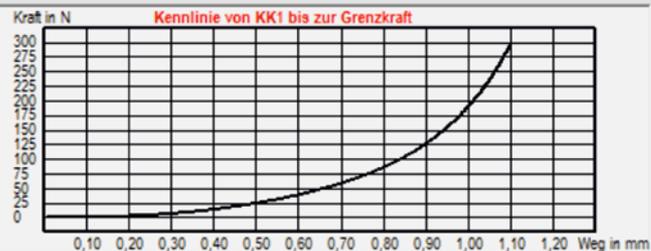
KHB3 Obere Extremitäten
 KB3.3 Hand/Finger

Grenzwerte:
 Quetsch-/Klemmkräfte: 135 N
 Stoßkräfte: 180 N
 Druck/Flächenpressung: 60 N/cm²

Verformungswerte:
 Verformungskonstante KK: 75 N/mm
 Verformungskonstante KK1: 25 N/mm
 Verformungskonstante KK2: 75 N/mm

Druckplatte/KDMG: Druckplatte 160 x 250 mm
 Ausgewähltes Dämpfungselement:

Korrekturwert aus der
 Korrekturfunktion Trägheit
 Korrekturwert: 0,783



INFO

Begleittexte wurden aus < D:\ASSROBOT\BeispielMessungen\Serie 1\MIN-12-1\MIN-12-1\Finger-Matrix - Begleittexte.txt > eingelesen!

Michael Huelke, IFA

14.01.2014

ENDE

Reset

Öffnen

Speichern

Speichern unter ..

Hauptmenue

Information zum Status der Bearbeitung
 Alle Messdaten und Begleittexte der Messung < TS_TEST_5101 > wurden eingelesen !

Filtern, Kraftkorrektur und Effektiver Beanspruchungsdruck ...

FC

P-FILTERN JN IG PE FF

P-KK KK

PD eff

Pix	KI	Filt	Iter	IterG	IWK	SWK	KorrW
3	5,08	25,81		0,50	101,5	280,7	2,77

Diagramme und Ergebnisse der Auswertungen der Kollisionsgrößen

KK2 FM S2 V2 A2 FT E2 P2 SG EG PG AktBild 2D 2G 3D 3G HG HF PP

Maximum der darzustellenden Zeitachse des Diagramms in %

KK1 FG S1 V1 A1 E1 P1 FS ES PS

KK2-Energie	E2min :	0,00 Nm	E2max :	0,44 Nm
Gesamtenergie	Emin :	0,00 Nm	EGmax :	1,35 Nm
KK1-Leistung	P1min :	-9,88 W	P1max :	9,11 W
KK2-Leistung	P2min :	-5,39 W	P2max :	4,72 W
Gesamtleistung	PGmin :	-15,27 W	PGmax :	13,81 W

