Kollaborierende Roboter auf dem Vormarsch

MBT Mechtersheimer GbR
Dr.-Ing. Björn Ostermann

1

Warum „Kollaboration“?

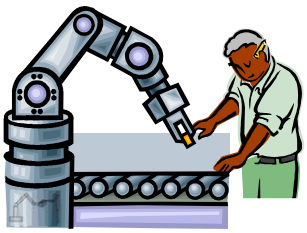
- Kollaboration
  - lat. co- = „mit-“
  - lat. laborare = „arbeiten“
  - Zusammenarbeit mehrerer Personen
- Collaborationism
  - cooperation with enemy forces occupying one's country

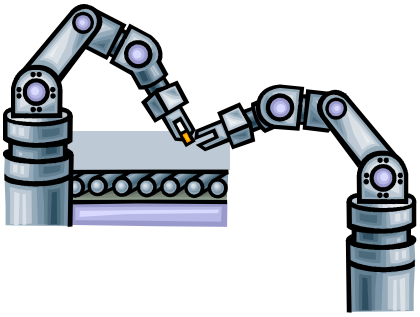
- Collaboration
  - a recursive process where two or more people work together

2

Kollaboration / Kooperation

Kollaboration Kooperation



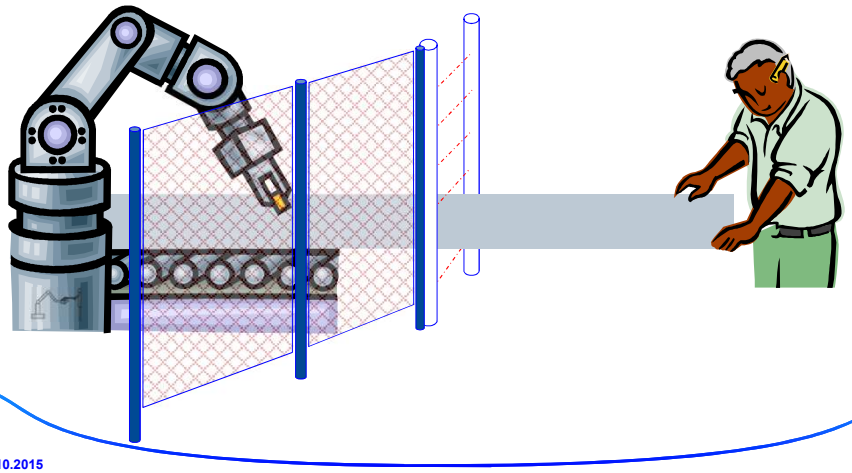


EN ISO 10218-2:2012 – 3.2 kollaborierender Roboter

Inhalt

- **Industrie 3.0 zu 4.0**
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

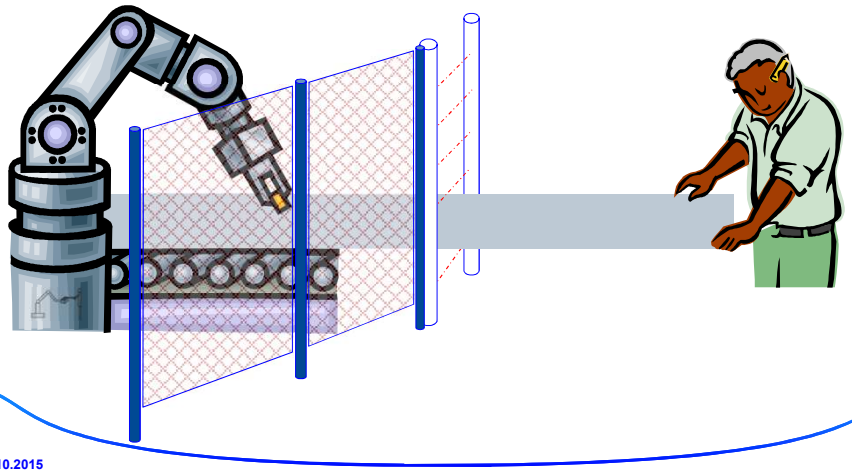
Industrie 3.0



08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
5 / 70

5

Industrie 3.0

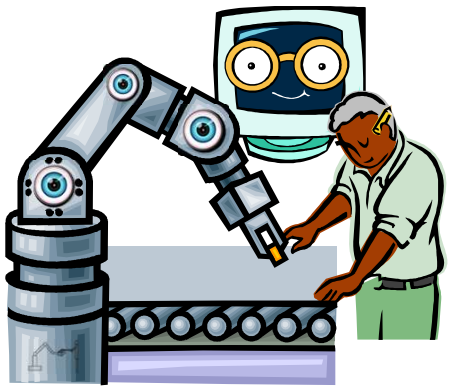


08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
6 / 70

6

Industrie 4.0

Kollaborierend



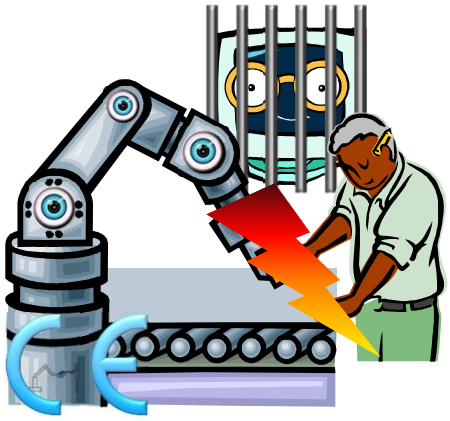
Probleme in der Forschung

- Mechanik:
  - Reduzierte Kräfte
  - …
- Sensorik:
  - Umgebung wahrnehmen
  - …
- Steuerung:
  - Geschwindigkeit reduzieren
  - ausweichen
- Psychologie:
  - Zusammenarbeit mit schnellem, ausdauernden Partner

7

Industrie 4.0

Kollaborierend



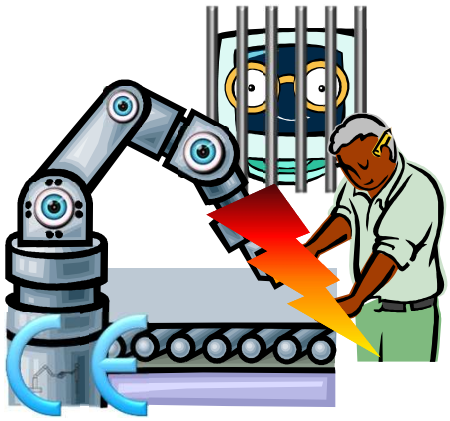
Probleme im Recht

- Mechanik:
  - **Sicher**
- Sensorik:
  - **Sicher**
- Steuerung:
  - **Sicher**
- Psychologie:
  - **Geprüft**
  - Partner

8

Industrie 4.0

Kollaborierend



Probleme in der Industrie

- Mechanik:
  - **Sicher**
- Sensorik:
  - **Sicher** + schnell
- Steuerung:
  - **Sicher** + schnell
- Psychologie:
  - **Geprüft**

Partner

9

Ziel kollaborierender Arbeitsplätze

- Forschung
  - neue, flexible Arbeitsplätze
- Industrie
  - effizientere Arbeitsplätze
    - Zeit einsparen
    - Platz einsparen
- Versicherung (DGUV, BG, …)
  - Bedürfnisse nach Manipulationen senken
  - Manipulationen erschweren
  - Sicherheit des Arbeitnehmers erhöhen

