

# Messspezifikation für Kraft- und Druckmessungen an Applikationen von kollaborierenden Robotersystemen

Stand: 2018-06

Messspezifikation für Kraft- und Druckmessungen an Applikationen von kollaborierenden Robotersystemen  
MS-ET-01

Berufsgenossenschaft ETEM  
Prüfstelle Elektrotechnik  
Gustav-Heinemann-Ufer 130  
50968 Köln

**MS-ET-01**

## Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines .....	4
1.1	Geltungsbereich .....	4
1.2	Technische Regelwerke .....	5
1.3	Begriffe .....	6
2	Applikationsangaben.....	10
2.1	Allgemeine Angaben .....	10
2.2	Bestimmungsgemäße Verwendung.....	11
2.3	Vorhersehbare Fehlanwendung.....	12
3	Kollisionssituationen .....	12
4	Messplan.....	15
4.1	Festlegung der Körperregion, die gefährdet ist.....	15
4.2	Festlegung der Kollisionsart .....	15
4.3	Festlegung der Robotererelemente die an der Kollision beteiligt sind.....	16
4.4	Definition des Bewegungsablaufs relevanter Robotererelemente .....	16
4.5	Festlegen der Prüfgeschwindigkeit relevanter Robotererelemente .....	17
4.6	Angabe der eingestellten Sicherheitsfunktionen am Roboter .....	17
4.7	Festlegung der jeweiligen Dämpfungselemente .....	17
5	Messaufbau .....	18
6	Messgeräte .....	19
6.1	Messsysteme für die Kraftmessung.....	19

6.2	Dämpfungsmaterial .....	21
6.3	Messsysteme für die Druckmessung .....	22
6.4	Messunsicherheitsbetrachtung .....	25
7	Durchführung der Messungen .....	26
8	Messbericht .....	26

## 1 Allgemeines

Basis für die Durchführung von Kraft- und Druckmessungen in Applikationen von Robotersystemen bildet das Ergebnis der zuvor durchgeführten Risikobeurteilung. Erst wenn die Grenzen des Systems eindeutig definiert sind, lassen sich die relevanten Gefährdungen (z. B. Stoß, Quetschen) ermitteln. Unter Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Schnittstelle lassen sich so die gefährdeten Körperteile des Bedieners bestimmen und Kollisionssituationen festlegen.

Die Anwendung der Messspezifikation kann nicht alleine für die Bewertung der Gesamtapplikation herangezogen werden. Sie dient ausschließlich dazu, reproduzierbare und nachvollziehbare Kraft- und Druckmessungen durchführen zu können.

### 1.1 Geltungsbereich

Diese Messspezifikation dient dazu Kraft- und Druckmessungen an Applikationen von kollaborierenden Robotersystemen durchzuführen, um damit mechanische Gefährdungen bewerten zu können.

Hierbei soll durch die Messungen nachgewiesen werden, dass die biomechanischen Grenzwerte nach DIN ISO/TS 15066, Tabelle A.2 eingehalten werden.

Sie wird angewendet zur Ermittlung von Kraft- und Druckwerten bei Mensch-Roboter-Kollisionen innerhalb einer Applikation. Die Messungen sind vor der Erstinbetriebnahme, bei wesentlichen Änderungen sowie wiederkehrenden Prüfungen gemäß Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Sie soll dazu beitragen, dass Messungen reproduzierbar sind und Messergebnisse von unterschiedlichen Institutionen mit unterschiedlichen Messgeräten vergleichbar sind.

## 1.2 Technische Regelwerke

Grundlagen dieser Messspezifikation bilden:

DIN EN ISO 10218-1: 2012-01	Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen Teil 1: Roboter
DIN EN ISO 10218-2: 2012-06	Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen Teil 2: Robotersysteme und Integration
DIN ISO/TS 15066: 2017-04	Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter
DGUV Information FB HM-080 08-2017	Kollaborierende Robotersysteme

### **1.3 Begriffe**

Die Begriffe entsprechen den Definitionen der im Abschnitt 1.2 aufgeführten Regelwerke.

Begriffe die nicht in oder abweichend zu Regelwerken definiert werden, sind mit \* gekennzeichnet.

#### **1.3.1 Industrieroboter**

Automatisch gesteuerter, frei programmierbarer Mehrzweck-Manipulator, der in drei oder mehr Achsen programmierbar ist und zur Verwendung in der Automatisierungstechnik entweder an einem festen Ort oder beweglich angeordnet sein kann.

#### **1.3.2 Industrierobotersystem**

System bestehend aus

- Industrieroboter
- Endeffektor(en)
- allen Maschinen, Einrichtungen, Geräten, externen Hilfsachsen oder Sensoren, die den Roboter bei der Ausführung seiner Aufgabe unterstützen

#### **1.3.3 Kollaborierender Betrieb**

Zustand, in dem ein hierfür konstruiertes Robotersystem und eine Bedienperson innerhalb eines Kollaborationsraumes arbeiten.

