

DIN EN ISO 10218-1

ICS 25.040.30

Entwurf

Einsprüche bis 2021-09-30
 Vorgesehen als Ersatz für
 DIN EN ISO 10218-1:2012-01;
 Ersatz für
 E DIN EN ISO 10218-1:2020-04

**Robotik –
 Sicherheitsanforderungen –
 Teil 1: Industrieroboter (ISO/DIS 10218-1.2:2021);
 Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 10218-1:2021**

Robotics –
 Safety requirements –
 Part 1: Industrial robots (ISO/DIS 10218-1.2:2021);
 German and English version prEN ISO 10218-1:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-07-30 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 nam@vdma.org 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 Maschinenbau (NAM), 60498 Frankfurt am Main,
 Postfach 71 08 64 oder Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main.

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 218 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

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.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung werden vom Ausschuss NA 060-38-01 AA „Robotik“ im DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Industrierobotern sowie der Berufsgenossenschaften sind an der Erarbeitung beteiligt.

Dieser Norm-Entwurf konkretisiert einschlägige Anforderungen von Anhang I der EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG an erstmals im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebrachte Maschinen, um den Nachweis der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen zu erleichtern.

Ab dem Zeitpunkt ihrer Bezeichnung als Harmonisierte Norm im Amtsblatt der Europäischen Union kann der Hersteller bei ihrer Anwendung davon ausgehen, dass er die von der Norm behandelten Anforderungen der Maschinenrichtlinie eingehalten hat (so genannte Vermutungswirkung).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 10218-1:2012-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Überarbeitung der technischen Inhalte (ISO-lead) auf der Basis von Erfahrungen, die seit der Veröffentlichung von DIN EN ISO 10218-1 und DIN EN ISO 10218-2 im Jahr 2012 gewonnen wurden. Diese Norm bleibt im Einklang mit den Mindestanforderungen einer harmonisierten Typ C-Norm für Roboter in einer Industrieumgebung.
- b) Wo zutreffend, wurde die in ISO/TS 15066:2016 enthaltene Anleitung zur Sicherheit kollaborierender Robotersysteme hinzugefügt. Der größte Teil von ISO/TS 15066 wurde in ISO 10218-2 eingebunden, da die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter für die Anwendung und nicht nur für den Roboter gilt. Sicherheitsfunktionen, die eine kollaborierende Aufgabe ermöglichen, könnten in den Roboter integriert oder durch eine Schutzvorrichtung oder eine Kombination aus Roboter und Schutzvorrichtung bereitgestellt werden.
- c) Revisionen der Stoppfunktionen der Kategorie 2, Definitionen, funktionalen Sicherheitsanforderungen, Kennzeichnung, Betriebsartauswahl, Anforderungen an die Leistungs- und Kraftbegrenzung, Leistungsverlustanforderungen.

Titel de: Robotik — Sicherheitsanforderungen — Teil 1: Industrieroboter
(ISO/DIS 10218-1.2:2021)

Titel en: Robotics — Safety requirements — Part 1: Industrial robots
(ISO/DIS 10218-1.2:2021)

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	5
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2006/42/EG	6
Vorwort	9
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	12
2 Normative Verweisungen	13
3 Begriffe und Abkürzungen	14
4 Risikobewertung	26
5 Konstruktion und Schutzmaßnahmen	26
5.1 Konstruktion von Robotern	26
5.1.1 Allgemeines	26
5.1.2 Werkstoffe, mechanische Festigkeit und mechanische Konstruktion	26
5.1.3 Handhabung, Anheben und Transport	28
5.1.4 Verpackung	28
5.1.5 Stabilität	28
5.1.6 Temperatur und Brandrisiken	28
5.1.7 Spezielle Geräte	29
5.1.8 Positionshaltung	29
5.1.9 Hilfsachse (Achsen)	29
5.1.10 Energieverlust oder Energieschwankungen	29
5.1.11 Fehlfunktion von Bauteilen	30
5.1.12 Gefährdende Energie	30
5.1.13 Elektrische, pneumatische und hydraulische Teile	31
5.1.14 Einstellung des Werkzeugarbeitspunktes (en: Tool Centre Point, TCP)	31
5.1.15 Nutzlasteinstellung	32
5.1.16 Cybersicherheit	32
5.1.17 Roboterklasse	32
5.2 Robotersteuerungen	33
5.2.1 Allgemeines	33
5.2.2 Schutz vor unerwartetem Anlauf	33
5.2.3 Singularität	34
5.2.4 Verriegelungsfunktionen	34
5.2.5 Zustandsanzeige und Warneinrichtungen	34
5.2.6 Kennzeichnung	34
5.2.7 Ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation	35
5.2.8 Betriebsarten	36
5.2.9 Mittel zur Steuerung des Roboters	38
5.2.10 Mittel zum Auslösen des Automatikbetriebs	40
5.3 Sicherheitsfunktionen	40
5.3.1 Allgemeines	40
5.3.2 Funktionssicherheitsnormen	40
5.3.3 Leistung	41
5.3.4 Ausfall- oder Fehlererkennung	41

5.3.5	Parametrisierung der Sicherheitsfunktionen	41
5.3.6	Kommunikation	42
5.3.7	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	43
5.4	Stoppfunktionen des Roboters (altern.: Funktionen zum Stillsetzen des Roboters).....	43
5.4.1	Allgemeines	43
5.4.2	Not-Halt	44
5.4.3	Sicherheitshalt.....	45
5.4.4	Sonstige Stoppfunktionen	46
5.5	Sonstige Sicherheitsfunktionen	46
5.5.1	Anlauf- und Wiederanlaufsperr.....	46
5.5.2	Geschwindigkeitsbegrenzungsüberwachung	47
5.5.3	Zustimmungsfunktion	48
5.6	Simultane Bewegung.....	49
5.7	Begrenzung der Roboterbewegung	50
5.7.1	Allgemeines	50
5.7.2	Mechanische Achsbegrenzungseinrichtungen	51
5.7.3	Elektromechanische Achsbegrenzungseinrichtungen	51
5.7.4	Software zur Achs- und Raumbegrenzung.....	51
5.7.5	Dynamische Begrenzung	51
5.8	Bewegung ohne Antriebsenergie	52
5.9	Laser und Lasereinrichtungen	52
5.10	Fähigkeiten zu kollaborierenden Anwendungen.....	52
5.10.1	Allgemeines	52
5.10.2	Handgeführte Steuerungen (HGC)	52
5.10.3	Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (en: Speed and Separation Monitoring, SSM)	53
5.10.4	Energie- und Kraftbegrenzung (en: Power and Force Limiting, PFL) durch inhärente Konstruktion oder Sicherheitsfunktionen.....	54
6	Verifizierung und Validierung von Sicherheitsanforderungen und Schutzmaßnahmen	54
6.1	Allgemeines	54
6.2	Verifizierung und Validierung.....	54
7	Benutzerinformationen	55
7.1	Allgemeines	55
7.2	Signale und Warneinrichtungen.....	55
7.3	Kennzeichnung.....	55
7.4	Schilder (Piktogramme) und schriftliche Warnungen	56
7.5	Betriebsanleitung.....	56
7.5.1	Allgemeines	56
7.5.2	Kennzeichnung.....	56
7.5.3	Bestimmungsgemäße Verwendung.....	57
7.5.4	Installation.....	57
7.5.5	Stillsetzen	58
7.5.6	Inbetriebnahme und Programmierung.....	58
7.5.7	Betrieb und Einrichten.....	58
7.5.8	Singularität	58
7.5.9	Gefährdende Energie	58
7.5.10	Bewegung ohne Antriebsenergie	59
7.5.11	Cybersicherheit.....	59
7.5.12	Funktionssicherheit	59
7.5.13	Programmierhandgeräte.....	63
7.5.14	Integration in ein Robotersystem	63
7.5.15	Wartung	63
7.5.16	Schutz gegen elektrischen Schlag.....	63
7.5.17	Ausnahme- und Notsituationen	63

7.5.18 Handhabung, Anheben und Transport	64
Anhang A (informativ) Liste signifikanter Gefährdungen	65
Anhang B (informativ) Darstellungen der Räume	70
Anhang C (normativ) Sicherheitsfunktionen	73
Anhang D (normativ) Erforderliche Informationen zu Sicherheitsfunktionen	78
Anhang E (normativ) Prüfmethodik für Roboter der Klasse I – maximale Kraft je Manipulator (F_{MPM})	80
E.1 Allgemeines	80
E.2 Prüfmethodik für Roboter der Klasse I	80
Anhang F (informativ) Symbole	88
Anhang G (normativ) Mittel zur Verifizierung und Validierung der Gestaltung und der Schutzmaßnahmen	90
Anhang H (normativ) Messung der Anhaltezeit und des Anhaltewegs	107
Anhang I (informativ) Optionale Eigenschaften	108
I.1 Allgemeines	108
I.2 Ausgänge der Not-Halt-Sicherheitsfunktion	108
I.3 Funktionalität von Zustimmungseinrichtungen	108
I.4 Betriebsartauswahl-Ausgang	108
I.5 Antikollisionserkennung	108
I.6 Erhalt der Bahngenaugigkeit bei allen Geschwindigkeiten	108
I.7 Optionale Fähigkeiten	109
I.7.1 Konfigurierbare Position als Sicherheitsfunktion mit überwachter Position	109
I.7.2 Stoppleistungs-Sicherheitsfunktion(en) oder Nicht-Sicherheitsmessung	109
I.7.3 Sicherheitsfunktion der Echtzeit-Schnittstellen	109
Literaturhinweise	110

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO/DIS 10218-1.2:2021 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 299 „Robotics“, der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 310 „Fortgeschrittene Fertigungstechnologien“ als prEN ISO 10218-1:2021 übernommen, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 10218-1:2011 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 10218-1.2:2021 wurde von CEN als prEN ISO 10218-1:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Anhang ZA (informativ)

Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2006/42/EG

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen eines von der Europäischen Kommission erteilten Normungsauftrages „M/396 Auftrag an CEN und CENELEC betreffend die Normung im Bereich Maschinen“ erarbeitet, um ein freiwilliges Mittel zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen der 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) bereitzustellen.

Sobald diese Norm im Amtsblatt der Europäischen Union im Sinne dieser Richtlinie in Bezug genommen worden ist, berechtigt die Übereinstimmung mit den in Tabelle ZA.1 aufgeführten normativen Abschnitten dieser Norm innerhalb der Grenzen des Anwendungsbereiches dieser Norm zur Vermutung der Konformität mit den entsprechenden grundlegenden Anforderungen der Richtlinie und den zugehörigen EFTA-Vorschriften.

**Tabelle ZA.1 — Übereinstimmung zwischen dieser Europäischen Norm und Anhang I der
Richtlinie 2006/42/EG**

Die relevanten grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2006/42/EG	Abschnitt(e)/Unterabschnitt(e) dieser EN	Anmerkungen/Hinweise
1.1.2. Grundsätze für die Integration der Sicherheit	4, 5, 6, 7.5.3, Anhang G	
1.1.3. Materialien und Produkte	5.1.2.2	
1.1.5. Konstruktion der Maschine im Hinblick auf die Handhabung	5.1.3, 5.1.4, 7.5.18	
1.1.6. Ergonomie	5.2.5, 5.2.9.1, 5.2.9.2	
1.2.1. Sicherheit und Zuverlässigkeit von Steuerungen	5.1.2, 5.1.5, 5.1.8, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.9.3, 5.3, 5.4.1, 5.4.3.1, 5.5.1, 5.5.3, 5.6, 5.7, Anhang C	
1.2.2. Stellteile	5.1.13, 5.2.5, 5.2.7, 5.2.8.2.3, 5.2.9.1, 5.2.9.3, 5.2.10, 5.4.1, 5.4.2, 5.6	
1.2.3. Eingangsetzen	5.5.1, 5.2.8.1, 5.2.8.3, 5.2.9.3	
1.2.4.1. Normales Stillsetzen	5.4.1, 5.4.4	
1.2.4.2. Betriebsbedingtes Stillsetzen	5.4.3.3	
1.2.4.3. Stillsetzen im Notfall	5.2.9.3, 5.4.1, 5.4.2, 5.10.1, 5.10.2	
1.2.5. Wahl der Steuerungs- oder Betriebsarten	5.2.8.2, 5.2.8.3	
1.2.6. Störung der Energieversorgung	5.1.8, 5.1.10, 5.3, 5.5.1.1	

Die relevanten grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2006/42/EG	Abschnitt(e)/Unterabschnitt(e) dieser EN	Anmerkungen/Hinweise
1.3.1. Risiko des Verlusts der Standsicherheit	5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 7.5.4	
1.3.2. Bruchrisiko beim Betrieb	5.1.2, 5.1.11, 5.1.13, 7.5.15	
1.3.4. Risiken durch Oberflächen, Kanten und Ecken	5.1.2.4, 5.10.2	
1.3.7. Risiken durch bewegliche Teile	5.1.2.4, 7.5.17	
1.3.8. Wahl der Schutzeinrichtungen gegen Risiken durch bewegliche Teile	5.1.2.4	
1.3.8.1. Bewegliche Teile der Kraftübertragung	5.1.2.4, 5.2.4	
1.3.9. Risiko unkontrollierter Bewegungen	5.1.8	
1.4.1. Allgemeine Anforderungen	5.5.3, 5.7, 5.10	
1.4.2.1. Feststehende trennende Schutzeinrichtungen	5.1.2.4	
1.4.2.2. Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen mit Verriegelung	5.1.2.4, 5.2.4	
1.4.3. Besondere Anforderungen an nichttrennende Schutzeinrichtungen	5.3, Anhang H	
1.5.1. Elektrische Energieversorgung	5.1.13	
1.5.2. Statische Elektrizität	5.1.12	
1.5.3. Nichtelektrische Energieversorgung	5.1.13	
1.5.4. Montagefehler	5.1.2.4, 5.1.13, 7.5.15	
1.5.5. Extreme Temperaturen	5.1.6	
1.5.6. Brand	5.1.6	
1.5.9. Vibrationen	5.10.2	
1.6.3. Trennung von den Energiequellen	5.1.12	
1.7.1. Informationen und Warnhinweise an der Maschine	7.1, 7.4	
1.7.1.1. Informationen und Informationseinrichtungen	5.2.5, 5.2.9.1, 7.1	
1.7.1.2. Warneinrichtungen	5.2.5, 7.2	
1.7.2. Warnung vor Restrisiken	7.5.3, 7.5.12.6	

Die relevanten grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2006/42/EG	Abschnitt(e)/Unterabschnitt(e) dieser EN	Anmerkungen/Hinweise
1.7.3. Kennzeichnung der Maschinen	7.3	
1.7.4. Betriebsanleitungen	7.1	
1.7.4.1. Allgemeine Grundsätze für die Abfassung der Betriebsanleitung	7.5.1	
1.7.4.2. Inhalt der Betriebsanleitung	7.1, 7.5	
2.2.1. Allgemeines	5.10.2	
2.2.1.1. Betriebsanleitungen	7.5.15	
4.1.2.1. Risiken durch mangelnde Standsicherheit	5.1	
4.1.2.3. Festigkeit	5.1.2	
4.1.2.4. Rollen, Trommeln, Scheiben, Seile und Ketten	5.1.2.3	
4.1.3. Zwecktauglichkeit	5.1.2.3	
4.2.1. Bewegungssteuerung	5.2.8.2.2, 5.2.8.2.3, 5.5.3, 5.10.2	
4.3.3. Maschinen zum Heben von Lasten	7.3	
4.4.2. Maschinen zum Heben von Lasten	7.5.3	

WARNHINWEIS 1 — Die Konformitätsvermutung bleibt nur bestehen, so lange die Fundstelle dieser Europäischen Norm in der im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlichten Liste erhalten bleibt. Anwender dieser Norm sollten regelmäßig die im Amtsblatt der Europäischen Union zuletzt veröffentlichte Liste einsehen.

WARNHINWEIS 2 — Für Produkte, die in den Anwendungsbereich dieser Norm fallen, können weitere Rechtsvorschriften der EU anwendbar sein.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (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 Normungsthemen 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, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 299, *Robotics*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 310, *Fortgeschrittene Fertigungstechnologien*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 10218-1:2011), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Einbindung der Sicherheitsanforderungen an Industrieroboter für den Einsatz in gemeinschaftlichen Anwendungen (vormals der Inhalt von ISO/TS 15066);
- Klärung der Anforderungen an die Funktionssicherheit;
- Hinzufügen von Anforderungen an die Cybersicherheit, soweit diese für die Sicherheit von Industrierobotern gelten.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 10218 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die Normenreihe ISO 10218 wurde unter Berücksichtigung der von Robotik in einer Industrieumgebung ausgehenden besonderen Gefährdungen erarbeitet. Dieses ISO-Dokument behandelt Roboter als unvollständige Maschinen, während ISO 10218-2 in vollständige Maschinen (Systeme, Anwendungen, Zellen) integrierte Roboter behandelt.

Dieses ISO-Dokument ist eine Typ-C-Norm nach ISO 12100.

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

- Roboterhersteller (kleine, mittlere und große Unternehmen);
- Robotersystem-/Anwendungsintegratoren (kleine, mittlere und große Unternehmen);
- Organisationen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (Gesetzgeber, Unfallversicherungen, Marktaufsicht usw.).

Andere Interessengruppen können durch das in diesem Dokument (durch die oben genannten Interessengruppen) festgeschriebene Sicherheitsniveau betroffen sein. Es handelt sich dabei um:

- Robotersystemanwender/Arbeitgeber (kleine, mittlere und große Unternehmen);
- Robotersystemanwender/Arbeitnehmer (z. B. Gewerkschaften);
- Dienstleister, z. B. für Wartungsarbeiten (kleine, mittelständische und große Unternehmen);

Den oben angeführten Interessengruppen wurde die Möglichkeit gegeben, sich an dem Entwurfsprozess zu diesem Dokument zu beteiligen.

Auf die Roboter die behandelten Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungsereignisse wird im Anwendungsbereich dieses ISO-Dokuments hingewiesen.

Unterscheiden sich Festlegungen einer Typ-C-Norm von denen in Typ-A- oder Typ-B-Normen, so ist den Festlegungen der Typ-C-Norm Vorrang vor Festlegungen aus anderen Normen für Maschinen zu geben, die nach den Festlegungen der Typ-C-Norm konstruiert und gebaut worden sind.

In Anbetracht der unterschiedlichen Eigenschaften der Gefährdungen bei verschiedenen Anwendungen von Industrierobotern ist die Normenreihe ISO 10218 in zwei Teile unterteilt. Dieses ISO-Dokument enthält die Anforderungen für die Sicherheit in der Konstruktion und dem Bau des Roboters. Da die Sicherheit bei der Anwendung von Industrierobotern von der Gestaltung und Anwendung der Roboteranwendung beeinflusst wird, legt ISO 10218-2 Anforderungen für den Schutz der Bediener während der Integration, der Inbetriebnahme, der Funktionsprüfung, des Programmierens, des Betriebs und der Instandhaltung fest.

Die Normenreihe ISO 10218 behandelt Robotertechnik in einer Industrieumgebung, die aus Arbeitsplätzen besteht, von der die Öffentlichkeit ausgeschlossen ist und die Personen (Bediener) arbeitende Erwachsene sind. Andere Normen behandeln Themen wie Koordinatensysteme und Achsenbewegungen, allgemeine Eigenschaften, Leistungskriterien und damit verbundene Prüfverfahren, Terminologie und mechanische Schnittstellen.

Um das Lesen dieses ISO-Dokuments zu erleichtern, beziehen sich die Begriffe „Roboter“ und „Robotersystem“ auf „Industrieroboter“ und „Industrierobotersysteme“ nach der Festlegung in diesem Dokument.

Dieses ISO-Dokument wurde auf der Basis von Erfahrungen aktualisiert, die seit der Veröffentlichung der Normenreihe ISO 10218 im Jahr 2011 gewonnen wurden. Dieses Dokument bleibt im Einklang mit den Mindestanforderungen einer harmonisierten Typ-C-Norm für Roboter in einer Industrieumgebung.

