

DIN EN ISO 21260



ICS 13.110

Einsprüche bis 2018-12-12

Entwurf

**Sicherheit von Maschinen –
Mechanische sicherheitsbezogene Daten zu physischen Kontakten
zwischen beweglichen Maschinen oder sich bewegenden Maschinenteilen
und Personen (ISO/DIS 21260:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 21260:2018**

Safety of machinery –

Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons (ISO/DIS 21260:2018);

German and English version prEN ISO 21260:2018

Sécurité des machines –

Données de sécurité mécanique pour les contacts physiques entre des machines en mouvement ou des parties mobiles de machines et des personnes (ISO/DIS 21260:2018);

Version allemande et anglaise prEN ISO 21260:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-10-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nasg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 93 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)
DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 21260:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 199 „Safety of machinery“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 114 „Sicherheit von Maschinen und Geräten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Gemeinschaftsarbeitsausschuss NA 095-01-01 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NASG/NAM/DKE: Allgemeine Grundsätze und Terminologie“ im DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG) verantwortlich.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 10535	siehe	DIN EN ISO 10535
ISO 12100:2010	siehe	DIN EN ISO 12100:2011-03
ISO 13849 (all parts)	siehe	DIN EN ISO 13849 (alle Teile)
ISO 14120	siehe	DIN EN ISO 14120
ISO 23125	siehe	DIN EN ISO 23125
ISO/TS 15066	siehe	DIN ISO/TS 15066
ISO/TR 22100-1	siehe	DIN ISO/TR 22100-1
ISO/TR 22100-2	siehe	DIN ISO/TR 22100-2
ISO/TR 22100-3	siehe	DIN ISO/TR 22100-3

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 10535, *Lifter zum Transport von behinderten Menschen — Anforderungen und Prüfverfahren*

DIN EN ISO 12100:2011-03, *Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsgrundsätze — Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010*

DIN EN ISO 13849 (alle Teile), *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen*

DIN EN ISO 14120, *Sicherheit von Maschinen — Trennende Schutzeinrichtungen — Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen*

DIN EN ISO 23125, *Werkzeugmaschinen — Sicherheit — Drehmaschinen*

DIN ISO/TR 22100-1 (DIN SPEC 33886), *Sicherheit von Maschinen — Beziehung zu ISO 12100 — Teil 1: Wie ISO 12100 und Typ-B- und Typ-C-Normen zusammenhängen*

DIN ISO/TR 22100-2 (DIN SPEC 33887), *Sicherheit von Maschinen — Beziehung zu ISO 12100 — Teil 2: Wie ISO 12100 und ISO 13849-1 zusammenhängen*

DIN ISO/TR 22100-3 (DIN SPEC 33888), *Sicherheit von Maschinen — Beziehung zu ISO 12100 — Teil 3: Implementierung ergonomischer Grundsätze in Sicherheitsnormen*

DIN ISO/TS 15066 (DIN SPEC 5306), *Roboter und Robotikgeräte — Kollaborierende Roboter*

— Leerseite —

Sicherheit von Maschinen — Mechanische sicherheitsbezogene Daten zu physischen Kontakten zwischen beweglichen Maschinen oder sich bewegenden Maschinenteilen und Personen (ISO/DIS 21260:2018)

Sécurité des machines — Données de sécurité mécanique pour les contacts physiques entre des machines en mouvement ou des parties mobiles de machines et des personnes (ISO/DIS 21260:2018)

Safety of machinery — Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons (ISO/DIS 21260:2018)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Risikobeurteilung und Risikominderung	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Strategie zur Risikominderung aus ISO 12100	12
4.3 Risikominderung	12
4.3.1 Beseitigung von Gefährdungen oder Risikominderung durch die Konstruktion	12
4.3.2 Risikominderung durch technische Schutzmaßnahmen	12
4.3.3 Risikominderung durch die Bereitstellung von Benutzerinformationen zum Restrisiko	12
5 Methodik	13
6 Klassifizierung des Maschine-Mensch-Kontakts	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Gruppe 1 (G1) — Häufiger Kontakt	14
6.3 Gruppe 2 (G2) — Gelegentlicher Kontakt	15
6.4 Gruppe 3 (G3) — Seltener Kontakt	15
6.5 Gruppe 4 (G4) — Statischer oder quasi statischer Kontakt	15
6.6 Gruppe 5 (G5) — Gleitkontakt	15
7 Kontaktparameter	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Energieübertragung	16
7.3 Übertragene Energie je Flächeneinheit	17
7.4 Dynamische Kraft	17
8 Schwellenwerte für den Kontakt	18
8.1 Allgemeines	18
8.2 Schwellenwerte — Gruppe-1-, Gruppe-2-, Gruppe-3-Kontakte	18
8.3 Schwellenwerte — Gruppe-4-Kontakte	19
8.3.1 Allgemeines	19
8.3.2 Kontakt zum Heben oder Bewegen einer Person	19
8.4 Schwellenwerte — Gruppe-5-Kontakte	19
9 Anweisungen/Benutzerinformationen	20
10 Verifizierung und Validierung	20
10.1 Verifizierung von Kontaktbedingungen	20
10.2 Anforderungen	21
10.3 Validierung	21
10.4 Verifizierung und Validierung von Steuerungen	21
Anhang A (informativ) Modell für mechanisch verursachte Schmerzen und Verletzungen während eines Kontakts	22

Anhang B (informativ) Energieübertragung bei einem Kontakt.....	23
B.1 Allgemeines.....	23
B.2 Energieübertragung	23
B.2.1 Allgemeines.....	23
B.2.2 Großes, festes, frei bewegliches Objekt	23
B.2.3 Großes, festes Objekt unter Dauerleistung	25
B.2.4 Großes, festes Objekt, das als Reaktion auf einen Kontakt anhält	25
B.3 Nachgiebigkeit	26
B.3.1 Allgemeines.....	26
B.3.2 Großes, nachgiebiges, frei bewegliches Objekt.....	26
B.3.3 Großes, nachgiebiges Objekt, das sich unter Dauerleistung bewegt.....	27
B.3.4 Großes, nachgiebiges Objekt, das als Reaktion auf einen Kontakt anhält.....	27
B.4 Übertragene Energie je Flächeneinheit	27
B.4.1 Allgemeines.....	27
B.4.2 Kleine Kontaktflächen	27
B.4.3 Energieübertragung oder Kraftverringerung.....	28
Anhang C (informativ) Beispiele für mögliche Maschine-Mensch-Kontakte	29
C.1 Allgemeines.....	29
C.2 Beispiel 1: Automatisches Einziehen eines Analysegeräts aus der Elektronenmikroskop-Kammer	29
C.2.1 Allgemeines.....	29
C.2.2 Produkteigenschaften/Anforderungen	29
C.2.3 Überprüfung der Nachgiebigkeit.....	29
C.2.4 Schlussfolgerung	30
C.3 Beispiel 2: Einfache fahrerlose Transportsysteme (AGV, en: Automated Guided Vehicle) für den Hausgebrauch (Konzept lediglich als Beispiel)	30
C.3.1 Allgemeines.....	30
C.3.2 Produkteigenschaften/Anforderungen	30
C.3.3 Überprüfung der Nachgiebigkeit.....	31
C.3.4 Schlussfolgerung	32
C.4 Beispiel 3: Zusammenklappbare Teleskopleiter	32
C.4.1 Allgemeines.....	32
C.4.2 Produkteigenschaften/Anforderungen	32
C.4.3 Überprüfung der Nachgiebigkeit.....	32
C.4.4 Schlussfolgerung	34
C.5 Beispiel 4: Zurücksetzen eines motorgetriebenen höhenverstellbaren Schreibtisches.....	34
C.5.1 Allgemeines.....	34
C.5.2 Produkteigenschaften/Anforderungen	34
C.5.3 Überprüfung der Nachgiebigkeit.....	34
C.5.4 Schlussfolgerung	36
Anhang D (informativ) Eigenschaften von Kontaktoberflächen	37
D.1 Allgemeines.....	37
D.2 Form und Eigenschaften der Oberfläche	37
D.3 Kanten, Spitzen und Ecken	37
D.4 Oberflächenbeschaffenheit	37
Anhang E (informativ) Nebeneffekte von Maschine-Mensch-Kontakten	38
E.1 Allgemeines.....	38
E.2 Sturz auf eine ebene Oberfläche	38
E.2.1 Allgemeines.....	38
E.2.2 Bodennachgiebigkeit zur Minderung von Verletzungen.....	38
Anhang F (informativ) Schwellenwerte für leichte Verletzungen	41
F.1 Anwendung	41
F.2 Durch einen dynamischen Kontakt verursachtes Hämatom.....	41

Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2006/42/EG	43
Literaturhinweise	44

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 21260:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 199 „Safety of machinery“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 114 „Sicherheit von Maschinen und Geräten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrags erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 21260:2018 wurde von CEN als prEN ISO 21260:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 199, *Safety of machinery* erarbeitet.

Einleitung

Die Struktur von Sicherheitsnormen im Bereich der Maschinen ist wie folgt:

Typ-A-Normen (Sicherheitsgrundnormen) behandeln Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die auf Maschinen angewandt werden können;

Typ-B-Normen (Sicherheitsfachgrundnormen) behandeln einen oder mehrere Sicherheitsaspekt(e) oder eine oder mehrere Art(en) von Schutzeinrichtungen, die für eine ganze Reihe von Maschinen verwendet werden können:

- Typ-B1-Normen für bestimmte Sicherheitsaspekte (z. B. Sicherheitsabstände, Oberflächentemperatur, Lärm);
- Typ-B2-Normen für Schutzeinrichtungen (z. B. Zweihandschaltungen, Verriegelungseinrichtungen, druckempfindliche Schutzeinrichtungen, trennende Schutzeinrichtungen).

Typ-C-Normen (Maschinensicherheitsnormen) behandeln detaillierte Sicherheitsanforderungen an eine bestimmte Maschine oder Gruppe von Maschinen.

Dieses Dokument ist eine Typ-B-Norm wie in ISO 12100 angegeben.

Dieses Dokument ist insbesondere für die folgenden interessierten Kreise von Relevanz, die die Marktakteure im Hinblick auf die Sicherheit von Maschinen repräsentieren:

- Maschinenhersteller (kleine, mittlere und große Unternehmen);
- Organisationen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (Gesetzgeber, Unfallversicherungen, Marktaufsicht usw.).

Es ist möglich, durch das in diesem Dokument (durch die oben genannten interessierten Kreise) festgeschriebene Sicherheitsniveau betroffen zu sein. Es handelt sich dabei um:

- Maschinenanwender/Arbeitgeber (kleine, mittlere und große Unternehmen);
- Maschinenanwender/Arbeitnehmer (z. B. Gewerkschaften, Organisationen für Personen mit spezifischen Bedürfnissen);
- Dienstleistungsanbieter, z. B. für die Wartung (kleine, mittlere und große Unternehmen);
- Verbraucher (falls die Maschinen für die Nutzung durch Verbraucher bestimmt sind).

Den oben genannten interessierten Kreisen wurde die Möglichkeit eingeräumt, sich an der Erarbeitung dieses Dokuments zu beteiligen.

Des Weiteren ist dieses Dokument an Normungsgremien gerichtet, die Typ-C-Normen erarbeiten.

Die Anforderungen in diesem Dokument können durch eine Typ-C-Norm ergänzt oder modifiziert werden.

Für Maschinen, die in den Anwendungsbereich einer Typ-C-Norm fallen und die nach deren Anforderungen konstruiert und gebaut worden sind, haben die Anforderungen dieser Typ-C-Normen Vorrang.

Bewegliche Maschinen und Maschinen mit sich bewegenden Teilen sind häufig in unmittelbarer Nähe zu Personen oder mit ihnen in demselben Raum in Betrieb (z. B. Züge (Zugänge), Aufzugstüren, Werkzeugmaschinen). In den meisten Fällen geraten die sich bewegenden Teile der Maschine nicht in Kontakt mit Personen. Es werden nach Möglichkeit Schritte unternommen, um jeglichen Kontakt zu verhindern.

Es gibt jedoch Ausnahmen, wie beispielsweise schließende angetriebene Türen oder bewegliche trennende Schutzeinrichtungen und in einigen Fällen bewegliche Teile von Werkzeugmaschinen, die der Bediener berührt (z. B. Teile von Verpackungsmaschinen). Wo dies der Fall ist, werden von einzelnen Typ-C-Normen für die Kontakte maschinenspezifische Grenzen festgelegt, um Verletzungen zu vermeiden.

Mit zunehmender Nutzung der motorgetriebenen Automatisierung und der Einführung von Maschinen, die kollaborativ mit Personen arbeiten, wird der Maschine-Mensch-Kontakt aufgrund der Bewegungen der Maschine wahrscheinlicher und häufiger.

Dieses Dokument legt nicht-maschinenspezifische Grenzen für Kontakte fest, um Verletzungen zu vermeiden. Es legt nicht eine einzelne Grenze fest, die für Sicherheit sorgt, sondern gibt verschiedene Werte an, so dass Schwellenwerte für die jeweiligen Einzelfälle zulässig sind.

Es bestimmt Werte, die den Kriterien für die „inhärent sichere Konstruktion“ entsprechen, wie in ISO 12100:2010, 6.2.2.2, festgelegt.

Es führt darüber hinaus das Konzept der Gruppen ein, um der Komplexität der Bedingungen Rechnung zu tragen, die auftreten, wenn Mensch und Maschine zusammenarbeiten, und ein Gleichgewicht zwischen der Häufigkeit der Kontakte, dem möglichen Risiko und dem gesellschaftlichen Nutzen, der durch den Einsatz einer Maschine zulässig ist, zu ermöglichen.

„Kontakt“ bezieht sich im Sinne dieses Dokuments lediglich auf die direkte mechanische Auswirkung auf die Person, die von dem sich bewegenden Teil der Maschine berührt wird. Es besteht die Möglichkeit anderer Nebeneffekte oder indirekter Auswirkungen, etwa aufgrund von

- der Temperatur des berührenden Maschinenteils,
- dem Potential, die Person durch den Kontakt zu Fall oder in eine andere Gefährdungssituation zu bringen (siehe Anhang E), und
- anderen Nebeneffekten wie elektrischem Schlag.

Diese Bedingungen fallen nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokumentes, sollten jedoch bei der Konstruktion einer kollaborativen Maschine oder der Festlegung, wie diese zu nutzen ist, neben ergonomischen Grundsätzen berücksichtigt werden.