#### **1.3.4 Kollaborierender Roboter**

Roboter, der für das direkte Zusammenwirken mit dem Menschen innerhalb eines festgelegten Kollaborationsraumes konstruiert ist.

### **1.3.6 Integrator**

Derjenige, der die Robotersysteme oder integrierte Fertigungssysteme gestaltet, zur Verfügung stellt, fertigt oder montiert und für die Sicherheitsstrategie, einschließlich der Schutzmaßnahmen, Steuerungsschnittstellen und gegenseitiger Verbindungen des Steuersystems verantwortlich ist.

### **1.3.7 Kontaktsituationen\***

Durch absichtliche, zufällige oder durch Fehlfunktion des Roboters hervorgerufene Berührung zwischen dem kollaborierenden Robotersystem und Körperteilen der Bedienperson.

### **1.3.8 Transienter Kontakt**

Kontakt zwischen einer Bedienperson und einem Teil eines Robotersystems, bei dem der Körperteil der Bedienperson nicht eingeklemmt ist und vom beweglichen Teil des Robotersystems zurückprallen kann

### **1.3.9 Quasistatischer Kontakt**

Kontakt zwischen einer Bedienperson und einem Teil eines Robotersystems, bei dem der Körperteil der Bedienperson zwischen einem beweglichen Teil eines Robotersystems und einem anderen feststehenden oder beweglichen Teil der Roboterzelle eingeklemmt sein kann.

### **1.3.10 Applikation\***

Spezielles, auf die Prozesse des Anwenders spezifiziertes Industrierobotersystem einschließlich Werkstück, Parametrisierung der Roboterbewegungen sowie ergriffene Schutzmaßnahmen.

### 1.3.12 Messsystem\*

Folgende Geräte und Komponenten können zur Ermittlung der Kraft- und Druckwerte Bestandteil des Messsystems sein:

- Formstabile Konstruktion zur Aufnahme des Kraftmessgerätes
- Kraftmessgerät
- Verwendete Feder
- Kompressionselemente
- Folien zur Erfassung der Druckverteilung
- Mikrofasertuch
- Scanner
- Laptop mit Auswertesoftware

### 1.3.13 Kollaborationsraum\*

Arbeitsraum innerhalb des eingeschränkten Raumes, in dem der Roboter und der Mensch während des Produktionsbetriebs gleichzeitig Aufgaben ausführen können (in Abbildung 1 grün dargestellter Bereich).

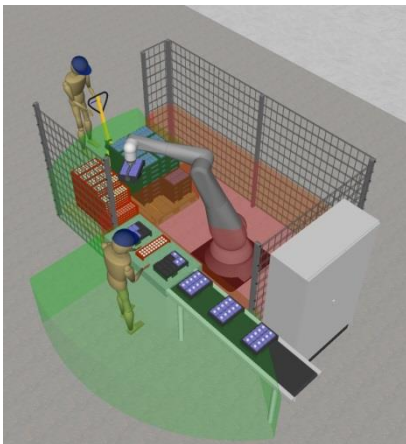


Abbildung 1: Kollaborationsraum in rot dargestellt

### 1.3.14 Eingeschränkter Raum\*

Anteil des maximalen Raumes, der durch Begrenzungseinrichtungen eingeschränkt ist, die unüberschreitbare Grenzen darstellen (in Abbildung 1 grün und rot dargestellter Bereich).



### **1.3.15 Messplan\***

Übersicht, die alle erforderlichen Informationen zur Durchführung der Messung enthält.

### **1.3.16 Sicherheitsbewertete Bahnüberwachung\***

Sicherheitsbewertete Funktion, die einen Sicherheitshalt auslöst, wenn die eingestellten Grenzen der Bahn, bezogen auf den Roboterflansch (z. B. der Werkzeugarbeitspunkt TCP) oder einer oder mehrerer Achsen überschritten werden.

## **2 Applikationsangaben**

Nachfolgende Angaben sind für die Ermittlung der Kollisionssituationen und somit zur Bestimmung der Messstellen erforderlich:

### **2.1 Allgemeine Angaben**

#### **2.1.1 Applikation**

- a. Arbeitsplatzlayout einschließlich Kollaborationsraum,
- b. Schutzeinrichtungen,
- c. Verkehrswege, Standort und Abstandsflächen
- d. Integrator des Robotersystems

#### **2.1.2 Roboter**

- a. Hersteller
- b. Bezeichnung
- c. Typ
- d. Seriennummer
- e. Achszahl
- f. Position am Arbeitsplatz und maximale Reichweite (im Arbeitsplatzlayout darzustellen)

#### **2.1.3 Endeffektoren**

- a. Geometrie
- b. Material
- c. Gewicht
- d. Art der Werkstückaufnahme (z.B. Formschluss, Kraftschluss, Vakuum)