Parameter der Druckmessung

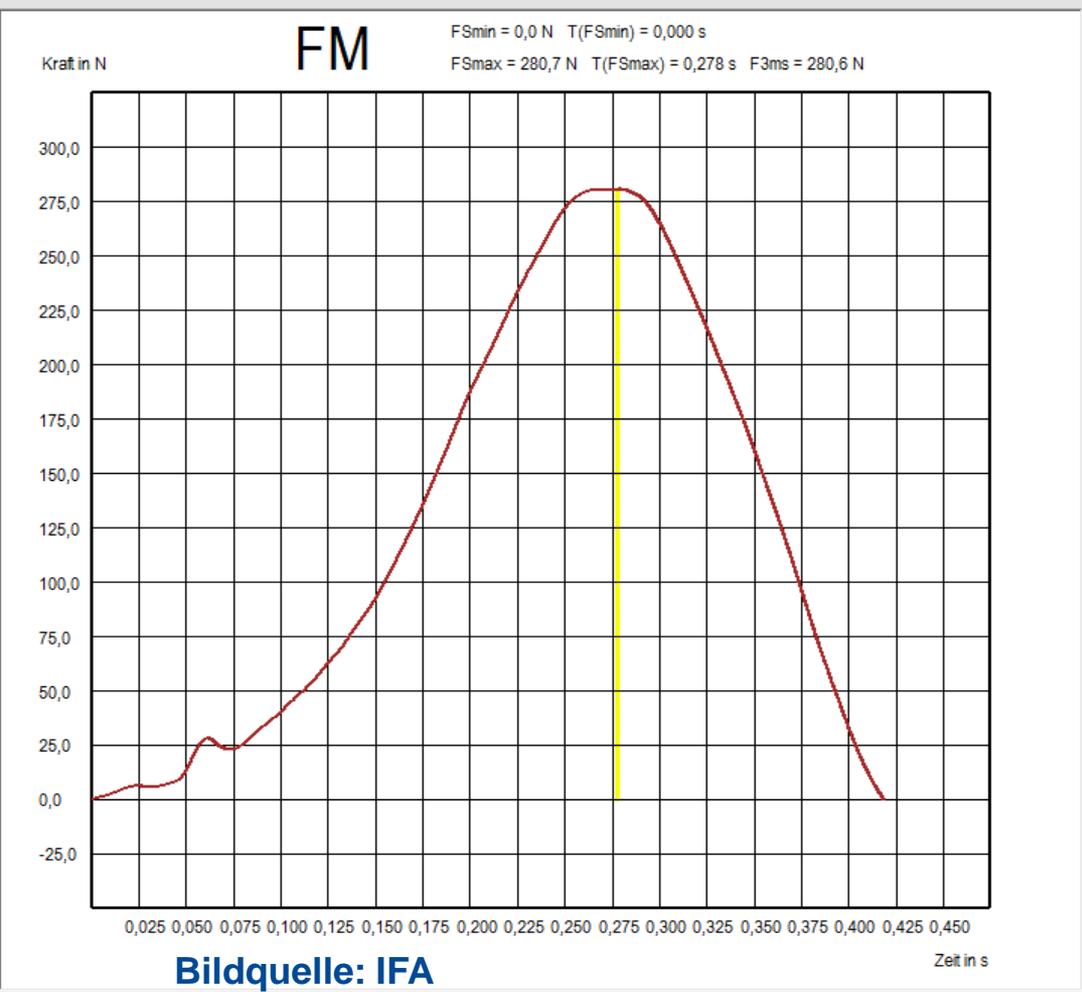
Xpixel : 44 Pixel < 111,8 mm >
 Ypixel : 44 Pixel < 111,8 mm >
 Pixelanzahl [Gesamtfläche] : 1936 Pixel
 Pixellänge : 2,54 mm
 Pixelfläche : 6,452 mm²
 Untergrenze Messbereich [UGW] : 0,10 N/cm²
 Seitenlänge X [Gesamtfläche] : 11,18 cm
 Seitenlänge Y [Gesamtfläche] : 11,18 cm
 Folienfläche [Gesamtfläche] : 119,290 cm²
 Folienfläche [P=0] : 112,903 cm²
 Folienfläche [P>UGW] : 6,387 cm²
 Pixelanzahl [P>UGW] : 99 Pixel
 POMax : 67,13 N/cm² < 100,0 % >
 POMittelwert : 0,00 N/cm² < 0,0 % >

