



Whitepaper

Kollaborative Robotik

Handlungssicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) mit der ISO TS 15066



Prolog

Traditionelle Industrieroboter haben seit einiger Zeit Konkurrenz bekommen. Kollaborierende Anwendungen sind in allen Zweigen der Industrie auf dem Vormarsch. Man findet sie nicht nur in großen Konzernen, sondern auch in kleinen und mittelständischen Betrieben. Doch herrscht aktuell oft noch Unsicherheit darüber, ob eine schutzzaunlose Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine wirklich möglich ist. Oberstes Prinzip bei der Entwicklung einer Roboteranwendung ist die Sicherheit des Menschen. Deshalb ist es zwingend Pflicht, vor Inbetriebnahme die Risiken der jeweiligen Anwendung unter Einhaltung der rechtsverbindlichen Rechtsvorschriften zu beurteilen.

Die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) ist noch vergleichsweise jung, so dass auch die Internationale Organisation für Normung (kurz: ISO) sie bei der letzten Überarbeitung der europäischen Norm (kurz: EN) ISO 10218 „Sicherheitsanforderungen von Industrierobotern“ im Jahr 2011 nur bedingt berücksichtigen konnte. Seit Anfang 2016 erweitert darum die verfügbare Technische Spezifikation (kurz: TS) ISO TS 15066 „Robots and robotic devices – Collaborative robots“ die geltende Norm um rund 30 Seiten (ab April 2017 auch auf Deutsch als DIN ISO TS 15066 erhältlich). Damit soll der wachsende Bedarf an technischen Regeln für eine sichere Mensch-Roboter-Kollaboration gedeckt werden. Die seit 15. Februar 2016 gültige ISO TS 15066 wurde als Anleitung für Roboterintegratoren geschrieben, um diesen mehr Sicherheit bei der Risikobewertung zu geben. Speziell die Anlage A wirft aber oft mehr Fragen auf als Antworten zu geben, da sie sehr schwer zu verstehen ist.

Dieses Whitepaper möchte Anwendern und Integratoren Handlungssicherheit bei der Inbetriebnahme von kollaborierenden Roboteranwendungen bieten und greift dazu häufig auftretende Fragen aus der Praxis auf. Nach der Definition kollaborierender Anwendungen liegt ein besonderer Fokus auf einem Überblick zur aktuell geltenden Rechtslage, die derzeit unter Anwendern häufig für Unklarheit sorgt. Nach Hinweisen zur CE-Konformität, der Stellung etablierter Industrienormen sowie der ISO TS 15066, wendet sich dieses Whitepaper der Frage der Umsetzbarkeit zu. Um die Kraft- und Leistungsbegrenzung kollaborierender Roboter richtig anzuwenden, müssen Methoden zur Bestimmung der maximal zulässigen Kraft- und Druckwerte bei einem Kontakt etabliert werden. Das Whitepaper beschreibt Möglichkeiten zur Messung dieser Werte je nachdem, ob eine Klemmung oder eine freie Kollision vorliegt. Damit ist es möglich, eine sichere Mensch-Roboter-Kollaboration im eigenen Betrieb zu verwirklichen.

Andreas Schunkert
Head of Technical Support Western Europe
Universal Robots GmbH



Inhaltsverzeichnis

Prolog	2
Executive Summary	4
1. Standortbestimmung kollaborierender Roboteranwendungen	5
2. Rechtslage	6
2.1 Was bedeutet CE-Konformität?	7
2.2 Hinweise zum CE-Konformitätsverfahren für kollaborierende Roboter	8
2.3 Bedeutung der Normen für den Arbeitsschutz	10
2.4. Die Stellung der ISO TS 15066	10
3. Den Kontakt zwischen Mensch und Roboter richtig einschätzen	12
3.1 Die Kraft- und Druckmessung bei Klemmungen	12
3.2 Die Kraft- und Druckmessung bei freien Kollisionen	14
4. Handlungssicherheit durch die ISO TS 15066	16
5. Weiterführende Literatur	17
6. Anhang	18
Anhang 1: EU-Richtlinien, die im Rahmen der CE-Konformität eine Rolle spielen können:	18
Anhang 2: Geltende Rechtsvorschriften für die CE-Kennzeichnung und Auflistung möglicher Konformitätsbewertungsmodule	19
Anhang 3: Notwendige Unterlagen für das vereinfachte Konformitätsbewertungsverfahren nach Anhang VIII der Maschinenrichtlinie	19
Anhang 4: Möglichkeiten zur Risikobeurteilung einer Roboteranwendung	20
Anhang 5: Schmerzschwellentabelle aus Anhang A der ISO TS 15066	21
Anhang 6: Gleichungen zur Bestimmung der kinetischen Energie und der Kraft für die Veränderung eines Impuls	22



Executive Summary

Die wichtigsten Erkenntnisse des Whitepapers in sieben Punkten:

1. Kollaborierende Roboteranwendungen umfassen nur Anwendungen, bei denen Mensch und Maschine ohne den Gebrauch weiterer Schutzvorrichtungen direkt neben- oder miteinander arbeiten. Kollaborierende Roboter verfügen über eine Kraft- und Leistungsbegrenzung durch inhärente Konstruktion oder Steuerung.
2. Vor Inbetriebnahme einer kollaborierenden Roboteranwendung muss geklärt werden, wer für die Einhaltung welcher rechtlichen Regelwerke zuständig ist. Für den Inverkehrbringer einer Anwendung gilt zwingend die Einhaltung der 9. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz, die der europäischen Maschinenrichtlinie entspricht. Außerdem ist er für die Erklärung der CE-Konformität zuständig. Dafür muss er zusätzlich prüfen, welche weiteren Richtlinien für die Roboterapplikation gelten. Der Betreiber der Anlage dagegen ist für den Arbeitsschutz zuständig.
3. Die Erklärung der CE-Konformität gibt an, dass der Inverkehrbringer eines Produkts aller relevanten CE-Richtlinien in Bezug auf die gesamte Applikation einhält. Für die meisten Roboteranwendungen ist in Bezug auf die Maschinenrichtlinie ein vereinfachtes CE-Konformitätsverfahren möglich. Das Einhalten aller geltenden Industrienormen kann dafür hilfreich sein.
4. Die ISO TS 15066 gibt Hilfestellungen für den Arbeitsschutz bei kollaborierenden Roboteranwendungen. Da sie dem „Stand der Technik“ entspricht, kann sie in der Praxis Anwendung finden.
5. Anhang A der ISO TS 15066 listet nach Körperregionen unterteilt maximal zulässige Kontaktkräfte und maximal anwendbaren Druck für eine Kollision zwischen Mensch und Roboter.
6. Für die Risikobeurteilung einer kollaborierenden Roboteranwendung unterscheidet man zwischen Kontakten, bei denen quasi statische, und solche, bei denen transiente Kraft- und Druckverhältnisse wirken. Eine gute Risikobeurteilung für Klemmsituationen erfolgt, indem man maximale Kraft- und Druckverhältnisse für den Zeitpunkt 0,5 Sekunden nach dem Kontakt misst und mit den Richtwerten für statischen Kontakt der ISO TS 15066 vergleicht.
7. Bei freien Kollisionen ohne Klemmpotential wirken viel niedrigere transiente Kräfte auf den menschlichen Körper. Eine realistische Messung während einer Risikobeurteilung ist mangels geeigneter Methoden gegenwärtig jedoch nicht durchführbar. Die Forschung dazu ist im Gange. Bis dahin müssen sich Anwender an den Richtlinien für Klemmsituationen orientieren.