#### **2.1.4 Werkstücke**

- a. Geometrie
- b. Material
- c. Gewicht

### **2.1.5 Sicherheitsfunktionen und Sicherheitsparameter des Roboters**

Angabe der verwendeten Sicherheitsfunktionen und eingestellten Sicherheitsparameter wie z.B.:

- a. Begrenzung aller Roboterbewegungen z.B. durch:
  - Achsbegrenzungseinrichtungen  
(z.B. mechanisch, steuerungstechnisch),
  - sichere Bahnsteuerung,
  - Sicherheitsebenen
- b. Geschwindigkeitsüberwachung
- c. Abstandsüberwachung (z.B. durch Ultraschall, kapazitiv...)
- d. Leistungs- und Kraftbegrenzung
- e. Angabe der Bremssysteme jeder einzelnen Achse gemäß Betriebsanleitung
- f. Aufnahme der Roboterparameter (z.B. Lastdaten)

### **2.1.6 Betriebsarten**

- a. Einrichten (z.B. Teachen, Programmierung und Verifizierung, Werkzeugwechsel)
- b. Automatikbetrieb
- c. Beheben von Fehlfunktion(en) (z. B. klemmende Ausrüstung, herabgefallene Teile, das Freifahren und außergewöhnliche Bedingungen)

## **2.2 Bestimmungsgemäße Verwendung**

Der Produktionsprozess muss beschrieben sein. Hierbei sind folgende Angaben der Risikobeurteilung zu entnehmen:

- a. Art der Tätigkeit der Bedienperson im Kollaborationsraum (z.B. Arbeitsabläufe, Tätigkeiten und Taktzeiten)
- b. Position der Bedienperson während des kollaborierenden Betriebs
- c. Art der Tätigkeit des Roboters (z.B. Funktions- und Bewegungsabläufe in Simulationsdarstellung)

### 2.3 Vorhersehbare Fehlanwendung

Da nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich Personen immer so verhalten wie es in der bestimmungsgemäßen Verwendung vorgegeben ist, muss ein entsprechendes Fehlverhalten ermittelt und bei der Ermittlung der möglichen Kontaktsituationen berücksichtigt werden. Hierbei sind folgende Angaben der Risikobeurteilung zu entnehmen:

- a. Eingriffe an Stellen die leicht erreichbar sind
- b. Reflexartige Bewegungen
- c. Einbeugen in den Gefahrenbereich

*Anmerkung: Das Einbeugen in den Gefahrenbereich, unterhalb einer trennenden Schutzeinrichtung, sowie Ohnmacht und Mutwilligkeit wird üblicherweise nicht als vorhersehbare Fehlanwendung gesehen.*

### 3 Kollisionssituationen

Die Kollisionssituationen ergeben sich aus den in Abschnitt 2 gewonnenen Informationen, sowie Angaben in der Risikobeurteilung:

- a. Manuelles Eingreifen in den Arbeitsbereich, bewusst, unbewusst oder reflexartig
- b. Beobachten des Arbeitsprozesses z.B. durch Hinein- oder Herüberbeugen
- c. Eingreifen bei Störungen
- d. Herabgefallene Werkstücke dem Arbeitsprozess wieder zuführen
- e. Anstoßen des Roboterarms, Werkzeugs oder Werkstücks

Ist in der Applikation keine sicherheitsbewerte Bahnüberwachung eingeschaltet, muss davon ausgegangen werden, dass der Werkzeugarbeitspunkt (TCP) im Fehlerfall jede Position im Kollaborationsraum erreichen kann. Dies ist bei der Festlegung der gefährdeten Körperteile zu berücksichtigen.

Während des Bewegungsablaufs entstehen zwei Gefährdungssituationen:

- Anstoßen im freien Raum
- Einklemmen.

*ANMERKUNG: Nicht als Sicherheitsfunktion ausgewiesene Begrenzungen von Kraft, Geschwindigkeit und dergleichen dürfen im Rahmen der Messungen nicht berücksichtigt werden. In diesen Fällen müssen Worst-Case-Annahmen getroffen werden (siehe Abs.4.5)*

Folgendes Applikationsbeispiel enthält die erforderlichen Angaben zur Erstellung eines Messplans.