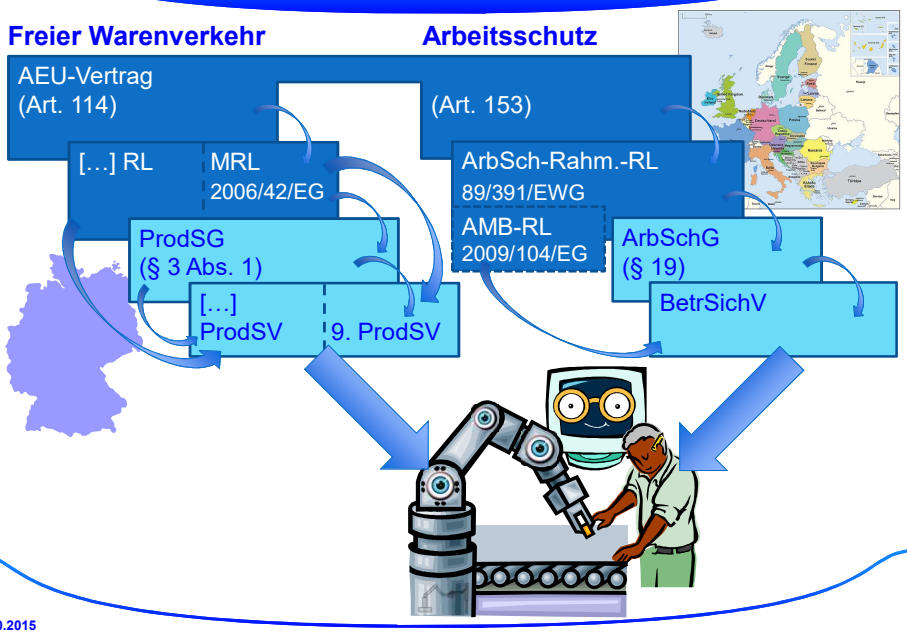
10

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- **Rechtliche Anforderungen**
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

11

Rechtliche Anforderungen



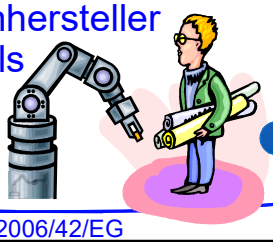
12

Adressat der MRL

Verantwortlich?

- Roboter sind unvollständige Maschinen
  MRL Art. 2 g)
  „… für sich genommen aber keine bestimmte Funktion [Anwendung] erfüllen kann“
- kollaborierende Roboter sind das in der Regel auch!

➢ Verantwortlich für die Sicherheit ist deshalb der Anlagenhersteller oder der Betreiber als Eigenhersteller



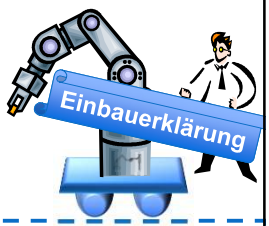
Einbau-erklärung

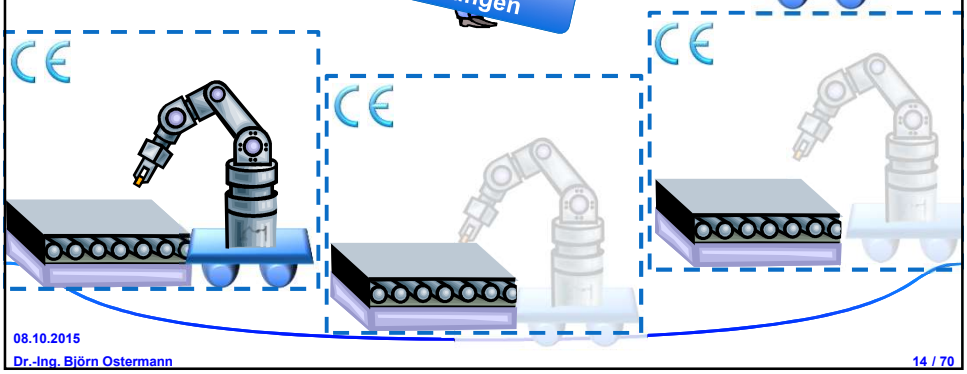
Achtung! Dieses Produkt ist nicht sicher!

Adressat der MRL: Beispiel 1

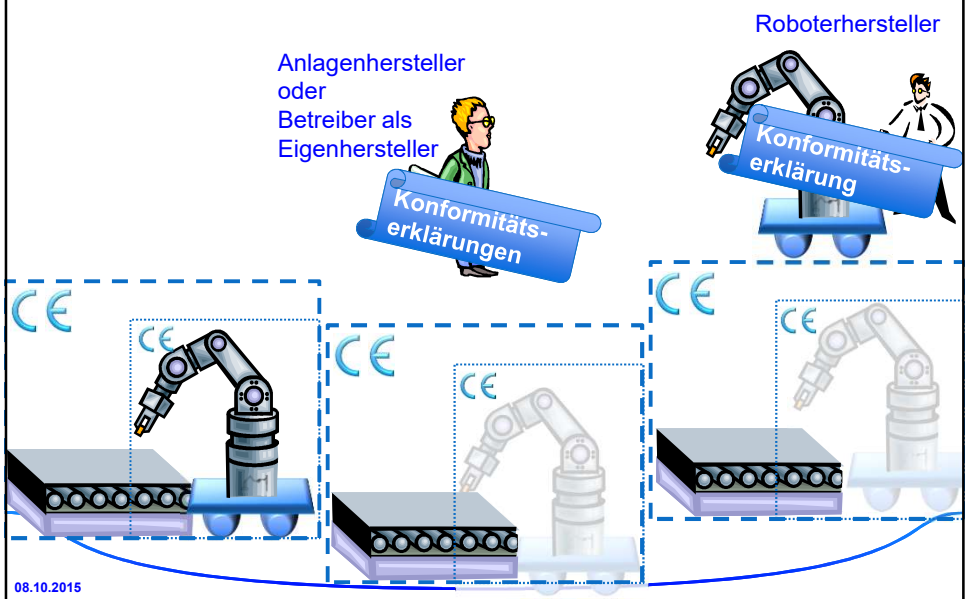
Anlagenhersteller oder Betreiber als Eigenhersteller

Roboterhersteller





Adressat der MRL: Beispiel 2



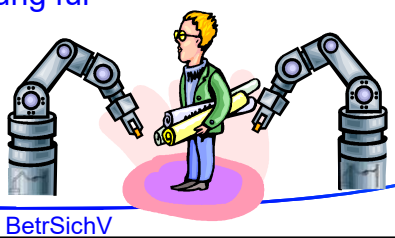
15

Adressat der BetrSichV

Verantwortlich?

- Roboter sind Arbeitsmittel
  BetrSichV § 2 (1) „… Maschinen oder Anlagen, die für die Arbeit verwendet werden …“
- Kollaborierende Roboter auch!

➢ Verantwortlich für die Sicherheit ist der Arbeitgeber
  – Doppelte Verantwortung für Eigenhersteller



BetrSichV

16

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - **Technische Anforderungen**
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

Rechtliche Anforderungen

- Freier Warenverkehr:
  - MRL 2006/42/EG, Art. 5(1)a):
    Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllen
  - MRL 2006/42/EG, Anhang I, Allgemeine Grundsätze 3:
    Maßgabe: **Stand der Technik**

- Arbeitsschutz:
  - BetrSichV, §5 Abs. 1:
    nur Arbeitsmittel zur Verfügung stellen, die sicher sind
  - BetrSichV, §3 Abs. 7:
    regelmäßige Gefährdungsbeurteilung nach **Stand der Technik**
    Schutzmaßnahmen ggf. anpassen

2006/42/EG + BetrSichV

Anforderungen aus 2006/42/EG Anhang I (Auszug)

- 1.3.8.2. bewegliche Teile, die am Arbeitsprozess beteiligt sind
  - Schutz durch nichttrennende Schutzeinrichtungen möglich / zulässig
- 1.4.3. Anforderungen an nichttrennende Schutzeinrichtungen
  - bewegliche Teile vor Erreichen stillsetzen
  - keine Bewegung zulassen, wenn Personen im Gefahrenbereich sind
- 1.2.1. Sicherheit und Zuverlässigkeit von Steuerungen
- 1.2.3. Ingangsetzen
  - automatisches Wiederingangsetzen nach einer Abschaltung darf nicht zur Gefährdungssituation führen