1. Standortbestimmung kollaborierender Roboteranwendungen

Auf den Messen und Kongressen der letzten Jahre dominierte ein zentrales Thema: Kollaborierende Roboter. Für die Hannover Messe 2017 werden die sogenannten Cobots (von engl. „collaborative robots“) gar als „Stars“ angepriesen¹. Dabei ist es äußerst schwierig, verlässliche Zahlen zu erhalten, wie viele Cobots tatsächlich in kollaborierenden Roboteranwendungen im Einsatz sind. Das liegt zum einen daran, dass Roboterhersteller zwar Verkaufszahlen liefern können, diese aber implizieren, dass alle diese verkauften Roboter auch in kollaborierenden Anwendungen zum Einsatz kommen. Zum anderen liegt es auch an der unklaren Definition der Bezeichnung „kollaborierende Anwendungen“. Die für Sicherheitsanforderungen von Industrierobotern zuständige Norm EN ISO 10218-1:2011 beschreibt im Abschnitt 5.10 vier Arten von kollaborierenden Anwendungen:

- 1. Sicherheitsgerichteter, überwachter Stopp:** Beim Zutritt eines Menschen in den Kollaborationsraum stoppt der Roboter. Dieser Stillstand hält solange an, bis der Mitarbeiter den gemeinsamen Arbeitsraum wieder verlassen hat.
- 2. Handführung:** Die Bewegungen und Kräfte, die der Mensch auf den Roboter ausübt, werden mittels Sensoren in eine Roboterbewegung umgewandelt. Der Roboter wird also komplett vom Mitarbeiter gesteuert, meist unterstützt durch eine Zustimmungseinstellung wie einen Dreipunktschalter.
- 3. Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung:** Der Abstand von Mensch und Roboter wird konstant überwacht. Bei Unterschreitung der vorgeschriebenen Distanz, reduziert sich die Geschwindigkeit des Roboters bis auf einen Sicherheitshalt.
- 4. Leistungs- und Kraftbegrenzung² durch inhärente Konstruktion oder Steuerung:** Das Gefährdungspotenzial des Roboters wird durch die Beschränkung dynamischer Parameter minimiert. So lassen sich die Kontaktkräfte zwischen Mitarbeiter und Roboter technisch auf ein ungefährliches Maß begrenzen.

Im Allgemeinen spricht die Fachwelt nur bei der letzten Variante wirklich von einer Kollaboration. In den anderen Fällen ist der Begriff einer Koexistenz angebracht, da sich Mensch und Roboter zwar im gleichen Arbeitsbereich aufhalten, aber nur einer der beiden Akteure wirklich arbeitet. Bei der Variante des sicherheitsgerichteten, überwachten Stopps hält der Roboter beispielsweise an, wenn eine Person in dessen Bereich eintritt. Im Falle der Leistungs- und Kraftbegrenzung durch inhärente Konstruktion oder Steuerung arbeiten Mensch und Maschine im Fertigungsprozess direkt neben- oder miteinander, zum Beispiel an derselben Werkbank.

Da nur mittels der Kraft- und Leistungsbegrenzung ein Mitarbeiter den Roboter flexibel wie ein Werkzeug in seinen Arbeitsalltag integrieren und an sich verändernde Produktionslayouts anpassen kann, wird im Folgenden nur auf diese Variante der Kraft- und Leistungsbegrenzung vertieft eingegangen. Alle anderen Typen erfordern in der Umsetzung zusätzlichen Aufwand, der nicht der Vision einer echten Mensch-Roboter-Kollaboration entspricht.

Leistungs- und Kraftbegrenzung bei Universal Robots

Die Leichtbauroboter von Universal Robots sind mit internen Kraftregelungen und bis zu 15 individuell justierbaren Sicherheitsfunktionen ausgestattet. Dadurch können sie nach erfolgreich abgeschlossener Risikobeurteilung ohne oder nur mit minimalen Schutzvorrichtungen betrieben werden. Der Roboter überwacht fortlaufend die Ströme in seinen durch Gleichstromservomotoren angetriebenen Gelenken. Aus den jeweiligen Strömen, und noch einigen anderen gemessenen und bekannten Parametern, kann der Roboter die auf ihn wirkenden Kräfte bestimmen. Diese vergleicht er in Echtzeit mit den aufgrund der Physik erwarteten statischen und dynamischen Kräften. Kommt es doch einmal zu einer unerwarteten Kollision, stimmen diese beiden Werte durch den erhöhten mechanischen Widerstand nicht mehr miteinander überein. Der Roboter stoppt sofort. Bei den Knickarmrobotern von Universal Robots genügt je nach Einstellung und Modell bereits eine Kräfteinwirkung von lediglich 50 oder 100 Newton, um den automatischen Sicherheitsstopp einzuleiten.

1 <http://www.hannovermesse.de/de/news/roboter-rocken-die-messe.xhtml>.

2 Schutzmaßnahme, die entweder Gefährdungen beseitigt oder die mit den Gefährdungen verbundenen Risiken vermindert, indem ohne Anwendung von trennenden oder nicht trennenden Schutzeinrichtungen die Konstruktions- oder Betriebseigenschaften der Maschine verändert werden.

2. Rechtslage

Vor dem Blick auf die für die Risikobeurteilung relevanten Inhalte der ISO TS 15066, ist es wichtig zu verstehen, welche rechtliche Bedeutung der EN ISO 10218:2011 und der ISO TS 15066 zukommen und welche zusätzlichen Richtlinien für den Betrieb einer Roboteranlage relevant sind.

In Europa erlässt die Europäische Union Richtlinien für Produkte, die die grundlegenden Anforderungen, meistens bezüglich der Sicherheit, definieren. Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, diese in nationales Recht umzusetzen. Außerdem erarbeiten die europäischen Normenorganisationen harmonisierte Normen, die grundlegende Anforderungen an Produkte konkretisieren und teilweise verbindlich (A-Normen), meistens aber freiwillig (B- und C-Normen) zu erfüllen sind.

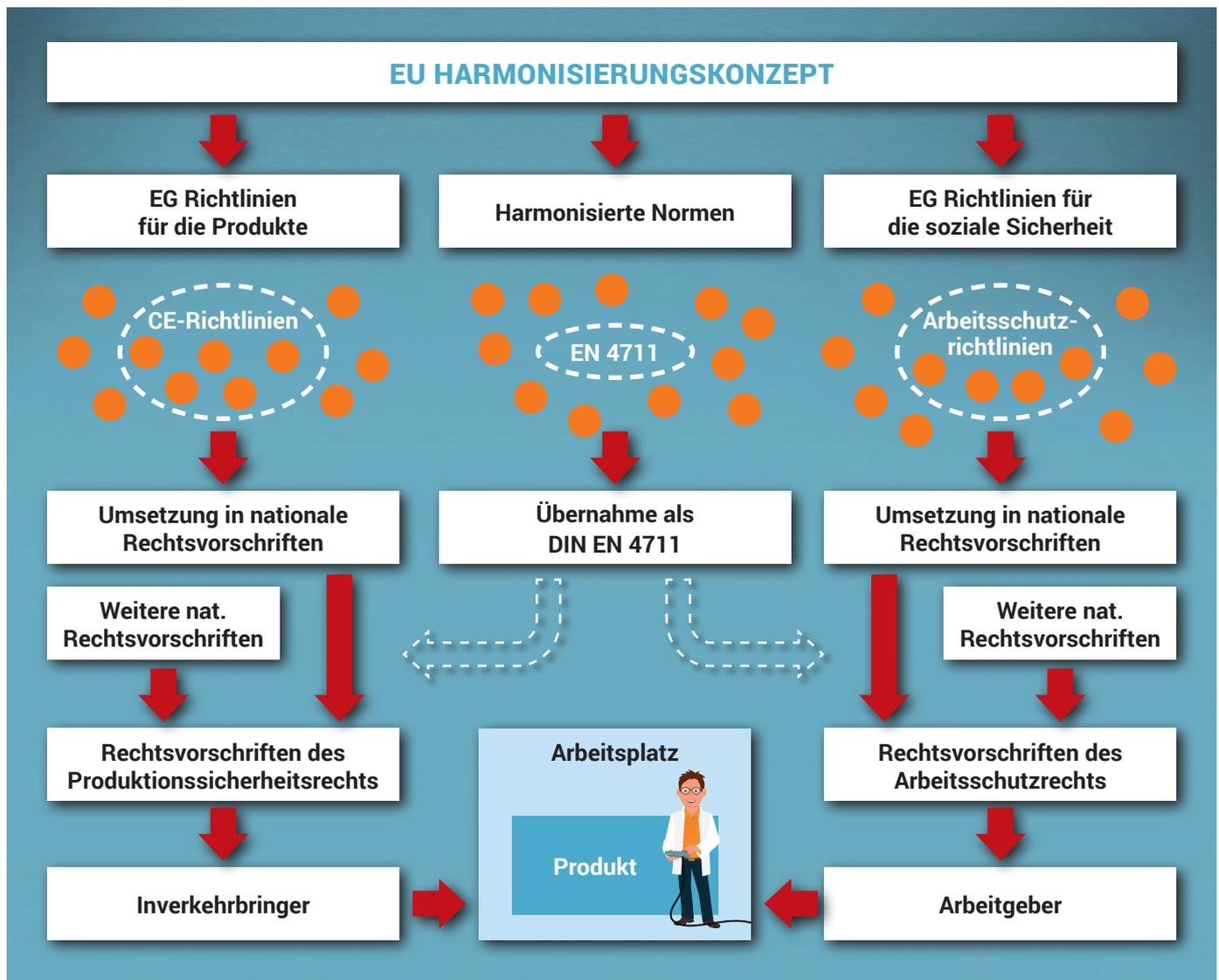


Abbildung 2.1: Grafische Darstellung des EU Harmonisierungskonzepts.³

³ Quelle: Universal Robots.