**Roboter:** Abwärtsbewegung zum Einsetzen des Bauteils in eine Baugruppe

**Sicherheitsfunktion:** Sicherheitsbewährte Bahnüberwachung

**Mensch:** Be- und Entladen der Baugruppe

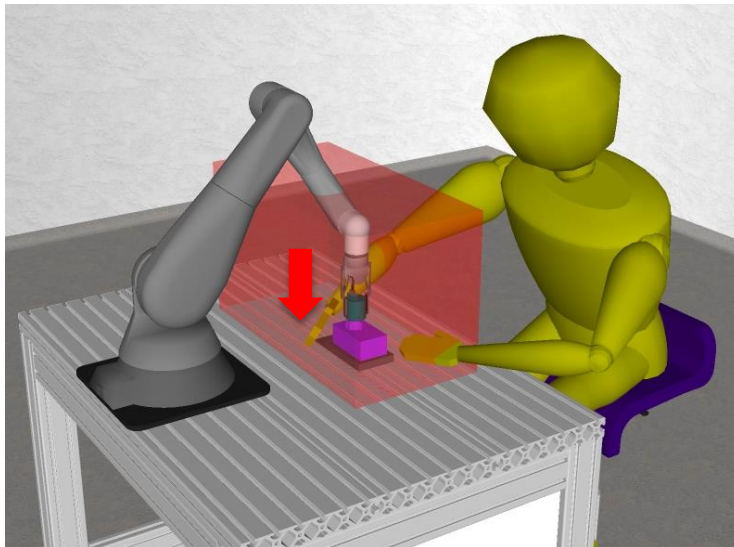


Abbildung 2: Arbeitssituation

Erwartete Kollisionsbereiche Robotersystem:

- Motorgehäuse Achse 4
- Motorgehäuse Achse 3
- Roboterarm
- Endeffektor
- Werkstück

Erwartete Kollision bezogen auf Körperregion:

Körperregion	Stoß möglich?	Quetschung möglich?
Schädel/Stirn	Nein	Nein
Gesicht	Nein	Nein
Hals	Nein	Nein
Rücken/Schultern	Nein	Nein
Brust	Nein	Nein
Bauch	Nein	Nein
Becken	Nein	Nein
Oberarme/Ellenbogengelenke	Ja	Ja
Unterarme/Handgelenke	Ja	Ja
Hände/Finger	Ja	Ja
Oberschenkel/Knie	Nein	Nein
Unterschenkel	Nein	Nein

Tabelle 1: Übersicht Kollisionsarten

*ANMERKUNG: Sollte in einer Applikation die Sicherheitsfunktion  
 "Sicherheitsbewährte Bahnüberwachung" nicht vorhanden oder ausgewählt  
 sein, ergeben sich andere Kollisionserwartungen, da im Fehlerfall die  
 Kollisionsbereiche andere Körperteile erreichen können.*

## 4 Messplan

Der Messplan sollte folgende Merkmale enthalten:

Reihenfolge	Beschreibung	Referenzierung
1	Festlegung der Körperregion, die gefährdet ist	Abs. 3
2	Festlegung der Kollisionsart	Abs. 3
3	Festlegung der Robotererelemente die an der Kollision beteiligt sind	Abs. 3
4	Definition des Bewegungsablaufs relevanter Robotererelemente	Abs. 3
5	Festlegen der Geschwindigkeit relevanter Robotererelemente	Applikations-spezifikation
6	Angabe der eingestellten Sicherheitsfunktionen am Roboter	Applikations-spezifikation
7	Festlegung der jeweiligen Dämpfungselemente	FB HM 080

Tabelle 2: Inhalte eines Messplans

### 4.1 Festlegung der Körperregion, die gefährdet ist

Gemäß den Festlegungen für die Kollisionssituation (Abs. 3) ergeben sich die Körperregionen (z.B. Kopf, Hand und Finger, Unterarm und Handgelenk), die im Rahmen der bestimmungsgemäßen und vorhersehbaren Fehlanwendung (siehe Abs. 2.2 und Abs. 2.3) gefährdet sind. Jede einzelne Körperregion ist zu erfassen und in eine Beziehung zu in Abs. 4 aufgeführten Merkmalen zu bringen.

### 4.2 Festlegung der Kollisionsart

Gemäß den Festlegungen für die Kollisionssituation (Abs. 3) ergibt sich die Kollisionsart (Quetschen oder Stoßen).

### 4.3 Festlegung der Robotererelemente die an der Kollision beteiligt sind

Gemäß den Festlegungen für die Kollisionssituation (Abs. 3) ergeben sich die Robotererelemente (z.B. Endeffektor, Arm, Achse, Werkstück) die an der Kollision beteiligt sind. Für jedes Robotererelement ist eine Messung erforderlich.

### 4.4 Definition des Bewegungsablaufs relevanter Robotererelemente

Gemäß den Festlegungen für die Kollisionssituation (Abs. 3) sind die Messungen für die Bewegungsabläufe der relevanten Robotererelemente durchzuführen. Hierbei muss der Bewegungsablauf so erfolgen, dass der TCP über den prozesstechnisch eingestellten Punkt (Kollisionspunkt) hinaus fährt.

*Anmerkung: Da sich in der Regel die Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters vor dem Erreichen des Zielpunktes reduziert, kann im Fehlerfall ein veränderter Zielpunkt dazu führen, dass die Bewegung an dieser Stelle mit höherer Geschwindigkeit ausgeführt wird.*

Messablauf:

Definition von Start- (A), Kollisions- (B) und Endpunkt (C) um die Prüfgeschwindigkeit im Kollisionspunkt zu erreichen.