Gesamtkraft

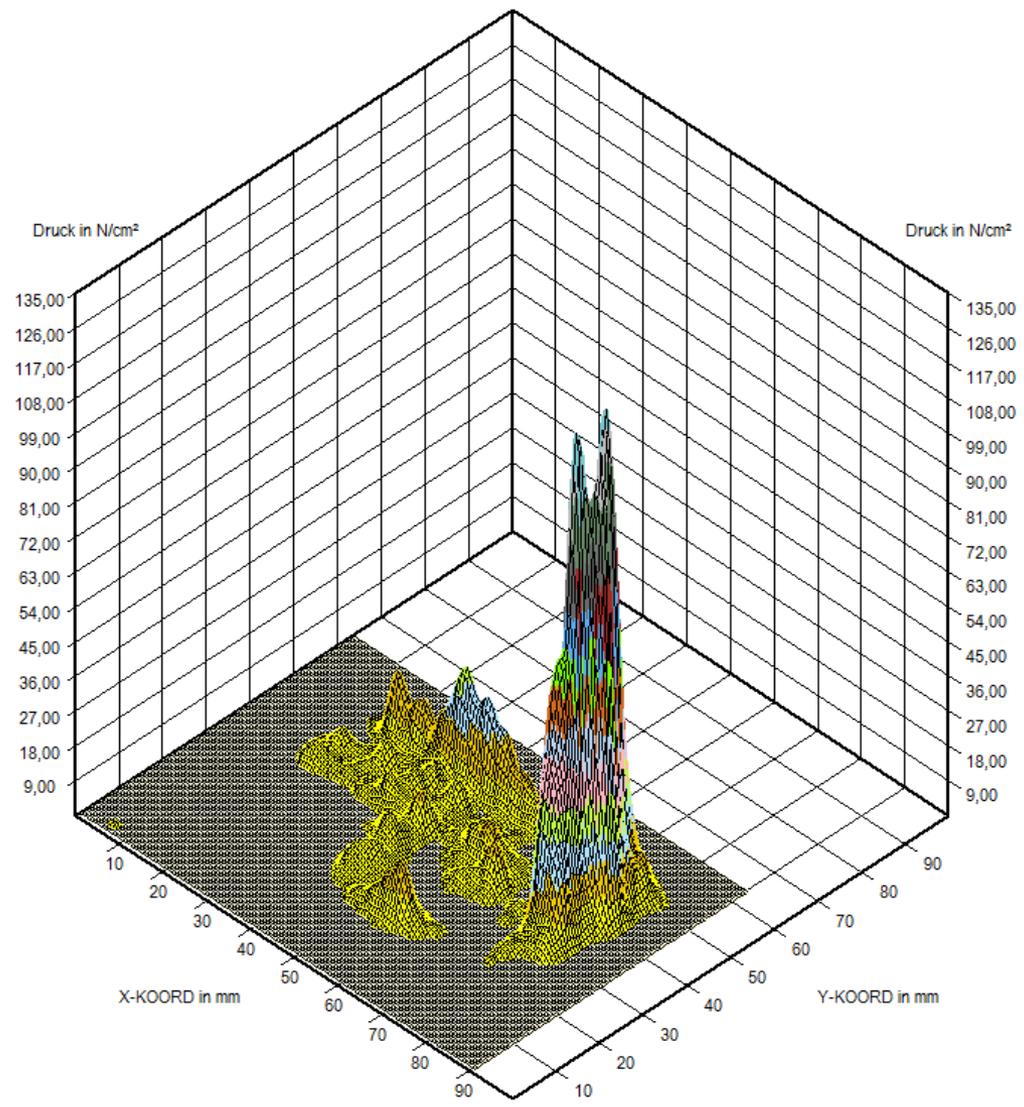
IST-Kraft [Integration DV] : 101,5 N < 36,2 % >
 SOLL-Kraft [Kraftmessung] : 280,7 N < 100,0 % >