2.1 Was bedeutet CE-Konformität?

Am 17. Mai 2006 erließ die Europäische Kommission die aktuelle EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Mit der 9. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (9. ProdSV) wurde diese Richtlinie in **verbindlich anzuwendendes, deutsches Recht** umgesetzt. Das Gesetz regelt die Sicherheitsanforderungen von technischen Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten. Verantwortlich für die Einhaltung dieser Richtlinie sind Hersteller und Inverkehrbringer von Produkten, die unter der Maschinenrichtlinie gefasst sind. Als „Inverkehrbringen“ versteht sich die „erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt“.⁴

Alle Hersteller von Maschinen, die unter die Maschinenrichtlinie fallen, sind verpflichtet, diese dem CE-Konformitätsbewertungsverfahren zu unterziehen, also alle Kriterien zu erfüllen, die die Richtlinie für eine Maschine fordert. Zum Ausdruck der Konformität wird die Maschine dann mit dem CE-Kennzeichen versehen. Mit dieser Kennzeichnung zeigt der Hersteller oder Inverkehrbringer an, dass er **alle für sein Produkt relevanten EU-Richtlinien einhält**.

Dabei unterscheidet die Maschinenrichtlinie in „vollständige“ und „unvollständige“ Maschinen, für die jeweils unterschiedliche Anforderungen gelten. Ein Produkt wie beispielsweise ein flexibel einsetzbarer Roboterarm, der nicht nur für eine einzige, spezifische Aufgabe entwickelt wurde, zählt dabei als „unvollständige Maschine“. Eine konkrete Anwendung mit einem installierten Roboterarm, der mit einem Werkzeug, elektrischer Verbindung und Programmierung ausgestattet ist, wertet das Gesetz hingegen als „vollständige Maschine“.

Da laut Maschinenrichtlinie ausschließlich „vollständige Maschinen“ die CE-Kennzeichnung tragen können, ergibt sich aus dieser Definition die Verpflichtung von Systemintegratoren und Vertriebspartnern der Roboterarme, die Verantwortung für das CE-Konformitätsbewertungsverfahren zu übernehmen und das Kennzeichen anzubringen. Denn wer eine Roboteranwendung oder Gesamtanlage installiert und parametert oder den Roboter mit der eigenen Marke versieht, gilt als **Hersteller der vollständigen Maschine** und damit des Produkts im Sinne des Gesetzes. **Darum muss immer die gesamte Applikation mit allen Bestandteilen einer Risikobeurteilung unterzogen werden, nicht nur der Roboterarm.**

Neben der Maschinenrichtlinie existiert noch eine Vielzahl weiterer produktspezifischer EU-Richtlinien, die je nach Branche im Rahmen des CE-Konformitätsbewertungsverfahrens zur Geltung kommen können. Für Roboteranwendungen sind dies beispielsweise neben der Maschinenrichtlinie meist noch die Niederspannungsrichtlinie für elektrische Betriebsmittel sowie die sogenannten RoHS-Richtlinien, die sich um die Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe drehen.

HINWEIS: Anhang 1 dieses Dokuments zeigt alle Richtlinien, die im Rahmen der CE-Konformität zum Tragen kommen können. Teilweise sind sie ebenfalls als Verordnungen im Produktsicherheitsgesetz integriert. Wählen Sie aus dieser Liste aus, welche Richtlinien für Ihre Produkte und Anwendungen gelten.

Es ist die Pflicht des Herstellers oder Inverkehrbringers, zu Beginn eines Konformitätsbewertungsverfahrens zu prüfen, unter welche Richtlinien das konkrete Produkt fällt.

Jede Richtlinie legt fest, ob der Hersteller die Konformitätsprüfung für die jeweilige Richtlinie selbst durchführen darf oder eine staatlich benannte Prüfstelle wie der TÜV eingebunden werden muss.

⁴ §2 Abs. 15 Produktsicherheitsgesetz (ProdSG).

2.2 Hinweise zum CE-Konformitätsverfahren für kollaborierende Roboter

Ist bekannt, welche EU-Richtlinien für die CE-Kennzeichnung eines Produkts zu beachten sind, ist den jeweiligen Richtlinien zu entnehmen, wie die Konformitätsprüfung durchzuführen ist. Insgesamt stehen dazu acht verschiedene Bewertungsverfahren zur Verfügung, die sogenannten Konformitätsbewertungsmodule.

Den jeweiligen Richtlinien ist zu entnehmen, welche dieser Module für das behandelte Produkt anzuwenden sind und welche konkreten Maßnahmen diese Module enthalten. Dabei kann es in **jeder Richtlinie mehrere Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Module** geben, je nachdem, wie das konkrete Produkt spezifiziert ist. Im Fall der Maschinenrichtlinie, die generell für alle Roboteranwendungen gilt, sind dies:

1. **Aus dem Modul A:** Bewertungsverfahren der internen Fertigungskontrolle nach Anhang VIII der Maschinenrichtlinie.
2. **Aus den Modulen A und B:** Bewertungsverfahren der internen Fertigungskontrolle nach Anhang VIII Nr. 3 der Maschinenrichtlinie sowie eine Baumusterprüfung durch eine benannte Prüfstelle nach Anhang IX der Maschinenrichtlinie.
3. **Aus dem Modul H:** Bewertungsverfahren der umfassenden Qualitätssicherung unter Einbindung einer benannten Prüfstelle nach Anhang X der Maschinenrichtlinie.

HINWEIS: Anhang 2 dieses Dokuments enthält eine Auflistung aller gültigen Rechtsvorschriften, die die CE-Kennzeichnung betreffen, sowie eine Aufzählung der acht möglichen Konformitätsbewertungsmodule.



Je nach Anwendung wird also eines dieser drei gelisteten Bewertungsverfahren durchgeführt, um Konformität mit der Maschinenrichtlinie zu erklären. Welches Verfahren ausreichend ist, ist vorab durch zwei Fragen zu klären:

1. Handelt es sich bei der Anwendung um eine „gefährliche Maschine“ im Sinne von Anhang IV der Maschinenrichtlinie?
2. Entspricht die Anwendung nicht nur allen relevanten Richtlinien, sondern auch allen geltenden Industrienormen (siehe Kapitel 2.3)?

Basierend auf den Antworten, ergeben sich folgende Möglichkeiten:

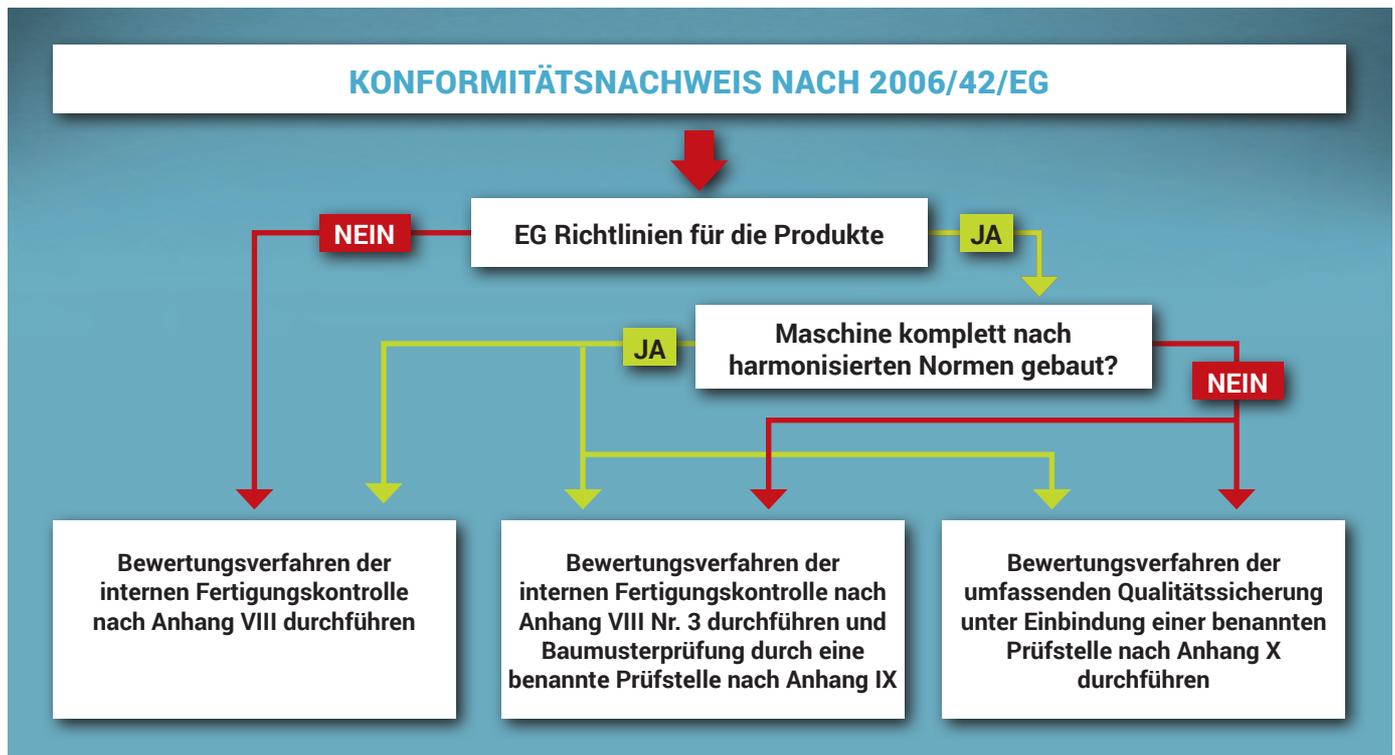


Abbildung 2.2: Grafische Darstellung der möglichen Entscheidungswege für die Frage, welche Konformitätsbewertungsmodule zur Konformität mit der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG zur Anwendung kommen.⁵

Roboter zählen nicht zu den gefährlichen Maschinen nach Anhang IV der Maschinenrichtlinie. Auch fertige Roboterapplikationen sind in den meisten Fällen nicht den Kategorien dieses Anhangs zuzuordnen. Dadurch ist für die CE-Konformitätserklärung der Maschinenrichtlinie in der Regel das verhältnismäßig einfache Bewertungsverfahren nach Anhang VIII möglich, also die interne Fertigungskontrolle ohne Einbezug einer benannten Prüfstelle (ganz links in Abbildung 2.2).

Das vereinfachte Verfahren besteht darin, für jedes repräsentative Baumuster des Produkts eine Reihe von technischen Unterlagen zu erstellen und die darin enthaltenen Angaben sowie die generellen Anforderungen der Maschinenrichtlinie einzuhalten. Die Unterlagen müssen mindestens zehn Jahre lang aufbewahrt werden.

HINWEIS: Anhang 3 dieses Dokuments listet alle Unterlagen auf, die gemäß Anhang VII der Maschinenrichtlinie für das vereinfachte Verfahren zu erstellen sind.

Wird eine Roboteranwendung doch gemäß Anhang IV der Maschinenrichtlinie als gefährlich eingestuft, lässt sich das vereinfachte Konformitätsbewertungsverfahren ohne benannte Prüfstelle doch erreichen, wenn die Maschine alle Anforderungen aller relevanter Industrienormen erfüllt (siehe Kapitel 2.3). In diesem Sinne ist die **strikte Einhaltung aller Normen nicht zwingend notwendig**, kann aber die Erklärung der CE-Konformität nach der Maschinenrichtlinie vereinfachen.

⁵ Quelle: Universal Robots.

2.3 Bedeutung der Normen für den Arbeitsschutz

Die produktspezifischen europäischen Richtlinien durchlaufen einen sehr langwierigen Prozess vor der Zeichnung und können mit dem schnellen Voranschreiten der Technik meist nicht Schritt halten. Deshalb wird in den Richtlinien und Gesetzen oft auf eine detaillierte Anforderungsbeschreibung verzichtet. Dazu zählen beispielsweise Regelungen für den **Arbeitsschutz, für deren Einhaltung der Betreiber einer Anlage verantwortlich ist**. Stattdessen konkretisieren die harmonisierten Normen der EU die grundlegende Anforderungen an die Produkte. Eine Norm ist ein etablierter, einheitlicher Weg etwas zu tun. **Für Industrieroboter gilt aktuell die EN ISO 10218 „Sicherheitsanforderungen von Industrierobotern“**. Normen wie diese **„tragen die Vermutung in sich, dass sie den Stand der allgemein anerkannten Regeln der Technik wiedergeben“**.⁶

Den **unbestimmten Rechtsbegriff** der „anerkannte Regeln der Technik“ definiert das Deutsche Institut für Normung als „von der Mehrheit der Fachleute als zutreffend erachtete Beschreibung des Standes der Technik zum Zeitpunkt der Veröffentlichung“.⁷ Unter dem „Stand der Technik“ versteht der deutsche Gesetzgeber den „Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zum Schutz der Gesundheit und zur Sicherheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt“.⁸

Es wird also angenommen, dass ein Produkt dem Stand der Technik entspricht, wenn alle Anforderungen der zu Grunde liegenden harmonisierten Normen für das jeweilige Produkt eingehalten werden. Der Umkehrschluss gilt jedoch nicht. Da der Stand der Technik den etablierten Normen voraus sein kann, **kann auch ein Produkt, das nicht allen geltenden Normen in allen Punkten entspricht, dennoch dem Stand der Technik entsprechen** und damit größtmögliche Sicherheit bieten.

Dies bestätigt auch ein Kommentar der EU Kommission zur alten Maschinenrichtlinie 98/37/EG: *„Nicht die Norm ist zwingend, sondern der Stand der Technik! Eine Norm kann nicht für sich in Anspruch nehmen, den Stand der Technik systematisch und von vornherein widerzuspiegeln, sondern sie muss unumstrittener Ausdruck einer weit verbreiteten fachlichen Realität im betreffenden Berufsstand sein.“*⁹

Derartige den Geltungsbereich gültiger Normen übertreffende Entwicklungen abzudecken, ist die Aufgabe Technischer Spezifikationen. So aktualisiert die ISO TS 15066 die gültige Norm für Industrieroboter um den aktuellen Stand der Technik, die Mensch-Roboter-Kollaboration.

2.4. Die Stellung der ISO TS 15066

Entwickelt und akzeptiert wurde die ISO TS 15066 vom zuständigen Gremium ISO/TC 299. Diesem Komitee gehörten neben Herstellern wie Universal Robots, ABB, Rethink Robotics, Kuka, Yaskawa und Fanuc auch Unternehmen wie Pilz, verschiedene Berufsgenossenschaften sowie das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung an. Da die ISO TS 15066 also durch eine Mehrheit repräsentativer Fachleute akzeptiert wurde, **spiegelt sie den „Stand der Technik“ und damit die „anerkannten Regeln der Technik“ zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung wider**.

Die Technische Spezifikation wurde geschrieben, um Anwendern und Integratoren mehr Sicherheit bei der Risikobeurteilung einer kollaborierenden Roboteranwendung zu geben. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf Anwendungen, bei denen Mensch und Maschine direkt neben- oder miteinander arbeiten und die Sicherheit durch eine Leistungs- und Kraftbegrenzung der Roboter gewährleistet ist (vgl. Kapitel 1).

In der Vergangenheit definierte die inzwischen nicht mehr gültige Vorgängerversion der EN 10218:2011 für die Risikobeurteilung pauschal eine maximal zulässige Kontaktkraft von 150 Newton bei einer Kollision zwischen Mensch und Roboter. Die aktuelle Norm spezifiziert sie mit einem Verweis auf die ISO TS 15066 genauer.