Wo zutreffend wurde ISO/TS 15066:2016 zur Sicherheit kollaborierender Robotersysteme zur Normenreihe ISO 10218 hinzugefügt. Der größte Teil von ISO/TS 15066 wurde in ISO/DIS 10218-2:2020 eingebunden, da die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter für die Anwendung und nicht nur für den Roboter gilt. Sicherheitsfunktionen, die eine kollaborierende Aufgabe ermöglichen, können in den Roboter integriert oder durch eine Schutzvorrichtung oder eine Kombination aus Roboter und Schutzvorrichtung bereitgestellt werden.

Es ist wichtig, zu betonen, dass der Begriff „kollaborativer Roboter“ nicht in diesem ISO-Dokument verwendet wird, da nur die Anwendung als kollaborierende Anwendung entwickelt, verifiziert und validiert werden kann. Darüber hinaus wird der Begriff „kollaborierender Betrieb“ nicht in diesem Dokument verwendet.

Revisionen umfassen das Folgende:

- Stoppfunktionen der Kategorie 2;
- Cybersicherheit;
- Begriffe und Abkürzungen;
- Einzelheiten innerhalb des Abschnitts zur Benutzerinformation;
- funktionale Sicherheitsanforderungen;
- Anforderungen an handgeführte Steuerungen (en: Hand-Guided Control, HGC);
- Kennzeichnung;
- Anforderungen an mechanische Festigkeit und Stabilität;
- Betriebsartauswahl;
- Anforderungen an die Energie- und Kraftbegrenzung (en: Power and Force Limiting, PFL), um kollaborierende Anwendungen zu ermöglichen;
- Leistungsverlustanforderungen;
- Anforderungen an handgeführte Steuerungen (HGC);
- Klassifizierung der Roboter (Klasse I und Klasse II) in Bezug auf funktionale Sicherheitsanforderungen;
- Raumbegrenzungen (maximal, eingeschränkt) wie in Anhang B dargestellt;
- Anforderungen an die Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (en: Speed and Separation Monitoring, SSM), um kollaborierende Anwendungen zu ermöglichen;
- Prüfmethodik zur Bestimmung der maximalen Kraft je Manipulator bei Robotern der Klasse I.

1 Anwendungsbereich

Dieses ISO-Dokument legt Anforderungen für die eigensichere Konstruktion, für Schutzmaßnahmen und Informationen für die Nutzung von Robotern in Industrieumgebungen fest.

Dieses ISO-Dokument betrachtet den Roboter als unvollständige Maschine.

Dieses ISO-Dokument gilt nicht für die folgenden Verwendungen und Produkte:

- Unterwasser;
- Strafverfolgung;
- Militär (Verteidigung);
- Luft- und Raumfahrtroboter, einschließlich Weltraum;
- Medizinroboter;
- Gesundheitspflegeroboter;
- Prothesen und sonstige Hilfsmittel für Körperbehinderte;
- Serviceroboter, deren Dienste von Personen beansprucht werden und daher öffentlich zugänglich sind;
- Konsumprodukte für die Verwendung im Haushalt, da diese öffentlich zugänglich sind;
- Anheben oder Transport von Personen;
- mobile Plattformen;
- Tele-betriebene Manipulatoren.

ANMERKUNG 1 Anforderungen an Robotersysteme, die Integration und Anwendungen werden in ISO 10218-2 behandelt.

ANMERKUNG 2 Durch spezielle Anwendungen können zusätzliche Gefährdungen verursacht werden (z. B. Schweißen, Laserstrahlschneiden, spanabhebende Bearbeitung). Diese systembezogenen Gefährdungen sind bei der Konstruktion von Robotersystemen und Roboteranwendungen zu beachten. Siehe ISO 10218-2.

Dieses Dokument behandelt alle signifikanten Gefährdungen, Gefährdungssituationen oder Gefährdungseignisse, wenn sie bestimmungsgemäß und unter bestimmten Bedingungen von durch den Hersteller vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendungen verwendet werden.

Dieses Dokument behandelt nicht Gefährdungen in Zusammenhang mit:

- schweren Bedingungen (z. B. extreme Klimabedingungen, Anwendungen bei sehr niedrigen Temperaturen, starke Magnetfelder) außerhalb der Herstellerangaben;
- Untertagenutzung;
- spezifischen Hygieneanforderungen;
- der Verwendung in nuklearen Umgebungen;
- der Verwendung in möglicherweise explosiven Umgebungen;

- der Verwendung in Umgebungen mit ionisierender und nichtionisierender Strahlungsbelastung;
- gefährlicher ionisierender und nichtionisierender Strahlung;
- der Handhabung von Lasten, deren Eigenschaften zu gefährlichen Situationen führen kann (z. B. geschmolzene Metalle, Säuren/Basen, strahlende Materialien);
- Umgang, Beförderung oder Transport von Personen;
- der Öffentlichkeit oder wenn nicht berufstätigen Erwachsene Zugang haben, d. h. Serviceroboter, Konsumgüter.

Lärmemission wird im Allgemeinen nicht als signifikante Gefährdung, die vom Roboter allein ausgeht, betrachtet; daher ist Lärm aus dem Anwendungsbereich dieses Dokuments ausgeschlossen.

Dies gilt nicht für Roboter, die vor dessen Veröffentlichung hergestellt wurden.

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.

ISO 4413:2010, *Hydraulic fluid power — General rules and safety requirements for systems and their components*

ISO 4414:2010, *Pneumatic fluid power — General rules and safety requirements for systems and their components*

ISO 7010:2019, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs*

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

ISO 13732-1:2006, *Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces — Part 1: Hot surfaces*

ISO 13849-1:2015, *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design*

ISO 13850:2015, *Safety of machinery — Emergency stop — Principles for design*

ISO 14118:2017, *Safety of machinery — Prevention of unexpected start-up*

ISO 14119:2013, *Safety of machinery — Interlocking devices associated with guards — Principles for design and selection*

ISO 14120:2015, *Safety of machinery — Guards — General requirements for the design and construction of fixed and movable guards*

ISO 19353:2019, *Safety of machinery — Fire prevention and fire protection*

ISO 20607:2002, *Safety of machinery — Instruction handbook — General drafting principles*

ISO 20643:2005/AMD 1:2012, *Mechanical vibration — Hand-held and hand-guided machinery — Principles for evaluation of vibration emission*

IEC 60204-1:2016, *Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements*

IEC 60947-5-8:2006, *Low-voltage switchgear and controlgear — Part 5-8: Control circuit devices and switching elements — Three-position enabling switches*

IEC 61310-1:2007, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals*

IEC 61310-2:2007, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 2: Requirements for marking*

IEC 61310-3:2007, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 3: Requirements for locations and operation of actuators*

IEC 61508-2:2010, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems — Part 2: Requirements for electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 62061:2015, *Safety of machinery — Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*

IEC 62745:2017, *Safety of machinery — Requirements for cableless control systems of machinery*

3 Begriffe und Abkürzungen

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

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

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

3.1 Begriffe

3.1.1 Roboter, Robotersystem, Roboteranwendung, Anwendung

3.1.1.1

Industrieumgebung

Arbeitsplatz, der nicht öffentlich zugänglich ist oder an dem unter normalen Umständen nicht zu erwarten ist, dass Personen aus der Öffentlichkeit für die vorgesehenen Aufgaben und *Roboteranwendungen* (3.1.1.4) anwesend sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Dazu gehören Fertigung, Laborbetrieb, Pharmaindustrie, Lagerhaltung, Logistik und mehr.

3.1.1.2

Industrieroboter

Roboter

automatisch gesteuerte(r), frei programmierbare(r) Mehrzweck-*Manipulator(en)* (3.1.2.5), der in drei oder mehr *Achsen* (3.1.2.1) programmierbar ist und zur Verwendung in Automatisierungsanwendungen (3.1.1.6)

in einer *Industrienumgebung* (3.1.1.1) entweder an einem festen Ort oder fest an einer *mobilen Plattform* (3.1.2.8) angeordnet sein kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Industrieroboter enthält:

- den *Manipulator* (3.1.2.5) einschließlich der *Roboterantriebe* (3.1.2.10), die durch die Robotersteuerung gesteuert werden;
- die Robotersteuerung;
- die Mittel, mit denen der Roboter programmiert oder mit neuen Befehlen versehen wird, einschließlich einer Kommunikationsschnittstelle (Hardware und Software).

Anmerkung 2 zum Begriff: Industrieroboter umfassen alle *Hilfsachsen* (3.1.2.2), die in die Kinematiklösung integriert sind.

Anmerkung 3 zum Begriff: Folgende gelten als Industrieroboter:

- Der/die manipulierende(n) Teil(e) mobiler Roboter, bei mobilen Robotern, die aus einer *mobilen Plattform* (3.1.2.8) mit einem integrierten *Manipulator* (3.1.2.5) oder *Roboter* (3.1.1.2) bestehen;
- Roboter mit handgeführten Steuerungen (HGC);
- Roboter mit der Funktion für Energie- und Kraftbegrenzung (PFL);
- Roboter mit eingebauter Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachungs-Sicherheitsfunktion (SSM).

3.1.1.3

Robotersystem

Industrierobotersystem

Maschine, bestehend aus *Industrieroboter* (3.1.1.2), *Endeffektor(en)* (3.1.2.3) und alle Endeffektorsensoren und Geräte, die zur Unterstützung der vorgesehenen Aufgabe und des *Anwenderprogramms* (3.1.4.2) benötigt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Geräte sind Bilderkennungssysteme, Klebstoffdosierung, Schweißsteuerung.

3.1.1.4

Roboteranwendung

Industrieroboteranwendung

Maschine bestehend aus einem Industrierobotersystem (3.1.1.3), Werkstücken, Maschinen und Anwendung von Geräten

bestimmungsgemäßer Gebrauch und Zweck des *Roboters* (3.1.1.2) oder *Robotersystems* (3.1.1.3), d. h. der Prozess, die Aufgabe(n)

BEISPIEL Manipulation, Verarbeitung, maschinelle Bearbeitung, Inspektion, Punktschweißen, Lackieren, Montage, Palettieren.

3.1.1.5

kollaborierende Anwendung

Anwendungen (3.1.1.6), die eine oder mehrere *kollaborierende Aufgabe(n)* (3.1.1.8) beinhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: *Kollaborierende Anwendungen* können nicht-kollaborierende und *kollaborierende Aufgaben* enthalten

3.1.1.6

kollaborierende Aufgabe

Teil der Robotersequenz, bei dem sich die *Roboteranwendung* (3.1.1.4) und der/die *Bediener* (3.1.7.2) in demselben *geschützten Raum* befinden (3.1.9.5)

3.1.1.7

Industrieroboterzelle

Roboterzelle

eine oder mehrere *Roboteranwendungen* (3.1.1.4) einschließlich aller Objekte, die Einfluss auf die Risikobeurteilung des bestimmungsgemäßen Gebrauchs, des/der zugehörigen *geschützten Raums/Räume* (3.1.9.5) und der *Schutzeinrichtungen* (3.1.10.2) haben

3.1.2 Unterbaugruppen und Komponenten von Robotern, Robotersystemen und Roboteranwendungen

3.1.2.1

Achse

angetriebene mechanische Verbindung (z. B. um ein Gelenk rotierend, linear), die mindestens ein Grad Spielraum bietet

3.1.2.2

Zusatzachse

Achse (3.1.2.1), die kein physischer Teil des *Manipulators* (3.1.2.5) ist und durch den *Roboter* (3.1.1.2) gesteuert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: „Gesteuert“ bedeutet, dass ein oder mehrere Feedback-Signal(e) vorhanden ist/sind, um eine geschlossene Steuerung durch den *Roboter* zu ermöglichen.

3.1.2.3

Endeffektor

Vorrichtung, die speziell zum Anbringen an die *mechanische Schnittstelle* (3.1.2.7) konstruiert ist, und mit der der *Roboter* (3.1.1.2) seine Aufgabe erfüllt

BEISPIEL Greifer, Schweißzange, Spritzpistole.

Anmerkung 1 zum Begriff: Endeffektoren werden manchmal auch als End-of-Arm-Tooling (EOAT) bezeichnet.

3.1.2.4

Greifer

Endeffektor (3.1.2.3) zum Greifen und Halten von Werkstücken

Anmerkung 1 zum Begriff: Verschiedene Greiferarten und die Begriffe gegriffen (grip), zugreifen (grasp), Greifen (grasping) und Loslassen (releasing) sind in ISO 14539:2000 festgelegt.

[QUELLE: ISO 14539:2000, Definition 4.1.2. Durch Hinzufügen der Anmerkung geändert.]

3.1.2.5

Manipulator

Mechanismus bestehend aus einer Anordnung von Segmenten, die miteinander verbunden sind oder relativ zueinander gleiten

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein *Manipulator* (3.1.2.5) enthält *Roboterantriebe* (3.1.2.10).

3.1.2.6

Masse je Manipulator (M)

Masse aller beweglichen Teile des *Roboters* (3.1.1.2)

3.1.2.7

mechanische Schnittstelle

Montagefläche am Ende des *Manipulators* (3.1.2.5), an der der *Endeffektor* (3.1.2.3) angebaut ist

3.1.2.8

mobile Plattform

Baugruppe der Komponenten, die die Ortsveränderung ermöglicht und die Struktur zur Befestigung eines *Manipulators* (3.1.2.5) aufweist

3.1.2.9

Nutzlast

Masse aller am *Manipulator* (3.1.2.5) angebrachten Objekte einschließlich des *Endeffektors* (3.1.2.3) und des Werkstücks

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Nutzlast kann unter anderem die mit der *mechanischen Schnittstelle* (3.1.2.7) des *Roboters* (3.1.1.2) verbundene Nutzlast sein.

3.1.2.10

Roboterantrieb

kraftbetriebener Mechanismus, der Energie in Bewegung umwandelt

Anmerkung 1 zum Begriff: Energie kann elektrisch, hydraulisch, pneumatisch usw. sein.

3.1.2.11

Werkzeugarbeitspunkt

(en: tool centre point, TCP)

für eine vorgegebene *Roboteranwendung* (3.1.1.4) definierter Punkt mit Bezug auf das Koordinatensystem der *mechanischen Schnittstelle* (3.1.2.7)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die TCP-Einstellung legt die Position des TCP relativ zur *mechanischen Schnittstelle* fest.

3.1.3 Steuerungsbezogen

3.1.3.1

Bedienstand

Gehäuse, das eine oder mehrere Steuerungsvorrichtungen zur Aktivierung oder Deaktivierung von Funktionen enthält

Anmerkung 1 zum Begriff: Der *Bedienstand* kann ortsfest (z. B. Steuerpult) oder beweglich (*Programmierhandgerät* oder ein *Programmierhandgerät* (3.1.3.2) sein, das auch als tragbare Bedienstation bezeichnet werden kann).

3.1.3.2

Programmierhandgerät

Handbediengerät

tragbare handgehaltene *Bedienstation* (3.1.3.1), die mit dem *Roboter* (3.1.1.2) verbunden ist und mit der ein *Roboter* programmiert, bewegt oder betätigt werden kann

3.1.3.3

direkte Steuerung

Zustand des Systems oder von Teilen des Systems, in dem der Betrieb nur von der *Bedienstation* (3.1.3.1) oder dem *Programmierhandgerät* (3.1.3.2) der einzelnen Maschine(n) oder Teilen der Maschine(n) aus bedient wird

3.1.3.4

ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation

Fähigkeit, den *Roboter* (3.1.1.2) so zu bedienen, dass das Auslösen der Bewegung nur von einer Bedienstation aus möglich ist und nicht von einer anderen Bedienstation überlagert werden kann

3.1.3.5

Singularität

tritt auf, wenn die Jacobi-Matrix nicht vollen Rang hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Mathematisch gesehen kann in einer singulären Konfiguration die Gelenkgeschwindigkeit im Gelenkraum unendlich werden, um die kartesische Geschwindigkeit zu erhalten. Im eigentlichen Betrieb können Bewegungen, die im kartesischen Raum festgelegt sind und in der Nähe von Singularitäten ablaufen, hohe Achsgeschwindigkeiten verursachen. Diese hohen Geschwindigkeiten können für die *Bedienperson* (3.1.7.2) unerwartet sein.

[QUELLE: ISO 10218-1:2011, 3.21]

3.1.3.6

Wirkungsbereich

vorgegebener Teil einer *Roboterzelle* (3.1.1.9) oder Maschine, der der Kontrolle einer spezifischen Vorrichtung für eine *Sicherheitsfunktion* (3.1.8.1) unterliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wirkungsbereich kann sich auf ein Bauteil, einen Teil einer Maschine, eine unvollständige Maschine, d. h. einen *Roboter* (3.1.1.2), oder eine Maschine innerhalb der *Roboterzelle* (3.1.1.9) beziehen.

3.1.3.7

simultane Bewegung

gleichzeitige Bewegung von zwei oder mehr *Robotern* (3.1.1.2), die mit einer einzelnen *Bedienstation* (3.1.3.1) gesteuert wird. Die Bewegung kann koordiniert ablaufen oder synchron sein

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein *Programmierhandgerät* (3.1.3.2) ist ein Beispiel für eine einzelne *Bedienstation* (3.1.3.1).

3.1.3.8

Modus

Betriebsart

Charakterisierung der Art und Weise und des Umfangs, in der/dem der *Bediener* (3.1.7.2) in die Steuerungsvorrichtung eingreift

Anmerkung 1 zum Begriff: Modus bezieht sich im Zusammenhang mit dieser Norm auf den Steuerungszustand des *Roboters* (3.1.1.2), z. B. *automatisch* (3.1.3.10), *manuell* (3.1.3.9).

3.1.3.9

manuelle Betriebsart

Steuerungszustand, der die *direkte Steuerung* (3.1.3.3) ermöglicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Gelegentlich auch als „Betriebsart Teachen“ bezeichnet, wenn Programmpunkte und *Roboterattribute* (3.1.1.2) eingestellt werden.

3.1.3.10

automatische Betriebsart

Steuerungszustand, der die Ausführung programmierter Aufgaben erlaubt

3.1.4 Programmbezogen

3.1.4.1

Steuerungsprogramm

inhärenter Satz von Befehlen, der die Fähigkeiten, Aktionen und Reaktionen eines *Roboters* (3.1.1.2) definiert

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Programm ist festgelegt und wird normalerweise vom *Anwender* (3.1.7.3) nicht verändert.

3.1.4.2

Anwenderprogramm

Befehlsfolge für Bewegungs- und Hilfsfunktionen und den Programmsteuerungsablauf, die die spezifisch beabsichtigte Aufgabe des *Robotersystems* (3.1.1.3) festlegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Art von Programm wird während der *Integration* (3.1.7.1) oder durch den *Anwender* (3.1.7.3) erstellt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das *Anwenderprogramm* (3.1.4.2) kann Funktionen anderer Maschinen innerhalb der *Roboteranwendung* (3.1.1.4) umfassen.

3.1.4.3

Teachen

Aufgaben programmieren

Programmierung der Aufgabe durch manuelle Positionierung des *Manipulators* (3.1.2.5), oder durch Verwendung eines *Programmierhandgeräts* (3.1.3.2), um den *Roboter* (3.1.1.2) durch die verschiedenen Positionen zu bewegen, oder durch Verwendung eines *Programmierhandgeräts* zur Programmierung ohne Bewegungsauslösung oder durch Verwendung eines externen Geräts zur Offline-Programmierung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die manuelle Positionierung kann als „Lead-Through-Teaching“ bezeichnet werden.

3.1.4.4

Programmverifizierung

Durchlaufen des *Anwenderprogramms* (3.1.4.2) zur Bestätigung der *Roboterbahn* (3.1.1.2) und der Prozessausführung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die *Überprüfung* (3.1.11.2) kann die gesamte Bahn umfassen, die vom *Werkzeugarbeitspunkt (TCP)* (3.1.2.11) bei Ausführung eines *Anwenderprogramms* (3.1.4.2) zurückgelegt wird, oder einen Teil davon. Die Befehle können in Einzelschritten oder als laufende Befehlsfolge abgearbeitet werden. Die *Überprüfung* wird bei neuen *Anwendungen* (3.1.1.6) und bei der Feineinstellung bestehender *Anwendungen* eingesetzt.