Obwohl sie nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokumentes fallen, können die hierin enthaltenen Informationen für andere, Personen betreffende Kontaktumstände, wie etwa das Fallen oder Zusammenstoßen mit Wänden oder anderen Objekten, nützlich sein.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Grenzen für physische Kontakte zwischen der Maschine oder Teilen der Maschine und Personen fest, die von den Bewegungen der Maschine im Rahmen von deren bestimmungsgemäßer Verwendung oder vorhersehbarer Fehlanwendung herrühren.

Dieses Dokument erfasst alle Maschinenarten, die für den Einsatz an Orten bestimmt sind, an denen die Anwesenheit von Personen gestattet und der physische Kontakt der Maschine mit diesen Personen zulässig ist.

Dieses Dokument erfasst Maschinen, die im Rahmen von deren Funktion Personen berühren, sowie Maschinen, die keinen menschlichen Kontakt erfordern. Es umfasst beabsichtigte und unbeabsichtigte Interaktionen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 12100:2010, *Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction*

ISO 13849 (alle Teile), *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems*

IEC 62061, *Safety of machinery — Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 12100:2010 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Maschine-Mensch-Kontakt

physischer Kontakt zwischen einem Menschen und Teilen einer Maschine, der von den Bewegungen der Maschine oder eines Teils der Maschine herrührt

3.4

statischer oder quasi statischer Kontakt

Kontakt, bei dem dauerhaft eine Kraft aufgebracht wird

3.5

dynamischer Kontakt

Kontakt, bei dem die Kraft schnell einen Spitzenwert erreicht und anschließend wieder abnimmt

Anmerkung 1 zum Begriff: Dynamische Kontakte treten auf, wenn es der Person oder einem Körperteil möglich ist, zu reagieren und sich von dem Kontakt zu entfernen, oder wenn die Maschine fähig ist, zu reagieren und den Kontakt zu vermindern oder sich davon zu entfernen.

3.6

bewegliche Maschine

jedes in Bewegung befindliche mechanische System oder Teil eines mechanischen Systems

3.7

Nachgiebigkeit

Eigenschaft eines Systems, sich unter dem Einfluss einer Last zu verformen

4 Risikobeurteilung und Risikominderung

4.1 Allgemeines

Dieses Dokument unterstützt den Prozess der Risikobewertung und -minderung durch die Angabe von inhärent sicheren Grenzen, Hinweisen auf Schutzeinrichtungen zur Risikominderung und Gebrauchsanweisungen für Bedingungen, in denen der Kontakt der Maschine mit einem Menschen festgestellt wird.

Die inhärent sichere Konstruktion umfasst nach Definition (siehe ISO 12100:2010) die folgenden Schutzmaßnahmen:

- a) Begrenzen der Betätigungskraft auf einen ausreichend niedrigen Wert, damit das betätigte Teil keine mechanische Gefährdung hervorruft;
- b) Begrenzen der Masse und/oder der Geschwindigkeit der sich bewegenden Elemente und demzufolge von deren kinetischer Energie.

Dieses Dokument legt Grenzen fest, die angewendet werden können, um der Definition der inhärent sicheren Konstruktion zu entsprechen.

Es enthält Hinweise auf Schutzeinrichtungen und Gebrauchsanweisungen für Bedingungen, in denen Kontakt der Maschine mit einem Menschen festgestellt wird.

Zur Anwendung dieses Dokumentes muss das in ISO 12100 festgelegte Verfahren zur Risikobeurteilung und Risikominderung angewendet werden. Alle Einsatzbedingungen und Bedingungen der vorhersehbaren Fehlanwendung müssen berücksichtigt werden. Siehe Bild 1.

ANMERKUNG Bild 1 ist ISO 12100 entnommen. Der Text zu den Fragestellungen der Risikominderung wurde jedoch angepasst, um durch den direkten Bezug auf den Kontakt den Zusammenhang mit diesem Dokument aufzuzeigen.

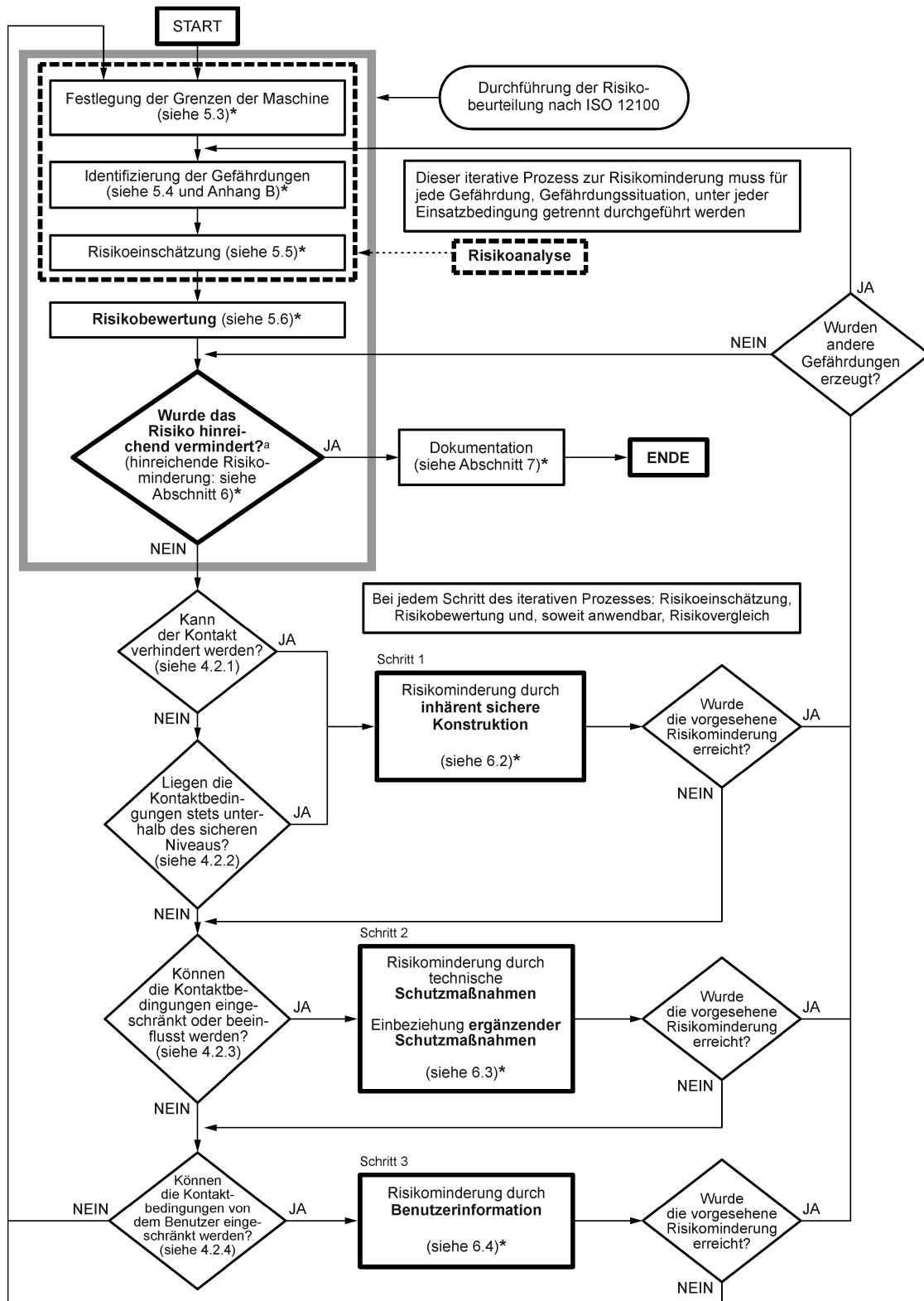


Bild 1 — Übersicht über die Risikobeurteilung/Risikominderung (siehe ISO 12100)