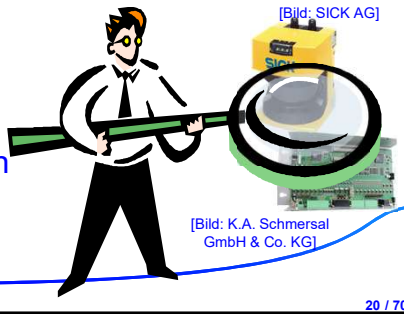
[Bild: SICK AG]

[Bild: K.A. Schmersal GmbH & Co. KG]

19

Anforderungen aus BetrSichV (Auszug)

- § 3 Gefährdungsbeurteilung
  - „Das Vorhandensein einer CE-Kennzeichnung am Arbeitsmittel entbindet nicht von der Pflicht zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung."
    - physischen und psychischen Belastungen der Beschäftigten
- § 4 Grundpflichten des Arbeitgebers
  - „Schutz und Sicherheitseinrichtungen [müssen] einer regelmäßigen Funktionskontrolle unterzogen werden"



[Bild: SICK AG]

[Bild: K.A. Schmersal GmbH & Co. KG]

20

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- **Beispiele aus Normen**
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

Umsetzung der Anforderungen

- **harmonisierte Normen**
  - EN ISO 10218 Teil 1 und 2 „Industrielle Roboter“
  - EN ISO 13849-1 „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“
  - EN ISO 13855 „Anordnung von Schutzeinrichtungen“
  - EN 61496-1 „Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen“
  - …
- **weitere Normen**
  - ISO/PDTS 15066 „Robots and robotic devices — Collaborative robots”
  - …
- **DGUV / BG Papiere**
  - BG/BGIA-Empfehlungen für die Gefährdungsbeurteilung nach Maschinenrichtlinie
  - DGUV-Information: Kollaborierende Robotersysteme
  - DGUV-Projekt FP 317 „Schmerzschwellenkataster“
  - (BG HM) Checkliste: Kollaborierende Robotersysteme
  - (BG HM) DGUV Information 209-074: Industrieroboter – Kapitel 5 Kollaborierende Roboter
  - …

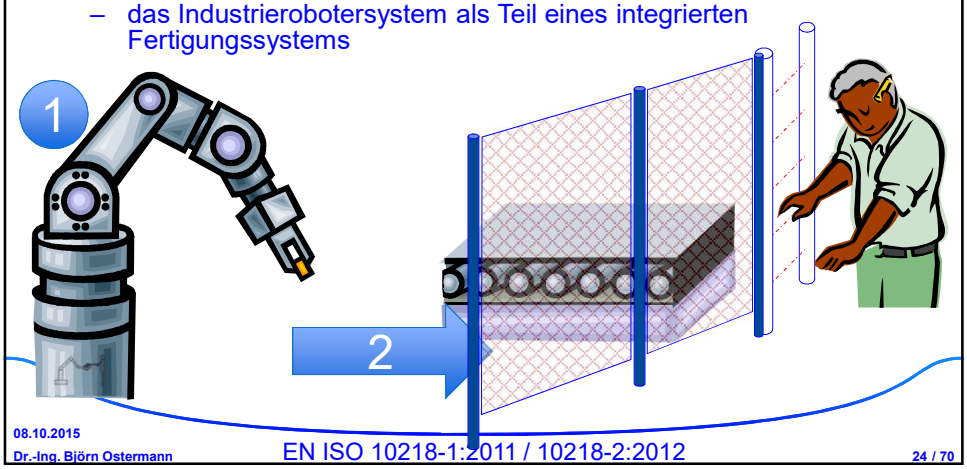
Hilfestellung aus Normen

- EN ISO 10218 Teil 1 und 2 „Industrielle Roboter“

23

Arbeitsbereich

- Teil 1: Sicherheitsanforderungen für
  - Roboter
- Teil 2: Sicherheitsanforderungen für
  - Integration von Robotern
  - Roboterzellen
  - das Industrierobotersystem als Teil eines integrierten Fertigungssystems



EN ISO 10218-1:2011 / 10218-2:2012

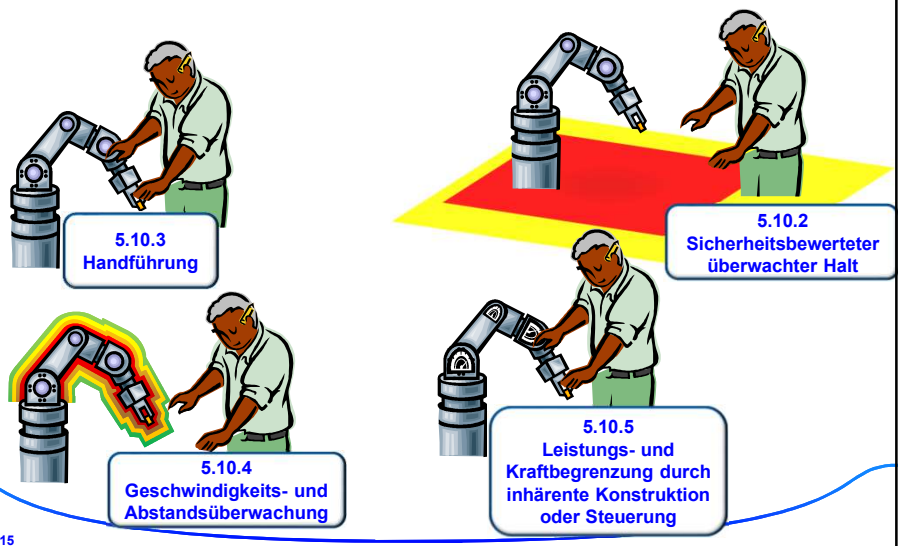
24

EN ISO 10218-1:2011

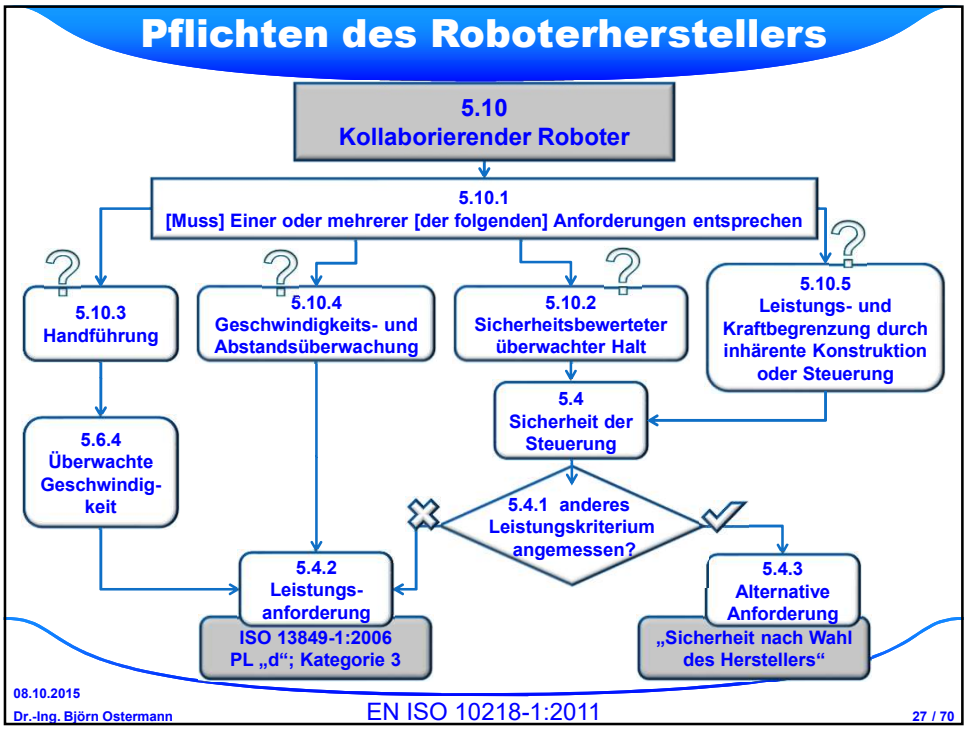
- Industrielle Roboter
  - 5.10
    Anforderungen an den kollaborierenden Betrieb
  - 5.10.4
    „Der Roboter ist **lediglich eine Komponente** in einem betriebsfertig kollaborierenden Robotersystem und ist an sich **unzureichend für den sicheren kollaborierenden Betrieb**. Die Anwendungen des kollaborierenden Betriebs sind dynamisch und müssen durch die **Risikobeurteilung, die während der Auslegung des Anwendungssystems durchgeführt wird**, festgelegt werden.“