3.1.5 Energiebezogen

3.1.5.1

Antriebsleistung

Energiequelle oder -quellen, die es *Roboterantrieben* (3.1.2.10) ermöglichen, Kraft oder Drehmoment auszuüben

3.1.5.2

Energiequelle

elektrische, mechanische, hydraulische, pneumatische, chemische, thermische, potentielle, kinetische oder andere Arten von Quellen, die in der Lage sind, Energie zu liefern

3.1.6 Gefährdungsbezogen

3.1.6.1

Gefährdung

potentielle Schadensquelle

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Gefährdung“ kann spezifiziert werden, um den Ursprung (z. B. mechanische Gefährdung, elektrische Gefährdung) oder die Art des erwarteten Schadens (z. B. Gefährdung durch elektrischen Schlag, Gefährdung durch Schneiden, Gefährdung durch Vergiftung, Gefährdung durch Feuer) näher zu bezeichnen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Gefährdung im Sinne dieser Definition ist entweder

- bei der bestimmungsgemäßen Verwendung der Maschine dauerhaft vorhanden (z. B. Bewegung von gefährdenden beweglichen Teilen, Lichtbogen beim Schweißen, ungesunde Körperhaltung, Geräuschemission, hohe Temperatur), oder

- kann unerwartet auftreten (z. B. Explosion, Gefährdung durch Quetschen als Folge eines unbeabsichtigten/unerwarteten Anlaufs, Herausschleudern als Folge eines Bruches, Stürzen als Folge von Beschleunigung/Abbremsen).

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.6, geändert durch Löschung von ANMERKUNG 3]

3.1.6.2

gefährdende Bewegung

Bewegung, die zu Verletzungen oder Gesundheitsschädigungen bei Personen führen kann

3.1.6.3

Gefährdungssituation

Sachlage, bei der eine Person mindestens einer *Gefährdung* (3.1.6.1) ausgesetzt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Situation kann unmittelbar oder über eine Zeitspanne hinweg zu einem Schaden führen.

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.10]

3.1.7 Rollen

3.1.7.1

Integration

Vorgang des Zusammenführens eines *Roboters* (3.1.1.2) mit anderen Ausrüstungen oder einer anderen Maschine, einschließlich weiterer *Robotersysteme* (3.1.1.3) und *Roboteranwendungen* (3.1.1.4), um eine *Roboterzelle* (3.1.1.9) zu bilden, die in der Lage ist, nützliche Arbeiten auszuführen

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Vorgang des Maschinenbaus kann die Anforderungen an die Installation der zu den *Anwendungen* (3.1.1.6) gehörenden Maschinen und Ausrüstung umfassen.

3.1.7.2

Bediener

eine oder mehrere Personen, die einen *Roboter* (3.1.1.2), ein *Robotersystem* (3.1.1.3) oder eine *Roboterzelle* (3.1.1.9) anwenden, einstellen, instand halten, reinigen, instand setzen, Fehler beheben, transportieren, in Betrieb nehmen und demontieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition umfasst Personen, die sich erwartungsgemäß an oder in der Nähe von Maschinen aufhalten können, auch wenn sie keine mit der jeweiligen Maschine oder einem bestimmten Teil der Maschine verbundene Aufgabe erfüllen.

3.1.7.3

Anwender

Entität, die *Roboteranwendungen* (3.1.1.4) und *Roboterzellen* (3.1.1.9) verwendet und für den/die *Bediener* (3.1.7.2) der *Roboteranwendungen* und *Roboterzellen* verantwortlich ist

3.1.8 Funktionssicherheitsbezogen

3.1.8.1

Sicherheitsfunktion

Funktion der Maschine, wobei ein Ausfall dieser Funktion zur unmittelbaren Erhöhung des Risikos (der Risiken) führen kann

[QUELLE: ISO 12100:2010]

3.1.8.2

Not-Halt-Funktion

Funktion, die dazu bestimmt ist, bestehende *Gefährdungen* (3.1.6.1) für Personen, Schäden an Maschinen oder an laufenden Arbeiten abzuwenden oder zu verringern, und die durch eine einzige menschliche Handlung ausgelöst wird

Anmerkung 1 zum Begriff: ISO 13850 beschreibt detaillierte Vorkehrungen.

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.40]

3.1.8.3

Sicherheitshalt

automatische Unterbrechung und Verhinderung der Bewegung, bei der die Informationen zum Zustand des *Roboters* (3.1.1.2), einschließlich seines Programms, erhalten bleiben und die Fortsetzung an der unterbrochenen Stelle möglich ist

3.1.8.4

überwachter Stillstand

sicherheitsbewerteter überwachter Halt

Sicherheitsfunktion (3.1.8.1), die die Position überwacht, in der der *Roboter* (3.1.1.2) bei aktiver Antriebsenergie angehalten wurde

3.1.8.5

überwachte Geschwindigkeit

Sicherheitsfunktion (3.1.8.1), die die Geschwindigkeit auf einen konfigurierten Wert begrenzt

3.1.8.6

reduzierte Geschwindigkeit

Sicherheitsfunktion (3.1.8.1), die die Geschwindigkeit auf einen Höchstwert von 250 mm/s begrenzt

3.1.8.7

Software zur Achs- und Raumbegrenzung

Softwarebegrenzung

Sicherheitsfunktion(en) (3.1.8.1) mit überwachten Begrenzungen des Bewegungsbereichs des *Roboters* (3.1.1.2)

3.1.8.8

Eingang der Sicherheitsfunktion

Eingangssignal mit einer festgelegten sicherheitsbezogenen Leistungsfähigkeit

3.1.8.9

Ausgang der Sicherheitsfunktion

Ausgangssignal mit einer festgelegten sicherheitsbezogenen Leistungsfähigkeit

3.1.9 Räume, Bereiche und Abstände

3.1.9.1

maximaler Raum

Raum, der von den beweglichen Teilen des *Roboters* (3.1.1.2) erreicht werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Maximaler Raum bezieht sich im Zusammenhang mit diesem ISO-Dokument auf den *Roboter* (3.1.1.2). Siehe Anhang B, Bild B.2 für eine Darstellung des *Roboterraums*.

Anmerkung 2 zum Begriff: Maximaler Raum bezieht sich im Zusammenhang mit ISO 10218-2 entweder auf das *Robotersystem* (3.1.1.3) oder die *Roboteranwendung* (3.1.1.4). Siehe Anhang B, Bild B.1 und Bild B.3 für die Darstellung von Räumen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Im Zusammenhang mit *mobilen Plattformen* (3.1.2.8) ist der maximale Raum unbestimmt.

3.1.9.2

Arbeitsraum

Anteil des *eingeschränkten Raumes* (3.1.9.3), der während der Ausführung aller vom *Anwenderprogramm* (3.1.4.2) vorgegebenen Bewegungen benutzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Arbeitsraum bezieht sich im Zusammenhang mit diesem ISO-Dokument auf den *Roboter* (3.1.1.2).

3.1.9.3

eingeschränkter Raum

Teil des *maximalen Raums* (3.1.9.1), der durch die *Begrenzungseinrichtungen* (3.1.9.4) reduziert ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn sich der eingeschränkte Raum auf das *Robotersystem* (3.1.1.3) bezieht, umfasst dies den von dem *Endeffektor* (3.1.2.3) erreichten Raum, siehe ISO 10218-2.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn sich der eingeschränkte Raum auf die *Roboteranwendung* (3.1.1.4) bezieht, umfasst dies den von dem *Endeffektor* (3.1.2.3) erreichten Raum und das Werkstück, siehe ISO 10218-2.

3.1.9.4

Begrenzungseinrichtung

Mittel zur Reduzierung des Bewegungsbereichs des *maximalen Raums* (3.1.9.1), das zu einem *eingeschränkten Raum* (3.1.9.3) führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Definition einer Begrenzungseinrichtung nach ISO 12100:2010, 3.28.8 ist allgemeiner und umfasst mehr als die Bewegung. In ISO 12100 ist dies eine Einrichtung, die verhindert, dass eine Maschine oder gefahrbringende Maschinenbedingungen einen Bemessungsgrenzwert (wie zum Beispiel Raumbegrenzung, Druckbegrenzung, Lastmomentbegrenzung usw.) überschreitet/überschreiten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Begrenzungseinrichtung(en) können durch *Sicherheitsfunktion(en)* (3.1.8.1) erfüllt werden, z. B. *Software zur Achs- und Raumbegrenzung* (3.1.8.7). Siehe dazu *Software zur Achs- und Raumbegrenzung* und *Schutzeinrichtung* (3.1.10.2).

3.1.9.5

geschützter Raum

Raum, in dem *Schutzeinrichtungen* (3.1.10.2) aktiv sind oder in dem die äußeren Schutzeinrichtungen Schutz bieten

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies bezieht sich manchmal auf den Raum innerhalb der Umfangs-Schutzeinrichtung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der *geschützte Raum* kann sich dynamisch verändern.

3.1.9.6

Gefährdungsbereich

jeder Raum innerhalb einer und/oder um eine Maschine, in der eine Person einer *Gefährdung* (3.1.6.1) ausgesetzt sein kann

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.11]

3.1.9.7

Aufgabenbereich

jeder vorgegebene Raum in einem und/oder um ein *Robotersystem* (3.1.1.3), in dem Personal eine bestimmte Aktivität ausführen kann

3.1.9.8

Detektionsbereich

Bereich, innerhalb dessen ein bestimmtes Prüfstück durch *sensitiven Schutzeinrichtungen* (3.1.10.5) erfasst wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Detektionsbereich kann ein Punkt, eine Linie, eine Ebene oder ein Raum sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Angepasst nach IEC 61496-1:2004, Definition 3.4.

[QUELLE: ISO 13855:2010, 3.1.8, durch das Hinzufügen von „sensitiven“ vor „Schutzeinrichtungen“ und das Hinzufügen von „oder ein Raum“ bei ANMERKUNG 1 zum Begriff geändert.]

3.1.9.9

Gefährdungsbereich

jeder Raum innerhalb einer und/oder um eine Maschine, in der eine Person einer *Gefährdung* (3.1.6.1) ausgesetzt sein kann

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.11]

3.1.9.10

Aufgabenbereich

jeder vorgegebene Raum in einem und/oder um eine *Roboteranwendung* (3.1.1.4), in dem *Bediener* (3.1.7.2) eine bestimmte Aktivität ausführen können

3.1.9.11

Trennungsabstand

kürzester zulässiger Abstand zwischen einem beweglichen gefahrbringenden Teil der *Roboteranwendung* (3.1.1.4) und einem *Bediener* (3.1.7.2)

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Wert kann fest oder variabel sein.

3.1.10 Maßnahmen zur Risikominderung

3.1.10.1

Schutzmaßnahme:

Maßnahme für das Erreichen der Risikominderung, implementiert:

- durch den Konstrukteur (eigensichere Konstruktion, Schutz und ergänzende Schutzmaßnahmen, Benutzerinformationen) und/oder
- durch den *Anwender* (3.1.7.3) (Organisation: sichere Arbeitsweisen, Überwachung, Arbeitsgenehmigungssysteme, Bereitstellung und Nutzung zusätzlicher trennender *Schutzeinrichtungen* (3.1.10.2), Nutzung persönlicher Schutzausrüstung, Schulung)

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.19]

3.1.10.2

Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahme unter Verwendung von *Schutzeinrichtungen* (3.1.10.2) zum Schutz von Personen vor *Gefährdungen* (3.1.6.1), die vernünftigerweise nicht beseitigt werden können, oder Risiken, die durch eigensichere Konstruktionsmaßnahmen nicht ausreichend reduziert werden können

[QUELLE: ISO 12100, 3.21]

3.1.10.3

Schutzeinrichtung

trennende oder nicht trennende *Schutzeinrichtungen* (3.1.10.4)

Anmerkung 1 zum Begriff: *Schutzeinrichtungen* (3.1.10.4) umfassen ein breites Spektrum von Maßnahmen zur Risikominderung oder -kontrolle, wie beispielsweise:

- Verriegelungseinrichtungen für trennende Schutzeinrichtungen;
- *sensitive Schutzeinrichtungen (SPE)* (3.1.10.5);
- *Sicherheitsfunktion* (3.1.8.1), z. B. *Begrenzungseinrichtungen* (3.1.9.4) durch *Software zur Achs- und Raumbegrenzung* (3.1.8.7);
- *Begrenzungseinrichtungen* (3.1.9.4);
- Einrichtungen zur Begrenzung der Beweglichkeit.

[QUELLE: ISO 12100, 3.26, geändert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde ergänzt.]

3.1.10.4

nichttrennende Schutzeinrichtung

andere als eine *trennende Schutzeinrichtung* (3.1.10.2)

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Arten von Schutzeinrichtungen sind in 3.28.1 bis 3.28.9 von ISO 12100:2010 aufgeführt.

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.18, geändert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde angepasst.]

3.1.10.5

sensitive Schutzeinrichtung

(en: sensitive protective equipment, SPE)

Einrichtung zur Erkennung von Personen oder Teilen von Personen, die ein entsprechendes Signal an das Steuerungssystem sendet, um das Risiko für die erkannte Person zu reduzieren

[QUELLE: ISO 12100:2010, 3.28.5, geändert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde gelöscht.]

3.1.11 Verifizierung und Validierung

3.1.11.1

Validierung

Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte *Anwendung* (3.1.1.6) erfüllt worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Validierung bestimmt, ob die Spezifikation die Zielvorgabe erfüllt, z. B. dass eine festgelegte Grenze für den Zweck annehmbar ist. Die Validierung umfasst Funktionsprüfungen.

[QUELLE: ISO 9000:2015, 3.8.13, geändert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde ergänzt.]

3.1.11.2

Verifizierung

Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass festgelegte Anforderungen erfüllt wurden

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Verifizierung wird festgestellt, ob die Konstruktion seine Spezifikation erfüllt, z. B. durch Überprüfung, Messung, Analyse oder Inspektion.

[QUELLE: ISO 9000:2015, 3.8.12, geändert – Anmerkung 1 zum Begriff wurde ergänzt.]

3.2 Abkürzungen

Abkürzung	Begriff	
3P	3-Position <3-Positionen-Zustimmungseinrichtung>	5.2.9.1, 5.5.3.2, 5.5.3.3, Anhang C, Anhang G
Kat	Kategorie	5.3.3, Anhang C, Tabelle D.1
Klasse	Klassifizierung	5.1.17, Tabelle 1, 5.2.8.2.2, 5.2.9.1, 5.3.3, 5.7.1, 5.9.1, h), 7.5.12.7, Anhang C, Tabelle C.1, Anhang E, Anhang G
EMV	elektromagnetische Verträglichkeit	5.3.7, Anhang G
EMI	Elektromagnetische Beeinflussung (en: electromagnetic interference)	5.3.7, Anhang A, Anhang G
F _{MPM}	Maximale Kraft je Manipulator	5.1.17.c), Tabelle 1, Anhang E
HFT	Hardware-Fehlertoleranz	5.3.3, 7.5.12.1, Anhang C, Tabelle D.1, Anhang G
HGC	Handgeführte Steuerung (en: Hand-Guided Control)	Einleitung, 3.1.1.2, 5.2.9.1, 5.5.1.2, 5.10.2, Anhang C, Anhang G
M	Gesamtmasse der beweglichen Teile des Manipulators	5.1.17, Tabelle 1
m _L	Effektive Masse der Nutzlast für die Roboteranwendung (spezifizierte maximale Nutzlast der Anwendung)	5.1.17, Tabelle 1
m _M	Effektive Masse der beweglichen Teile des Manipulators	5.1.17, Tabelle 1
m _R	Effektive Masse des Robotersystems in Abhängigkeit von der Roboterhaltung und -bewegung bei vorgegebener maximaler Nutzlast $m_R = \frac{M}{2} + m_L$	5.1.17, Tabelle 1
n _{op}	Durchschnittliche Anzahl jährlicher Arbeitsgänge	Anhang D
PFH _D	mittlere Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls je Stunde (en: average Probability of dangerous Failure per Hour)	5.3.3, 7.5.12, Tabelle D.1
PFL	Leistungs- und Kraftbegrenzung	Einleitung, 3.1.1.2, 5.2.9.1, 5.4.3.3, 5.10.2, 5.10.4, Anhang C, Anhang G
PL	Performance Level	5.3.3, Anhang C
PLa	Performance Level a	Anhang C, Tabelle C.2
PLb	Performance Level b	Anhang C
PLc	Performance Level c	Anhang C, Tabelle C.2
PLd	Performance Level d	5.3.3, Anhang C, Anhang D, Anhang G

Abkürzung	Begriff	
PLe	Performance Level e	5.3.3, Anhang C
SIL	Sicherheitsintegritätslevel (en: Safety Integrity Level)	5.3.3, 7.5.12.1, Anhang C, Anhang D
SIL 1	Sicherheitsintegritätslevel 1	Anhang C
SIL 2	Sicherheitsintegritätslevel 2	5.3.3, Anhang C, Anhang G
SSM	Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung	Anhang C
SPE	sensitive Schutzeinrichtung (en: sensitive protective equipment)	3.1.10.2, 3.1.10.5, Anhang C
TCP	Werkzeugarbeitspunkt	3.1.2.11, 3.1.4.4, 5.1.9, 5.1.14, 5.1.16, 5.1.17, 5.5.2.1, 5.5.2.2, 7.5.3.d), 7.5.12.2, Anhang G

4 Risikobewertung

Der Hersteller eines Robotersystems muss eine Risikobeurteilung in Übereinstimmung mit ISO 12100 durchführen.

ANMERKUNG 1 ISO 12100 gibt Anforderungen und Anleitungen zur Durchführung der Identifizierung der Gefährdungen und der Risikominderung.

ANMERKUNG 2 Anhang A enthält eine Liste von Gefährdungen, die bei Robotern auftreten können.

Für Anforderungen an Robotersystem, Roboteranwendung und Roboterzelle siehe ISO 10218-2:2021.

5 Konstruktion und Schutzmaßnahmen

5.1 Konstruktion von Robotern

5.1.1 Allgemeines

Der Roboter muss nach den Grundsätzen von ISO 12100 hinsichtlich identifizierter Gefährdungen konstruiert sein.

Für Schutzmaßnahmen bezüglich Informationen siehe Abschnitt 7.

ANMERKUNG Siehe IEC 60812 und andere ähnliche Normen für Informationen über die Ausfalleffektanalyse (en: Failure Mode Effect Analysis, FMEA).

5.1.2 Werkstoffe, mechanische Festigkeit und mechanische Konstruktion

5.1.2.1 Allgemeines

Roboter müssen so gestaltet und konstruiert sein, dass keine Gefährdungssituationen als Folge von ermüdungs- und verschleißbedingten Ausfällen entstehen. Bei der Gestaltung und Konstruktion muss die bestimmungsgemäße Verwendung über den Lebenszyklus hinreichend berücksichtigt werden (z.B. Transport, Installation, Betriebsbedingungen und Instandhaltung in Übereinstimmung mit den Benutzerinformationen).

5.1.2.2 Werkstoffe

Die für den Bau des Roboters verwendeten Materialien:

- a) müssen so ausgewählt werden, dass sie für die bestimmungsgemäße Verwendung des Roboters angemessen sind (z. B. Korrosions-, Abrieb-, Stoß der Temperatur-, Ermüdungs-, Sprödbbruch-, Alterungsbeständigkeit);
- b) dürfen die Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht gefährden;
- c) müssen unter allen vernünftigerweise vorhersehbaren Anwendungsbedingungen ungiftig sein;
- d) dürfen nicht zu Sprödbbruch, übermäßiger Verformung oder zur Emission von giftigen oder brennbaren Dämpfen neigen;
- e) müssen ihre Eigenschaften im vernünftigerweise vorhersehbaren Umfang der Klima- und Arbeitsplatzbedingungen, einschließlich Temperaturschwankungen und plötzlicher Änderungen, beibehalten.

Wo Flüssigkeiten verwendet werden, müssen Maschinen so gestaltet und konstruiert sein, dass Risiken in Verbindung mit Auffüllen, Verwendung, Rückgewinnung oder Ablassen vermieden werden.

5.1.2.3 Mechanische Festigkeit

Der Roboter muss so konstruiert und gebaut sein, dass:

- er einer Überlast in statischen Prüfungen ohne dauerhafte Verformung oder offenkundige Mängel standhält, wobei die Festigkeitsberechnungen einen statischen Prüfkoeffizienten von mindestens 1,25 haben müssen;
- er dynamischen Prüfungen, bei denen die maximale Nutzlast einer Einheit, multipliziert mit dem dynamischen Prüfkoeffizient verwendet wird, ohne Ausfälle standhält, wobei der dynamische Prüfkoeffizient mindestens 1,1 betragen muss.