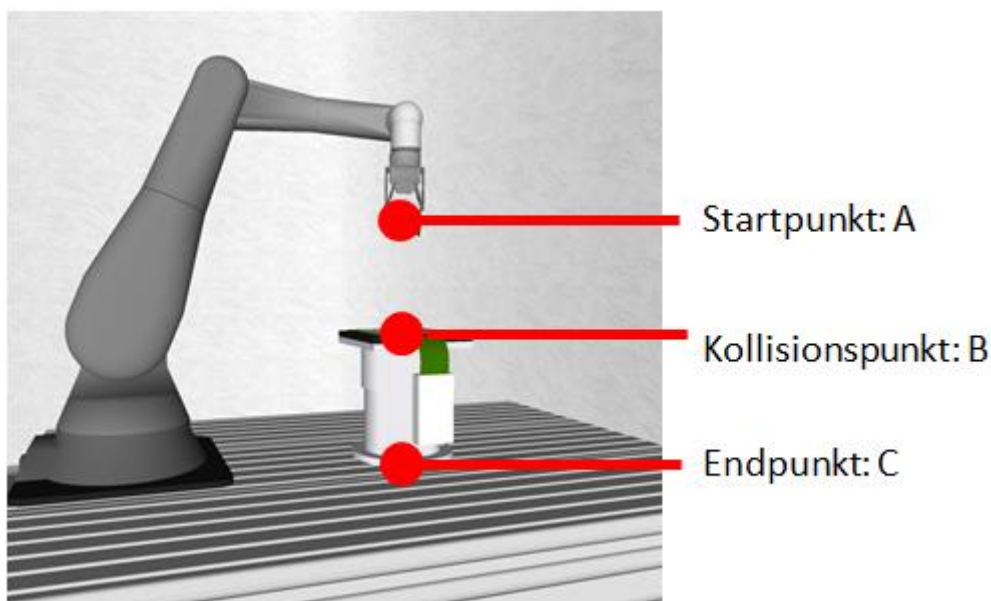


Abbildung 3: Darstellung Messablauf



#### **4.5 Festlegen der Prüfgeschwindigkeit relevanter Roboter-elemente**

Die Prüfgeschwindigkeit ergibt sich aus der in der Applikation eingestellten maximalen Geschwindigkeit der Geschwindigkeitsüberwachung (Abs. 2.1.5) sowie der applikationsspezifische Wegpunkte. Die Geschwindigkeit bezieht sich auf den TCP.

Sollte keine Geschwindigkeitsüberwachung als Sicherheitsfunktion gemäß den Anforderungen der DIN EN ISO 10218-2 Abs. 5.2.2 eingestellt sein, muss die Messung mit maximal möglicher Geschwindigkeit des TCP innerhalb des applikationsspezifischen Weges durchgeführt werden (Worst-Case Betrachtung).

Sollte keine sichere Bahnüberwachung eingeschaltet sein, ist die Messung mit der in der Applikation eingestellten Geschwindigkeit und einem veränderten Endpunkt zusätzlich durchzuführen (siehe Abs 3).

#### **4.6 Angabe der eingestellten Sicherheitsfunktionen am Roboter**

Alle am Roboter aktivierten Sicherheitsfunktionen im Sinne der Anforderungen der DIN EN ISO 10218-2 Abs. 5.2.2, die während der Messung aktiv sind, müssen dokumentiert sein. Erfüllen die Sicherheitsfunktionen die vorgenannten Anforderungen nicht, müssen sie deaktiviert werden.

#### **4.7 Festlegung der jeweiligen Dämpfungselemente**

Bezogen auf die Körperregionen sind im Messplan die gemäß DGUV Information FB HM 080 zugeordnete Dämpfungselemente aufzuführen.

## 5 Messaufbau

Der Messwertaufnehmer muss während der Messung so fixiert sein, dass er gegenüber der Roboterbewegung unnachgiebig ist (formstabil, steif).

Als Material für die mechanischen Messaufbauten bieten sich Alu-Profilsysteme an.

*ANMERKUNG: Bei der Auswahl der Profile muss darauf geachtet werden, dass eine ausreichende Steifigkeit des Aufbaus vorliegt. Eine Durchbiegung der Profile führt zu einer Verfälschung der Messergebnisse.*

*Eine Auslenkung von 0,5 mm sollte nicht überschritten werden.*

*Zur exakten Positionierung des Messwertaufnehmers ist es hilfreich, wenn er so befestigt wird, dass er mit geringem Aufwand in seiner Position in Bezug auf den Kollisionspunkt und in seiner Ausrichtung verstellt werden kann.*