25

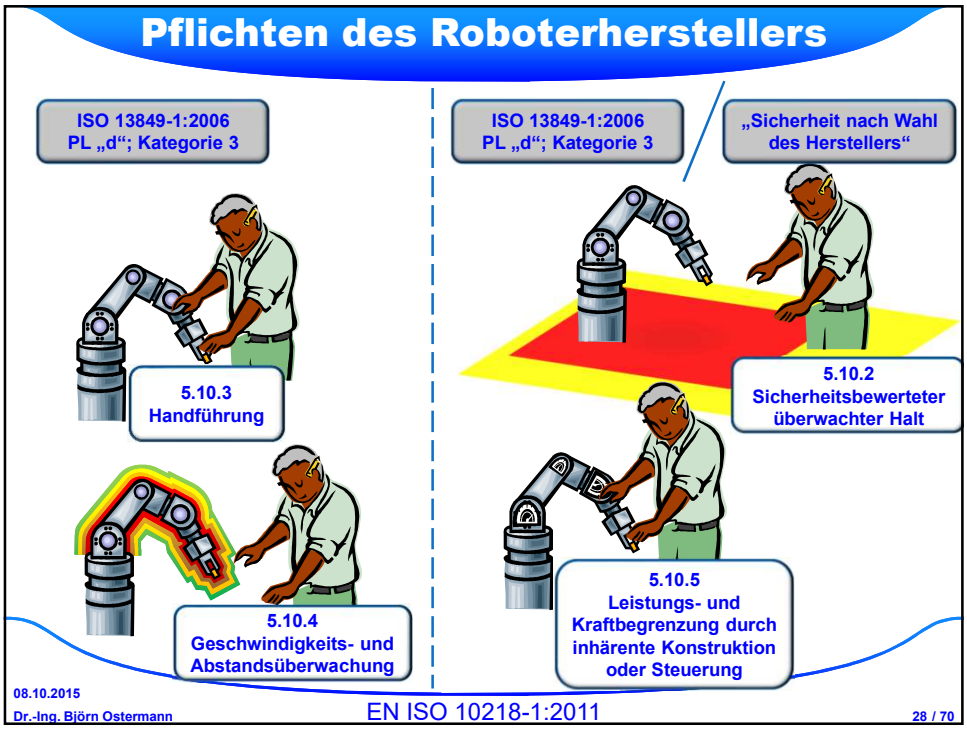
Arten der Kollaboration



26


Pflichten des Roboterherstellers
5.10
Kollaborierender Roboter
5.10.1
[Muss] Einer oder mehrerer [der folgenden] Anforderungen entsprechen
5.10.3
Handführung
5.10.4
Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung
5.10.2
Sicherheitsbewerteter überwachter Halt
5.10.5
Leistungs- und Kraftbegrenzung durch inhärente Konstruktion oder Steuerung
5.6.4
Überwachte Geschwindig-keit
5.4
Sicherheit der Steuerung
5.4.1 anderes Leistungskriterium angemessen?
5.4.2
Leistungs-anforderung
ISO 13849-1:2006
PL „d“; Kategorie 3
5.4.3
Alternative Anforderung
„Sicherheit nach Wahl des Herstellers“
08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
EN ISO 10218-1:2011
27 / 70

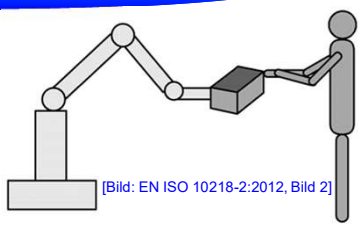
27


Pflichten des Roboterherstellers
ISO 13849-1:2006
PL „d“; Kategorie 3
5.10.3
Handführung
5.10.4
Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung
ISO 13849-1:2006
PL „d“; Kategorie 3
„Sicherheit nach Wahl des Herstellers“
5.10.2
Sicherheitsbewerteter überwachter Halt
5.10.5
Leistungs- und Kraftbegrenzung durch inhärente Konstruktion oder Steuerung
08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
EN ISO 10218-1:2011
28 / 70

28

EN ISO 10218-2:2012

- 5.11.2 Allgemeine Anforderungen (an kollaborierenden Roboterbetrieb)
  - Kennzeichnung mit Symbol
  - (c) **Nichttrennende Schutzeinrichtungen**, die für die Anwesenheitserkennung verwendet werden, müssen die Anforderungen von 5.2.2 erfüllen; ➔**Kat. 3; PLd**



[Bild: EN ISO 10218-2:2012, Bild 2]

- 5.11.3 Anforderungen an Kollaborationsräume
  - Personen/Bedienpersonen müssen mit **nichttrennende Schutzeinrichtungen** nach 5.2.2 geschützt sein ➔**Kat. 3; PLd**
  - Roboter muss nach 5.2.2 zum **Stillstand (Steuerung)** kommen und dort verbleiben ➔**Kat. 3; PLd**
  - Freiraum von mindestens 500 mm
    oder
    andere zusätzliche Schutzmaßnahmen zum Stoppen der Roboterbewegung

Konformitätsvermutung

- 10218-1
  - 1 Anwendungsbereich
    - „[…] Lärmemission wird im Allgemeinen nicht als signifikante Gefährdung, die vom Roboter allein ausgeht, betrachtet; daher ist **Lärm aus dem Anwendungsbereich** dieses Teils der ISO 10218 **ausgeschlossen**. […]“
- 10218-2
  - 1 Anwendungsbereich
    - „[…] Obwohl **Lärm** als signifikante Gefährdung an Industrierobotersystemen erkannt ist, wird er in diesem Teil der ISO 10218 **nicht behandelt**. […]“

Hilfestellung aus Normen

- EN ISO 10218 Teil 1 und 2 „Industrielle Roboter“
  - Verantwortlich ist der Systemhersteller
  - in der Regel ist PLr d, Kategorie 3 gefordert
- EN ISO 13849-1 „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“

31

EN ISO 13849-1

- Abschnitt 6.2.6: Kategorie 3
  - einzelne Fehler dürfen nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen
  - einzelne Fehler sollen bei oder vor der nächsten Anforderung der Sicherheitsfunktion erkannt werden

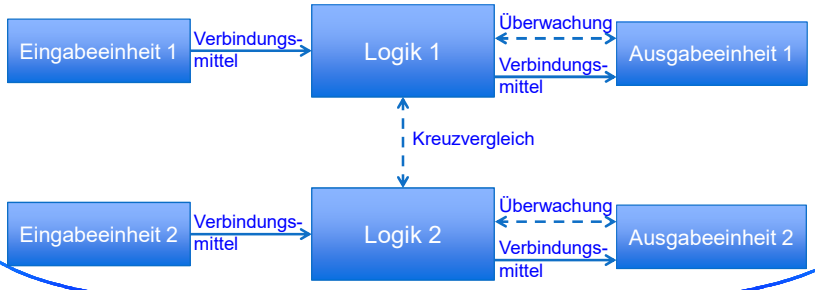
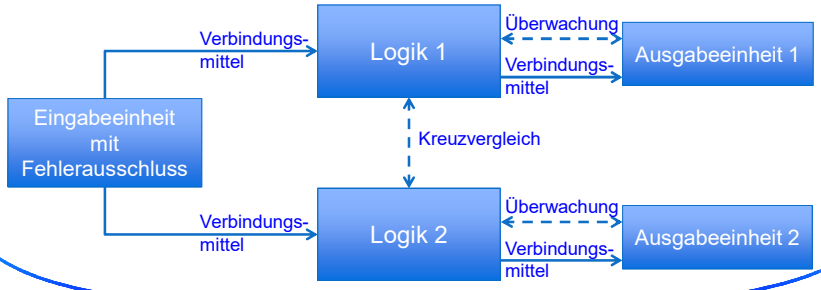