Deren Anhang A führt ein Körperzonenmodell ein, das auf einer Studie des arbeitsmedizinischen Instituts der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz basiert. Die Studie wurde von der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) in Auftrag gegeben und veröffentlicht. Das Körperzonenmodell definiert 29 unterschiedliche Körperstellen sowie „Schmerzgrenzen“, also maximal zulässige Kraft- und Druckverhältnisse je nach Region.

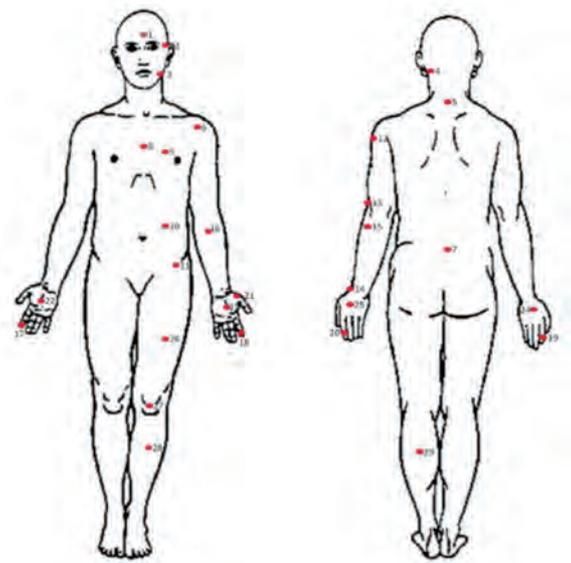
6 BGH, Urteil vom 24.05.2013 – V ZR 182/7.

7 DIN Mitteilung Jg. 1984 Nr. 5 – „Zur Bedeutung Technischer Regeln in der Rechtsprechungspraxis der Richter“.

8 §3 Abs. 6 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG).

9 EG-Kommission, Erläuterungen zur Maschinenrichtlinie 98/37/EG, Luxemburg, Rn 167, S. 47.

Abbildung 2.3: Definierte Körperstellen zur Schmerzgrenzenbestimmung.¹⁰



Der gesamte Anhang A trägt die Bezeichnung „informativ“. Durch diese Bezeichnung wird festgelegt, dass die darin enthaltenen Inhalte **kein verbindlich einzuhaltendes Regelwerk, sondern vielmehr als optionale Richtlinien** zu verstehen sind. Obwohl die EN ISO 10218 auf die Werte im Anhang A der ISO TS 15066 verweist, entbehrt die Vorstellung, sie seien verbindlich anzuwenden, aus zwei Gründen jeglicher Grundlage:

1. Die meisten Normen, wie auch die EN ISO 10218:2011, sind keine rechtlich bindenden Gesetze. Auch der in der Norm enthaltene Verweis auf die ISO TS 15066 gilt nicht als rechtlich bindend.
2. Die EN ISO 10218-2:2011 enthält lediglich einen informativen Hinweis der besagt, dass weitere Informationen und Hilfestellungen für eine kollaborierende Anwendung in der ISO TS 15066 zu finden sind. Eine verbindliche Anweisung lässt sich daraus nicht ableiten.

Die englische Originalfassung lautet: „*Robot systems designed to control hazards by power or force limiting shall use robots that comply with ISO 10218-1. Parameters of power, force and ergonomics shall be determined by risk assessment. Note: Additional information and guidance on collaborative robot operations will be contained in ISO TS 15066.*“

Exkurs – Kritik an Anhang A: Bei der Erstellung der Studie zur Ermittlung von Schmerzgrenzen im Körperzonenmodell blieben einige Faktoren unbeachtet, die die Aussagekraft der angegebenen Werte in Frage stellt. Da die Durchführung der Studie mit freiwilligenden Probanden stattfand, denen kein echter Schmerz zugefügt werden durfte, sind die Angaben darüber, welche Kraft- und Druckverhältnisse als unangenehm empfunden werden, subjektiv. Außerdem berücksichtigt das Modell nicht, wie hoch das Risiko einer Kollision ist, obwohl die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Kollision in jede Risikobeurteilung miteinfließt.

Fall 1: Ein Arbeiter arbeitet ganztätig an der Seite des Roboters und führt mit diesem Montagetätigkeiten aus. Kontaktmöglichkeiten sind häufig gegeben.

Fall 2: Ein Roboter palettiert verpackte Produkte. Wenn die Palette mit 50 Produkten fertig palettiert ist, wechselt ein Arbeiter die Palette aus. Auch beim Wechseln der Palette muss der Werker nicht in den Arbeitsbereich des Roboters eintreten. Dazu besteht nur bei einer Störung Notwendigkeit, etwa wenn ein Produkt nicht richtig abgesetzt wurde.

Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen ist es denkbar, dass Anwendungen, bei denen eine Eintrittswahrscheinlichkeit kaum gegeben ist, auch mit höheren Maximalwerten sicher arbeiten.

HINWEIS: Anhang 4 dieses Dokuments listet zum Vergleich mögliche Verfahren zur Risikobeurteilung auf, bei denen nicht nur der mögliche Schaden selbst, sondern auch das mit der Gefährdung verbundene Risiko beurteilt wird.

Ist die rechtliche Stellung der ISO TS 15066 verstanden, gilt es nun zu entscheiden, wie die Technische Spezifikation in die eigene Risikobeurteilung eingebunden werden kann und sich gemessene Werte richtig interpretieren lassen.

¹⁰ ISO TS 15066, Anhang A.

3. Den Kontakt zwischen Mensch und Roboter richtig einschätzen

Von besonderer Bedeutung ist die Frage, wie sich die Erkenntnisse aus Anhang A bei der Gestaltung einer kollaborierenden Anwendung nutzbringend verwerten lassen. Wie lassen sich aus lediglich informativen Richtlinien konkrete Handlungsempfehlungen ableiten?

Bei der Einrichtung einer kollaborativen Roboteranwendung müssen bei der Kraft- und Leistungsbegrenzung sowohl für die Druck- als auch für die Kraftwerte grundsätzlich zwei Kontaktsituationen unterschieden werden:

1. Der gewollte und applikationsbedingt notwendige Kontakt
2. Der ungewollte und sicherheitsrelevante Kontakt

Kommt es zu einer Kollision und einer damit verbundenen Kraftereinwirkung auf einen Gegenstand oder einen menschlichen Körper, sind außerdem zwei prinzipiell mögliche Situationen zu unterscheiden:

1. **Der quasi statische Kontakt:** Ein Gegenstand oder ein Körperteil erfährt eine Klemmung, beispielsweise wenn eine auf dem Tisch liegende Hand zwischen Tisch und Roboter eingeklemmt wird. Da kein Zurückweichen der betroffenen Körperstelle möglich ist, nimmt das Gewebe des Körperteiles die gesamte kinetische Energie des Roboters auf.
2. **Der transiente Kontakt:** Ein freier Einschlag, bei welchem der Roboter auf einen Gegenstand oder ein Körperteil trifft, das aufgrund des freien Einschlagimpulses zurückweichen kann. Zum Beispiel trifft der Roboter eine frei bewegliche Hand. Nur ein Teil der potentiellen Energie wird hierbei vom Gewebe aufgenommen und bis zur Entlastung in diesem gespeichert. Der Rest beschleunigt die Körperstelle als kinetische Energie in Richtung der Einschlagrichtung des Roboters.