Die Prüfungen müssen mit der maximalen Drehzahl durchgeführt werden. Sofern gleichzeitige Bewegungen programmiert werden können, müssen die Prüfungen unter Verwendung der nachteiligsten Bedingungen durchgeführt werden.

5.1.2.4 Mechanische Konstruktion

Roboter müssen so konstruiert und gebaut sein, dass freiliegende scharfe Kanten, scharfe Ecken und gefährliche Überstände so weit wie mit vertretbarem Aufwand möglich reduziert werden. Mechanismen, die Bewegungen ermöglichen, müssen so im Robotergestell installiert oder angebracht sein, dass sie unter üblichen Umständen unerreichbar sind.

Die Exposition gegenüber Gefährdungen, die von Komponenten wie Antriebswellen, Getriebe, Zahnriemen oder Verbindungen, die nicht durch integrierte Abdeckungen (z. B. Platte über einem Getriebekasten) geschützt sind, ausgehen, muss entweder mithilfe feststehender trennender Schutzeinrichtungen oder beweglicher trennender Schutzeinrichtungen in Übereinstimmung mit ISO 14120 verhindert werden. Die Befestigungssysteme feststehender trennender Schutzeinrichtungen, deren Entfernung für routinemäßige Servicearbeiten vorgesehen ist, müssen am Roboter oder an der Schutzeinrichtung bleiben. Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen müssen so mit den gefahrbringenden Bewegungen verzahnt sein, dass die gefährlichen Maschinenfunktionen aufhören, bevor sie erreicht werden können.

Die Konstruktion muss sicherstellen, dass Fehler bei der Montage oder Wiedermontage bestimmter Teile, die eine Risikoquelle darstellen können, verhindert werden. Falls dies nicht praktikabel ist, müssen mindestens auf den Teilen selbst und/oder deren Gehäusen die Benutzerinformationen angegeben werden.

5.1.3 Handhabung, Anheben und Transport

Gefährdungen durch plötzliche Bewegungen oder Instabilität, wie z. B. Kippen und Umfallen beim Transport, Anheben und Handhabung des Roboters oder seiner Bauteile, müssen vermieden werden, sofern sie in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung erfolgen.

Beim Anheben sind eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen vorzusehen, die für die Handhabung der zu erwartenden Last geeignet sein müssen:

- geeignete Konstruktion;
- zusätzliche Stützelemente;
- angemessene Verpackung.

Es müssen Vorkehrungen zur Handhabung und zum Anheben des Roboters und seiner zugehörigen Bauteile vorgesehen werden. Sie müssen für die Handhabung der zu erwartenden Last geeignet sein.

BEISPIEL Lasthaken, Tragösen, Gewindelöcher und Gabeltaschen.

Für Roboter und Teile des Roboters, die separat gehandhabt werden sollen, deren Gewicht 23 kg nicht übersteigt und die für die Handhabung durch eine Person vorgesehen sind, können Anweisungen für den sicheren Transport, das Anheben und die Handhabung ausreichend sein.

ANMERKUNG Siehe EN 1005-2 für manuelle Handhabung von Gegenständen in Verbindung mit Maschinen und Maschinenteilen.

5.1.4 Verpackung

Der Roboter und alle Teile des Roboters, die separat gehandhabt werden sollen, müssen so verpackt oder konstruiert sein, dass eine gefahrlose Handhabung und eine Lagerung ohne Beschädigung des Roboters gewährleistet ist.

5.1.5 Stabilität

Die Roboter müssen für die Installation, den Betrieb, die Verwendung, die Demontage und den Abbau so stabil sein, dass ein Kippen und Umfallen durch die vorgesehene Befestigung zur sicheren Verankerung des Roboters und seiner Komponenten (z. B. Manipulator, Bedienfeld, Programmierhandgerät) verhindert wird.

5.1.6 Temperatur und Brandrisiken

Die Konstruktion des Roboters muss so sein, dass die Temperaturen zugänglicher Oberflächen in Übereinstimmung mit der Normenreihe ISO 13732 sind.

Falls ein Brand- oder Überhitzungsrisiko besteht, müssen die Konstruktionsgrundlagen aus ISO 19353 angewendet werden.

5.1.7 Spezielle Geräte

Spezielle Geräte und Zubehörteile, die die Einstellung, Wartung und sichere Verwendung des Roboters ermöglichen, müssen mitgeliefert oder zur Verfügung gestellt werden.

ANMERKUNG Gewöhnliche Arbeitsplatzausrüstung, z. B. Leitern, Schraubenschlüssel, Schraubendreher, Sechskantschlüssel, gelten nicht als spezielle Geräte.

5.1.8 Positionshaltung

Wenn der Energieverlust zu einer Gefährdung aufgrund der Schwerkrafteinwirkung auf den Manipulator führen kann, muss der Motor über Mittel verfügen, um die Roboterposition ohne Antriebsenergie aufrechtzuerhalten (z. B. Bremsen, Stifte oder andere Technologien).

Falls für die Sicherheit erforderlich,

- muss die Positionshaltung angemessene Konstruktionsspannen in Übereinstimmung mit 5.1.2 verwenden; und
- es muss ein Verfahren zur Prüfung der Mittel zur Positionshaltung vorgesehen sein, wenn ein Versagen der Mittel zur Positionshaltung eine gefährliche Situation, z. B. eine unerwartete Bewegung des Manipulators, verursachen kann.

ANMERKUNG 1 Siehe 5.3.4 zur Ausfall- oder Fehlererkennung, wenn die Positionshaltung durch eine Sicherheitsfunktion erfolgt.

ANMERKUNG 2 Siehe 5.1.10 zu Energieverlust oder Energieschwankungen.

5.1.9 Hilfsachse (Achsen)

Die Hilfsachse (Achsen) ist eine optionale Fähigkeit.

Mittel zur Positionshaltung, die mit einer Hilfsachse (Achsen) ausgestattet sind, müssen 5.1.8 entsprechen.

Eine Hilfsachse kann Teil der allgemeinen Kinematiklösung des Roboters sein und ermöglicht die Koordination mit der Manipulatorkinematik.

Wenn die Bewegung der Hilfsachse die TCP-Geschwindigkeit bei reduzierter Geschwindigkeit in manueller Betriebsart beeinflusst, müssen die Anforderungen an die reduzierte Geschwindigkeit (5.5.2.1) für die Hilfsachse (Achsen) gelten.

Wenn der Roboter über eine überwachte Geschwindigkeitssicherheitsfunktion verfügt, muss diese Sicherheitsfunktion (siehe 5.5.2.2) auch für die Hilfsachse (Achsen) bereitgestellt werden.

Die Achsbegrenzung muss in Übereinstimmung mit 5.7 vorgesehen werden, wenn die Hilfsachse(n) zu den drei Achsen der größten (weitesten) Bewegungen gehören.

5.1.10 Energieverlust oder Energieschwankungen

Der Verlust oder die Veränderung der elektrischen, hydraulischen oder pneumatischen Energie des Roboters darf nicht zu einer Gefährdungssituation führen.

Das Wiedereinschalten der Energie darf nicht

- zu gefahrbringenden Bewegungen oder

— zu einer Änderung der Parameter führen.

Um einen unbeabsichtigten Anlauf zu verhindern, muss der Roboter ISO 14118 entsprechen.

ANMERKUNG Siehe IEC 60204-1 für Anforderungen an die Stromversorgung. Siehe ISO 4413 für Hydraulik- und ISO 4414 für Pneumatikanforderungen.

5.1.11 Fehlfunktion von Bauteilen

Roboterbauteile müssen in Übereinstimmung mit 5.1.2 so gestaltet, ausgeführt, gesichert oder gekapselt sein, dass Risiken, die durch Bruch oder Lösen oder Freisetzen, einschließlich solcher, die mit gespeicherter Energie zusammenhängen, auf ein akzeptables Maß begrenzt werden.

5.1.12 Gefährdende Energie

Gespeicherte Energie darf nicht zu Gefährdungssituationen führen. Es muss eine Einrichtung zur Verhinderung einer unkontrollierten Bewegung oder dem gefährlichen Freisetzen der gespeicherten Energie vorgesehen werden. Wenn die gefährdende Energie potentiell ist (z. B. Federzug, Gaszug), muss der Roboter über Mittel verfügen, um sie in einer Position zu sichern, die entweder die energieführende oder die energielose Position sein kann.

Der Roboter muss mit Mitteln ausgestattet sein, die ihn von allen Energiequellen trennen. Diese Mittel müssen verschließbar sein oder gesichert werden können.

Die sichere Freisetzung oder Eindämmung muss in Übereinstimmung mit ISO 14118 ermöglicht werden.

Eine Kennzeichnung der Gefährdung durch gespeicherte Energie muss angebracht werden.

Wenn sich Roboterachsen aufgrund der Schwerkraft bewegen können, müssen Mittel eingesetzt werden, die entweder eine Achsbewegung verhindern oder sicherstellen, dass entstehende Bewegungen kontrolliert werden können und auf kontrollierte Weise zu einer energielosen Position führen. Sicherheitsfunktion(en) zur Positionshaltung (siehe 5.1.8) können vorgesehen werden, um ein unkontrolliertes oder gefährliches Freisetzen der gespeicherten Energie zu verhindern.

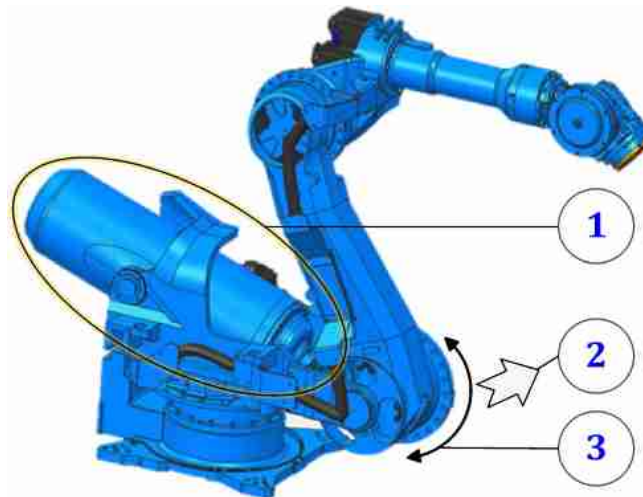
ANMERKUNG 1 Gefährdende Energie kann viele Formen annehmen, z.B. kinetisch, Schwerkraft, elektrisch, pneumatisch, hydraulisch, thermisch, chemisch. Diese Energiequellen können manchmal direkt identifiziert werden. Oftmals sind diese Quellen jedoch verborgen oder nicht offensichtlich, wie etwa Akkumulatoren, Kondensatoren, Batterien, Federn, Kontergewichte, Schwungräder, Wärme durch Reibung oder andere Reaktionen.

ANMERKUNG 2 Energiesparfunktionen, z. B. Energierückgewinnung oder -rückspeisung direkt am Roboter oder zurück ins lokale Stromnetz, können eine gespeicherte Energiequelle darstellen.

ANMERKUNG 3 Dieses Dokument behandelt keine Gefährdungen in Zusammenhang mit kerntechnischen, explosionsgefährdeten Umgebungen und Strahlung. Siehe Anwendungsbereich 1.

ANMERKUNG 4 Das Verhindern von Achsbewegungen kann durch sichere Befestigung mit Schrauben, Halteklammern mit ausreichender Konstruktionsspanne usw. erfolgen.

ANMERKUNG 5 Bild 1 zeigt ein Beispiel für gespeicherte Energie in einem Federzug. Eine Gefährdungssituation kann auftreten, wenn ein Motor entfernt wird, auch wenn die Energieversorgung zum Roboter isoliert wird. Bei der Freisetzung kann die unerwartete Bewegung des Roboters aufgrund der Energie im Federzug zu Verletzungen, z. B. Einklemmen, Einschließen und mehr führen.



Legende

- 1 Federzug
- 2 Motorentfernung (Richtung der Bewegungsentfernung)
- 3 Bewegungsrichtung

Bild 1 — Beispiel für gespeicherte Energie in einem Federzug

5.1.13 Elektrische, pneumatische und hydraulische Teile

Die elektrischen Teile müssen in Übereinstimmung mit den zutreffenden Anforderungen aus IEC 60204-1 sein.

Die pneumatische Ausrüstung des Roboters muss in Übereinstimmung mit den zutreffenden Anforderungen aus ISO 4414 sein.

Die hydraulische Ausrüstung des Roboters muss in Übereinstimmung mit den zutreffenden Anforderungen aus ISO 4413 sein.

ANMERKUNG 1 Anforderungen in Verbindung mit spezifischen Unterbaugruppen und Bauteilen können den entsprechenden IEC- oder ISO-Normen, z. B. IEC 60269, IEC 60947, ISO 13850 entnommen werden.

Elektrische, hydraulische und pneumatische Steckverbinder müssen so ausgewählt werden, dass fehlerhafte Verbindungen vermieden werden, wenn diese zu einer Gefährdungssituation führen kann. Falls dies nicht praktikabel ist, müssen Steckverbinder gekennzeichnet werden, um die Wahrscheinlichkeit falscher Verbindungen zu senken.

ANMERKUNG 2 Siehe IEC 60204-1, 13.4.5 für Anforderungen an Stecker-Muffe-Kombinationen.

Elektrische, hydraulische und pneumatische Steckverbinder, die eine Gefährdung verursachen können, wenn sie getrennt werden oder sich lösen können, müssen so gestaltet und implementiert werden, dass ein unbeabsichtigtes Trennen verhindert wird.

5.1.14 Einstellung des Werkzeugarbeitspunktes (en: Tool Centre Point, TCP)

Wenn eine TCP-Einstellung für eine Sicherheitsfunktion benötigt wird, muss es möglich sein, eine TCP-Einstellung in Übereinstimmung mit 5.3.5 einzugeben.

Wird die TCP-Einstellung nicht eingegeben, muss eine Warnung über die Notwendigkeit der Eingabe eines Wertes erfolgen. Nach dem manuellen Zurücksetzen der Warnung kann das Programm fortgesetzt werden. Nach dem manuellen Zurücksetzen der Warnung sind nachfolgende Warnungen nicht erforderlich.

Der Bereich der zulässigen Werte muss begrenzt sein.

BEISPIEL: Wenn der Roboter über eine TCP-überwachte Sicherheitsfunktion verfügt, kann eine TCP-Offset-Einstellung nötig sein.

ANMERKUNG 1 TCP-Einstellungen sind Dimensionswerte, die die Lage des TCP relativ zur mechanischen Schnittstelle festlegen, um die Steuerung des TCP zu ermöglichen, z. B. Geschwindigkeit, Stellung.

ANMERKUNG 2 Wenn der Roboter und die Hilfsachsen in Koordination miteinander betrieben werden, kann sich jede einzelne Achse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen und dies umfasst die Hilfsachse.

5.1.15 Nutzlasteinstellung

Wenn für eine Sicherheitsfunktion eine Nutzlasteinstellung erforderlich ist, muss die Eingabe einer Nutzlasteinstellung in Übereinstimmung mit 5.3.5 möglich sein.

Wird die Nutzlast nicht eingegeben, so muss eine Warnung über die Notwendigkeit der Eingabe eines Wertes erfolgen. Nach dem manuellen Zurücksetzen der Warnung kann das Programm fortgesetzt werden. Nach dem manuellen Zurücksetzen der Warnung sind nachfolgende Warnungen nicht erforderlich.

Der Bereich der zulässigen Werte muss begrenzt sein.

5.1.16 Cybersicherheit

Es muss eine Prüfung der Cybersicherheit des Roboters durchgeführt werden. Wenn die Prüfung ergeben hat, dass eine Bedrohung zu (einem) Sicherheitsrisiko(en) führen kann, müssen Maßnahmen zur Unterstützung der Cybersicherheit vorgesehen werden. Zu diesen Maßnahmen müssen die Mittel gehören, die einen unbefugten Zugriff auf den Roboter, seine Hardware, Software, Konfigurationsdaten und das Programm der Industrieroboteranwendung verhindern.

Die Mittel zur Verhinderung von unautorisiertem Zugriff können Folgendes umfassen:

- Fähigkeit, den Zugriff auf Kommunikationsports zu unterbinden, z. B. TCP/UDP-Port;
- Fähigkeit, die TCP/UDP-Portnummer zu ändern, z. B. logische Verbindung;
- authentifizierter Schutz der Sicherheitskonfiguration;
- Fähigkeit, die voreingestellten Benutzernamen und Passwörter zu ändern;
- Verwendung von verschlüsselten und authentifizierten Protokollen.

ANMERKUNG 1 Für weitere Informationen, siehe ISO/TR 22100-4:2018.

ANMERKUNG 2 Informationen und Anforderungen zur Sicherheit von industriellen Automatisierungs- und Steuerungssystemen sind in der Normenreihe IEC 62443 und IEC TR 63074:2019 zu finden.

5.1.17 Roboterklasse

Roboter müssen entweder als Klasse I oder als Klasse II eingestuft werden. Die Einstufung als Roboter der Klasse I muss in Übereinstimmung mit Tabelle 1 durch die maximale Leistungsfähigkeit des Manipulators bestimmt werden, ohne dass diese durch die Steuerung oder Sicherheitsfunktionen des Roboters begrenzt wird, basierend auf den folgenden Werten:

- a) maximal erreichbare Geschwindigkeit des TCP;
- b) Gesamtmasse der beweglichen Teile des Manipulators (M);

c) maximal erreichbare Kraft je Manipulator (F_{MPM}) in Übereinstimmung mit der Prüfmethode in Anhang E.

ANMERKUNG 1 Die Höchstgeschwindigkeit M und F_{MPM} werden nicht zur Bestimmung des Risikos oder der Eignung für den Einsatz in kollaborierenden Anwendungen verwendet (siehe ISO 10218-2). Es handelt sich hierbei um Faktoren, die ausschließlich dazu dienen, festzustellen, ob es sich bei einem Roboter um einen Roboter der Klasse I handelt.

Die Gesamtmasse der beweglichen Teile des Manipulators (M) muss durch Messung des Gewichts der beweglichen Teile des Manipulators ohne seinen befestigten Sockel bestimmt werden. Wenn der Manipulator für Anwendungen vorgesehen ist, bei denen sich der Sockel bewegt, muss die Gesamtmasse des Manipulators (mit Sockel und seinen Befestigungen) angegeben werden.

ANMERKUNG 2 Anwendungen, bei denen sich der Sockel bewegt, können die Montage des Manipulators (einschließlich seines Sockels) an einer mobilen Plattform, einer Schiene, einem Tragarm usw. umfassen.

Roboter dürfen als Roboter der Klasse II eingestuft werden, ohne dass eine Prüfung in Übereinstimmung mit Anhang E durchgeführt wird. In diesem Fall muss der Roboter die Anforderungen an Roboter der Klasse II einschließlich der Anforderungen an die Funktionssicherheit in Übereinstimmung mit 5.3 erfüllen.

Tabelle 1 — Roboterklasse

Roboter- klasse	Gesamtmasse je Manipulator (M) [kg]	Maximale Kraft* je Manipulator (F_{MPM}) [N]	Höchstgeschwindigkeit [mm/s]
I	10 kg oder weniger	50 und weniger	250 mm/s und weniger
II	Über 10 kg	Über 50	Über 250 mm/s

ANMERKUNGEN:

M ist die Gesamtmasse der beweglichen Teile des Manipulators.

Siehe Anhang E für M Prüfmethode.

Wenn mehrere Manipulatoren vorhanden sind, gilt M je Manipulator.

Siehe Literaturhinweis [65] FP 0317 (Mainzer Studie) zur Herleitung des Wertes für die maximale Kraft von 50 N je Manipulator (F_{MPM}).

* Die maximale Kraft gilt bei einer minimalen Kontaktfläche des Manipulators von 0,5 cm² [65].

Literaturhinweis [65] FP 0317 (Mainzer Studie): das dritte Quartil der 29 betrachteten Körperteile (außer Kopf und Hals) der Studie FP 0317 zeigt, dass Kräfte um 50 N unterhalb der Schmerzgrenze liegen, unabhängig vom Druck (außer Nadeln und Messern). Daher kann die 50-N-Grenze als allgemeine Grenzlinie zwischen Robotern der Klasse I und der Klasse II angewendet werden.