4.2 Strategie zur Risikominderung aus ISO 12100

Die Strategie zur Risikominderung an der Maschine ist in ISO 12100:2010, 6.1, angegeben und weitere Leitlinien finden sich in ISO 12100:2010, 6.2 (inhärent sichere Konstruktion) und 6.3 (technische Schutzmaßnahmen und ergänzende Schutzmaßnahmen). Diese Strategie umfasst die gesamte Lebensdauer der Maschine. Der Prozess der Risikominderung für eine Maschine erfordert, dass Gefährdungen über eine Maßnahmenhierarchie beseitigt oder gemindert werden:

- Beseitigung von Gefährdungen oder Risikominderung durch die Konstruktion (siehe ISO 12100:2010, 6.2);
- Risikominderung durch technische Schutzmaßnahmen und möglicherweise ergänzende Schutzmaßnahmen (siehe ISO 12100:2010, 6.3);
- Risikominderung durch die Bereitstellung von Benutzerinformationen zu dem Restrisiko (siehe ISO 12100:2010, 6.4).

4.3 Risikominderung

4.3.1 Beseitigung von Gefährdungen oder Risikominderung durch die Konstruktion

Maschine-Mensch-Kontakte müssen weitestgehend beseitigt werden. Bewegliche Maschinen oder Teile einer Maschine, die nicht fähig sind, Kontaktbedingungen zu schaffen, die über die in diesem Dokument festgelegten Werte hinausgehen, werden als inhärent sicher konstruiert angesehen und es ist nicht erforderlich, diese Kontaktbedingungen zu beseitigen.

4.3.2 Risikominderung durch technische Schutzmaßnahmen

4.3.2.1 Allgemeines

Bei einer beweglichen Maschine oder Teilen einer Maschine, die fähig sind, Kontaktbedingungen zu schaffen, die über die in diesem Dokument festgelegten Grenzen hinausgehen, müssen Schutzeinrichtungen vorgesehen werden, um die Kontaktbedingungen auf sichere Weise zu steuern und/oder zu verhindern. Siehe ISO 12100 und ISO/TR 22100-2.

4.3.2.2 Sensoren und Steuerungen, die die Kontaktbedingungen begrenzen

Sichere Kontaktbedingungen können durch den Einsatz von Steuerungen erreicht werden, die dafür bestimmt sind, zu verhindern, dass der Kontakt die in diesem Dokument festgelegten Werte übersteigt. Durch die Effektivität der Steuerung ist es möglich, die Nutzung nachgiebiger Oberflächen oder nachgiebiger Bediensysteme, die Energie absorbieren, weiter zu verstärken.

Die Sicherheitsfunktionen müssen ISO 13849-1 oder IEC 62061 entsprechen.

Siehe auch 7.1 und 7.3.

4.3.3 Risikominderung durch die Bereitstellung von Benutzerinformationen zum Restrisiko

Wenn ein Restrisiko des Kontakts oberhalb der in diesem Dokument angegebenen Grenzen bestehen bleibt, müssen konkrete Anweisungen oder Benutzerinformationen bereitgestellt werden, die das Restrisiko erfassen.

ANMERKUNG Der Konstrukteur der Maschine darf durch das Vorsehen einer Vielzahl von passiven und/oder aktiven Schutzmaßnahmen nach ISO 12100:2010 eine Maschine entwickeln, die nicht fähig ist, Kontaktbedingungen zu schaffen, die über die in diesem Dokument angegebenen Werte hinausgehen. Dies umfasst den Einsatz von Steuerungen, die dafür bestimmt sind, zu verhindern, dass der Kontakt die in diesem Dokument festgelegten Werte übersteigt. Die Effektivität der Risikominderung kann durch Nutzung nachgiebiger Oberflächen oder nachgiebiger Bediensysteme, die Energie absorbieren, weiter verstärkt werden.

5 Methodik

Wenn für die Maschine eine Typ-C-Norm vorhanden ist, die Grenzen für den Kontakt enthält, müssen die in dieser Typ-C-Norm festgelegten Grenzen angewendet werden.

ANMERKUNG Typ-C-Normen können die Grenzen direkt oder durch Verweisung auf dieses Dokument festlegen.

Wenn keine Typ-C-Norm vorhanden ist oder diese keine Grenzen für den Kontakt enthält, müssen die Kontaktgrenzen unter Anwendung dieses Dokumentes bestimmt werden.

Bei einer bestimmten Maschine kann eine Vielzahl an verschiedenen Kontakten mit dem Menschen möglich sein. Diese können von verschiedenen beweglichen Teilen der Maschine, verschiedenen Betriebsarten oder anderen Nutzungsbedingungen herrühren. Zur Anwendung dieses Dokumentes müssen alle möglichen Kontakte berücksichtigt werden.

Für jeden Kontakt müssen die folgenden Schritte (in Bild 2 aufgezeigt) befolgt werden:

- a) Bestimmung des Kontaktes des Menschen mit einem sich bewegenden Teil der Maschine;
- b) wenn der Kontakt mit dem Auge oder innerhalb von 50 mm zum Auge erfolgen könnte, ist dieser nicht zulässig und muss verhindert oder beseitigt werden;
- c) bei anderen Kontakten Bestimmung der Klassifizierungsgruppe des Kontakts (siehe Abschnitt 6);
- d) Bestimmung der zulässigen Kontaktbedingung für den Kontakt (siehe Abschnitt 8);
- e) Vergleichen der tatsächlichen oder vorgesehenen Kontaktbedingung mit der zulässigen Bedingung. Wenn die zulässige Bedingung nicht erfüllt wird, muss die Konstruktion überarbeitet werden, bis die Kontaktbedingung erfüllt ist;

Änderungen der Konstruktion dürfen auch die Risikobeurteilung beeinflussen, die geprüft und ggf. wiederholt werden sollte;

- f) Wiederholen des Verfahrens für jeden Kontakt unter den Bedingungen für die vorhersehbare Anwendung und Fehlanwendung.