Auswertung der Druckverteilung

KAT Nr.	KATBER [N/cm²]	ANZAHL	ParFL [cm²]	ParFL [%]	ParPm [N/cm²]	ParF [N]	ParF [%]
0	0	1837	118,52	94,9	0,00	0,0	0,0
1	5,00	22	1,42	1,1	3,08	4,4	4,3
2	10,00	19	1,23	1,0	7,75	9,5	9,4
3	15,00	20	1,29	1,0	12,02	15,5	15,3
4	20,00	10	0,65	0,5	17,38	11,2	11,0
5	25,00	6	0,39	0,3	22,50	8,7	8,6
6	30,00	8	0,52	0,4	28,10	14,5	14,3
7	35,00	2	0,13	0,1	32,15	4,1	4,1
8	40,00	5	0,32	0,3	36,81	11,9	11,7
9	45,00	4	0,26	0,2	42,33	10,9	10,8
10	50,00	1	0,06	0,1	45,31	2,9	2,9
11	55,00	1	0,06	0,1	54,29	3,5	3,5
12	60,00	0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
13	65,00	0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
14	70,00	1	0,06	0,1	67,13	4,3	4,3
15	75,00	0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
		1936	124,90	100,0		101,5	100,0



3D-Plot der Druckverteilung - [Status: gefiltert|KK]
 Pmin = 0,8 N/cm² Pmax = 123,7 N/cm² [DFP = 30,0 N/cm²]
 Xmax = 91,000 mm Ymax = 63,625 mm



[Druckmesssystem <F3LP - FF 3LWC [Ultra Super Low] Continuous (F3LP) >]

Daten der Messung

Messung Nr. : 2
 Datum : 15.02.2012
 Uhrzeit : 13:26:28 Uhr
 Messort : ghghd
 Temperatur : 20 °C
 Luftfeuchte : 50 %rF
 Kraftsensor : MG01 - Piezo-Sensor
 Drucksensor : FF 3LWC [Ultra Super Low] Continuous (F3LP)
 Roboter : kdhfjhdf
 Vkol Roboter : 249 mm/s
 Fkol Roboter : EbenRund-100mm
 KE Roboter : Achsel innen rechts
 Druckplatte : MG01 - Druckplatte 160x250mm zentrisch
 KEB : KB1.1 Schädel/Stirn
 KHal : Stehen gerade, Körper aufrecht, Ober- und Unterarm am
 Bemerkung 1 : 249 mm/s
 Bemerkung 2 : fsdfagf
 Bemerkung 3 : dasfgsdf

Grenzwerte:

Quetsch-/Klemmkräfte : 130,0 N
 Stoßkräfte : 175,0 N
 Druck/Flächenpressung : 30,0 N/cm²

Dämpfungselement KK1

Sollwert : 75,000 N/mm
 Istwert : 81,303 N/mm
 Nr. : 2686
 Name : DE06_L3_SK10_KL
 Material : GG1-730
 Dicke : 10mm
 Lagigkeit : 3-lagig
 Lieferant : GaFa-Tec
 Kollisionsform : EbenRund-100mm

Dämpfungselement KK2

Sollwert : 125,000 N/mm
 Istwert : 85,502 N/mm
 Nr. : 13
 Feder : KK2_S2_MGIFA_125_C317017_Kennlinie.tx