Bild 11 — Vorgesehene Architektur für Kategorie 3

32

EN ISO 13849-1

- Abschnitt 6.2.6: Kategorie 3
  - einzelne Fehler dürfen nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen
  - einzelne Fehler sollen bei oder vor der nächsten Anforderung der Sicherheitsfunktion erkannt werden



EN ISO 13849-1

- Anforderungen an sichere Software (inklusive der verwendeten Algorithmen)
  - Software-Sicherheitslebenszyklus mit **Verifikation und Validierung**
  - …

ab PLr=c

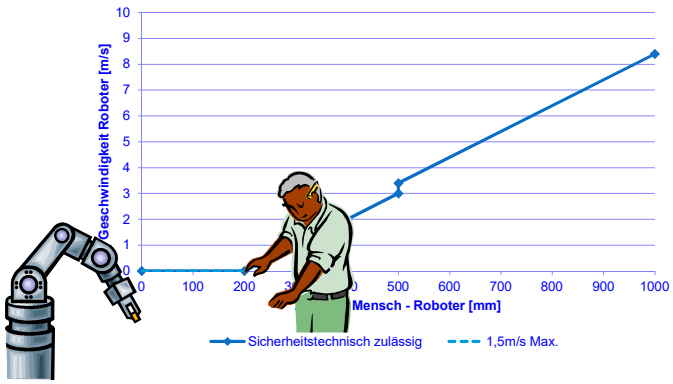
  - Programmiersprachen mit **Betriebsbewährung**
  - Verifikation des Codes durch ein **Walk-Through-Review** (Überprüfung) mit einer Kontrollflussanalyse
  - …

Hilfestellung aus Normen

- EN ISO 10218 Teil 1 und 2 „Industrielle Roboter“
  - Verantwortlich ist der Systemhersteller
  - in der Regel ist PLr d, Kategorie 3 gefordert
- EN ISO 13849-1 „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“
  - Kategorie 3: einzelne Fehler dürfen nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen
- EN ISO 13855 „Anordnung von Schutzeinrichtungen“

EN ISO 13855

- „Anordnung von Schutzeinrichtungen“
  - bei 100 ms „Nachlauf des gesamten Systems“

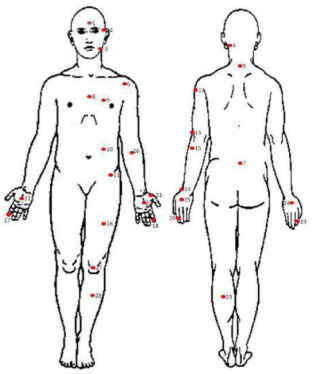


Hilfestellung aus Normen

- EN ISO 10218 Teil 1 und 2 „Industrielle Roboter“
  - Verantwortlich ist der Systemhersteller
  - in der Regel ist PLr d, Kategorie 3 gefordert
- EN ISO 13849-1 „Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“
  - Kategorie 3: einzelne Fehler dürfen nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen
- EN ISO 13855 „Anordnung von Schutzeinrichtungen“
  - Diagramm Abstand Geschwindigkeit
  - mindestens 100 mm Abstand vor Bewegung
- ISO/PDTS 15066 „Robots and robotic devices — Collaborative robots”

ISO/PDTS 15066

- A.3 Biomechanical limits
  - Universität Mainz:
    - 100 Testpersonen
    - 29 Körperstellen
    - Druck bis zum Einsetzen des Schmerzes
    - Übertragung auf Druck bis zum Einsatz der Verletzung



Body Region		Specific Body Area	Quasi-Static Contact: Maximum Allowable Pressure p_s [N/cm2] (see NOTE 1)	Quasi-Static Contact: Maximum Allowable Force [N] (see NOTE 2)
Skull and forehead	1	Middle of forehead	125	130
	2	Temple	110	
Face	3	Masticatory muscle	110	65

CRITICAL ZONE

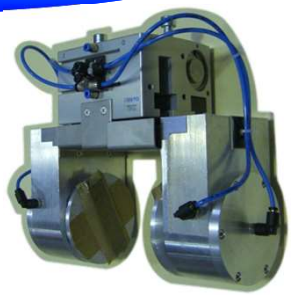
Messgerät

- Entwickelt im Institut für Arbeitsschutz der DGUV
- für die Prüfung kollaborierender Roboterarbeitsplätze
- simuliert den menschlichen Körper (Knochen, Muskel, Fett, Haut)
- modifizierbar für unterschiedliche Körperstellen

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- **Gefahren abseits des Roboters**
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

Weitere Gefahren?



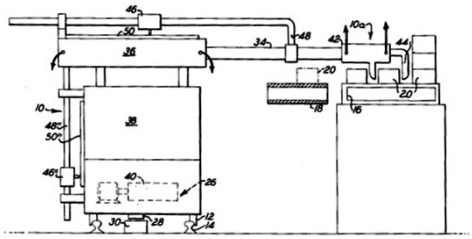
- Roboter haben ein Werkzeug
- Maschinenrichtlinie Anhang I:
  - 1.4.1 Allgemeine Anforderungen an Schutzeinrichtungen
    - Herausschleudern von Gegenständen
    - Herabfallen von Gegenständen
    - Emissionen (Licht, Wärme, Schall, …)
  - 4. Durch Hebevorgänge bedingte Gefährdungen
    - 4.1.2.6. Bewegungsbegrenzung
      - Bewegungen der Bauteile innerhalb der vorgesehenen Grenzen halten
      - Keine Kollision zwischen mehreren Maschinen
      - Kein Verschieben oder Herabfallen der Last, auch bei Energieausfall

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- **Geschichtliche Entwicklung der Robotik**
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

Entwicklung

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters



[Quelle: www.freepatentsonline.com
United States Patent 2988237]

1954 — 2015

43

Entwicklung

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung

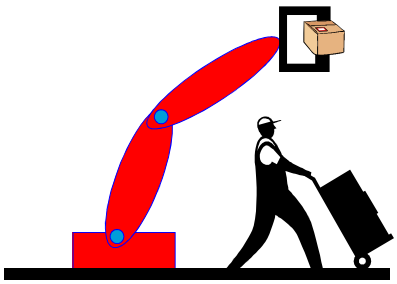
[Quelle: www.wikipedia.org]

1954 — 1962 — 2015

44

Entwicklung

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall



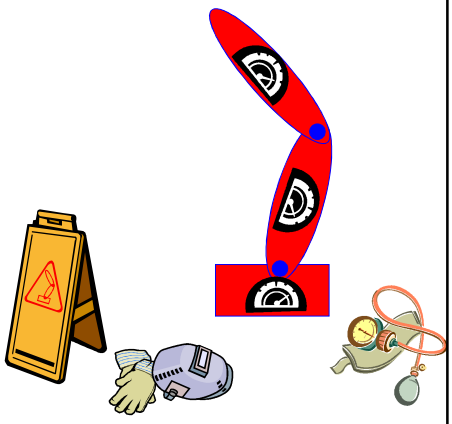
1954 1962 1979 2015

The Citizen, Ottawa, 11.08.1983 – Seite 14

45

Entwicklung

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration



1954 1962 1979 1981 2015

46

Entwicklung

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration
- 1997 – Elan Safety Controller