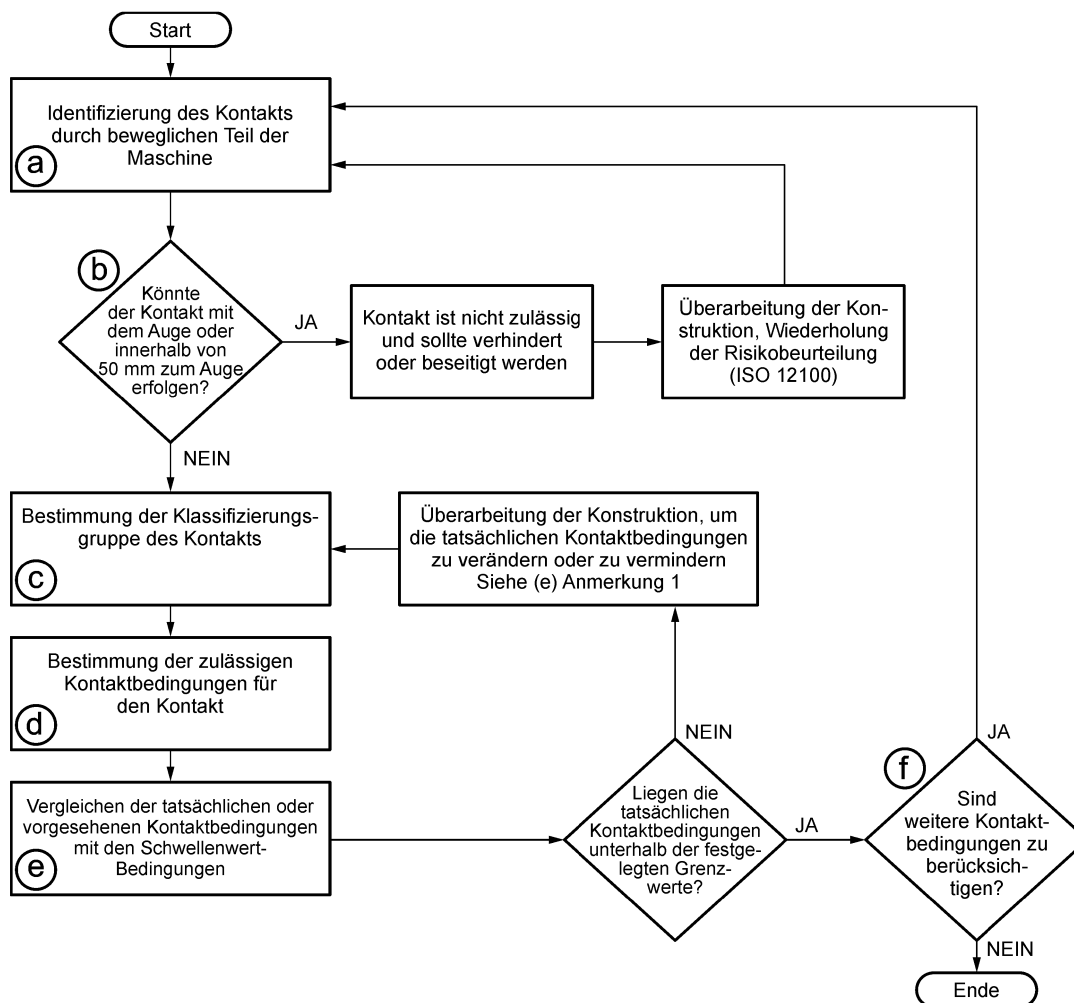


Bild 2 — Flussdiagramm für die Anwendung

6 Klassifizierung des Maschine-Mensch-Kontakts

6.1 Allgemeines

Die Annehmbarkeit eines Kontakts mit einer beweglichen Maschine oder Teilen einer Maschine ist je nach den Kontaktbedingungen verschieden.

Aus praktischen Gründen wurden die Kontakte in die in 6.2 bis 6.6 angegebenen Gruppen untergliedert.

Eine Klassifizierungsgruppe könnte alle Kontaktsituationen festlegen, es gibt jedoch üblicherweise mehrere Klassifizierungsgruppen.

Bei einzelnen Kontakten ist es auch möglich, dynamische (G1, G2 und G3), statische (G4) und gleitende (G5) Bestandteile einzuschließen, die alle berücksichtigt werden müssen.

6.2 Gruppe 1 (G1) — Häufiger Kontakt

Gruppe 1 umfasst dynamische Kontakte mit derselben Person, die mehr als einmal je Stunde, gemittelt über eine Dauer von acht Stunden, stattfinden.

6.3 Gruppe 2 (G2) — Gelegentlicher Kontakt

Gruppe 2 umfasst dynamische Kontakte mit derselben Person, die weniger als einmal je Stunde, gemittelt über eine Dauer von acht Stunden, jedoch öfter als einmal je Woche, stattfinden, oder seltene dynamische Kontakte, die weniger als einmal je Woche stattfinden, und die die von dem Kontakt betroffene Person nicht erwartet.

6.4 Gruppe 3 (G3) — Seltener Kontakt

Gruppe 3 umfasst dynamische Kontakte mit derselben Person, die weniger als einmal je Woche stattfinden.

6.5 Gruppe 4 (G4) — Statischer oder quasi statischer Kontakt

Gruppe 4 umfasst jeden Kontakt mit einer Geschwindigkeit der Energieübertragung von weniger als 2 J/s, oder bei dem die Kontaktkraft länger als 500 ms aufgebracht wird.

6.6 Gruppe 5 (G5) — Gleitkontakt

Gruppe 5 umfasst jeden Kontakt, der ein Gleiten direkt auf der Hautoberfläche einschließt.

7 Kontaktparameter

7.1 Allgemeines

Die folgenden Parameter müssen die Schwellenwerte für einen Kontakt mit einem Körperteil mit Ausnahme der Augen oder eines Bereiches innerhalb von 50 mm von den Augen festlegen:

Ein G1-, G2- oder G3-Kontakt ist annehmbar, wenn Folgendes gilt:

- es muss eine Mindestkontaktfläche ohne scharfe Kanten oder Ecken geben (siehe Anhang D für zusätzliche Informationen zu Kontaktoberflächen);
- die übertragene Energie je Flächeneinheit muss unter dem Schwellenwert liegen;
- die übertragene Energie muss weniger als der Schwellenwert betragen;
- die dynamische Kraft muss weniger als der Schwellenwert betragen.

Ein G4-Kontakt ist annehmbar, wenn Folgendes gilt:

- es muss eine Mindestkontaktfläche ohne scharfe Kanten oder Ecken geben (siehe Anhang D für zusätzliche Informationen zu Kontaktoberflächen);
- die dauerhaft aufgebrachte Kraft je Kontaktflächeneinheit (Druck) muss unter dem Schwellenwert liegen;
- die dauerhaft aufgebrachte Kraft muss unter dem Schwellenwert liegen.

Ein G5-Kontakt ist annehmbar, wenn Folgendes gilt:

- die Kontaktoberfläche der Maschine muss glatt und eben oder abgerundet sein (siehe Anhang D für zusätzliche Informationen zu Kontaktoberflächen);
- die höchste Scherspannung muss unter dem Schwellenwert liegen.

7.2 Energieübertragung

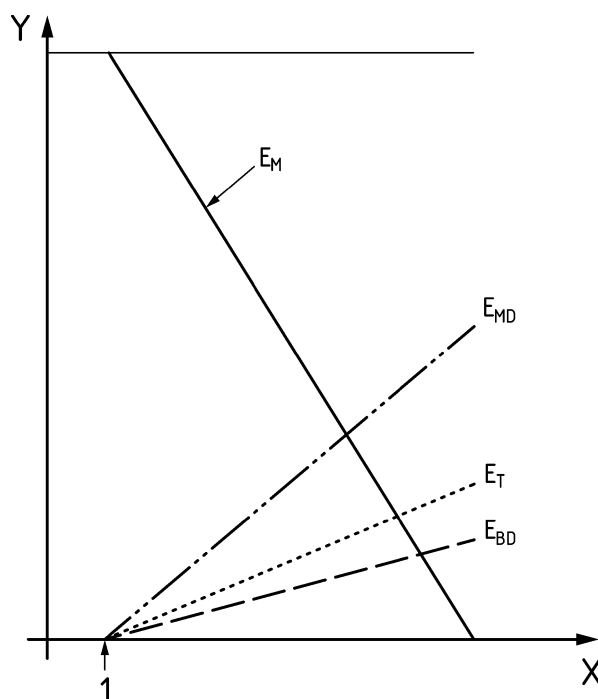
Siehe auch Anhang B.