5.2 Robotersteuerungen

5.2.1 Allgemeines

Steuerungssysteme müssen so ausgelegt sein, dass ein nach vernünftigem Ermessen vorhersehbares menschliches Versagen während des Betriebs nicht zu Gefährdungssituationen führt.

5.2.2 Schutz vor unerwartetem Anlauf

Die Mittel zur Vermeidung von unerwartetem Anlauf müssen ISO 14118 entsprechen. Die Steuerfunktionen müssen implementiert und die Steuerungseinrichtungen, sofern vorhanden, müssen in geeigneter Weise angeordnet sein.

Unerwartetes Anlaufen aufgrund eines Fehlers in der Steuerungseinrichtung oder einer externen Einwirkung darauf, muss durch eine geeignete Konstruktion des Steuerungssystems in Übereinstimmung mit den Anforderungen aus 5.3, 5.4 und 5.5 vermieden werden.

Ein unerwarteter Anlauf aufgrund eines Startbefehls, der durch eine unangemessene Einwirkung auf eine Startsteuerung oder andere Teile der Maschine, wie z. B. einen Sensor oder ein Energiesteuerungselement, erzeugt wurde, muss durch eine Wiederanlaufsperrfunktion in Übereinstimmung mit 5.5.1.2 verhindert werden.

Unerwartetes Anlaufen durch Wiederherstellung der Energieversorgung nach einer Unterbrechung muss durch eine Anlaufsperrfunktion in Übereinstimmung mit Unterabschnitt 5.5.1.1 verhindert werden.

5.2.3 Singularität

Bewegungen, die im kartesischen Raum festgelegt sind und in der Nähe von Singularitäten ablaufen, können unerwartete Achsgeschwindigkeiten und Bewegungen verursachen. Vor dem Auftreten einer Singularität muss der Roboter einen der folgenden Punkte erfüllen:

- a) eine wiederholbare Bewegung und Geschwindigkeit erzeugen, während er im Zustand der Singularität ist;
- b) die Ausführung des Anwenderprogramms ohne weitere Bewegung anhalten, eine Warnung abgeben und zur Wiederherstellung nach dem Anhalten einen manuellen Neustart des Anwenderprogramms erfordern;
- c) ein akustisches oder sichtbares Warnsignal erzeugen und die Singularität mit einer reduzierten Geschwindigkeit in Übereinstimmung mit der reduzierten Geschwindigkeit (5.5.2.1) fortsetzen.

ANMERKUNG Risiken, die durch Singularität entstehen, können in der automatischen Betriebsart (5.2.8.1) auftreten, wenn Fähigkeiten zur Aktivierung von kollaborierenden Anwendungen (5.12) aktiv sind und in der manuellen Betriebsart (5.2.8.2).

5.2.4 Verriegelungsfunktionen

Zu trennenden Schutzeinrichtungen gehörende Verriegelungseinrichtungen müssen ISO 14119 entsprechen.

ANMERKUNG Siehe 5.5.1, Anlauf- und Wiederanlaufssperre.

5.2.5 Zustandsanzeige und Warneinrichtungen

Der Zustand des Roboters muss deutlich angezeigt werden, z. B. Energie EIN, Fehler erkannt, Betriebsart (5.2.8), Automatikbetrieb in Bearbeitung, direkte Steuerung (5.2.7.2), externe Steuerung (5.2.7.3). Die Anzeigen müssen für den Einbauort geeignet sein und die Anforderungen nach IEC 60204-1 erfüllen.

Falls vorgesehen, müssen Warneinrichtungen (z. B. akustisch und optisch) mit ISO 12100, IEC 60204-1 und IEC 60073 übereinstimmen.

ANMERKUNG IEC 60073 enthält Grund- und Sicherheitsregeln für die Mensch-Maschine-Schnittstelle, Kennzeichnung – Codierungsgrundsätze für Anzeigengeräte und Bedienteile. Die Normenreihe IEC 61310 ist auf die Sicherheit von Maschinen mit Anforderungen an die Anzeige, Kennzeichnung und Betätigung ausgelegt. Auf die Normenreihe IEC 61310 wird in IEC 60204-1 normativ verwiesen.

5.2.6 Kennzeichnung

Steuerungseinrichtungen, Anzeigen und Displays müssen so beschriftet sein, dass ihre Funktion eindeutig erkennbar ist, z. B. Einschalten „I“ Ausschalten „O“, in Übereinstimmung mit IEC 60204-1 und IEC 60073-2. Siehe Anhang F.

5.2.7 Ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation

5.2.7.1 Allgemeines

Die ausschließliche Bedienung einer Bedienstation muss durch eine der folgenden Maßnahmen umgesetzt werden:

- durch Authentifizierung der den Roboter steuernden Kommunikation in Übereinstimmung mit 5.1.16;
- als Sicherheitsfunktion in Übereinstimmung mit 5.3.

Es darf jeweils nur eine Steuerungsquelle zur gleichen Zeit akzeptiert werden.

5.2.7.2 Direkte Steuerung

Wenn eine direkte Steuerung vorgesehen ist, muss diese in Übereinstimmung mit 5.2.7 (ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation) erfolgen. Wenn der Roboter direkt gesteuert wird, muss Folgendes durch externe Steuerungen verhindert werden (5.2.7.3):

- a) Auslösen der Roboterbewegung;
- b) Programmänderungen;
- c) Änderung der Sicherheitskonfiguration;
- d) Wechsel der Steuerung zu einem anderen Bedienstand;
- e) Aktualisierungen des Steuerungsprogramms.

Die Aktivierung der direkten Steuerung muss immer Vorrang vor allen anderen Steuerungsquellen haben. Die Aktivierung der direkten Steuerung muss das Ergebnis einer bewussten Handlung an einem bestimmten Steuergerät des Bedienstands sein.

ANMERKUNG Für Mittel zur Steuerung des Roboters, zu denen auch Programmierhandgeräte gehören, siehe 5.2.9.

5.2.7.3 Externe Steuerung

Die Möglichkeit der externen Steuerung kann zur Verfügung gestellt werden. Wenn Mittel zur Programmierung nicht mit dem Roboter mitgeliefert werden, sodass externe Mittel erforderlich sind (z. B. durch Anschluss an einen Computer), müssen diese als externe Steuerungen betrachtet werden.

Wenn eine direkte Steuerung (5.2.7.2) vorgesehen ist, muss in Übereinstimmung mit 5.2.7.1 Folgendes erfüllt sein:

- a) zur Aktivierung der externen Steuerung muss eine bewusste Handlung an der direkten Steuerung vorgenommen werden;
- b) das Aktivieren der direkten Steuerung muss zu einer sofortigen Deaktivierung der externen Steuerung führen.

ANMERKUNG Für Mittel zur Steuerung des Roboters, zu denen auch Programmierhandgeräte gehören, siehe 5.2.9.

5.2.8 Betriebsarten

5.2.8.1 Automatisch

Der Roboter muss über eine automatische Betriebsart verfügen. In der Betriebsart Automatik muss der Roboter das Anwenderprogramm ausführen und die relevanten konfigurierten Sicherheitsfunktionen müssen aktiv sein. Jeder erkannte Stoppzustand muss zu einem Halt aller beweglichen Teile des Roboters führen.

Die automatische Betriebsart darf erst nach einer separaten Bestätigung durch den Bediener anlaufen.

5.2.8.2 Manuell

5.2.8.2.1 Allgemeines

Die Roboterbewegungen dürfen nur in Übereinstimmung mit 5.2.9 möglich sein, was die ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation (5.2.7) des Roboters darstellt.

5.2.8.2.2 Reduzierte Geschwindigkeit

Der Roboter muss über eine manuelle Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit für den Tippbetrieb, das Teachen, die Programmierung und die Programmverifizierung verfügen. Diese Anforderung darf für Roboter der Klasse I, die ausschließlich für Anwendungen bestimmt sind, bei denen vorhersehbar ist, dass der Tippbetrieb, das Teachen, die Programmierung und die Programmverifizierung nicht zu einer gefährlichen Situation führen, ausgeschlossen werden.

Roboterbewegungen dürfen nur während der Betätigung der Zustimmungseinrichtung in Übereinstimmung mit 5.5.3 und mit reduzierter Geschwindigkeit in Übereinstimmung mit 5.5.2.1 möglich sein.

Die automatische Betriebsart muss verhindert werden, wenn sich der Roboter in der manuellen Betriebsart befindet.

ANMERKUNG Die manuelle Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit war in der Vergangenheit als manuell reduzierte Geschwindigkeit, T1 oder Teach bekannt.

5.2.8.2.3 Hohe Geschwindigkeit

Der Roboter kann eine manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit haben, bei der die Geschwindigkeit höher sein kann als bei reduzierter Geschwindigkeit. Die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit ist nur zur Verifizierung programmierter Aufgaben vorgesehen (siehe ISO 10218-2).

Wenn die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist, muss der Roboter:

- a) über Mittel zur Auswahl der manuellen Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit in Übereinstimmung mit 5.2.8.2.3 verfügen;
- b) über Mittel zur manuellen Erhöhung der Geschwindigkeit in mehreren Schritten beginnend bei der Einstellung für reduzierte Geschwindigkeit, die 250 mm/s oder weniger betragen können, verfügen;
- c) die tatsächliche Geschwindigkeit anzeigen;
- d) über eine überwachte Geschwindigkeit verfügen, in Übereinstimmung mit 5.5.2.2, die aktiv ist;
- e) über eine separate Start/Stopp-Steuerung in Verbindung mit einer Zustimmungseinrichtung nach 5.5.3 verfügen;

- f) über eine Geschwindigkeitsbegrenzung nicht größer als die Einstellung der reduzierten Geschwindigkeit für die folgenden Situationen verfügen:
 - bei Auswahl oder Aktivierung der manuellen hohen Geschwindigkeit;
 - wenn die Zustimmungseinrichtung nach 5.5.3 durch Stellen der Zustimmungseinrichtung in die Mittelstellung der Freigabeposition, nachdem er entweder losgelassen oder vollständig gedrückt wurde, wiederausgelöst wird;
- g) wenn die Zustimmungseinrichtung für fünf (5) Minuten oder länger losgelassen wird, ist eine separate bewusste Handlung erforderlich, um die zuvor gewählte höhere Geschwindigkeit wieder aufzunehmen;
- h) wenn die Sicherheitsfunktionsausgabe der überwachten Geschwindigkeit anzeigt, dass sich der Roboter in der manuellen Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit befindet.

Der Roboter kann über eine oder beide der folgenden Fähigkeiten verfügen:

- die Mittel, um die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit zu deaktivieren;
- die Mittel, um die überwachte Geschwindigkeitsgrenze auf einen Wert von 250 mm/s oder weniger zu setzen.

ANMERKUNG Diese optionale manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit war zuvor als manuell hohe Geschwindigkeit oder T2 bekannt.

5.2.8.3 Auswahl, Aktivierung und Wechsel der Betriebsart

Die Auswahl der Betriebsart muss durch eine absichtliche Handlung erfolgen, z. B. über einen Schlüsselschalter, Auswahl am Touchscreen.

ANMERKUNG 1 Die Auswahl der Betriebsart gilt nicht als Sicherheitsfunktion.

Die ausgewählte Betriebsart muss:

- klar erkennbar sein;
- eindeutig angezeigt werden;
- sichtbar sein oder angezeigt werden.

Die Betriebsartauswahl kann mit einem gesicherten Zugangsmittel eingeschränkt werden (z. B. Schlüssel, Zugangskontrollsysteme oder Zugangscodes), das die Nutzung einiger Betriebsarten oder Funktionen des Roboters begrenzt.

Der Wechsel zwischen den Betriebsarten muss einen Sicherheitshalt (5.4.3) zur Folge haben. Die Auslösung der Bewegung muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Anlauf- und Wiederanlaufsperrung (5.5.1) erfolgen.

Wenn der Wechsel der Betriebsart zu einer Änderung der aktiven Risikominderungsmaßnahmen führt:

- a) muss die Aktivierung der gewählten Betriebsart als eine Sicherheitsfunktion angesehen werden;
- b) darf immer nur eine Betriebsart zur gleichen Zeit aktiv sein;
- c) müssen in jeder Betriebsart die für diese Betriebsart erforderlichen Maßnahmen zur Risikominderung aktiv sein;

- d) die Aktivierung der gewählten Betriebsart darf keine Roboterbewegung oder andere Gefährdungen auslösen.

ANMERKUNG 2 Bei vielen Robotern ist die manuelle Betriebsart so eingestellt, dass die Robotereingänge für die „Umfangs-Schutzeinrichtungen“ im manuellen Betrieb nicht aktiv sind (um den Zutritt zu ermöglichen), während die „Umfangs-Schutzeinrichtungen“ im automatischen Betrieb aktiv wären.

Es kann/können ein optionaler Ausgang/optionale Ausgänge zur Anzeige der aktivierten Betriebsart vorgesehen werden. Falls für sicherheitsbezogene Zwecke vorgesehen, muss/müssen der Ausgang/die Ausgänge der Sicherheitsfunktion den Anforderungen von 5.3 entsprechen.

ANMERKUNG 3 Symbole für die Betriebsartkennzeichnung sind in Anhang F angegeben.

5.2.9 Mittel zur Steuerung des Roboters

5.2.9.1 Allgemeines

Der Roboter muss über Mittel zur Steuerung, Befehlsgebung, Programmierung/Teachen, Konfiguration und Fehlerbehebung des Roboters verfügen, wie zum Beispiel Programmierhandgerät oder andere Steuerungseinrichtungen. Es muss mindestens eines der folgenden Mittel angewendet werden:

- a) Regeleinrichtung oder Programmierhandgerät;
- b) Möglichkeit zur externen Steuerung und die entsprechende Konnektivität (kabelgebunden oder drahtlos).

Jede Bedienstation bzw. jedes Programmierhandgerät muss über eine Not-Halt-Einrichtung in Übereinstimmung mit ISO 13850:2015, 4.3.5 zum Auslösen einer Not-Halt-Funktion in Übereinstimmung mit 5.4.2 verfügen.

Jedes Programmierhandgerät, das eine Bewegung einleiten oder Bewegungen verursachen kann, muss mit einer Zustimmungseinrichtung und einer 3P-Zustimmungseinrichtung in Übereinstimmung mit 5.5.3 ausgestattet sein.

Bei Robotern der Klasse I in Übereinstimmung mit 5.1.17, bei denen ihre maximale Kraft und Geschwindigkeit durch eine eigensichere Konstruktion begrenzt sind:

- ist eine 3P-Zustimmungseinrichtung nicht erforderlich; und
- muss ein Sicherheitsfunktionseingang für die Integration einer externen 3P-Zustimmungseinrichtung vorgesehen sein.

Roboter der Klasse I muss so konstruiert sein, dass vorhersehbare Roboteraufgaben (z. B. Instandhaltung, Fehlerbehebung und andere Aufgaben) sicher ohne die 3P-Zustimmungseinrichtung ausgeführt werden können. Wenn dies nicht möglich ist, muss eine 3P-Zustimmungseinrichtung mit dem Roboter geliefert werden.

ANMERKUNG 1 Mit dem Roboter verbundene in der Hand gehaltene Geräte (Handgeräte), die nur in der Lage sind, Roboterparameter zu veranschaulichen, gelten nicht als Bedienstände oder Programmierhandgeräte.

Programmierhandgeräte und Regeleinrichtungen müssen in Übereinstimmung mit IEC 61310-1:2007, IEC 61310-2:2007 und IEC 61310-3:2007 sein.

Ein visuelles Signal an der Bedienstation muss den aktiven Status der Bedienstation anzeigen, z. B. eine Anzeigeleuchte an einer Regeleinrichtung oder eine Warnung auf der Anzeige des Programmierhandgeräts.

Bei Robotern mit externer Steuerungsmöglichkeit müssen die mit dem Roboter gelieferten Steuergeräte (einschließlich der Programmierhandgeräte) anzeigen, wenn die externe Steuerung aktiv ist.

Wenn Bedienstationen am oder im Manipulator des Roboters montiert sind, müssen eines oder mehrere der folgenden Mittel zur Risikominderung angewendet werden:

- handgeführte Steuerungen (en: Hand-Guided Control, HGC) in Übereinstimmung mit 5.10.2;
- Energie- und Kraftbegrenzung (en: Power and Force Limiting, PFL) in Übereinstimmung mit 5.10.4.

ANMERKUNG 2 HGC (5.10.2) kann mit PFL (5.10.4) kombiniert werden.

ANMERKUNG 3 Für Anforderungen an die ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation, direkte Steuerung und externe Steuerung, siehe 5.2.7.

5.2.9.2 Programmierhandgerät(e)

Programmierhandgeräte können eine feste Verbindung, z. B. ein an den Roboter fest angebrachtes Kabel, oder eine lösbare Verbindung (entfernbares und abnehmbares Kabel oder drahtlose Verbindung in Übereinstimmung mit 5.2.9.3) haben.

Masse und Größe der Programmierhandgeräte dürfen aufgrund der bestimmungsgemäßen Verwendung nicht zu Ermüdung und Beeinträchtigungen führen.

ANMERKUNG EN 1005-5 gibt Anleitung zur Beurteilung der Handhabung von Maschinenteilen mit einer Masse unter 3 kg. EN 1005-2 gibt Anleitung zur Beurteilung der Handhabung von Maschinenteilen mit einer Masse gleich oder größer als 3 kg über Entfernungen von weniger als 2 m.

Programmierhandgeräte müssen mit den folgenden Mitteln oder Anweisungen ausgestattet sein:

- Platzierung oder Verstaueung, um die Möglichkeit eines Schadens, der zu einer Gefährdung führen kann, zu minimieren;
- zur Kabelunterbringung, falls vorhanden, um Gefährdungen durch Verheddern und Stolpern zu vermindern.

5.2.9.3 Kabellose(s) oder abnehmbare(s) Programmierhandgerät(e)

Programmierhandgeräte, die keine Kabelverbindung zum Roboter haben oder bei denen das Kabel gelöst werden kann, müssen Folgendes erfüllen:

- a) es muss eine visuelle Anzeige vorgesehen werden, die signalisiert, dass das Programmierhandgerät aktiv ist, z. B. am Display des Programmierhandgeräts;
- b) es muss eine visuelle Anzeige vorgesehen werden, die anzeigt, mit welchem Roboter das Programmierhandgerät verbunden ist (z. B. am Display des Programmierhandgeräts);
- c) ein sicherheitsbezogener Kommunikationsverlust muss einen Sicherheitshalt aller gesteuerten Roboter auslösen, wenn sie sich in der/den manuellen Betriebsart(en) befinden.
- d) die Wiederherstellung der sicherheitsbezogenen Kommunikation darf die Roboterbewegung nicht ohne gesonderte bewusste Handlung wieder anlaufen lassen;
- e) die Not-Halt-Einrichtung(en) muss/müssen ISO 13850:2015, 4.3.8 entsprechen;

- f) ein eindeutiges Mittel zum Verbinden und Trennen der Robotersteuerung mit dem Programmierhandgerät muss vorgesehen sein (z. B. eine bestätigende Handlung des Bedieners);
- g) die sicherheitsbezogene kabellose Kommunikation (z. B. Funk, Infrarot) von Programmierhandgeräten muss IEC 62745 entsprechen; und
- h) es muss ein Mittel vorgesehen sein, das eine Verwechslung zwischen aktiven und inaktiven Not-Halt-Einrichtungen verhindert (z. B. Verstaung oder Anweisungen zur Verstaung).

5.2.10 Mittel zum Auslösen des Automatikbetriebs

Der Roboter darf den Automatikbetrieb erst starten, nachdem eine separate Bestätigung durch den Bediener erfolgt ist.

Der Roboter muss Mittel bieten, durch die

- der Automatikbetrieb von einer anderen Steuerungseinrichtung als dem Programmierhandgerät aus gestartet werden kann;

ANMERKUNG 1 Diese Funktion kann durch die Wiederanlaufsperrung ausgeführt werden, siehe 5.5.1.2.

- verhindert wird, dass der Automatikbetrieb des Roboters nur durch das Programmierhandgerät alleine gestartet wird.