INFO

3D-Darstellung der aktuellen Druckverteilung

3D-Parameter

Alpha (°) : 35
 PixelStep : 5
 Color
 NoColor
 KL [mm] : 0,63

P3D FC PLOT_P

Daten der Verteilung

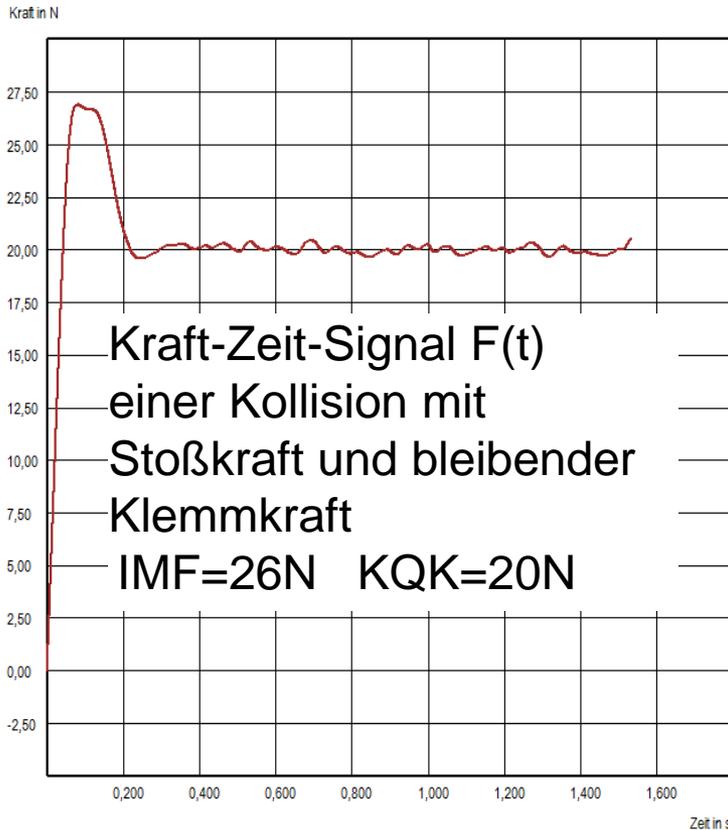
Fmax : 170,4 N
 Pmax : 123,74 N/cm²
 PKmax : 135,00 N/cm²
 KAT : 9,00 N/cm²
 N : 15

Farben der Kategorien

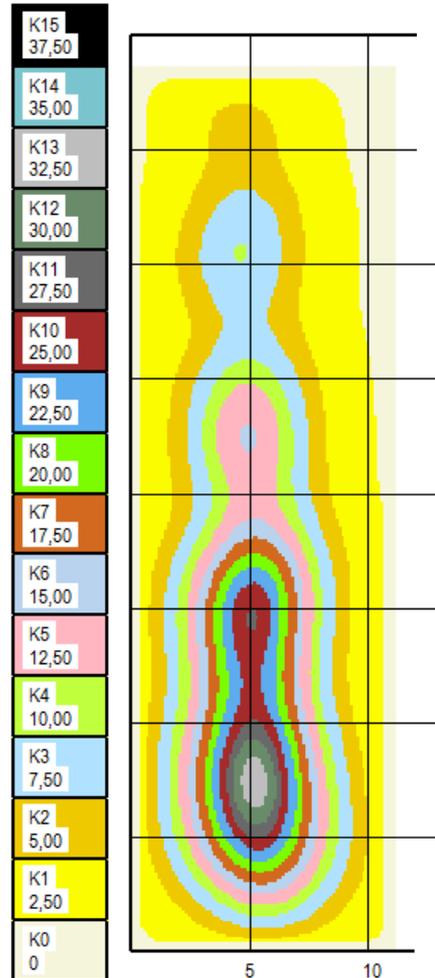
- KAT 15 (070 - 075) N/cm²
- KAT 14 (065 - 070) N/cm²
- KAT 13 (060 - 065) N/cm²
- KAT 12 (055 - 060) N/cm²
- KAT 11 (050 - 055) N/cm²
- KAT 10 (045 - 050) N/cm²
- KAT 09 (040 - 045) N/cm²
- KAT 08 (035 - 040) N/cm²
- KAT 07 (030 - 035) N/cm²
- KAT 06 (025 - 030) N/cm²
- KAT 05 (020 - 025) N/cm²
- KAT 04 (015 - 020) N/cm²
- KAT 03 (010 - 015) N/cm²
- KAT 02 (005 - 010) N/cm²
- KAT 01 (000 - 005) N/cm²
- KAT 00 (000) N/cm²