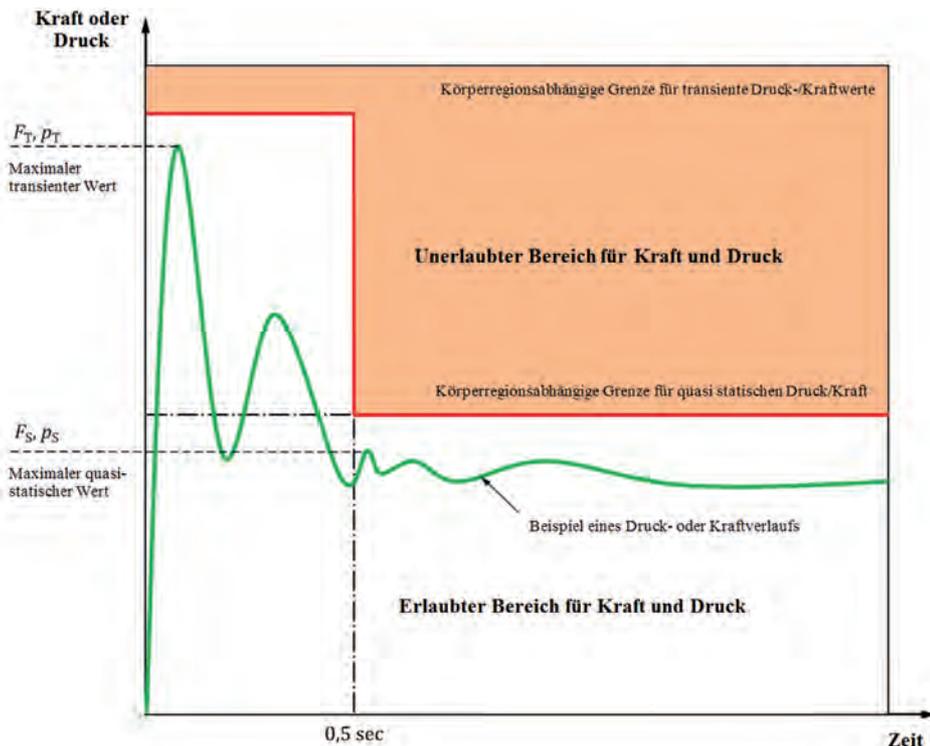
3.1 Die Kraft- und Druckmessung bei Klemmungen

Trotz dieser prinzipiellen Unterteilung gestaltet sich die Kraftereinwirkung auf einen Gegenstand oder Körper in einer realen Klemmsituation etwas komplexer. So wirkt im ersten Moment der Klemmung, etwa den ersten 0,5 Sekunden, eine hohe transiente Kraft auf den Körper, da die Masse in dieser kurzen Zeit noch ein wenig zurückweichen kann. Erst danach pendeln sich quasi statische Kraft- und Druckverhältnisse ein, wie in Abbildung 3.1 zu sehen ist. **Für eine sinnvolle Risikobeurteilung müssen also die über die Zeit hinweg gemessenen Werte Beachtung finden.**

HINWEIS: Anhang 5 dieses Dokuments zeigt die Richtwerte für Kraft und Druck, die für das Körperzonenmodell in der ISO TS 15066 bestimmt wurden.



Abbildung 3.1: Kraftverlauf bei einer Klemmung.¹¹



Klemmt sich ein Mitarbeiter beispielsweise die Hand, erlaubt ein Blick auf das Körperzonenmodell in Anhang A der ISO TS 15066 eine Einschätzung sicherer Kraft- und Druckverhältnisse. Bei einer Hand ist beispielsweise eine Krafteinwirkung von 140 Newton erlaubt. **Dieser Wert beschreibt eine quasi statische Krafteinwirkung, also die Verhältnisse, die erst nach den ersten 0,5 Sekunden auftreten.** Der ebenfalls in Anhang A genannte „Transiente Faktor“, hier mit dem Wert von 2, bezeichnet den Faktor, mit dem die erlaubten Kraft- und Druckwerte multipliziert werden dürfen. Das Produkt dieser Multiplikation ergibt die Werte, die während der transienten Kraftwirkungen innerhalb der ersten 0,5 Sekunden erlaubt sind. Bei der Klemmung der Hand sind also 280 Newton (2 x 140N) erlaubt.

Um die Messungen bei der Risikobeurteilung einer potentiellen Klemmstelle durchzuführen, bieten sich unterschiedliche Messgeräte an. Die Firma GTE hat hier beispielsweise zwei verschiedene Geräte in Ihrem Portfolio. Während der Messgerätesatz KTG-500 eine zeitabhängige Kraftmessung liefert, so kann mit diesem Satz nur der Spitzendruck bestimmt werden. Das Kraftmesssystem KTMG dagegen bietet sowohl eine Aufnahme der Kraft als auch eine Aufnahme des Druckes über die Zeit. Leider schlägt sich diese zusätzliche Option auch in einem Vierfachen der Anschaffungskosten gegenüber dem KTG-500 nieder. **Da sich aber in den meisten Fällen der entscheidende Wert in den transient wirkenden ersten 0,5 Sekunden findet, ist in der Regel die Messung des Spitzendrucks ausreichend.**

Da kollaborierende Roboter bei einer Kollision vor einem vollständigen Sicherheitsstopp in der Regel kurz entspannen, liegen der statisch wirkende Druck und die statisch wirkende Kraft meist unterhalb der Grenzwerte. **Misst man also einen Spitzenwert für quasi statisch wirkende Kraft und quasi statisch wirkenden Druck 0,5 Sekunden nach Beginn des Kontakts, lassen sich diese Werte mit den Richtwerten der ISO TS 15066 vergleichen.**

Beispiel einer Kraftmessung bei einer Klemmung: Die in Abbildung 3.2 dargestellte Kraftkurve zeigt den Verlauf einer realen Kraftmessung bei einer Klemmung. Der transiente Spitzenwert liegt bei 172 Newton. Weiterhin ist zu erkennen, dass der Kraftwert sich zum Ende hin auf 114 Newton einpendelt. Dieser Wert zeigt die eigentliche Klemmkraft. Da die wirkende Kraft jedoch bereits 0,5 Sekunden nach Beginn des Kontakts als quasi statische Kraftwirkung betrachtet wird, liegt hier ein maximaler Spitzenwert von 140 Newton vor. Ist in der Schmerzschwellentabelle der ISO TS 15066 (s. Anhang 5) ein maximal zulässiger Wert für die gemessene Körperstelle von größer als 140 Newton vorgesehen, wie zum Beispiel bei einem Ellenbogen mit 160 Newton, fällt die Risikobeurteilung an dieser Stelle erfolgreich aus. Weiterhin sollte der Grenzwert aus der Schmerzschwellentabelle multipliziert mit dem transienten Faktor größer sein als der gemessene, transiente Spitzenwert von 172 Newton.

¹¹ ISO TS 15066.

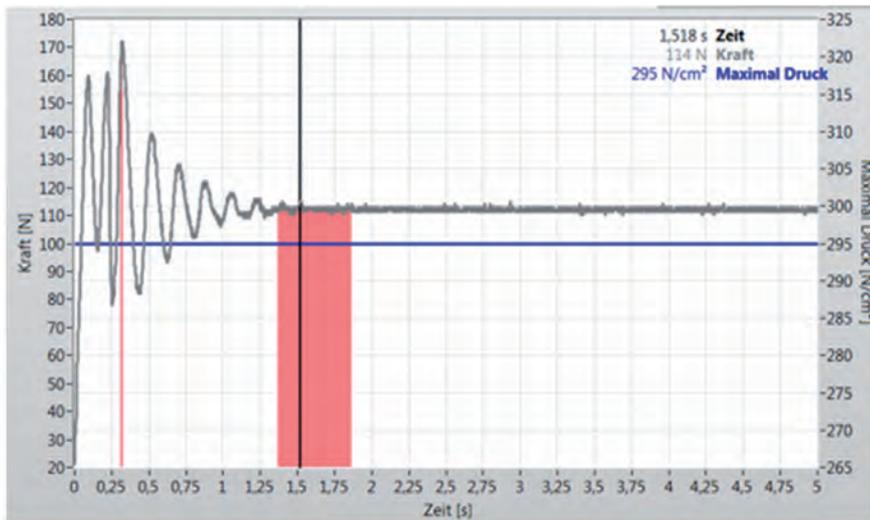


Abbildung 3.2: Beispiel einer Kraftmessung mit dem KTG-500.

Die Abbildung zeigt oben rechts außerdem einen maximalen Druckwert von 295 N/cm². Dieser ist nicht in der dargestellten Kurve abzulesen, sondern wurde mit einer Druckmessfolie während der Kollision gemessen. Ist der maximal gemessene Druck kleiner als das Produkt aus maximal zulässigem quasi statischem Druckwert der Schmerzschwellentabelle und dem dazugehörigen transienten Faktor der entsprechenden Körperregion, bewegt sich der Wert in einem sicheren

Bereich. Für den Ellenbogen etwa sind 190 N/cm² und ein transienter Faktor von 2 zulässig. Das Produkt der beiden Werte ist 380 N/cm². Der gemessene Maximaldruck liegt also unter dem Richtwert.