ANMERKUNG 2 Dies kann durch die Integration (ISO 10218-2) unter Verwendung eines externen Eingangs zum Roboter erreicht werden.

5.3 Sicherheitsfunktionen

5.3.1 Allgemeines

Sicherheitsbezogene Steuerungssysteme (elektrisch, hydraulisch, pneumatisch, mechanisch und Software) müssen 5.3 und Anhang C entsprechen.

Die sicherheitsbezogene Steuerungssystemleistung aller Sicherheitsfunktionen des Roboters muss in den Benutzerinformationen in Übereinstimmung mit Anhang D angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Tabelle D.1 zeigt ein Beispielformat zur Darstellung der erforderlichen Informationen.

Ein Roboter kann mit Fähigkeiten und Sicherheitsfunktionen nach 5.10 ausgestattet sein, um die Ausführung von kollaborierenden Aufgaben in Übereinstimmung mit ISO 10218-2 zu ermöglichen. Optionale Eigenschaften (Anhang I) können bereitgestellt werden (siehe Anhang C).

ANMERKUNG 2 Sicherheitsbezogene Steuerungssysteme können auch als SRP/CS (sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen) oder SCS (sicherheitsbezogenes Steuerungssystem) bezeichnet werden.

5.3.2 Funktionssicherheitsnormen

Sicherheitsbezogene Teile des Steuerungssystems (SRP/CS oder SCS) müssen in Übereinstimmung mit einer der folgenden Normen konstruiert werden:

- ISO 13849-1, *Safety-related parts of control systems — General principles for design*; oder
- IEC 62061, *Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*.

Die Normen ISO 13849 und IEC 62061 behandeln die Funktionssicherheit mit ähnlichen, aber unterschiedlichen Verfahren.

5.3.3 Leistung

Die minimale Funktionssicherheitsleistung für Sicherheitsfunktionen muss mindestens eine der folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Performance Level (PL) d und eine Architektur der Kategorie 3 in Übereinstimmung mit ISO 13849-1:2015;
oder
- Sicherheitsintegritätslevel (SIL) 2, Hardware-Fehlertoleranz (HFT) = 1 mit einer Gebrauchsdauer von mindestens 20 Jahren, in Übereinstimmung mit IEC 62061:2015;
oder
- Performance Level (PL) d oder SIL 2, mit PFH_D kleiner als $4,43 \times 10^{-7}/h$.

Ein weiteres Kriterium kann für eine bestimmte Roboterklasse (5.1.17, Tabelle 1) und eine bestimmte Sicherheitsfunktion (Tabelle C.2) nach Anhang C vorgesehen werden.

ANMERKUNG Eine Roboteranwendung kann Sicherheitsfunktion(en) erfordern, die PL_e (Kat 3) oder SIL 3 (HFT 1) entsprechen. Siehe ISO 10218-2.

Ein Roboter kann Sicherheitsfunktionen mit einer höheren Funktionssicherheitsleistung als das erforderliche Performance Level PL_d oder SIL 2 haben, die in Sicherheitsfunktionssysteme außerhalb des Roboters über sicherheitsbezogene Ein- und Ausgänge integriert werden können.

Wenn vorgesehen, müssen die sicherheitsbezogenen Ein- und Ausgänge des Roboters, die mit einer PL_d- oder SIL-2-Sicherheitsfunktion verbunden sind, redundant sein und in ein Steuerungssystem mit redundanter Architektur implementiert werden können.

5.3.4 Ausfall- oder Fehlererkennung

Ein Ausfall des sicherheitsbezogenen Steuerungssystems oder ein erkannter Fehler einer sicherheitsbezogenen Funktion muss zu einer Stopp-Kategorie 0 oder 1 nach IEC 60204-1 führen. Das Auslösen einer Sicherheitsfunktion zeigt an, dass die Sicherheitsfunktion wie vorgesehen funktioniert. Dies ist kein Ausfall oder Fehler der Sicherheitsfunktion. Die Auslösung der Sicherheitsfunktion muss zu dem/den festgelegten Ergebnis(sen) der Sicherheitsfunktion in Übereinstimmung mit Anhang C führen.

5.3.5 Parametrisierung der Sicherheitsfunktionen

Der Roboter muss mit den Mitteln und der Möglichkeit der software-basierten Parametrisierung sicherheitsbezogener Anwendungssoftware und für Entwicklung der sicherheitsbezogenen Anwendungssoftware ausgestattet werden. Dies ist als sicherheitsbezogener Aspekt nach ISO 13849-1:2015, 4.6.4 oder IEC 62061:2015, 6.11.2 zu betrachten.

ANMERKUNG Der korrekte Betrieb der Sicherheitsfunktionen basiert auf der richtigen und zuverlässigen Einstellung eines oder mehrerer sicherheitsbezogener Parameter(s), der/die in der/den Sicherheitsfunktion(en) und insbesondere sicherheitsbezogener Anwendungssoftware verwendet werden.

Deswegen dürfen Online-Softwaretools nach IEC 61508-4:2010, 3.2.10 nicht verwendet werden.

Sobald die Sicherheitsfunktion(en) aktiviert wurde(n), muss/müssen die Sicherheitsfunktion(en) bei Einschalten aktiv sein.

Manuelle Änderungen an sicherheitsbezogenen Parametern müssen einen Neustart der Robotersteuerung nach der/den Änderung(en) erfordern. Sicherheitsbezogene Parameter dürfen während der automatischen Ausführung des Anwenderprogramms nicht rekonfiguriert werden können.

Für einen bestimmten Parameter kann ein Satz verschiedener Werte konfiguriert werden und ein bestimmter Wert des jeweiligen Satzes während eines bestimmten Teils des Anwenderprogramms angewendet werden.

Sicherheitsfunktionsparameter müssen einen Bezeichner (z. B. Prüfsumme) erzeugen, damit Änderungen dieser Einstellungen erkannt werden können.

Informationen über die aktiven Einstellungen und die Konfiguration der Sicherheitsfunktionen müssen einsehbar und dokumentierbar sein, z. B. durch Anzeige des Ergebnisses des Bezeichners auf der Benutzeroberfläche. Zusätzliche Daten wie etwa Konfigurationsinformationen, befugtes Personal, Konfigurationsdatum können vorgesehen werden.

5.3.6 Kommunikation

Wenn Datenkommunikation in der Implementierung einer Sicherheitsfunktion angewendet wird, muss diese den Anforderungen nach IEC 61508-2:2010, 7.4.11, entsprechen.

Wenn ein Roboter über ein internes Roboternetzwerk verfügt, muss das Netzwerk als Netzwerk der Übertragungskategorie 1 in Übereinstimmung mit Tabelle 2 betrachtet werden. Wenn ein Roboter über ein externes Netzwerk verfügt, muss das Netzwerk als Netzwerk der Übertragungskategorie 2 oder 3 nach Tabelle 2 betrachtet werden. Die Eigenschaften der Übertragungskategorien (1, 2 oder 3) werden in Tabelle 3 beschrieben.

ANMERKUNG 1 Ein Netzwerk der Übertragungskategorie 1 hat üblicherweise eine festgelegte Maximalanzahl von Teilnehmern, während es sich bei einem Netzwerk der Kategorie 2 um ein weniger kontrolliertes Netzwerk handelt, das jedoch unerhebliche Möglichkeiten für unautorisierten Zugriff bietet. Ein Netzwerk der Übertragungskategorie 3 hat unbekannte Eigenschaften und ein hohes Risiko für unautorisierten Zugriff. Siehe Tabelle 3.

Tabelle 2 — Roboternetzwerk – Anforderungen an Gegenmaßnahmen

Übertragungs- kategorien	Wieder- holung	Löschung	Einfügung	Resequenzierung	Korruption	Verzö- gerung	Maskierung
1	+	+	+	+	++	+	-
2	++	++	++	+	++	++	-
3	++	++	++	++	++	++	++
ANMERKUNG Der Begriff: „Maskierung“ bedeutet, dass die wahre Quelle der Nachricht nicht korrekt identifiziert wurde. Eine Nachricht eines nicht sicherheitsbezogenen Elements wird beispielsweise als Nachricht eines Sicherheitselements identifiziert. [QUELLE: IEC 61508-2:2010, 7.4.11.1]							
Legende - Bedrohung ist vernachlässigbar. + Bedrohung existiert, ist aber selten; leichte Gegenmaßnahmen sind ausreichend. ++ Bedrohung existiert und erfordert starke Gegenmaßnahmen							

Tabelle 3 — Kategorien von Kommunikationsübertragungssystemen

Übertragungs- kategorien	Haupteigenschaften
1	Auf eine bekannte und feste Maximalanzahl an Teilnehmern ausgelegt. Alle Eigenschaften des Übertragungssystems sind bekannt und über die Lebensdauer des Systems unveränderlich. Vernachlässigbare Möglichkeit des unautorisierten Zugriffs.
2	Eigenschaften sind unbekannt, teilweise unbekannt oder über die Lebensdauer des Systems veränderlich. Begrenzter Erweiterungsumfang der Nutzergruppe. Bekannte Nutzergruppe oder -gruppen. Vernachlässigbare Möglichkeit des unautorisierten Zugriffs (Netzwerke sind vertrauenswürdig). Gelegentliche Nutzung nicht vertrauenswürdiger Netzwerke.
3	Eigenschaften sind unbekannt, teilweise unbekannt oder über die Lebensdauer des Systems veränderlich. Mehrere unbekannte Nutzergruppen. Erhebliche Möglichkeit des unautorisierten Zugriffs.
QUELLE: IEC 62280:2014, Tabelle B.1, erste 2 Spalten	

ANMERKUNG 2 Für eine vollständige Beschreibung der Kommunikationskategorien, siehe IEC 62280:2014 oder EN 50159:2010.

5.3.7 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Die sicherheitsbezogene EMV (d.h. Störfestigkeit und Emission) muss den Anforderungen an elektromagnetische Beeinflussung (EMI) und EMV nach ISO 13849-1 oder IEC 62061 entsprechen.

ANMERKUNG Diese Anforderung ist für die Funktionssicherheit relevant. Andere Normen können andere EMV-Normen erfordern.

5.4 Stoppfunktionen des Roboters (altern.: Funktionen zum Stillsetzen des Roboters)

5.4.1 Allgemeines

Jeder Roboter muss über eine Sicherheitshalt-Funktion, eine unabhängige Not-Halt-Funktion und eine weitere Stoppfunktion verfügen. Jede Stoppfunktion muss Vorkehrungen für den Anschluss externer Einrichtungen haben.

Der Roboter muss so ausgelegt sein, dass Haltefunktionen Vorrang vor sämtlichen anderen Steuerfunktionen haben. Sobald eine Haltefunktion ausgelöst wurde, dürfen keine anderen Steuerfunktionen die Roboterbewegung aktivieren bis der Haltezustand erzielt wurde.

Die Funktionssicherheitsleistung muss 5.3 entsprechen.

In Tabelle 3 werden die Stoppfunktionen verglichen.

Tabelle 1— Vergleich der Stoppfunktionen

Parameter	Sonstige Stoppfunktionen	Not-Halt	Sicherheitshalt
Zweck	Anhalten, Ein/Aus	Notfall	Schutzmaßnahmen
Wirkung	Anhalten des Roboters oder seiner gefahrbringenden Funktionen, dann Wegnahme der Energie zu allen Gefährdungen	Wegnahme der Energie zu allen Gefährdungen	Sichere Kontrolle der geschützten Gefährdung(en) nach 5.4.3.1 (Sicherheitshalt, allgemein) oder 5.4.3.3 (Sicherheitsfunktion überwachter Stillstand)
Auslösung	Manuell	Manuell	Manuell, automatisch oder kann automatisch durch eine Sicherheitsfunktion ausgelöst werden
Stoppkategorie in Übereinstimmung mit IEC 60204-1	0 oder 1	0 oder 1	0, 1 oder 2
Leistung des sicherheitsbezogenen Steuerungssystems	Nicht erforderlich	Siehe Leistungsanforderungen in Anhang C.2	Siehe Leistungsanforderungen in 5.3.
Rücksetzung	Nicht anwendbar	Nur manuell	Manuell oder automatisch <i>Kann je nach Sicherheitsfunktion, die einen Sicherheitshalt auslöst, variieren</i>
Häufigkeit der Nutzung	Häufig	Selten	Variabel: von dauerhaft (d. h. interne Robotersicherheitsfunktionen) bis selten

5.4.2 Not-Halt

5.4.2.1 Allgemeines

Der Roboter muss über eine Not-Halt-Funktion verfügen, Kategorie 0 oder 1, in Übereinstimmung mit IEC 60204-1. Die Not-Halt-Funktion(en) und -Einrichtung(en) muss/müssen in Übereinstimmung mit ISO 13850 sein und die Not-Halt-Funktion muss

- Vorrang vor allen anderen Steuerungs- und Stoppfunktionen des Roboters haben,
- alle Gefährdungen innerhalb des Wirkungsbereichs beenden,
- die Antriebsenergie des Roboterantriebs abschalten, und
- bis zum Rücksetzen aktiv bleiben.

Die Not-Halt-Funktion darf nur durch manuelle Betätigung zurückgesetzt werden, die keinen Wiederanlauf nach Rücksetzen auslöst, sondern den Wiederanlauf lediglich zulässt.

Der Roboter muss die Möglichkeit bieten, einen externen Not-Halt-Eingang zur Nutzung durch das Robotersystem anzuschließen, siehe ISO 10218-2.

5.4.2.2 Bedienstation und Programmierhandgerät

Jede Bedienstation und jedes Programmierhandgerät, die/das eine Roboterbewegung oder andere Gefährdungssituationen auslösen kann, muss über eine manuell zu betätigende Not-Halt Funktion verfügen.

5.4.2.3 Not-Halt-Eingang

Jeder Eingang der Sicherheitsfunktion für einen Not-Halt muss in Betrieb bleiben, wenn die Energieversorgung getrennt und wiederhergestellt wird.

ANMERKUNG Siehe 5.2.2 zur Vermeidung von unerwartetem Anlauf.

5.4.2.4 Not-Halt-Ausgang

Wenn der Ausgang einer Sicherheitsfunktion für einen Not-Halt vorgesehen ist, muss der Ausgang in Betrieb bleiben, wenn die Energieversorgung getrennt und wiederhergestellt wird:

- a) die Fehlererkennung muss 5.3.6 entsprechen;
- b) die Funktionssicherheitsleistung muss 5.3 entsprechen.

ANMERKUNG Siehe 5.2.2 zur Vermeidung von unerwartetem Anlauf.

5.4.3 Sicherheitshalt

5.4.3.1 Allgemeines

Der Roboter muss über eine oder mehrere Sicherheitshalt-Funktionen verfügen, die durch eine interne Sicherheitsfunktion oder externe Schutzeinrichtungen initiiert werden kann/können.

Diese Haltfunktion muss:

- a) einen Stopp aller Roboterbewegungen auslösen;
- b) eine Stopp-Kategorie 0, 1 oder 2 in Übereinstimmung mit IEC 60204-1 sein;
- c) wenn der Sicherheitshalt in Übereinstimmung mit der Stopp-Kategorie 2 IEC 60204-1 ist, muss er zu einem überwachten Stillstand in Übereinstimmung mit 5.4.3.3 führen;
- d) bei Robotern, die über keine Zustimmungseinrichtung (5.5.3) verfügen, in allen Betriebsarten immer aktiv sein.

Dieser Halt kann manuell oder automatisch ausgelöst werden.

5.4.3.2 Sicherheitshalt-Ausgang

Wenn eine Sicherheitsfunktion für einen Sicherheitshalt vorgesehen ist, muss der Ausgang auch nach Abschalten der Energieversorgung weiterhin funktionieren oder einen Sicherheitshalt auslösen.

5.4.3.3 Überwachter Stillstand

Ein überwachter Stillstand muss vorgesehen werden, wenn er erforderlich ist, um eine unbeabsichtigte Roboterbewegung nach einem Roboterstopp in Übereinstimmung mit der Kategorie 2 der IEC 60204-1:2016 zu verhindern. Jegliche unbeabsichtigte Bewegung des Roboters im überwachten Stillstand muss zu einem Stopp der Kategorie 0 oder 1 in Übereinstimmung mit IEC 60204-1:2016 führen.

Ein überwachter Stillstand muss für Folgendes vorgesehen werden:

- handgeführte Roboter in Übereinstimmung mit 5.10.2, ohne PFL-Fähigkeiten in Übereinstimmung mit 5.10.4;
- Energie und Kraft begrenzt durch Sicherheitsfunktionen in Übereinstimmung mit 5.10.4;
- simultane Bewegung (5.6).

Wenn ein überwachter Stillstand vorgesehen ist, muss der Roboter über einen Ausgang der Sicherheitsfunktion verfügen, der signalisiert, dass der Stillstand des Roboters überwacht wird.

Diese Sicherheitsfunktion kann auch durch externe Schutzeinrichtungen ausgelöst werden.

5.4.4 Sonstige Stoppfunktionen

Der Roboter muss mit einer Einrichtung zum Auslösen einer Stoppfunktion ausgestattet sein.

Diese Stoppfunktion führt, wenn sie aktiviert ist, zu einem Stopp der Kategorie 0 oder 1 nach IEC 60204-1:2016. Diese Funktion kann als normale Stoppfunktion verwendet werden. Ein Sicherheitshalt-Eingang, der einen Stopp der Kategorie 0 oder 1 (IEC 60204-1) auslöst, kann für diese Stoppfunktion verwendet werden.

Wenn eine Bedienstation mit der Fähigkeit ausgestattet ist, eine Bewegung oder eine automatische Betriebsart einzuleiten, dann muss sie auch die Fähigkeit haben, eine Bewegung zu stoppen, d. h. normales Stillsetzen.

ANMERKUNG 1 Dieser bereitet den Roboter für die Roboteranwendung vor, um ein normales Stillsetzen auszuführen.

ANMERKUNG 2 Zur Auslösung des Automatikbetriebs siehe 5.2.10.

5.5 Sonstige Sicherheitsfunktionen

5.5.1 Anlauf- und Wiederanlaufsperrung

5.5.1.1 Anlaufsperrung

Die Robotersteuerung muss über eine Anlaufsperrfunktion zur Verhinderung eines automatischen Anlaufs verfügen, wenn sich der Roboter in der manuellen Betriebsart befindet und die Energieversorgung des Roboters eingeschaltet oder unterbrochen und wiederhergestellt wird.

Das Zurücksetzen der Anlaufsperrung darf nur durch absichtliche Aktivierung einer bestimmten Steuerungseinrichtung einer Bedienstation des Roboters möglich sein (z. B. eines elektromechanischen Drucktasters in einer Regeleinrichtung oder eines virtuellen Drucktasters auf dem Touchscreen eines Programmierhandgeräts).

5.5.1.2 Wiederanlaufsperr

Das Steuerungssystem des Roboters muss über eine Wiederanlaufsperrfunktion verfügen, die den automatischen Wiederanlauf des Roboters wie folgt verhindert:

- a) nach Änderung der Betriebsart:
 - von der automatischen Betriebsart zur manuellen Betriebsart;
 - von der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit zur manuellen Betriebsart mit Hochgeschwindigkeit und von der manuellen Betriebsart mit Hochgeschwindigkeit zur manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit;
 - von in 5.2.8 beschriebenen Betriebsarten zu anderen Betriebsarten und umgekehrt, wenn der automatische Anlauf zu einer Gefährdung führen kann;

ANMERKUNG Bei einem Wechsel innerhalb einer Betriebsart zur selben Betriebsart mit HGC, kann die Wiederanlaufsperr durch die Betätigung der Wiederanlaufsperr mit selbsttätiger Rückstellung zurückgestellt werden.

- b) in der manuellen Betriebsart, nachdem ein Sicherheitshalt durch eine aktivierte Schutzfunktion ausgelöst wurde.

Das Zurücksetzen der Wiederanlaufsperr muss die absichtliche Aktivierung einer bestimmten Steuerungseinrichtung in einer Bedienstation des Roboters erfordern (z. B. eines elektromechanischen Drucktasters in einer Regeleinrichtung, eines virtuellen Drucktasters auf dem Touchscreen eines Programmierhandgeräts).