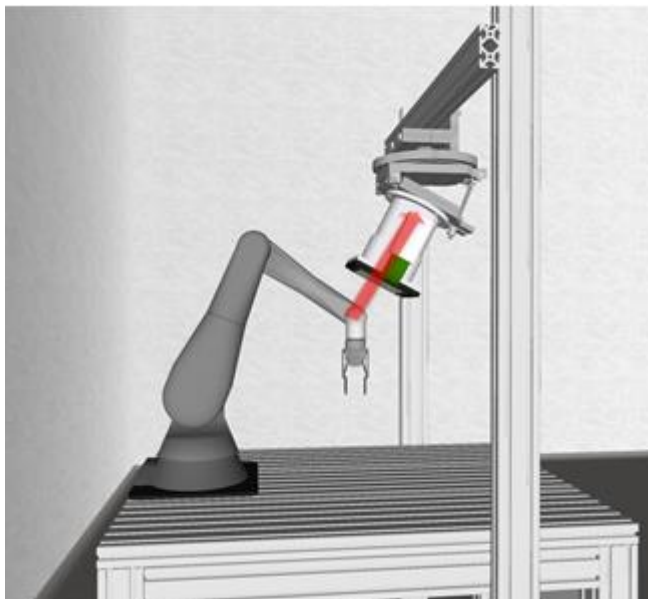


Abbildung 4: Beispiel für Kollisionsmessung der Aufwärtsbewegung (roter Pfeil zeigt Roboterbewegungsrichtung / orthogonal zum Messaufnehmer)

## 6 Messgeräte

### 6.1 Messsysteme für die Kraftmessung

Bis zum Erscheinen dieser Messspezifikation existieren in den Grundzügen zwei verschiedene Messsysteme. Beide Messsysteme sollen kurz herstellerunabhängig erläutert werden:

#### 6.1.1 Kraftmessgerät mit fest verbauter Feder



Abbildung 5: KMG-500 mit fest verbauter Feder (75 N/mm)

Dieses System eignet sich zur Worst-Case Abschätzung aller Körperregionen bis auf Kopf/Stirn. Für die Körperregion Kopf/Stirn ist ein Messsystem mit einer Federdämpfung von 150N/mm zu verwenden.

### 6.1.2 Kraftmessgerät mit auswechselbaren Federn

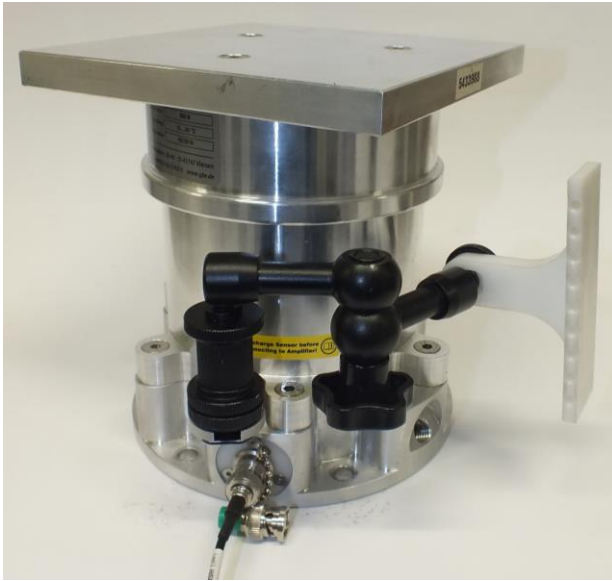


Abbildung 6: KDMG-300



Abbildung 7: Pilz Robotik Mess System (PROBms)

Bei diesem System können die Federn entsprechend der Tabelle 1, FB HM-080, Ausgabe 08-2017 für die jeweilige Körperregion eingesetzt werden. Die Möglichkeit des Federwechsels ist sinnvoll, wenn Messungen im Grenzbereich zulässiger Kräfte und Drücke erforderlich sind.



Abbildung 8: Satz mit neun Federn von 10N/mm (Bauch) bis 150N/mm (Kopf/Stirn) für KDMG-300

## 6.2 Dämpfungsmaterial

Je nach Körperregion müssen verschiedene Dämpfungsmaterialien entsprechend der Tabelle 1, FB HM-080, Ausgabe 08-2017 verwendet werden. Für beide Messsysteme werden Dämpfungsmaterialien mit identischen Shore-Härten verwendet.