3.2 Die Kraft- und Druckmessung bei freien Kollisionen

Da die Untersuchung zum Körperzonenmodell der Universität Mainz Grenzwerte für quasi statische Kraft- und Druckverhältnisse ermittelt, lassen sich ihre Ergebnisse erfolgreich auf die Risikobeurteilung von Klemmsituationen anwenden. Viel schwieriger ist es, zuverlässige Werte für eine freie Kollision zu ermitteln, bei der es nicht zur Klemmung kommt und damit ausschließlich transiente Kontaktkräfte wirken, also ein Teil der Kraft vom Körper in Form von kinetischer Energie abgegeben wird.

Für die Umsetzung im Betrieb ist dies jedoch entscheidend, da an Kollisionsstellen, an welchen keine Klemmung möglich ist, dadurch eine weit geringere Kraft auftritt als an Kollisionsstellen mit Klemmmöglichkeit. Entsprechende Anwendungen könnten also jetzt schon mit höherer Kraft und Leistung betrieben werden, wären entsprechende Messverfahren zugänglich.

HINWEIS: Anhang 6 dieses Dokuments zeigt, mit welchen mathematischen Gleichungen sich die kinetische Energie sowie die Kraft, die nötig ist, um einer Kollision entgegenwirken, berechnen lassen.

Die gemessene Kurve bei einer Kraftmessung wird von einer Reihe physikalischer Faktoren beeinflusst:

- Das Dämpfungsverhalten der getroffenen Körperstelle und des Kollisionspunkts am Roboter (je weicher, desto geringer die Kraft).
- Das Federelement der getroffenen Körperstelle und des Kollisionspunkts am Roboter (je kleiner die Federkonstante, desto größer die Schwingungen).
- Die Einschlaggeschwindigkeit (je höher die Geschwindigkeit, desto höher die Kraft).
- Die bewegte Roboter­masse (je mehr Masse, desto größer ist die Kraft).
- Die Masse des getroffenen Körperteils und dem damit verbundenen Massenträgheitsmoment (je größer die Masse der getroffenen Körperstelle, desto größer die Kraft). Im Falle einer Klemmung geht der Wert der Gegenmasse gegen unendlich.

Die Kollisionskraft ist also stark abhängig von der Gegenmasse. Deshalb ist es unabdingbar, diesen Umstand in die messtechnische Betrachtung mit einzubeziehen.

Problematisch ist, dass sich die Situation einer freien Kollision nur sehr schwer messtechnisch in einer Applikation ermitteln lässt. Um beispielsweise eine freie Kollision mit der Schulter zu simulieren, die mit einer Masse von 40 Kilogramm und einer Federkonstanten von 35 N/mm angenommen wird, müssten einem Kraftmessgerät zusätzliche Gewichte hinzugefügt werden, um in Summe auf die genannten 40 Kilogramm zu kommen. Um eine freie Kollision zu simulieren und zu messen, müsste diese 40 Kilogramm schwere Messeinrichtung anschließend frei beweglich befestigt werden, zum Beispiel an einem Pendel an der Decke aufgehängt.

Ein solches Verfahren wird „dynamische Messung“ genannt und ist eines von drei möglichen Szenarien, um Richtwerte für freie Kollisionen zu ermitteln.

- 1. Dynamische Messung:** Das Kraftmessgerät ist frei gelagert und kann bei Kollision in Richtung der Kollisionskraft ausweichen. Hierbei beträgt die Pendelmasse inklusive Messgerät die anzunehmende Körpermasse (also zum Beispiel 40 Kilogramm für Rücken und Schulter).
- 2. Statische Messung mit Ausgleichsrechnung:** Die Messung wird mit einem fest montierten Kraftmessgerät ausgeführt und über eine Ausgleichsrechnung auf einen dynamischen Wert überführt.
- 3. Theoretische Mechanik:** Es werden keine Messungen durchgeführt, sondern es werden Berechnungen auf Grundlage dynamischer Bewegungsgleichungen und reduzierten Massenmodellen durchgeführt.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die dynamische Messung die einzige in der Praxis anwendbare Variante, um realistische Kraftwerte für Kollisionen ohne Klemmpotential zu ermitteln. Zur Methode der statischen Messungen mit Ausgleichsrechnungen wird gegenwärtig geforscht. Ziel ist es, zukünftig eine verlässliche und zutreffende Umrechnung zu ermöglichen, doch noch liegen keine finalen Ergebnisse vor. Die Variante der theoretischen Mechanik ist gegenwärtig ebenfalls noch nicht realisierbar und erfordert weitreichendes Wissen und Forschung im Bereich der theoretischen Mechanik, insbesondere der Kinetik.

Da die ISO TS 15066 keinerlei Werte enthält, die Kraft- und Druckmessung bei freien Kollisionen unter wirklich realistischen Bedingungen widerspiegeln, bleiben Anwendern nicht viele Möglichkeiten. **Kommen keine eigenen, dynamischen Messungen in Frage, sollte das statische Messverfahren wie bei quasi statischen Kräften angewandt werden.** Das erzielte Ergebnis muss dann allerdings mit dem Wissen bewertet werden, dass die im Kollisionsfall **tatsächlich auf den menschlichen Körper wirkende transiente Kraft um ein vielfaches niedriger ist als die gemessene Kraft.**



4. Handlungssicherheit durch die ISO TS 15066

In den vergangenen Jahren haben sich kollaborierende Leichtbauroboter wie der UR3, UR5 und UR10 von Universal Robots im Markt etabliert, die sich durch Technologie und Anwendung signifikant von herkömmlichen Industrierobotern unterscheiden. Eine etablierte Norm für diese neue Technik ist noch nicht vorhanden. Als Technische Spezifikation unterstützt die ISO TS 15066 Integratoren dabei, eine Risikobeurteilung speziell bei kollaborierenden Anwendungen durchzuführen.

Kollaborierende Robotersysteme basieren auf Sicherheitsfunktionen wie der Kraft- und Leistungsbegrenzung durch inhärente Konstruktion oder Steuerung. Nach erfolgreicher Risikobeurteilung im Sinne der ISO TS 15066 können sie ohne Schutzzaun Seite an Seite mit den Mitarbeitern arbeiten. Dadurch bieten sie selbst kleinen und mittelständischen Unternehmen die Möglichkeit zur Automatisierung, die mit herkömmlichen Industrierobotern nicht gegeben wäre.



Über Universal Robots

Universal Robots wurde 2005 von Esben H. Østergaard, dem heutigen CTO des Unternehmens, mit gegründet: Seine Vision war es, Robotertechnologie, durch die Entwicklung leichter, benutzerfreundlicher sowie preisgünstiger und flexibler Industrieroboter, die ein sicheres Arbeiten ermöglichen, allen zugänglich zu machen. Seit der erste Roboter 2008 auf den Markt kam, hat das Unternehmen ein beträchtliches Wachstum erfahren und verkauft seine benutzerfreundlichen Roboterarme mittlerweile weltweit in über 50 Ländern. Universal Robots, dem Unternehmen Teradyne Inc. zugehörig, hat seinen Unternehmenssitz im dänischen Odense und verfügt zudem über regionale Niederlassungen in den USA, Spanien, Deutschland, Italien, der Tschechischen Republik, China, Singapur, Indien, Japan, Taiwan und Südkorea. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.universal-robots.com/de>.

Universal Robots GmbH

Baierbrunner Str. 15
81379 München

Tel.: + 49 89 / 121 89720-0
E-Mail: ur.we@universal-robots.com
URL: www.universal-robots.de

5. Weiterführende Literatur

Hertel, Lothar Oberbichler; Brigitte Wilrich, Thomas: *Technisches Recht. Grundlagen, Systematik, Recherche.* Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2015.

Krey, Volker; Kapoor, Arun: *Praxisleitfaden Produktsicherheitsrecht. CE-Kennzeichnung, Gefahrenanalyse, Betriebsanleitung, Konformitätserklärung, Produkthaftung, Fallbeispiele.* München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014 (2. Auflage).

International Organization for Standardization (Hrsg.): *ISO 10218-1:2011. Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 1: Robots.* Hrsg. v. ISO/TC 299 Robotics (Komitee), 2011.

International Organization for Standardization (Hrsg.): *Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 2: Robot systems and integration.* Hrsg. v. ISO/TC 299 Robotics (Komitee), 2011.

International Organization for Standardization (Hrsg.): *ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots.* Hrsg. v. ISO/TC 299 Robotics (Komitee), 2016.