Die Steuerungseinrichtung darf nicht dieselbe sein wie die Steuerungseinrichtung, die für die Rückstellung der Anlaufsperr verwendet wird (5.5.1.1).

5.5.2 Geschwindigkeitsbegrenzungsüberwachung

5.5.2.1 Reduzierte Geschwindigkeit

Der Roboter muss über (eine) Sicherheitsfunktion(en) für reduzierte Geschwindigkeit verfügen, um die Begrenzung der Geschwindigkeit(en) auf 250 mm/s oder weniger zu ermöglichen. Bei der Sicherheitsfunktion der reduzierten Geschwindigkeit darf die Geschwindigkeit des TCP und eines beliebigen Punktes des Manipulators 250 mm/s nicht überschreiten, einschließlich der Auswirkungen jeder Hilfsachse.

Es muss möglich sein, Geschwindigkeiten unter 250 mm/s als maximale Begrenzung auszuwählen.

Die Funktionssicherheitsleistung der reduzierten Geschwindigkeit muss 5.3 entsprechen. Diese Sicherheitsfunktion muss mit der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit aktiviert sein (siehe 5.2.8.2.2).

ANMERKUNG Siehe ISO 10218-2 für Anforderungen an die Roboteranwendung in der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit.

5.5.2.2 Überwachte Geschwindigkeit

Die überwachte Geschwindigkeit muss 5.3 entsprechen. Der Roboter kann über eine Sicherheitsfunktion(en) mit überwachter Geschwindigkeit verfügen, um die Begrenzung der Geschwindigkeit von einem oder mehreren der folgenden Punkte zu ermöglichen:

- den TCP;

— eine oder mehrere Achsen.

Wenn die Sicherheitsfunktion für überwachte Geschwindigkeit aktiviert ist, darf die Geschwindigkeit des TCP und eines beliebigen Punktes des Manipulators die eingestellte (überwachte) Geschwindigkeit einschließlich der Auswirkungen einer Hilfsachse nicht überschreiten.

Wenn eine Sicherheitsfunktion für überwachte Geschwindigkeit vorgesehen ist, kann der Roboter die Fähigkeit haben, die Sicherheitsfunktion für überwachte Geschwindigkeit zu deaktivieren. Die Deaktivierung dieser Funktion muss Teil der Parametrisierung in Übereinstimmung mit 5.3.5 sein.

5.5.3 Zustimmungsfunktion

5.5.3.1 Allgemeines

Eine Zustimmungsfunktion muss in der manuellen Betriebsart in Übereinstimmung mit 5.7.1 aktiviert sein. Die Zustimmungsfunktion ist eine durch ein oder mehrere Zustimmungseinrichtungen manuell aktivierte Steuerfunktionsverriegelung, die:

- a) wenn sie aktiviert ist, die Auslösung eines Roboterbetriebs durch eine separate Startsteuerung ermöglicht; und
- b) wenn sie nicht aktiviert ist,
 - eine Stoppfunktion auslöst und
 - das Auslösen des Maschinenbetriebs verhindert.

ANMERKUNG Eine Zustimmungsfunktion ermöglicht die Bewegung des Roboters, wenn der Not-Halt nicht aktiviert ist, während er sich in der manuellen Betriebsart befindet.

5.5.3.2 Zustimmungseinrichtung

Die Zustimmungseinrichtung muss eine 3P-Zustimmungsschalter in Übereinstimmung mit IEC 60204-1:2016, 10.9 und IEC 60947-5-8 sein. Wenn nicht-elektromechanische Schalter in der Zustimmungseinrichtung verwendet werden, müssen diese vergleichbare Anforderungen erfüllen.

Zustimmungseinrichtungen, die in ein Programmierhandgerät nach 5.2.9 integriert sind, müssen vom dreistufigen (3P) Typ sein und über eine Funktionalität nach 5.5.3.3 verfügen.

Zusätzliche 3P-Zustimmungseinrichtungen können in das Programmierhandgerät integriert oder physisch von diesem getrennt sein (z. B. eine separate 3P-Zustimmungseinrichtung als Handgriff) und müssen unabhängig von jeder anderen Funktion oder jedem anderen Gerät wirken, die/das Bewegungen steuert.

5.5.3.3 Funktionalität

Die Implementierung der Zustimmungseinrichtung muss eine Funktionssicherheitsleistung nach 5.3 haben.

Sofern sie dauerhaft in einer Mittelstellung der Freigabeposition (EIN) gehalten wird, muss die Implementierung der Zustimmungseinrichtung die Roboterbewegung erlauben.

ANMERKUNG 1 Bei einer Dreipunktregler-Zustimmungseinrichtung (3P) ist die Mittelstellung EIN die aktivierte Position, während AUS für die losgelassenen und gedrückten Positionen steht.

Die Zustimmungseinrichtung muss die folgende Funktionalität bieten:

- a) das Loslassen aller Zustimmungseinrichtungen desselben Programmierhandgeräts muss einen Sicherheitshalt auslösen;

ANMERKUNG 2 Werden zwei (2) 3P-Zustimmungsgeräte, am gleichen Handbediengerät, in der Mittelstellung gehalten, kann nicht unterschieden werden, ob eines davon absichtlich oder unbewusst losgelassen wird.

- b) das Loslassen von aktiven Zustimmungseinrichtungen, die nicht in das Programmierhandgerät integriert sind, muss einen Sicherheitshalt auslösen;
- c) das vollständige Herunterdrücken einer 3P-Zustimmungseinrichtung an einem Programmierhandgerät muss einen Sicherheitshalt in Übereinstimmung mit 5.4.3 auslösen;
- d) nach dem Herunterdrücken über die Mittelstellung der Freigabeposition der 3P-Zustimmungseinrichtung hinaus in die „AUS gedrückt“-Position muss Folgendes erfüllt sein:
 - 1) das Zurückgehen von der durchgedrückten Stellung („AUS gedrückt“) zur mittleren EIN-Position darf keine Roboterbewegung zulassen; und
 - 2) eine Roboterbewegung darf nur zugelassen werden, nachdem die 3P-Zustimmungseinrichtung nach der Rückkehr aus der „AUS gedrückt“-Position vollständig losgelassen wurde („AUS losgelassen“-Position);
 - 3) die Bewegung des Roboters darf erst zugelassen werden, wenn die 3P-Zustimmungseinrichtung in die mittlere Position (EIN) gebracht wird;
- e) der Wechsel von der automatischen zur manuellen Betriebsart, während sich die Zustimmungseinrichtung in der EIN-Mittelstellung befindet, muss das Loslassen der Zustimmungseinrichtung (Loslassen AUS) und erneute Betätigen (Mittelstellung EIN) erfordern, bevor die Roboterbewegung zugelassen wird.

ANMERKUNG 3 Wichtig ist die Berücksichtigung ergonomischer Aspekte der dauerhaften Ausübung manueller Aktivierungskraft bei der Konstruktion und Integration der Zustimmungseinrichtung in jedes Programmierhandgerät.

5.6 Simultane Bewegung

Mehrere Manipulatoren können mit einem einzigen Programmierhandgerät verbunden werden, wobei das Programmierhandgerät in der Lage ist, die Manipulatoren unabhängig voneinander oder in einer simultanen Bewegung zu bewegen. Wenn die Konfiguration für simultane Bewegung und in der manuellen Betriebsart erfolgt, muss Folgendes erfüllt sein:

- a) alle Roboterfunktionen müssen von dem einen Programmierhandgerät gesteuert werden;
- b) Manipulatoren, die in die simultane Bewegung eingebunden werden sollen, müssen ausgewählt werden, bevor der/die Manipulator(en) bewegt werden können;
- c) um für die simultane Bewegung ausgewählt zu werden, müssen sich die ausgewählten Manipulatoren in der gleichen Betriebsart befinden (z. B. manuelle Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit);
- d) an der Auswahlstelle (z. B. am Handbediengerät, Schaltschrank oder Manipulator) muss angezeigt werden, welcher Manipulator/welche Manipulatoren für die simultane Bewegung ausgewählt wurden;

- e) nur der/die ausgewählte(n) Manipulator(en) darf/dürfen bewegt werden können;
- f) nicht ausgewählte Manipulatoren dürfen nicht bewegt werden können.

Unerwartetes Anlaufen (5.2.2) muss bei allen nicht ausgewählten Manipulatoren verhindert werden.

5.7 Begrenzung der Roboterbewegung

5.7.1 Allgemeines

Es muss ein Mittel zur Begrenzung der Roboterbewegung vorgesehen sein, das die Roboterbewegung auf weniger als den maximalen Platz begrenzt. Das Mittel muss die drei (3) Achsen mit der größten (weitesten) Bewegungen begrenzen. Der Roboter muss entweder 5.9.2, 5.9.3 oder 5.9.4 oder einer Kombination derselben entsprechen.

ANMERKUNG 1 Die größten Bewegungen gehen normalerweise von den drei Achsen mit den weitesten Bewegungen aus.

ANMERKUNG 2 Im Zusammenhang mit diesem Dokument sind Hilfsachsen ein Teil des Roboters.

Die Begrenzung der Roboterbewegung kann für Roboter der Klasse I in Übereinstimmung mit Tabelle 1 optional sein.

Der Roboter darf sich entweder nicht über die Position der Begrenzungseinrichtung(en) hinaus bewegen oder muss bei Erreichen der Begrenzungseinrichtung(en) einen Sicherheitshalt (5.4.3) auslösen.

Die Begrenzungseinrichtung(en) muss/müssen die Möglichkeit haben, die Roboterbewegung unter den folgenden Bedingungen zu stoppen:

- maximale Nutzlast;
- Höchstgeschwindigkeit;
- ungünstigste Stellung, die die maximale Belastung der Begrenzungseinrichtung(en) zur Folge hat.

ANMERKUNG 3 Die maximale Belastung ist die Stellung, bei der das größte Motordrehmoment entsteht.

Die Bewegungsbegrenzung muss festgelegt sein als:

- a) an der tatsächlich erwarteten Position nach dem Erreichen einer mechanischen Begrenzungseinrichtung, einschließlich des Falls des Überschießens oder der Verformung eines mechanischen Anschlags;
- b) an der tatsächlich zu erwartenden Stopp-Position, die den zurückgelegten Anhalteweg nach Erreichen eines der folgenden Punkte berücksichtigt:
 - 1) die Bestätigungsposition der elektromechanischen Begrenzungseinrichtung (5.7.3);
 - 2) an der Softwareachse oder Raumbegrenzungsposition (5.7.4) oder Ebene, wenn das beabsichtigte Ergebnis ein Sicherheitshalt ist;
- c) an der Softwareachse oder Raumbegrenzungsposition (oder Ebene), wenn der Anhalteweg direkt durch die Softwareachse und die raumbegrenzende(n) Sicherheitsfunktion(en) berücksichtigt wird, um sicherzustellen, dass die Position oder Ebene nicht überschritten werden. Der Anhalteweg wird bei der Bestimmung des eingeschränkten Raums in dieser Situation nicht berücksichtigt, da die Sicherheitsfunktion den Anhalteweg einschließt.

5.7.2 Mechanische Achsbegrenzungseinrichtungen

Der Roboter muss über Vorkehrungen für das Anbringen und die Integration verstellbarer mechanischer oder elektromechanischer Begrenzungseinrichtungen verfügen, wenn keine Softwareachsen und raumbegrenzenden Sicherheitsfunktion(en) (5.9.4) vorgesehen sind.

ANMERKUNG 1 Einstellbare Einrichtungen ermöglichen es dem Anwender, die Größe des eingeschränkten Raums zu konfigurieren.

ANMERKUNG 2 Mechanische Anschläge, z. B. Hardware-Anschläge werden manuell eingestellt und dann mittels Befestigungselementen manuell gesichert.

ANMERKUNG 3 Die Bereitstellung von Anleitungen zur Beschaffung und Verwendung von Begrenzungseinrichtungen kann die Anforderungen dieses Abschnitts erfüllen.

Die Prüfung mechanischer Anschläge muss ohne unterstützendes Anhalten erfolgen.

5.7.3 Elektromechanische Achsbegrenzungseinrichtungen

Elektromechanische Mittel zur Begrenzung des Bewegungsbereichs können nur vorgesehen werden, wenn sie so konstruiert sind und implementiert werden, dass sie die in 5.3.3 festgelegten Leistungsanforderungen erfüllen. Die Funktionssicherheitsleistung von elektromechanischen Begrenzungseinrichtungen muss den Anforderungen von 5.3. entsprechen.

Die Steuer- und Anwenderprogramme des Roboters dürfen die Einstellungen elektromechanischer Begrenzungseinrichtungen nicht verändern können.

5.7.4 Software zur Achs- und Raumbegrenzung

Sicherheitsfunktionen, die eine Software zur Achs- und Raumbegrenzung bereitstellen, müssen den Anforderungen in 5.3 entsprechen. Achsenbegrenzende Software-Sicherheitsfunktionen sind mittels Software definierte Begrenzungen der Roboterbewegung. Raumbegrenzende Sicherheitsfunktionen definieren geometrische Formen oder Ebenen, die genutzt werden können, um Roboterbewegungen auf den festgelegten Raum zu begrenzen oder zu verhindern, dass der Roboter in den festgelegten Raum eindringt.

Softwareachsen- und raumbegrenzende Sicherheitsfunktionen können angewendet werden, um die Roboterbewegung zu begrenzen und den eingeschränkten Raum (siehe ISO 10218-2) festzulegen.

Während der Wiederherstellung nach einem Sicherheitshalt, wenn sich die Roboterposition außerhalb einer Grenzwerteinstellung der softwareachsen- und raumbegrenzenden Sicherheitsfunktion befindet, muss sich der Roboter in der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit befinden, wie in 5.2.8.2.2 beschrieben.

Die Einstellungen für die softwareachsen- und raumbegrenzenden Sicherheitsfunktionen müssen die sicherheitsbezogenen Parameter nach 5.3.5 sein.

ANMERKUNG 1 Eine Kombination aus mehreren Sicherheitsfunktionsgrenzen kann verwendet werden, um dynamische eingeschränkte Räume zu erzeugen.

ANMERKUNG 2 Softwareachsen- und raumbegrenzende Sicherheitsfunktionen können insbesondere zweckmäßig sein bei der Steuerung von Bewegungen in unregelmäßig geformten eingeschränkten Räumen oder zum Schutz gegen Quetschstellen, die durch Hindernisse verursacht werden. Siehe ISO 10218-2.

5.7.5 Dynamische Begrenzung

Die dynamische Begrenzung ändert automatisch die Achsenbegrenzungssicherheitsfunktionen des Roboters, was zu Änderungen des eingeschränkten Raums des Roboters während des automatischen Betriebs führt. Die

dynamische(n) Begrenzungssicherheitsfunktion(en) ist/sind optional. Sofern vorgesehen, muss die dynamische Begrenzung 5.3 entsprechen und kann durch Parametrisierung in Übereinstimmung mit 5.3.5 erreicht werden.

5.8 Bewegung ohne Antriebsenergie

Es müssen Mittel dafür vorgesehen werden, dass die Achsen in Notfällen oder anormalen Situationen ohne Anwendung von Antriebsenergie bewegt werden können. Anweisungen müssen bereitgestellt werden.

ANMERKUNG 1 Einige Roboter können mit oder ohne Antriebsleistung von einem Bediener bewegt werden.

Falls durchführbar, muss das Bewegen der Achsen von einem einzelnen Bediener durchgeführt werden können. Die Mittel müssen direkt zugänglich, aber gleichzeitig vor unbeabsichtigter Betätigung geschützt sein. Wenn die Achsen von Hand bewegt werden können, muss in den Benutzerinformationen angegeben werden, ob daraus ein Roboterschaden resultieren kann, der eine Reparatur vor der weiteren Nutzung des Roboters erfordern würde.

ANMERKUNG 2 Einige Roboter benötigen für die Bewegung externe Geräte (z. B. Kran, Hubwagen), die nicht mit dem Roboter mitgeliefert werden.

5.9 Laser und Lasereinrichtungen

Bei Robotern mit integrierter Lasereinrichtung muss die Konstruktion und Integration jede unbeabsichtigte Strahlung verhindern. Lasereinrichtungen müssen so gesichert sein, dass Gefährdungssituationen durch Exposition gegenüber effektiver Strahlung, durch Reflexion oder Diffusion erzeugte Strahlung und Sekundärstrahlung vermieden werden.

Optische Geräte zur Beobachtung oder Ausrichtung von Lasereinrichtungen dürfen durch ihre Verwendung keine Gefährdungssituationen schaffen.

5.10 Fähigkeiten zu kollaborierenden Anwendungen

5.10.1 Allgemeines

Um eine kollaborierende Aufgabe in Übereinstimmung mit ISO 10218-2 zu entwickeln, können Roboterfähigkeiten, einschließlich Sicherheitsfunktionen, für die vorgesehene kollaborierende Aufgabe erforderlich sein. Eigensichere Konstruktion (5.10.4) und Sicherheitsfunktionen können für die Risikominderung in Übereinstimmung mit ISO 12100 und ISO 10218-2 nützlich sein.

5.10.2 Handgeführte Steuerungen (HGC)

Roboter mit handgeführten Steuerungen müssen die folgenden Sicherheitsfunktionen in Übereinstimmung mit 5.3 haben:

- überwachte Geschwindigkeit (5.5.2.2), wobei die überwachte Geschwindigkeit während der Integration in Übereinstimmung mit ISO 10218-2 konfiguriert werden können muss; und
- Software zur Achs- und Raumbegrenzung (5.7.4); und
- überwachter Stillstand (5.4.3.3); und
- selbsttätige Rückstellung (5.10.2 c) und Anhang C).

Die Schwingungsprüfung muss in Übereinstimmung mit ISO 20643:2005 durchgeführt werden.

Falls vorhanden, muss die HGC mit dem Folgenden übereinstimmen:

- a) sie muss sich an einer Position in der Nähe der mechanischen Schnittstelle, an der später der Endeffektor installiert wird (siehe ISO 10218-2), befinden oder für eine Installation an dieser Position vorgesehen sein; und
- b) sie muss eine Not-Halt-Funktion nach 5.4.2 besitzen; und
- c) sie muss über eine Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung in Übereinstimmung mit IEC 60204-1:2016, 9.2.3.7 verfügen, wobei
 - 1) die Aktivierung (EIN-Position) der Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung die Bewegung ermöglichen muss;
 - 2) die Deaktivierung (AUS-Position) der Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung zu einem Sicherheitshalt und danach zu einem überwachten Stillstand nach 5.4.3 führen muss;
 - 3) die Steuerungseinrichtungen mit selbsttätiger Rückstellung müssen so positioniert und integriert sein, dass ein Bediener die (EIN-Position) Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung nicht betätigen kann, während er sich zwischen dem Roboter und einem festen Objekt befindet (z. B. kein Einklemmen oder Quetschen);

BEISPIEL Die nachfolgende Liste enthält Beispiele, die jedoch nicht die einzigen Mittel sind, um 3) oben zu erreichen:

- zwei Positionen (z. B. vorne oder hinten oder ein Ring mit mehr als einer Position der Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung);
 - eine separate Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung;
 - durch Lokalisierung der Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung.
- 4) Die HGC muss unter Berücksichtigung der Benutzerbedienung zur Steuerung des Roboters so konstruiert sein, dass Einklemmen, Quetschen, scharfe Kanten und andere Verletzungsrisiken durch „Einfangen“ oder durch „Druck von Objekten“ durch die Konstruktion reduziert oder eliminiert werden.

Wenn PFL in Übereinstimmung mit 5.10.4 vorgesehen ist, dann können 5.10.2 a) bis c) optional sein.

5.10.3 Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (en: Speed and Separation Monitoring, SSM)

Mithilfe der SSM können sich der Roboter und der Bediener gleichzeitig in einem geschützten Raum bewegen.

Wenn im Roboter vorgesehen, muss der Roboter den Trennungsabstand zu dem/den Bediener(n) in Übereinstimmung mit ISO/DIS 10218-2:2020, 5.13.6.3.2 eine oder mehrere der folgenden Punkte einhalten:

- Reduzierung der Robotergeschwindigkeit (z. B. Reduzierung auf null); und/oder
- Änderung der Stellung(en) und/oder Bewegungsbahn des Roboters;
- die Nichteinhaltung des Trennungsabstands muss einen Sicherheitshalt zur Folge haben.