Wenn ein Kontakt stattfindet, wird ein Teil der Energie des sich bewegenden Objekts auf die Person übertragen. Die Menge der übertragenen Energie hängt davon ab, wie viel Energie anderweitig abgeleitet wird.

Bei einer/einem nicht eingeschränkten Person oder Körperteil wird ein Teil der Energie von der/dem in Bewegung befindlichen Person oder Körperteil abgeleitet. Dies tritt üblicherweise ein, wenn der Kontakt unerwartet stattfindet.

Die Maschine an sich kann durch deren Reaktion auf den Kontakt ebenfalls Energie ableiten, etwa durch mechanische Bremsenrichtungen oder verformbare Bestandteile. Um wirksam zu sein, ist es bei solchen Systemen wichtig zu berücksichtigen, dass die Reaktionszeit des zur Steuerung der Maschine und zur Ableitung der Energie genutzten Systems schnell genug sein sollte, um zu verhindern, dass die übertragene Energie die Grenzwerte übersteigt.

Die Bestandteile der Energieübertragung während eines Kontakts sind aus Bild 3 und Gleichung (1) ersichtlich.



Legende

X	Energie
Y	Zeit
—————	kinetische Energie des sich bewegenden Teils
-----	auf den Körper übertragene Energie
— . . . —	von der Maschine als Reaktion auf den Kontakt abgeleitete Energie
— — — —	durch die Bewegung des Körpers oder Körperteils als Reaktion auf den Kontakt abgeleitete Energie

Bild 3 — Bestandteile der Energieübertragung während eines Kontakts

$$E_T = E_M - (E_{MD} + E_{BD}) \quad (1)$$

Dabei ist

E_T die auf den Körper übertragene Energie;

E_M die kinetische Energie der Maschine;

E_{MD} die von der Maschine als Reaktion auf den Kontakt abgeleitete Energie;

E_{BD} die durch die Bewegung des Körpers oder Körperteils als Reaktion auf den Kontakt abgeleitete Energie.

ANMERKUNG Die Bewegung des Körpers oder Körperteils wird auch von jeder Reaktion auf den Kontakt beeinflusst. Wenn es möglich ist, dem Kontakt zu widerstehen, verringert sich die abgeleitete Energie und erhöht sich die übertragene Energie. Oder es besteht die Möglichkeit der zusätzlichen Bewegung von dem Kontakt fort, wodurch die übertragene Energie vermindert wird.

7.3 Übertragene Energie je Flächeneinheit

Die übertragene Energie je Flächeneinheit wird nach Gleichung (2) berechnet, siehe auch Anhang B:

$$E_{TA} = E_T / A \quad (2)$$

Dabei ist

E_{TA} die auf den Körper übertragene Energie je Flächeneinheit;

A die Kontaktfläche.

7.4 Dynamische Kraft

Siehe auch Anhang B.

Die während eines Kontakts übertragene Energie erzeugt eine Kraft, die auf die Person einwirkt. Die Stärke dieser Kraft wird von den Eigenschaften der Maschine, vorrangig von deren Nachgiebigkeit, beeinflusst. Die Kraft wird nach Gleichung (3) berechnet:

$$F \simeq (E_S / C)^{0,5} \quad (3)$$

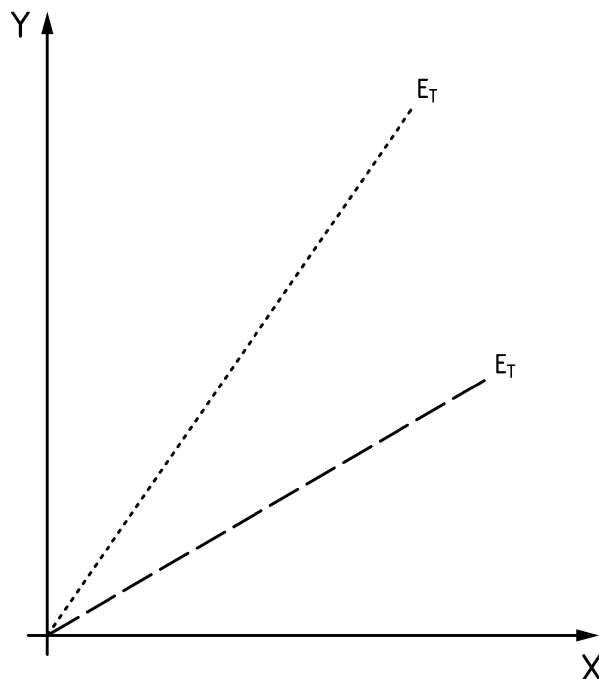
Dabei ist

F die Kraft;

E_S die Energie des Systems, wenn der Kontakt zwischen Körper und Objekt besteht;

C die Nachgiebigkeit des Systems.

Durch das Erhöhen der Nachgiebigkeit (etwa durch den Einsatz einer verformbaren Kontaktoberfläche) können sowohl die Kraft als auch die übertragene Energie wie in Bild 4 dargestellt beeinflusst werden.



Legende

X Energie

Y Zeit

----- Kraft gegenüber der übertragenen Energie bei einem starren Objekt

— — — — Kraft gegenüber der übertragenen Energie bei einem nachgiebigen Objekt

Bild 4 — Auswirkung der Nachgiebigkeit oder Flexibilität der Oberfläche auf die Kontaktkraft

8 Schwellenwerte für den Kontakt

8.1 Allgemeines

8.2 bis 8.4 geben die Schwellenwerte für jede der zuvor bestimmten Kontaktgruppen an.

ANMERKUNG Die derzeitigen Grenzwerte beruhen auf Größe, Energie, Kraft und Druck. Der künftigen Forschung ist es gestattet, alternative Einheiten für Grenzwerte vorzuschlagen, z. B. Impuls [kg · m/s].

8.2 Schwellenwerte — Gruppe-1-, Gruppe-2-, Gruppe-3-Kontakte

Die Bedingungen in Tabelle 1 müssen gelten, damit ein dynamischer Kontakt annehmbar ist.

Tabelle 1 — Dynamische Schwellenwerte

Kontaktbedingung	G1	G2	G3
Mindestkontaktfläche	0,5 cm ²	0,5 cm ²	0,5 cm ²
Maximale Energieübertragung je Flächeneinheit	0,1 J/cm ²	0,1 J/cm ²	0,3 J/cm ²
Maximale Energieübertragung	1 J	2 J	4 J
Maximale durch die Energieübertragung erzeugte dynamische Kraft	75 N	150 N	400 N

Wenn die Kontakthäufigkeit mehr als einmal je Minute beträgt, gelten die folgenden zusätzlichen Anforderungen:

- an der Kontaktstelle muss eine Schutzbarriere in Form von Schutzbekleidung o. Ä. genutzt werden, um örtliche Hautverletzungen zu verhindern; oder
- bei direktem Hautkontakt werden die annehmbaren Bedingungen um 50 % verringert.