Abbildung 9: Dämpfungselemente für KMG-500

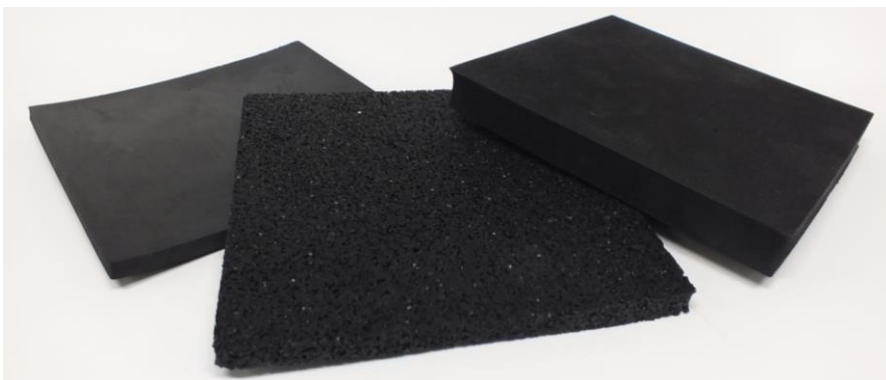


Abbildung 10: Dämpfungselemente für KDMG-300

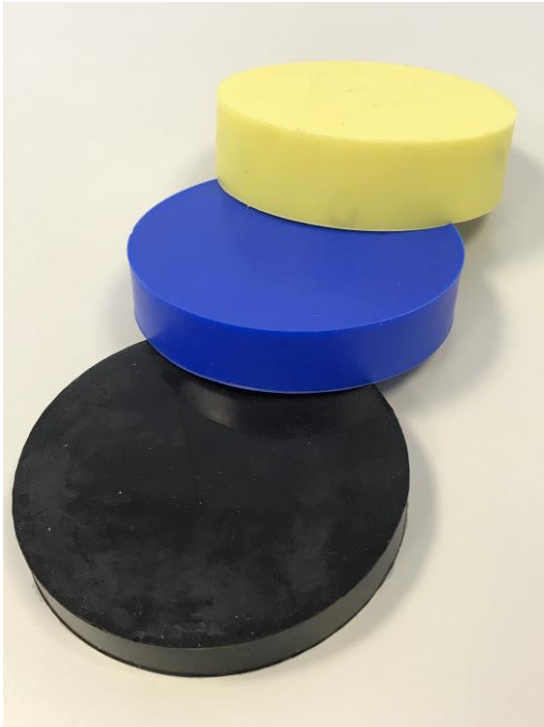


Abbildung 11: Dämpfungselemente für PROBms

### **6.3 Messsysteme für die Druckmessung**

Zur Ermittlung von Druckverteilungen sind derzeit die nachfolgend beschriebenen Messsysteme bekannt.

#### **6.3.1 FUJI Messfolie**

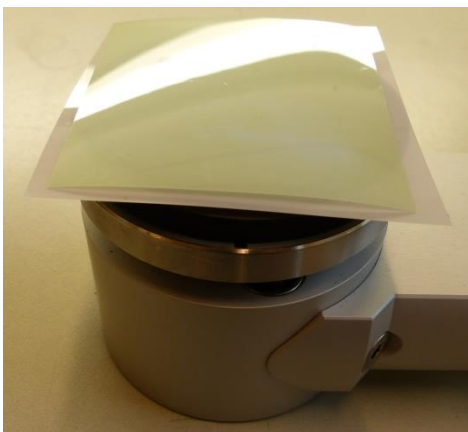


Abbildung 12: FUJI Prescale Folie bestehend aus zwei unterschiedlichen Folien

- a. Für die Messung werden zwei unterschiedliche Folien benötigt. Die eine Folie ist weiß, die andere blau-gräulich. Diese werden mit den rauhen Seiten zueinander auf dem Messgerät abgelegt. Es spielt keine Rolle ob die weiße oder die blau-gräuliche Folie auf dem Dämpfungsmaterial liegt. Beide Folien können nur einmalig verwendet werden.
- b. Die Verfärbung der Folie ist stark temperatur- und luftfeuchtigkeitsabhängig. Aus diesem Grund muss sowohl die Temperatur als auch die Luftfeuchtigkeit gemessen und in der Auswertesoftware individuell angegeben werden.
- c. Die Folie kann nach der Kollisionsmessung nachfärben. Deshalb sollte die Folie direkt im Anschluss an die Messung eingescannt werden.
- d. Die Folien sind entsprechend den Angaben des Herstellers zu lagern. Besonderes Augenmerk sollte auf UV-Strahlung geschützter Lagerung liegen.
- e. Die Folie kann keinen zeitlichen Druckverlauf abbilden. Es können lediglich maximale Drücke ermittelt werden. In der Regel treten diese während des transienten Kontaktes auf. Die ermittelten Werte müssen sowohl für den transienten Kontakt, als auch für den statischen Kontakt herangezogen werden, da ein Rückschluss gemäß  $\frac{F_{statisch}}{P_{statisch}} = \frac{F_{transient}}{P_{transient}}$  nicht zulässig ist.
- f. Da die Folie eine sehr hohe Messauflösung besitzt, können kleinste Unebenheiten der Kollisionsstrukturen (Höhendifferenzen  $< 0,5\text{mm}$ ) starke Druckdifferenzen ergeben. Damit bei der Bewertung der Messergebnisse keine Fehlschlüsse gezogen werden, kann ein Mikrofaser Tuch mit einer Stärke von  $0,5\text{ mm}$  auf die Druckmessfolie gelegt werden, um sicherheitstechnisch nicht relevante Drücke auszufiltern.