Richard, Hans Albert; Sander, Manuela: *Technische Mechanik. Dynamik Grundlagen – effektiv und anwendungsnah.* Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.

Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung).



6. Anhang

Anhang 1: EU-Richtlinien, die im Rahmen der CE-Konformität eine Rolle spielen können:

- 2014/35/EU Elektrische Betriebsmittel (1. ProdSV)
- 2009/48/EG Spielzeug (2. ProdSV)
- 2014/29/EU Einfache Druckbehälter (6. ProdSV)
- 2018/42/EG Gasverbrauchseinrichtungen (7. ProdSV)
- 89/686/EWG Persönliche Schutzausrüstung (8. ProdSV)
- 2006/42/EG Maschinen (9. ProdSV)
- 2013/53/EU Sportboote (10. ProdSV)
- 2014/34/EU Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen (11. ProdSV)
- 2014/33/EU Aufzüge (12. ProdSV)
- 75/324/EWG Aerosolpackung (13. ProdSV)
- 2014/68/EU Druckgeräte (14. ProdSV)
- 98/57/EG Haushaltskühl- und Gefriergeräte
- 89/106/EWG Bauprodukte
- 2014/30/EU Elektromagnetische Verträglichkeit
- 2014/31/EU Nichtselbstständige Waagen
- 2007/47/EG Aktive implementierbare medizinische Geräte
- 92/42/EWG Warmwasserheizkessel
- 2014/28/EU Explosivstoffe für zivile Zwecke
- 2013/29/EU Pyrotechnische Gegenstände
- 93/42/EWG Medizinprodukte
- 98/79/EG In-vitro-Diagnostika
- 2014/53/EU Funkanlagen und Telekommunikationseinrichtungen
- 2000/9/EG Seilbahn für den Personenverkehr
- 2014/32/EU Messgeräte
- 2009/125/EG Ökodesign-Richtlinie
- 2011/65/EU RoHS-Richtlinie



Anhang 2: Geltende Rechtsvorschriften für die CE-Kennzeichnung und Auflistung möglicher Konformitätsbewertungsmodule

Alle Rechtsvorschriften, die die CE-Kennzeichnung betreffen, sind am 09. Juli 2008 im Rahmen des „New Approach Verfahrens“ in der Verordnung (EG) Nr. 765/2008 und im Beschluss Nr. 768/2008/EG neu geregelt worden. Die wichtigsten dafür zu beachtenden Regelungen sind:

EG-Verordnung Nr. 765/2008

- Erwägungsgründe 37 und 38 (CE-Kennzeichnung als einzige Konformitätskennzeichnung),
- Kapitel IV (Artikel 30: Allgemeine Grundsätze – Vorschriften und Bedingungen für die Anbringung der CE-Kennzeichnung),
- Anhang II („CE-Kennzeichnung“ – Schriftbild).

EG-Beschluss Nr. 768/2008

- Artikel R 11 („Allgemeine Grundsätze der CE-Kennzeichnung“ unter Verweis auf Artikel 30 der EG-Verordnung Nr. 765/2008),
- Artikel R 12 („Vorschriften für die Anbringung der CE-Kennzeichnung“).

Für die Prüfung auf CE-Konformität stehen gemäß 765/2008/EG acht Module zur Verfügung. Jede Richtlinie legt fest, welche der Module für die Prüfung eines spezifischen Produkts anzuwenden sind:

1. Modul A: Interne Fertigungskontrolle
2. Modul B: EG-Baumusterprüfung
3. Modul C: Konformität mit der Bauart
4. Modul D: Qualitätssicherung Produktion
5. Modul E: Qualitätssicherung Produkt
6. Modul F: Prüfung der Produkte
7. Modul G: Einzelprüfung
8. Modul H: Umfassende Qualitätssicherung

Anhang 3: Notwendige Unterlagen für das vereinfachte Konformitätsbewertungsverfahren nach Anhang VIII der Maschinenrichtlinie

- Eine allgemeine Beschreibung der Maschine
- Schaltpläne und Detailzeichnungen
- Unterlagen zur Risikobeurteilung
- Angewandte Normen und sonstige technische Spezifikationen und von diesen Normen erfassten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen
- Technische Berichte
- Betriebsanleitung
- Einbauerklärung für unvollständige Maschinen
- Bei Bedarf eine Kopie der EG-Konformitätserklärung für in die Maschine eingebaute andere Maschinen oder Produkte
- Eine Kopie der EG-Konformitätserklärung

Detaillierte Bestimmungen zu den genannten Unterlagen finden Sie in Anhang VII der Maschinenrichtlinie.

Anhang 4: Möglichkeiten zur Risikobeurteilung einer Roboteranwendung

Für eine Risikobeurteilung gibt es viele mögliche Varianten. Zu den wichtigen, etablierten Verfahren gehören:

- Risikobeurteilung mittel Risikograph nach EN ISO 13849
- Risikobeurteilung mittel Risikograph nach DIN 19250
- Risikobeurteilung mittel Risikograph nach DIN EN 954-1
- Risikobeurteilung nach IEC 62061
- Risikobeurteilung nach Nohl
- Risikobeurteilung mittels Risikozahlen nach Reudenbach
- Risikobeurteilung nach DIN EN 14798
- Risikobeurteilung nach dem RAPEX-Verfahren
- Risikobeurteilung mittels Normogram nach Raafat

Alle Verfahren haben gemeinsam, dass neben dem möglichen Schaden selbst, auch das mit der Gefährdung verbundene Risiko in Beurteilung miteinbezogen wird. Eine Risikoeinschätzung nach IEC 62061 wird beispielsweise nach den beiden Gleichungen 6.1 und 6.2 vorgenommen:

$$EW = F + W + P \quad (6.1)$$

$$\text{Risiko} = EW \cdot S \quad (6.2)$$

mit:

EW: Eintrittswahrscheinlichkeit

F: Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition

W: Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ereignisses

P: Möglichkeit der Schadensvermeidung

S: Schwere des Schadens

Anhang 5: Schmerzschwellentabelle aus Anhang A der ISO TS 15066

	Körperregion	Kraft [N]	Druck [$\frac{N}{cm^2}$]	Transienter Faktor
1	Stirn	130	130	1
2	Schläfe	130	110	1
3	Gesicht	65	110	1
4	Nacken oben	150	140	2
5	Nacken unten	150	210	2
6	Schulter vorne	210	160	2
7	Unterer Rücken	210	210	2
8	Solar Plexus	140	120	2
9	Brustmuskel	140	170	2
10	Bauch	110	140	2
11	Becken	180	210	2
12	Schulter seitlich	150	190	2
13	Oberarm	150	220	2
14	Ellbogen	160	190	2
15	Unterarm	160	180	2
16	Finger	140	220 bis 300	2
17	Handballen	140	200	2
18	Handflächen	140	260	2
19	Handrücken	140	200	2
20	Oberschenkelmuskel	220	250	2
21	Knie	220	220	2
22	Schienbein	130	220	2
23	Wade	130	210	2

Abbildung 6.1: Schmerzschwellen nach der Studie des arbeitsschutzmedizinischen Instituts der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.¹²

¹² ISO TS 15066, Anhang A.

Anhang 6: Gleichungen zur Bestimmung der kinetischen Energie und der Kraft für die Veränderung eines Impuls

In der Physik spricht man von einem Impuls, um den mechanischen Bewegungszustand eines physikalischen Objekts zu charakterisieren. In der klassischen Mechanik, also unter der Außerachtlassung von Einsteins Spezieller Relativitätstheorie, wird die kinetische Energie dabei nach Gleichung 6.3 bestimmt. Um die Geschwindigkeit eines Körpers nach Richtung und/oder Betrag zu ändern, muss sein Impuls geändert werden. Der übertragene Impuls dividiert durch die dafür benötigte Zeit ist die Kraft F (siehe Gleichung 6.4).

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vec{v}^2 = \frac{1}{2} \cdot \vec{p} \cdot \vec{v} \quad (6.3)$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (6.4)$$

mit:

E_{kin} : kinetische Energie [J]

m : relative Masse [kg]

\vec{v} : Geschwindigkeit [$\frac{m}{s}$]

\vec{p} : Impuls [Ns $\frac{kg \cdot m}{s}$]

\vec{F} : Kraft [N]