8.3 Schwellenwerte — Gruppe-4-Kontakte

8.3.1 Allgemeines

Die Bedingungen in Tabelle 2 müssen gelten, damit ein statischer oder quasi statischer Kontakt annehmbar ist.

Tabelle 2 — Statische oder quasi statische Schwellenwerte

Kontaktbedingung	G4
Mindestkontaktfläche	0,5 cm ²
Maximale Kraft je Kontaktflächeneinheit (Druck)	35 N/cm ²
Maximale dauerhafte Kontaktkraft (mit Ausnahme von Hebebewegungen, siehe 8.3.2)	100 N

8.3.2 Kontakt zum Heben oder Bewegen einer Person

Wenn ein G4-Kontakt zum Zweck des Hebens oder Bewegens der berührten Person erfolgt, ist die Kontaktkraft die zur Ausführung der Bewegung oder Hebebewegung erforderliche Kraft. Die Kraft muss zunehmend mit einer Geschwindigkeit von höchstens 100 Ns⁻¹ aufgebracht werden.

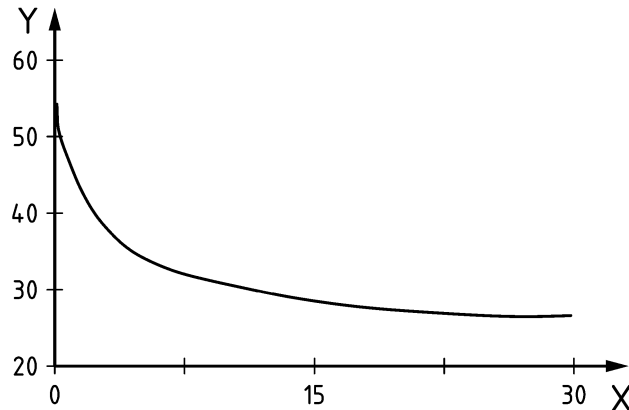
Der Hebekontakt sollte nur auf einen Teil des Körpers aufgebracht werden, der sicherstellt, dass ein stabiles, sicheres Heben möglich ist. Siehe auch ISO 10535.

8.4 Schwellenwerte — Gruppe-5-Kontakte

Wenn ein Kontakt einen gleitenden Bestandteil umfasst, müssen die Bedingungen in Tabelle 3 (einschließlich Bild 5) gelten.

Tabelle 3 — Schwellenwerte für Gleitkontakte

Kontaktbedingung	G5
Maximale Scherspannung	55 kPa
Maximale Scherspannung für Gleitkontakte bis 30 min	Siehe Bild 5
Maximale Scherspannung für Gleitkontakte über 30 min	25 kPa



Legende

- X Zeit, in min
Y maximale Scherspannung, in kPa

Bild 5 — Höchstzulässige Scherspannung

ANMERKUNG Gleitkontakte finden statt, wenn die Bewegung der Maschine an der Kontaktstelle parallel zur Oberfläche des Körpers erfolgt, etwa, wenn ein sich bewegendes Objekt eine Person streift.

9 Anweisungen/Benutzerinformationen

Ergänzend zu den entsprechenden Anforderungen nach ISO 12100 müssen die folgenden Informationen bereitgestellt werden:

- Einbeziehung einer Erklärung in die Betriebsanleitung, dass die Möglichkeit besteht, dass diese Maschine mit den Personen in Kontakt gerät, die sich in deren Betriebsbereich befinden;
- Angabe der Art und Häufigkeit der möglicherweise auftretenden Kontakte;
- Angaben zu allen besonderen Anforderungen in Bezug auf die Umgebung, in der die Maschine einzusetzen ist, und insbesondere, ob das Risiko besteht, dass ein Kontakt zu einem Sturz führen könnte. Siehe auch Anhang E.

10 Verifizierung und Validierung

10.1 Verifizierung von Kontaktbedingungen

- Um die Übereinstimmung mit diesem Dokument zu belegen, müssen tatsächliche Kontaktwerte gemessen werden, um die Energieübertragung während eines echten Maschine-Mensch-Kontakts zu ermitteln. Die Prüfungen müssen durchgeführt werden, während die Maschine mit deren maximaler Betriebsmasse und -geschwindigkeit läuft;
- Die Kontaktwinkel während der Prüfungen müssen die ungünstigsten Bedingungen simulieren, um die Höchstwerte der Kontakte hervorzubringen. Wenn keine eindeutige Bestimmung unter den ungünstigsten Bedingungen möglich ist, sollte eine Reihe an Prüfungen durchgeführt werden, die alle möglichen Kontaktwinkel umfassen, so dass die Höchstwerte erfasst werden.
- Bei Kontakten mit kleiner Fläche sollte die Betriebskontaktfläche als Prüffläche genutzt werden.
- Es müssen für alle durch die Risikobeurteilung ermittelten Kontaktbedingungen, einschließlich Störfällen, einzelne Prüfungen durchgeführt werden.
- Alle Prüfungen müssen mindestens fünfmal wiederholt und der aufgezeichnete Höchstwert muss zur Verifizierung genutzt werden.

Das Prüfgerät muss eine Kraftmesszelle enthalten, um jede bedeutende Körperstelle zu simulieren, an der ein Kontakt möglich ist. Sie muss so montiert werden, dass die Bedingungen simuliert werden, unter denen ein tatsächlicher Kontakt stattfindet.

Bei nicht einklemmenden Kontakten muss die Montage der Kraftmesszelle die Fähigkeit des Körpers zulassen, sich von dem Kontakt zu entfernen, und den Einfluss der Masse des entsprechenden Körperteils berücksichtigen.

Der Kontaktdruck und die Energieübertragung müssen durch Berechnung anhand der während der Prüfungen aufgezeichneten Kräfte und Verschiebungen ermittelt werden.

10.2 Anforderungen

Die Prüfergebnisse sind mit den zur Feststellung der Übereinstimmung mit diesem Dokument genutzten Bemessungswerten zu vergleichen und dürfen nicht größer als diese sein.

10.3 Validierung

Die Risikobeurteilung muss überprüft werden, um festzustellen, ob alle vernünftigerweise vorhersehbaren Kontakte ermittelt und richtig beurteilt wurden, wobei der Feststellung unerwarteter Kontakte besondere Aufmerksamkeit gilt.

Die Verifizierungsprüfungen müssen überprüft werden, um sicherzustellen, dass alle Kontaktbedingungen richtig beurteilt wurden.

10.4 Verifizierung und Validierung von Steuerungen

Steuerungen müssen nach ISO 13849 verifiziert und validiert werden.