[Bild: K.A. Schmersal GmbH & Co. KG]

Patent 1997:
Elan + REIS

Mitbenutzung:
2008: ABB
2010: KUKA

1954 — 1962 — 1979 — 1981 — 1997 — 2015

Entwicklung

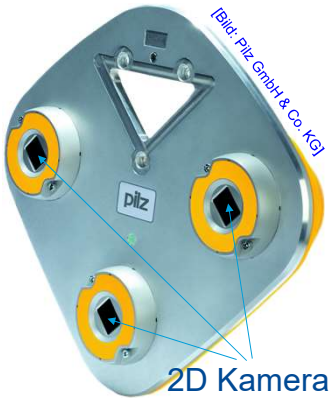
- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration
- 1997 – Elan Safety Controller
- 1998 – Zertifizierung von Laserscannern

[Bild: SICK AG]

1954 — 1962 — 1979 — 1981 — 1997 — 1998 — 2015

Entwicklung

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration
- 1997 – Elan Safety Controller
- 1998 – Zertifizierung von Laserscannern
- 2006 – Zertifizierung vom „SafetyEye“



1954 1962 1979 1981 1997 1998 2006 2015

49

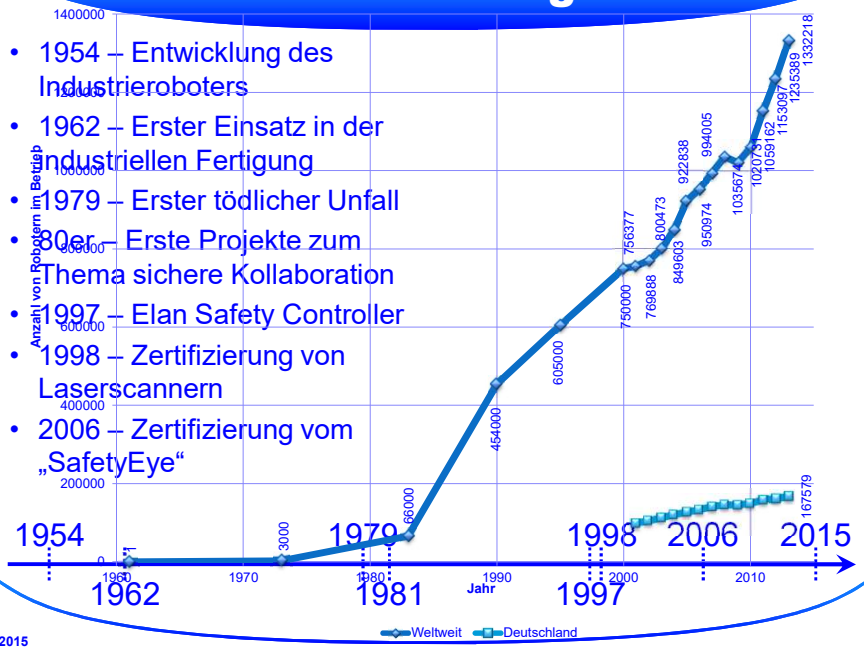
Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- **Statistik**
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

50

Entwicklung

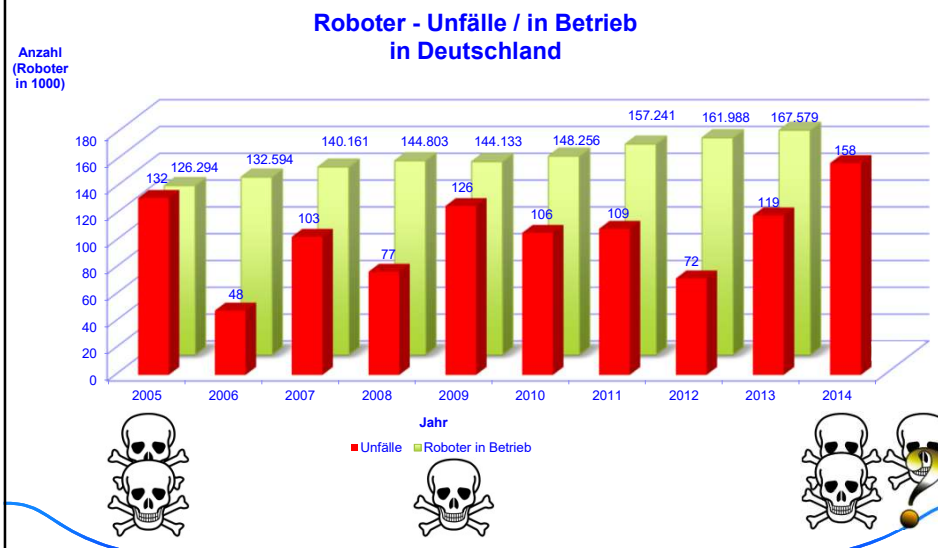
- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration
- 1997 – Elan Safety Controller
- 1998 – Zertifizierung von Laserscannern
- 2006 – Zertifizierung vom „SafetyEye“



Daten-Quelle: International Federation of Robotics + andere

51

Entwicklung

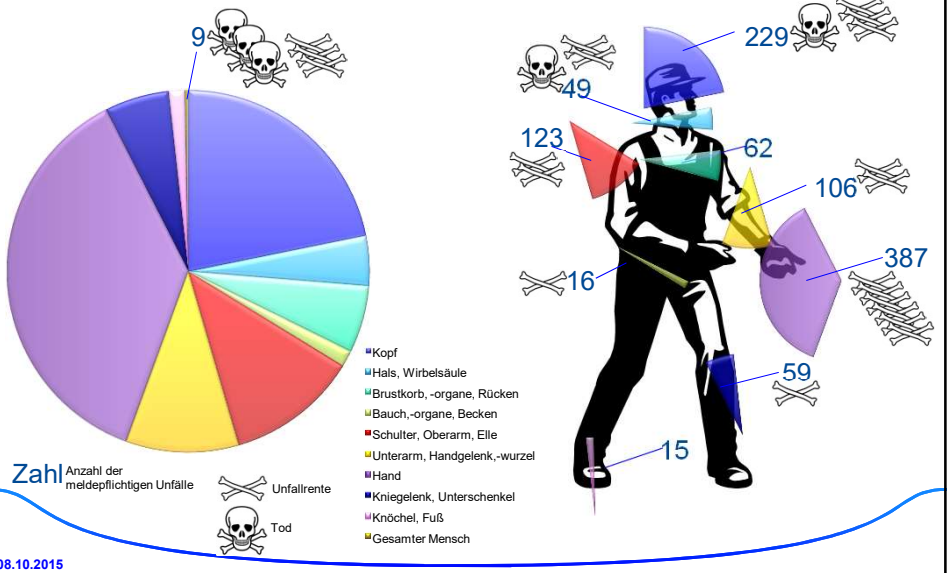


Daten-Quelle: IFR + DGUV

52

Unfallstatistik 2005-2014

1050 Meldepflichtige Unfälle mit Robotern



Daten-Quelle: DGUV (Statistik - Makrodaten, Arbeits- und Schülerunfälle) 2005-2014

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- **Sensoren für kollaborierende Roboter**
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