### 6.3.2 TEKSCAN Messfolie



Abbildung 13: TEKSCAN I-Scan Folie mit Handle

- a. Bei Verwendung der Tekscanfolie erfolgt die Druckmessung wie die Kraftmessung als zeitlicher Verlauf, somit können Messwerte für den transienten und statischen Kontakt getrennt ermittelt werden. Die Messung und Berechnung der Drücke erfolgt parallel zur Kraftmessung.
- b. Die Folie kann, wenn sie nicht zerstört wird, fast beliebig oft wiederverwendet werden. Um Beschädigungen durch Verrutschen zu minimieren, kann eine PTFE-Folie  $\leq 50\mu\text{m}$  als Auflage über der Messfolie angeordnet werden.
- c. Es sollte immer eine Messfolie gewählt werden, die geringfügig größer als die Kollisionsfläche ist.



## 6.4 Messunsicherheitsbetrachtung

Es ist erforderlich eine Betrachtung der Messunsicherheit durchzuführen. Hierbei muss sowohl der Messaufbau, als auch das verwendete Messsystem berücksichtigt werden.

Bei der Ermittlung der Messunsicherheit für das Messsystem, muss zwischen Kraft- und Druckmessung unterschieden werden.

Für die zuvor beschriebenen Kraftmesssysteme gilt:

### **Messsystem: KMG-500**

Messunsicherheit KMG-500:

$\pm 3 \%$  vom Messbereichsendwert 500 N  $\rightarrow \pm 15$  N

### **Messsystem: KDMG**

Messunsicherheit KDMG-300

$\pm 3 \%$  vom Messbereichsendwert 300 N  $\rightarrow \pm 9$  N

Messunsicherheit KDMG-1000

$\pm 3 \%$  vom Messbereichsendwert 1000 N  $\rightarrow \pm 30$  N

### **Messsystem: PROBmdf**

Messunsicherheit PROBmdf:

$\pm 1\%$  vom Messbereichsendwert 500N  $\rightarrow 5$ N

Für die zuvor beschriebenen Druckmesssysteme gilt:

### **Messsystem: FUJI-Folie**

Messunsicherheit FUJI Prescale LLW:

$\pm 10 \%$  vom Messbereichsendwert 250 N/cm<sup>2</sup>  $\rightarrow \pm 25$  N/cm<sup>2</sup>

Messunsicherheit FUJI Prescale LW:

$\pm 10 \%$  vom Messbereichsendwert 1000 N/cm<sup>2</sup>  $\rightarrow \pm 100$  N/cm<sup>2</sup>

### **Messsystem: TEKSCAN Folie**

Die Messunsicherheit der TEKSCAN-Folie ist vom Kraftmesswert, dem Kalibrierfaktor und der Trefferfläche der verwendeten Folie abhängig. Die Messunsicherheit wird durch die Messsoftware ermittelt und mit dem Messwert ausgegeben.

## 7 Durchführung der Messungen

Nachdem das Messsystem nach Abschnitt 0 aufgebaut wurde, sind die Messungen nach dem erstellten Messplan durchzuführen.

Die Folie zur Druckmessung muss knickfrei auf dem Dämpfungsmaterial aufliegen. Eine eventuell erforderliche Fixierung darf nur in einem Bereich erfolgen, der bei der Kollision nicht getroffen wird.

Die Kollisionsbewegung muss orthogonal zum Messwertempfänger erfolgen. Zur Durchführung der Messung ist eine separate Messfahrt zu programmieren, die der Worst-Case Betrachtung des applikationsspezifischen Bewegungsablaufes entspricht. Dieses Programm ist abzuspeichern (Reproduzierbarkeit)

In einer Messung werden sowohl für den statischen, als auch für den transienten Kontakt Werte für Kraft und Druck erfasst.

*ANMEKRUNG: Der statische Wert ist nur relevant, wenn es zu einer Klemmung kommen kann, der transiente Wert hingegen ist immer relevant.*

Somit resultieren aus einer Messung bis zu vier Werte (Kraft<sub>statisch</sub>, Kraft<sub>transient</sub>, Druck<sub>statisch</sub> und Druck<sub>transient</sub>).

## 8 Messbericht

Die Dokumentation der durchgeführten Messungen sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

- Die Angaben aus den Abschnitten 2 bis 6
- Messspezifikation MS-ET-01
- Ort der Messung
- Datum der Messung
- Verantwortliches Messpersonal
- Zusatzhinweis: Der Messbericht dient unter anderem als Grundlage für die Bewertung der Applikation im Hinblick auf die Einhaltung der Anforderungen der ISO/TS 15066. Er darf nicht alleine verwendet werden, um Konformität mit der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG nachzuweisen.