Anhang A (informativ)

Modell für mechanisch verursachte Schmerzen und Verletzungen während eines Kontakts

Der Kontakt einer beweglichen Maschine mit einer Person wird von der Person unterschiedlich empfunden. Es kann sich um das Gefühl der Berührung, des Schmerzes bzw. Unbehagens handeln oder es kann eine Verletzung verursacht werden. Die von dieser Norm erfassten Kontakte liegen im Allgemeinen unter dem Schmerzniveau, wenngleich in einigen Fällen leichte Verletzungen zulässig sind. Bei mit verhältnismäßig scharfen Spitzen oder Kanten einhergehenden Kontakten besteht die Möglichkeit von Stich- oder Schnittverletzungen. Diese sind örtlich begrenzt und sollten gesondert von stumpfen oder großflächigen Kontakten geprüft werden, bei denen der Schmerzen oder Verletzungen verursachende Kontakt auf die Übertragung von Energie auf ein oder von einem Körperteil zurückzuführen ist.

Dieses Konzept wird durch ein Drei-Blöcke-Modell dargestellt (siehe Bild A.1).



Bild A.1 — Drei-Blöcke-Modell der Schmerzen oder Verletzungen verursachenden Energieübertragung

Der Übertragungsmechanismus umfasst einen Impulsaustausch, der einen Impuls erzeugt, der einen Druck oder eine Kraft auf den Körperteil ausübt. Dies ist eine Funktion der Relativbewegung zwischen einem Körperteil und dem Gerät. Die konkreten Bedingungen sind daher äußerst komplex und hängen nicht nur von dem Verhalten der Maschine, sondern auch von der Reaktion oder dem Verhalten der Person ab. Er variiert zwischen verschiedenen Personen, darf sich bei erwarteten oder unerwarteten Kontakten unterscheiden, und wird durch alle Begrenzungen eingeschränkt, die den Körper oder Körperteil an der Bewegung hindern.

Der Schwellenwert für Schmerz oder Verletzungen ist nicht für die gesamte Population gleich. Der Schwellenwert darf beispielsweise vom Körpergewicht beeinflusst werden; je geringer die Masse, desto geringer der Schwellenwert und umgekehrt. Zu weiteren auf den Körper bezogenen Variablen zählen Alter, Gesundheitszustand, Gemütszustand, Auswirkungen von Medikamenten, Hauteigenschaften usw. Des Weiteren unterscheiden sich einzelne Personen in ihren Schwellenwerten für die Empfindlichkeit gegenüber derselben Energiequelle selbst dann, wenn sie äußerlich ähnlich erscheinen.

Die Übertragung muss unterhalb eines sicheren Schwellenwerts für die beteiligte Person liegen, damit der Kontakt sicher und schmerzfrei ist. Dieser darf durch die Konstruktion erreicht (beispielsweise durch Maschinen mit sehr niedriger Leistung) oder durch die Verwendung einer geeigneten Schutzeinrichtung auf ein sicheres Niveau verringert werden.

Anhang B (informativ)

Energieübertragung bei einem Kontakt

B.1 Allgemeines

Dieser Anhang behandelt die Energieübertragung für einige bestimmte Situationen. Der Ansatz ist vereinfacht; lokalisiertes Verhalten des menschlichen Körpers, das in der Praxis die Auswirkung eines Kontaktes reduziert, wird nicht berücksichtigt.

B.2 Energieübertragung

B.2.1 Allgemeines

Die auf den Körper übertragene Energie E_T wird wie folgt nach Gleichung (B.1) berechnet:

$$E_T = E_M - (E_{MD} + E_{BD}) \quad (B.1)$$

Die durch die Bewegung des Körpers oder Körperteils als Reaktion auf den Kontakt abgeleitete Energie E_{BD} wird wie folgt nach Gleichung (B.2) berechnet:

$$E_{BD} = E_M \times (1 - m_{MO} / (m_{MO} + m_{BP})) \times (1 - e^2) \quad (B.2)$$

Dabei ist

- E_M die kinetische Energie der Maschine;
- E_{MD} die von der Maschine als Reaktion auf den Kontakt abgeleitete Energie;
- m_{MO} die Masse des bewegten Objektes;
- m_{BP} die Masse des Körperteils;
- e der Restitutionskoeffizient.

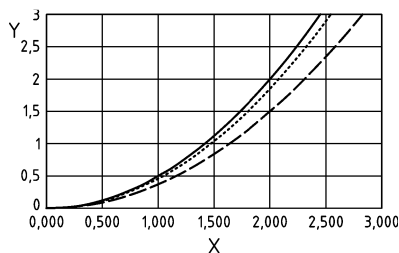
B.2.2 Großes, festes, frei bewegliches Objekt

Bei einem festen, frei beweglichen Objekt gilt $E_{MD} = 0$. Die gesamte kinetische Energie des Objektes wird auf den Körper übertragen oder durch die Bewegung des Körpers abgeleitet, siehe Gleichung (B.3).

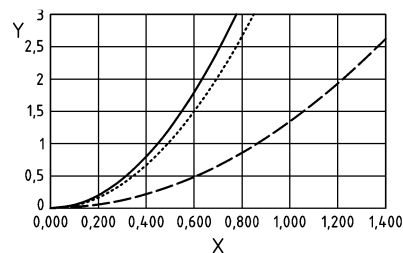
$$E_T = E_M - (0 + E_{BD}) \quad (B.3)$$

Die übertragene Energie hängt von der Geschwindigkeit des Objektes und dessen Masse im Verhältnis zu der Masse des berührten Körperteils ab.

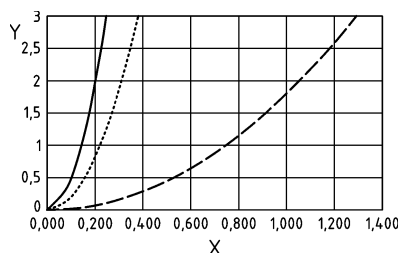
Beispiele der übertragenen Energiemenge für verschieden große Objekte, die den nicht eingeschränkten Arm oder Körper einer Person berühren, sind in Bild B.1 dargestellt.



a) Objekt von 1 kg Masse



b) Objekt von 10 kg Masse



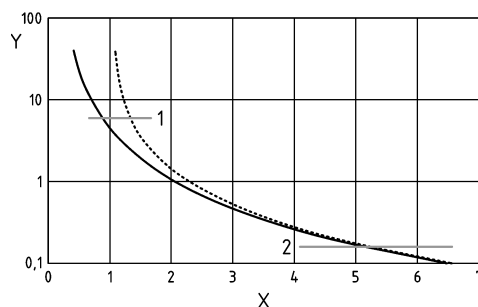
c) Objekt von 100 kg Masse

Legende

- Energie des Objektes
- Kontakt mit dem Arm
- Kontakt mit dem Körper
- X Geschwindigkeit, in m/s
- Y Energie, in J

Bild B.1 — Beispiele der übertragenen Energiemenge für verschieden große Objekte, die den nicht eingeschränkten Arm oder Körper einer Person berühren

Die sichere Kontaktgeschwindigkeit für einen nicht beschränkenden Kontakt durch Objekte unterschiedlicher Masse bei einer maximalen Energieübertragung von 2 J (G2-Kontakt) ist in Bild B.2 dargestellt.



Legende

- Kontakt mit dem Arm
- Kontakt mit dem Körper
- Beispiele
- X Geschwindigkeit, in m/s
- Y Masse des Objektes, in kg
- 1 Staubsaugerroboter
- 2 Cricketball

Bild B.2 — Sichere Kontaktgeschwindigkeit für einen nicht beschränkenden Kontakt durch Objekte unterschiedlicher Masse bei einer maximalen Energieübertragung von 2 J