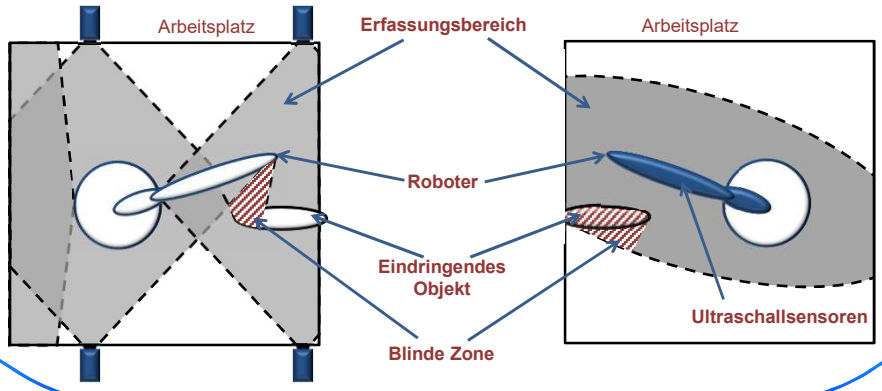
Sensorplatzierung

Allozentrisch

- großräumige Übersicht möglich
- blinde Zonen zwischen Roboter und Mensch

Egozentrisch

- Übersicht nur bis zum nächsten Objekt
- keine blinden Zonen direkt am Roboter



55

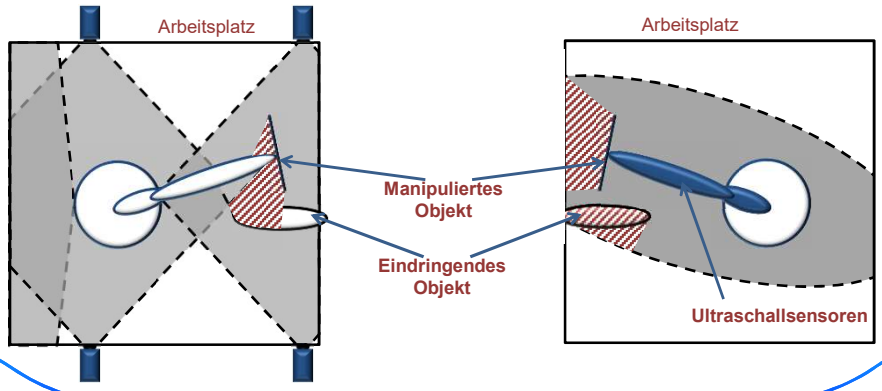
Sensorplatzierung

Allozentrisch

- großräumige Übersicht möglich
- blinde Zonen zwischen Roboter und Mensch

Egozentrisch

- Übersicht nur bis zum nächsten Objekt
- keine blinden Zonen direkt am Roboter



56

Stand der Technik

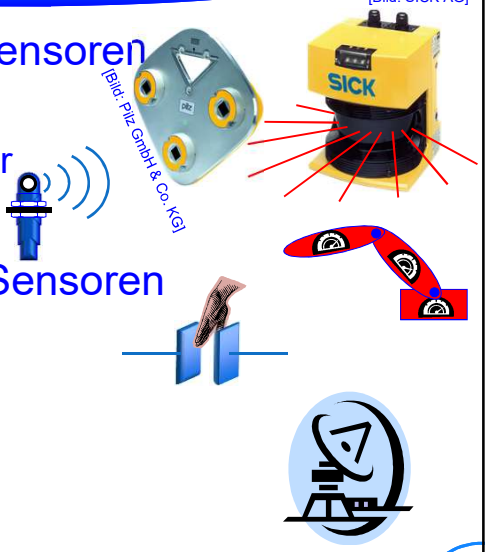
[Bild: K.A. Schmersal GmbH & Co. KG]

- geprüfte Safety Controller
  - sichere kartesische Nocken
  - sicher begrenzte kartesische Geschwindigkeit
- Arbeitsplätze (Roboter + Werkzeug im Arbeitsraum) einzeln geprüft durch BG HM
  - MRK
    - gepolstert
    - sichere druckempfindliche Sensoren
    - zusätzliche kapazitiven Sensoren
  - Bosch
    - gepolstert
    - sichere kapazitive Sensoren
  - Tetra Gesellschaft für Sensorik
    - nur geringe Kräfte

Stand der Wissenschaft

[Bild: SICK AG]

- Optoelektronische Sensoren
  - 2D / 3D Kameras
  - 2D / 3D Laserscanner
- Ultraschallsensoren
- Taktile / Momenten-Sensoren
- Kapazitive Sensoren
- Radar (Mikrowellen)



[Bild: Pilz GmbH & Co. KG]

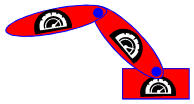
Stand der Technik

[Bild: SICK AG]

- Optoelektronische Sensoren
  - 2D / 3D Kameras
  - 2D / 3D Laserscanner
- Ultraschallsensoren
- Taktile / Momenten-Sensoren
- Kapazitive Sensoren
- Radar (Mikrowellen)

Sicher Sicher Sicher Sicher Sicher Sicher

[Bild: Pilz GmbH & Co. KG]



08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
Datenbank DGUV Test
59 / 70

59

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - **Beispiel: Ultraschall am Roboter**
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - Beispiel: Sensorfusion