Hauptmenue FC ENDE

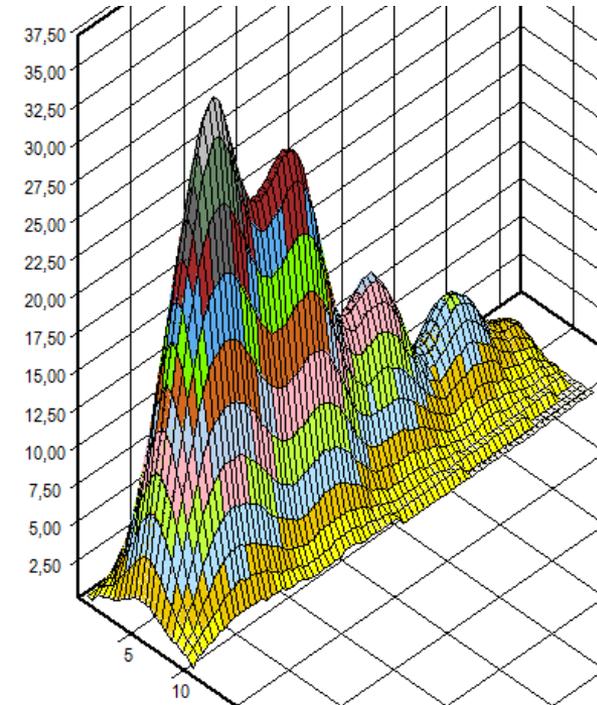
Messbeispiel



Druckverteilung in N/cm^2



2D und 3D – Druckverteilung
 $P_{max}=32N/cm^2$



Bildquelle: IFA

Überblick

- Normung
- Was ist ein kollaborierender Roboter?
- Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
- Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
- Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
- ⇒ **Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen**
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion

Erfahrungen erster Prüfungen im IFA

- Die Anforderungen sind verständlich und umsetzbar!
- Die notwendige starre Fixierung des Messgerätes kann aufwendig sein
- Kontrollparameter sind die maximalen Achsgeschwindigkeiten und die Oberflächengestaltung
- Für jede neue Applikation eine Risikoanalyse und Validierung durch Messungen
- Es gibt nicht den eigenständigen zertifizierten, sicheren kollaborierenden Roboter

Erfahrungen der Prüfstelle

Quelle: Bautz, BGHM-Workshop 18.9.2013

- Prüfgrundlagen: DIN EN ISO 10218-1/-2; ISO TS 15066
- Sowohl Kraft- als auch Druckgrenzen überprüfen
- Bestimmungsgemäße und vorhersehbare Anwendung bewerten
- Spitze und scharfe Werkzeuge/Werkstücke vermeidbar, aber ...
- Scherkanten lassen sich kaum beherrschen (Druckspitzen!) und sollten möglichst konstruktiv vermieden werden
 - Das Körperteil muss die Scherkräfte halten können
 - Geschwindigkeit sehr niedrig, damit geringer Nachlauf
 - Nachlauf muss kompensiert werden
- Einklemmen des Oberkörpers oder Kopfes nicht akzeptabel
- Eingeklemmte Person muss sich ohne Verletzung befreien können

Überblick

- Normung
 - Was ist ein kollaborierender Roboter?
 - Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
 - Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
 - Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
 - Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- ⇒ **Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion**

Zusammenfassung

- Es entstehen in der Produktion neue Arbeitsformen mit Robotern
- Es gibt mehrere Kollaborationsformen: Bei einer davon kann es zu sicher begrenzten Kontakten kommen
- Forschung zur Bestimmung von Beanspruchungsgrenzwerten hat begonnen
- Normung für verschiedene Robotikanwendungen ist noch im Fluss
- Ein kollaborierender Roboter kann nur im Zusammenhang einer Applikation geprüft werden (Werkzeug+Werkstück+Umgebung)
- Geeignete Messgeräte werden beim IFA entwickelt
- Bei der Prüfung werden u.a. die gemessenen Kräfte/Drücke mit den normativen Grenzwerten verglichen und am Roboter eingestellt

Aktuelle IFA-Informationen und Ansprechpartner:

Aktuelles	Forschung	Fachinfos	Gefahrstoffdatenbanken	Praxishilfen	Prüfung/Zertifizierung	Publikationen	Veranstaltungen	Wir über uns
---------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------------------	------------------------------	----------------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------

Home > [Fachinfos](#) > [Kollaborierende Roboter](#)

- ▶ Arbeitsplatzgrenzwerte
- ▶ Asbest an Arbeitsplätzen
- ▶ Biologische Arbeitsstoffe
- ▶ Ergonomie
- ▶ Exposition-Risiko-Beziehung (ERB)
- ▶ GHS-Verordnung
- ▶ Hautgefährdung
- ▶ KMR-Liste
- ▼ **Kollaborierende Roboter**
 - Technische Schutzmaßnahmen
 - Medizinisch/Biomechanische Anforderungen
 - Systemergonomische Gestaltung
 - Prüftechnik
 - Schmerزشwellenkataster
 - ▶ Kombinationen von Persönlicher Schutzausrüstung
 - ▶ Lärm
 - ▶ Mobile IT-Arbeit



Kollaborierende Roboter (COBOTS)

Sichere Kooperation von Mensch und Roboter

Kollaborierende Industrieroboter sind komplexe Maschinen, die Hand in Hand mit Personen zusammenarbeiten. In einem gemeinsamen Arbeitsprozess unterstützen und entlasten Roboter den Menschen. Ein Beispiel: Ein Roboter hebt und positioniert ein schweres Werkstück, während eine Person leichte Eisenhaken anschweißt. Bei dieser Arbeitstätigkeit besteht zwischen der Person und verschiedenen Roboterelementen – beispielsweise Roboterarm, Werkzeug – eine große räumliche Nähe. Dabei kann es zu direktem Kontakt zwischen Roboter und Personen kommen. Eine vergleichbare Situation findet man bei mobilen Servicerobotern, die in steigender Zahl in der Arbeitswelt und in öffentlichen oder privaten Umgebungen nahe neben Personen eingesetzt werden.

Bisher waren beim Einsatz von Robotern trennende Schutzeinrichtungen notwendig, um Personen, die sich im Arbeitsfeld des Roboters befanden, sicher gegen mechanische Einwirkungen und damit gegen Verletzungen durch schnelle Roboterteile zu schützen. Im Zuge der Überarbeitung und Neuordnung der für Industrieroboter relevanten Normen wurde ergänzend das neue Anwendungsfeld der kollaborierenden Roboter geschaffen. Die überarbeitete Norm EN ISO 10218, Teile 1 und 2, sowie die 2010 begonnene Spezifikation ISO/TS 15066

Vergrößern (668 kB)

Armaturenbrettmontage, Bild: Daimler AG

Ansprechpartner:

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
 Fachbereich 5
 Dr. Michael Huelke
 Alte Heerstraße 111
 53757 Sankt Augustin
 Tel.: 02241 231-2644
 Fax: 02241 231-2234

Bildquelle: IFA

Google™ Benutzerdefinierte Suche

[Suche starten](#)

Webcode

[Los](#)

→ so geht's

Filmdokumentation herunterladen



Kollaborierende Roboter –
[Filmdokumentation zu den Forschungs- und Entwicklungsthemen des IFA](#)
 (174 MB, Format: mp4)

Zum Download



- [BG/BGIA-Empfehlungen zur Gestaltung von](#)

**Vielen Dank
für Ihr Interesse und
Ihre Aufmerksamkeit !**

Noch weitere Fragen?

- Normung
- Was ist ein kollaborierender Roboter?
- Generelle und spez. Biomechanische Anforderungen
- Forschung: Biomechanische Anforderungen und Validierung
- Validierung: Biofideles Kraft-Druck-Messgerät des IFA
- Validierung: Erfahrungen bei Prüfungen/Zertifizierungen
- Zusammenfassung, weitere Informationen, Diskussion