08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
60 / 70

60

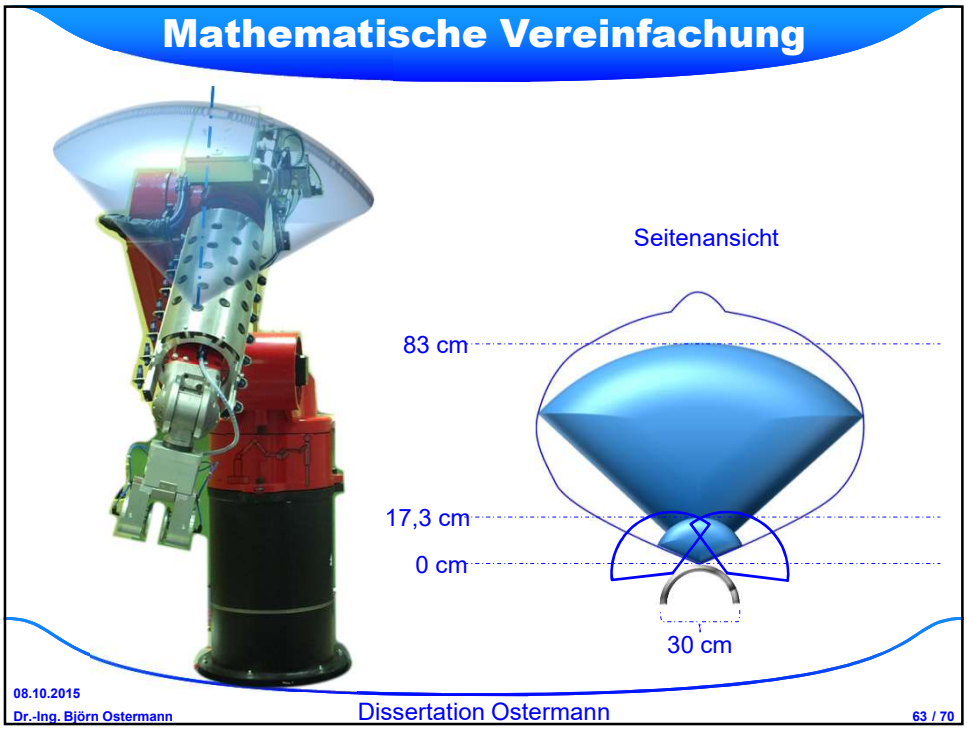
Sensorauswahl

Ultraschall

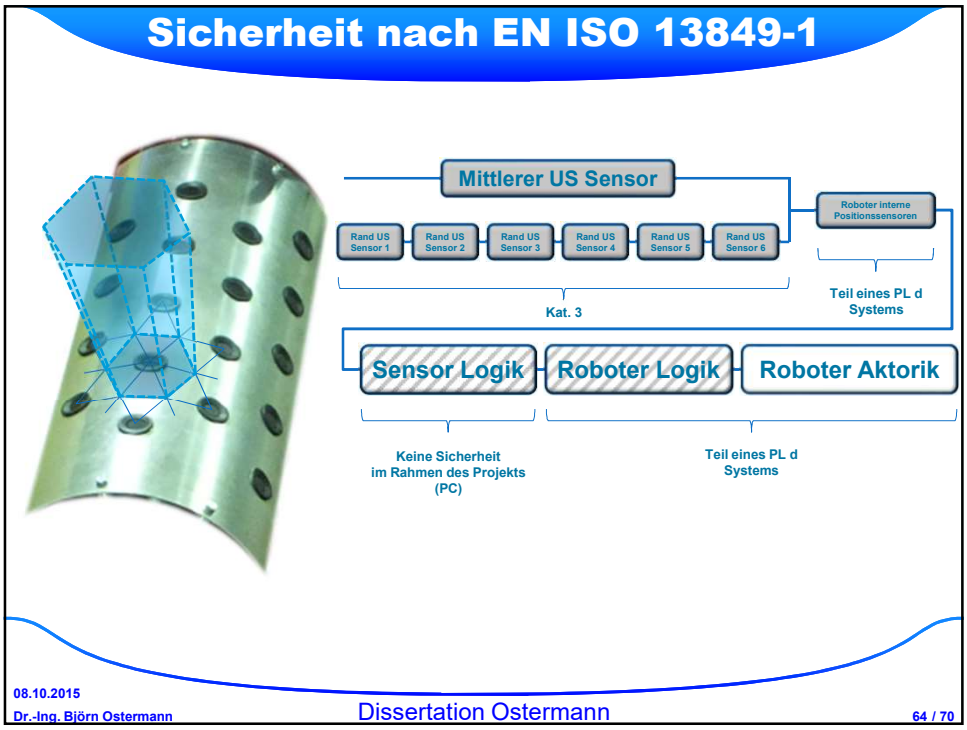
- Vorteile
  - Robuste Technologie verfügbar
  - Sichere Sensoren bereits geprüft und zertifiziert
  - ausreichend kurze Messzeit (<30 ms)
- Nachteile
  - Totzeit (wenn Sender = Empfänger ist)
  - Aktive Messung: Störung benachbarter Sensoren
  - idR. nur kürzeste Distanz bis zum ersten gemessenen Objekt verfügbar
  - Mögliche Störung durch Umgebungseinflüsse

Am Roboter

- aktueller Demonstrator mit 18 Ultraschallsensoren
- ¼ des Roboteroberarms abgedeckt
- Redundante Abdeckung des Raums von 17,3 cm bis 83 cm


Mathematische Vereinfachung
Seitenansicht
83 cm
17,3 cm
0 cm
30 cm
08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
Dissertation Ostermann
63 / 70

63


Sicherheit nach EN ISO 13849-1
Mittlerer US Sensor
Rand US Sensor 1
Rand US Sensor 2
Rand US Sensor 3
Rand US Sensor 4
Rand US Sensor 5
Rand US Sensor 6
Roboter interne Positionssensoren
Kat. 3
Teil eines PL d Systems
Sensor Logik
Roboter Logik
Roboter Aktorik
Keine Sicherheit im Rahmen des Projekts (PC)
Teil eines PL d Systems
08.10.2015
Dr.-Ing. Björn Ostermann
Dissertation Ostermann
64 / 70

64

Performanz

- Pro Sensor, zum Berechnen der Geschwindigkeit mit 99,9% Genauigkeit
  - 20 Divisionen (~400 Takte*)
  - 306 Multiplikationen (~918 Takte)
  - 535 Subtraktionen/Additionen (~1070 Takte)
  - 180 Vergleiche (kleiner/größer) (~360 Takte)
- Bei 80 Sensoren (komplette Abdeckung des unteren Arms)
  - ca. 1.319.040 Takte
  - bei 1,3 GHz → 1ms Rechenzeit
  - stark parallelisierbar (2x 750 MHz, 10x 130 MHz)
  - bei erkannter Kollision in einem Schritt kann abgebrochen werden
  - ein Ergebnis ist nach jedem einzelnen Schritt verfügbar

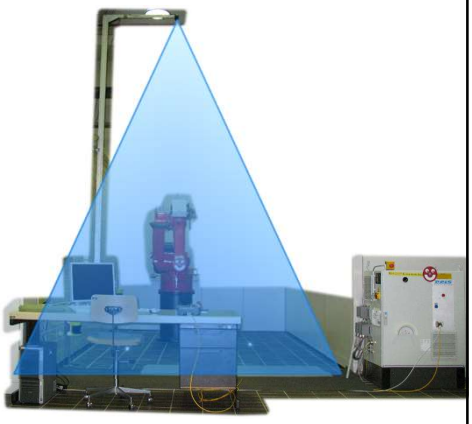
* Takt = Rechenzyklus

Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - **Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter**
  - Beispiel: Sensorfusion

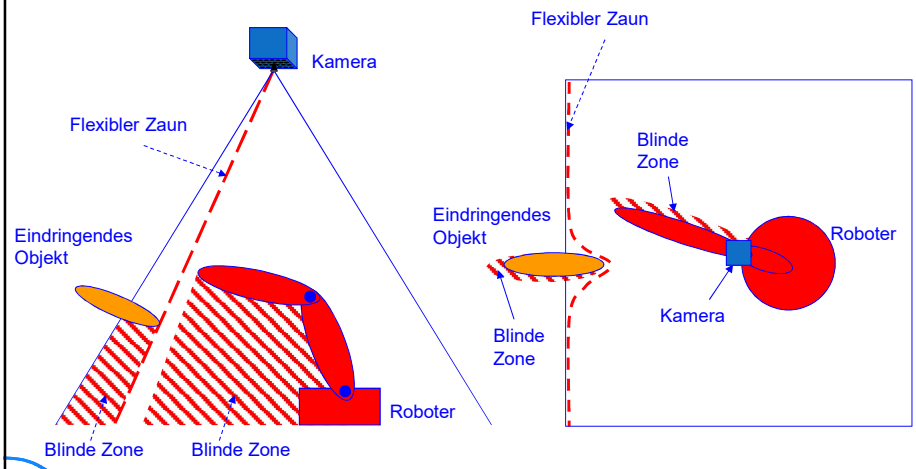
Raumüberwachung

- (3d-)Kamera über dem Roboter
- Viele Informationen um den Roboter
- Wenig / keine Informationen unter dem Roboter
- Geeignet zur Optimierung der Pfadplanung



67

Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“



68

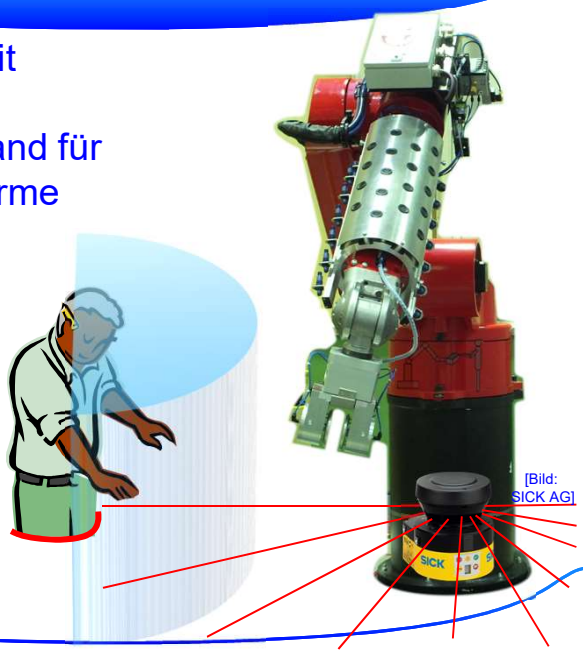
Inhalt

- Industrie 3.0 zu 4.0
- Rechtliche Anforderungen
  - Technische Anforderungen
- Beispiele aus Normen
- Gefahren abseits des Roboters
- Geschichtliche Entwicklung der Robotik
- Statistik
- Sensoren für kollaborierende Roboter
  - Beispiel: Ultraschall am Roboter
  - Beispiel: 3D Kamera über dem Roboter
  - **Beispiel: Sensorfusion**

69

Sensor-Fusion

- Laserscanner mit großem Sicherheitsabstand für ausgestreckte Arme



[Bild: SICK AG]

70