Die Bediener-Erkennungsfunktion kann in den Roboter integriert oder extern oder eine Kombination aus dem Roboter und externen Mitteln sein. Die Sicherheitsfunktion der Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung muss 5.3 entsprechen.

ANMERKUNG SSM kann anhand verschiedener Verfahren implementiert werden, z. B.

- ein externes Sensorsystem übermittelt dem Roboter Bedienerpositions- und Geschwindigkeitsdaten für die interne Berechnung eines Bewegungsplans zur Einhaltung des Trennungsabstands,
- ein externes Sensorsystem übermittelt dem Roboter einen Bewegungsplan zur Einhaltung des Trennungsabstands.

5.10.4 Energie- und Kraftbegrenzung (en: Power and Force Limiting, PFL) durch inhärente Konstruktion oder Sicherheitsfunktionen

PFL kann durch eine eigensichere Konstruktion oder durch Sicherheitsfunktionen erreicht werden.

Wenn PFL durch eine eigensichere Konstruktion erreicht wird, müssen die Grenzwerte festgelegt, nicht einstellbar und nicht konfigurierbar sein.

Wenn PFL durch Sicherheitsfunktionen erreicht wird,

- a) müssen die Grenzwerte für Energie und Kraft einstellbar sein; und
- b) dürfen die Grenzwerte für Energie und Kraft während des Betriebs nicht überschritten werden oder müssen bei Überschreiten der Grenzwerte für Energie und Kraft einen Sicherheitshalt auslösen; und
- c) es müssen die folgenden Sicherheitsfunktionen vorgesehen werden:
 - 1) überwachte Geschwindigkeit (5.5.2.2);
 - 2) Software zur Achs- und Raumbegrenzung (5.7.4);
 - 3) überwachter Stillstand (5.4.3.3).

Das Überschreiten eines Parameter-Grenzwertes muss einen Sicherheitshalt in Übereinstimmung mit 5.4.3 auslösen. Die Sicherheitsfunktion der Energie- und Kraftbegrenzung eines Roboters muss die Anforderungen nach 5.3 erfüllen.

6 Verifizierung und Validierung von Sicherheitsanforderungen und Schutzmaßnahmen

6.1 Allgemeines

Der Roboterhersteller muss nach den Anforderungen aus Abschnitt 4 und Abschnitt 5 die Konstruktion seiner Roboter einschließlich aller eigensicheren/integrierten oder zugehörigen Sicherheitsfunktionen und Schutzmaßnahmen verifizieren und validieren.

6.2 Verifizierung und Validierung

In Anhang G sind die Anforderungen aus Abschnitt 5 und die zulässigen Mittel aufgeführt, mit denen verifiziert und validiert werden kann, ob diese Anforderungen erfüllt werden. Unter Verwendung eines oder mehrerer

Verfahren in Übereinstimmung mit Anhang G muss jede Anforderung verifiziert oder validiert oder sowohl verifiziert als auch validiert werden.

ANMERKUNG Es liegt in der Verantwortung des Herstellers, sicherzustellen, dass alle anwendbaren Punkte verifiziert oder validiert oder sowohl verifiziert als auch validiert werden.

7 Benutzerinformationen

7.1 Allgemeines

Für die geeignete Integration des Roboters in ein Robotersystem müssen Benutzerinformationen in Übereinstimmung mit ISO 12100:2010, 6.4 bereitgestellt werden (siehe ISO 10218-2). Benutzerinformationen müssen den Benutzer über Anwendungsweisen informieren, für die der Roboter nicht genutzt werden sollte, was jedoch erfahrungsgemäß häufig auftritt.

Benutzerinformationen sind ein integraler Teil der Auslegung eines Roboters und bestehen aus:

- a) Signalen und Warneinrichtungen;
- b) Kennzeichnungen, Schildern (Warnetiketten) und schriftlichen Warnungen;
- c) begleitenden Dokumenten (z. B. Betriebsanleitung).

Bei hydraulischen Systemen müssen die Benutzerinformationen den Anforderungen aus ISO 4413:2010, 7 entsprechen. Bei pneumatischen Systemen müssen die Benutzerinformationen den Anforderungen aus ISO 4414:2010, 7 entsprechen.

Die Benutzerinformationen müssen in der Sprache des Landes verfasst sein, in dem der Roboter geliefert wird, sofern dies die nationalen Gesetze nichts anderes vorschreiben.

7.2 Signale und Warneinrichtungen

Wo vorhanden, müssen visuelle (z. B. Blinklichter) und hörbare Signale (z. B. Summer) 5.2.5 entsprechen.

7.3 Kennzeichnung

Jeder Roboter muss deutlich, lesbar und dauerhaft gekennzeichnet sein mit:

- a) Angaben zum Hersteller, einschließlich:
 - des Firmennamens;
 - der vollständigen Adresse;
 - wenn ein autorisierter Vertreter oder Lieferant verfügbar ist, dessen Firmenname und vollständige Adresse;
- b) Angaben zum Roboter, einschließlich:
 - des Robotertyps (z. B. Industrieautomat);
 - Serienname oder Bezeichnung des Roboters, sofern zutreffend;
 - Modellnummer oder Referenznummer (sofern vorhanden);
 - des Herstellungsjahrs;

- der Masse und/oder des Gewichts der Maschine;
- der maximalen Reichweite und Nutzlastkapazität;
- c) Daten für die Energieversorgung für elektrische und sofern zutreffend, für hydraulische und pneumatische Systeme (z. B. pneumatische Mindest- und Höchstdrücke);
- d) Hebepunkten für den Transport und die Installation, falls anwendbar;
- e) vorgeschriebene Kennzeichnungen, sofern erforderlich.

Kennzeichnungen, Namensschilder, Etiketten und Typenschilder müssen gut sichtbar angebracht und lesbar sein und eine ausreichende Haltbarkeit aufweisen, um den jeweiligen Umgebungsbedingungen standzuhalten (z. B. wasserfest).

Für die elektrische Ausrüstung gelten die Anforderungen aus IEC 60204-1:2018, Unterabschnitt 16.

7.4 Schilder (Piktogramme) und schriftliche Warnungen

Schilder und schriftliche Warnungen müssen ISO 12100:2010, 6.4.4, entsprechen.

Soweit anwendbar, müssen registrierte Schilder in Übereinstimmung mit ISO 7010 verwendet werden. Sofern keine registrierten Schilder anwendbar sind, müssen Sicherheitszeichen und Markierungen mit schriftlichen Warnungen den Grundlagen der Normenreihe ISO 3864 entsprechen.

7.5 Betriebsanleitung

7.5.1 Allgemeines

Der Hersteller muss eine Betriebsanleitung in Übereinstimmung mit ISO 12100:2010, 6.4.5 und ISO 20607:2019 bereitstellen. Die Betriebsanleitung muss Anweisungen über die Lage und Funktion(en) aller für die Einrichtung, Installation, Integration und Wartung erforderlichen Bedienelemente enthalten.

Bei elektrischer Ausrüstung müssen die zugehörigen Informationen die Anforderungen aus IEC 60204-1:2018, Unterabschnitt 17, erfüllen. Diagramme der Schnittstellen elektrischer, hydraulischer und pneumatischer Systeme, die für die Einrichtung, Installation, Integration und Wartung erforderlich sind, müssen bereitgestellt werden.

Zusätzlich muss die Betriebsanleitung Informationen in Übereinstimmung mit den folgenden Unterabschnitten 7.5.2 bis 7.5.15 enthalten.

Sonstige oder die erforderlichen Informationen können in anderen schriftlichen Anweisungen (z. B. auf der Verpackung) angegeben sein.

7.5.2 Kennzeichnung

Folgende Informationen zum Hersteller müssen angegeben werden:

- a) Firmenname;
- b) vollständige Adresse;
- c) Kontaktinformationen des Herstellers (z. B. Telefonnummer, Adresse der Service-/Support-Webseite);

- d) ob ein autorisierter Vertreter oder Lieferant verfügbar ist, auch dessen Firmenname, vollständige Adresse und Kontaktinformationen;
- e) die Bezeichnung der Maschine wie auf der Maschine selbst gekennzeichnet, mit Ausnahme der Seriennummer.

7.5.3 Bestimmungsgemäße Verwendung

Folgende Beschreibung müssen bereitgestellt werden:

- a) über den Roboter und seine Komponenten (z. B. Manipulator, Steuerung, Programmierhandgerät);
- b) die Anwendungsgrenzen des Roboters;
- c) bestimmungsgemäße Verwendung(en) sowie vorhersehbare Fehlanwendung(en) und verbotene Verwendung(en) des Roboters;
- d) die Grenzen des
 - Bewegungsbereichs;
 - Nutzlastkapazität, einschließlich der maximalen Masse;
 - maximale Nutzlast;
 - TCP;
- e) wie ein Endeffektor installiert und angeschlossen wird;
- f) Restrisiken, d. h. die Risiken, die nicht durch im Roboter implementierte Schutzmaßnahmen beseitigt werden können;
- g) wenn der Manipulator in Anwendungen eingesetzt werden soll, bei denen sich der Sockel bewegt, die Gesamtmasse des Manipulators (mit Sockel und Befestigungen);
- h) bei Robotern der Klasse I in Übereinstimmung mit 5.1.17 Tabelle 1, der F_{MPM} -Wert.

7.5.4 Installation

Die folgenden Angaben zur Installation müssen bereitgestellt werden:

- Beschreibung der Installation;
- Beschreibung der Installationsanforderungen (z. B. Anforderungen an die Montage, Hilfsstoffbedarf, Bodenbelastung Umgebungsbedingung);
- ortsfeste Bedienstände müssen außerhalb des geschützten Raums so angeordnet sein, dass der Betrieb ihrer Steuerungseinrichtungen keine zusätzlichen Risiken verursachen kann.

Trennende Schutzeinrichtungen, Schutzeinrichtungen und andere Teile, die Teil des Roboters, jedoch nicht eingebaut sind, müssen für ihren Zweck klar gekennzeichnet sein.

Angaben zum Schwerpunkt müssen zur bereitgestellt werden. Wenn die bestimmungsgemäße Verwendung sowohl ortsfeste als auch bewegliche Installationen umfasst, dann müssen die Angaben zum Schwerpunkt die maximale Größe und das Gewicht der Nutzlast umfassen.

7.5.5 Stillsetzen

Informationen zu Stoppfunktionen, Geräte und die Integration mit externen Geräten müssen bereitgestellt werden.

Für Roboter ohne Sicherheitsfunktionen die den Anhalteweg und/oder die Anhaltezeit überwachen, muss Folgendes bereitgestellt werden:

- Anhaltezeit und entweder der Anhalteweg oder -winkel ab Auslösung des Stoppsignals der drei Achsen mit der größten relevanten Auslenkung und Bewegung nach Anhang H;
- empfohlenes Intervall für die regelmäßige Prüfung der Anhaltezeit und entweder des Anhaltewegs oder des Anhaltewinkels.

7.5.6 Inbetriebnahme und Programmierung

Anweisungen zur Inbetriebnahme, Programmierung und dafür, wie die Erstprüfung und die Untersuchung des Roboters und seiner Schutzmaßnahmen vor der ersten Verwendung und dem Einsatz in der Produktion durchzuführen sind, einschließlich Funktionsprüfung der Parametereinstellung für die manuelle Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit.

7.5.7 Betrieb und Einrichten

Anweisungen für den sicheren Betrieb und Einrichten, einschließlich sicherer Arbeitsverfahren und Anleitungen für die Schulung der notwendigen Fertigkeiten des/der Bediener(s), der/die die Einrichtungen bedient/bedienen.

7.5.8 Singularität

Die Informationen zur Singularitätsvermeidung müssen Folgendes umfassen:

- den mit dem Roboter mitgelieferten Singularitätsschutz;
- Anleitungen zur Vermeidung von Singularitäten bei der Programmierung, die für die Entwicklung von Schulungsprogrammen verwendet werden können.

7.5.9 Gefährdende Energie

Die folgenden Informationen über gefährdende Energie müssen bereitgestellt werden:

- die Energiequellen;
- die Arten der Energie;
- jede gespeicherte Energie.

Anweisungen müssen bereitgestellt werden, wie:

- a) die Energie einschließlich der Isolierungsmittel isoliert wird;
- b) das Isoliermittel in der energielosen Position verriegelt oder anderweitig gesichert wird;
- c) Wartungsarbeiten sicher durchgeführt werden;

- d) eine Achse gesichert wird, wenn das Entfernen einer Komponente (z. B. des Motors) eine gefährliche Bewegung aufgrund der Schwerkraft oder die Freisetzung gefährdender Energie (z. B. Feder) verursachen kann.

ANMERKUNG Siehe Beispiel in Bild 1 dargestellt.

7.5.10 Bewegung ohne Antriebsenergie

Die Bewegung ohne Antriebsenergie ist zu beschreiben und muss Folgendes enthalten:

- a) eine Beschreibung dieser Fähigkeit, Anweisungen zur Bewegung des Roboters ohne Antriebsenergie;
- b) Empfehlungen zur Schulung von Bedienern in der Reaktion auf Not- oder ungewöhnliche Situationen (z. B. Situationen, die Bewegungen ohne Antriebsenergie erfordern können);
- c) Warnung vor potenziellen Gefährdungen;
- d) Warnungen, dass Schwerkraft und das Lösen von Bremseinrichtungen zusätzliche Gefährdungen verursachen können.

7.5.11 Cybersicherheit

Merkmale und Methodiken im Bereich der Cybersicherheit müssen festgelegt werden und die Anforderung an die Entwicklung von organisatorischen Maßnahmen muss angegeben werden.

7.5.12 Funktionssicherheit

7.5.12.1 Allgemeines

Jede Sicherheitsfunktion oder Kombination aus Sicherheitsfunktionen muss durch Festlegung ihrer Funktionssicherheitsleistung, Funktionalität, Verfügbarkeit und Nutzungsbeschränkungen und -bedingungen beschrieben werden. Sicherheitsbezogene Parameter müssen angegeben werden (z. B. PL, Kategorie, SIL, HFT, DC, Reaktionszeit, Stoppkategorie, PFH_D, Testrategie, Annahmen, Kommentare).

Alle Informationen zu Sicherheitsfunktionen sind in Übereinstimmung mit Anhang D bereitzustellen. Ein Beispiel für ein Tabellenformat ist in Anhang D enthalten.

Anweisungen über Einbauort und Funktion aller Steuerungssysteme, einschließlich Schaltplänen von Schnittstellen für elektrische, hydraulische und pneumatische Systeme, die für das Einrichten und den Einbau erforderlich sind, müssen bereitgestellt werden.

ANMERKUNG Dies beinhaltet keine Schaltpläne von Robotersteuerungen oder anderen Steuerungen, Bauteilen oder Eigenmarken.

7.5.12.2 Software und sicherheitsbezogene Software-Parametrisierung

Die folgenden Informationen zur sicherheitsbezogenen Parametrisierung von Software müssen vorgesehen werden:

- a) wie Sicherheitsparameter gesichert werden;
- b) durch manuelle eingestellte Parameter, wie etwa Nutzlast oder TCP, beeinflusste Sicherheitsfunktionen;
- c) welche Robotersicherheitsfunktion(en) in dem Bezeichner enthalten ist/sind (z. B. Prüfsumme);
- d) Anleitung zur Anzeige und Dokumentation der Einstellungen und Parameter;

Informationen über Robotereinstellungen und Softwarebeschränkungen in Verbindung mit der Konfiguration von Sicherheitsfunktionen müssen bereitgestellt werden, wenn eine solche Funktionalität vorgesehen ist. Die Wichtigkeit der Verifizierung und Validierung der Parameter der Sicherheitsfunktion vor der Inbetriebnahme des Robotersystems/der Roboteranwendung muss betont werden. Dies beinhaltet die Ersteinstellung und alle Änderungen der Parameter.

7.5.12.3 Ansprechzeiten von Sicherheitsfunktionen

Wenn der Roboter über Sicherheitsfunktionseingänge verfügt, muss die maximale Ansprechzeit angegeben werden. Die Ansprechzeit wird ab der Änderung des Eingangszustands bis zur Aktivierung der Sicherheitsfunktion gemessen.

Wenn der Roboter über Sicherheitsfunktionsausgänge verfügt, muss die maximale Ansprechzeit des Ausgangs der Sicherheitsfunktion angegeben werden. Diese Ansprechzeit wird ab der Initiierung der Sicherheitsfunktion bis zur Änderung des Zustands des Ausgangs gemessen.

Die maximale Ansprechzeit jeder Sicherheitsfunktion muss angegeben werden, bis jede Änderung eines Parametergrenzwerts wirksam wird.

Die Zeit, die benötigt wird, um von einer definierten sicherheitsüberwachten Geschwindigkeitsbegrenzung zu einer anderen zu wechseln, wenn mehrere Geschwindigkeitsbegrenzungen vorgesehen sind, muss angegeben werden.

Die Ansprechzeit für die Erkennung des Verlusts des Kommunikationssignals bei kabellosen Handgeräten muss angegeben werden.

ANMERKUNG Die Ansprechzeit der Sicherheitsfunktion unterscheidet sich von der Anhaltezeit, die zum Erreichen eines sicheren Zustands benötigt wird.

7.5.12.4 Stopp-Funktionen einschließlich Not-Halt

Für alle Stoppfunktionen muss die Stopp-Kategorie (d. h. Kategorie 0, 1 oder 2) in Übereinstimmung mit IEC 60204-1 angegeben werden.

Informationen zur vollständigen Auswirkung der Stoppfunktionen des Roboters, einschließlich des Not-Halts in Bezug auf den Manipulator und einen oder mehrere Eingänge.

7.5.12.5 Externe Eingänge und Ausgänge

Informationen über die Spezifikation jedes bereitgestellten externen Ein- und Ausgangs und die implementierten Maßnahmen zur Fehlererkennung sowie Anweisungen für die Bereitstellung von externen Mitteln zur Fehlererkennung, falls erforderlich.

Informationen über die vollständige Wirkung der Stoppfunktionen des Roboters, einschließlich des Not-Halts in Bezug auf die Not-Halt-Ausgänge und andere externe Ein- und Ausgänge, sofern vorhanden.

7.5.12.6 Betriebsarten

Anweisungen und Warnungen dazu, dass die manuelle Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit nur durchgeführt werden sollte, falls durchführbar, wenn sich alle Bediener außerhalb des geschützten Bereichs befinden.

Anweisungen und Warnungen dazu, dass die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit, sofern verwendet, so integriert werden muss, dass sie nur ausgeführt werden darf, wenn sich keine Person im geschützten Bereich befindet.

Anweisungen dazu, dass vor Auswahl des automatischen Betriebs alle aufgehobenen Schutzeinrichtungen wieder ihre volle Funktionalität erlangt haben müssen.

Anweisungen dazu, wie die zur Verfügung stehende manuelle Betriebsart (z. B. mit reduzierter Geschwindigkeit oder Verifizierung) verwendet wird und die zusammenhängenden Restrisiken.

7.5.12.7 Zustimmungseinrichtung(en)

Informationen über Zustimmungseinrichtungen müssen eine Beschreibung der Betätigung jeder Zustimmungseinrichtung und der vorgesehenen Funktionalität enthalten, wenn mehrere Zustimmungseinrichtungen verwendet werden können.

Die Anzahl und der Betrieb von Zustimmungseinrichtungen und Anweisungen für den Einbau zusätzlicher Einrichtungen, einschließlich der Daten und Kriterien, die zur Festlegung der Leistung des sicherheitsbezogenen Steuerungssystems erforderlich sind.

Wenn der Roboter über einen Eingang für eine Zustimmungseinrichtung verfügt, muss eine Anleitung zur Installation der Zustimmungseinrichtung bereitgestellt werden.

Informationen über die Bereitstellung eines Ausgangs für eine Zustimmungseinrichtung und die sicherheitsbezogene Leistung seiner Funktion nach 5.3.

Wenn der Roboter der Klasse I über keine Zustimmungseinrichtung verfügt, müssen Anweisungen gegeben werden, die besagen, dass die Risikobewertung der Anwendung in Übereinstimmung mit ISO/DIS 10218-2 bestimmen soll, ob eine Zustimmungseinrichtung zur Risikominderung erforderlich ist.

7.5.12.8 Achsbegrenzungen

Achsbegrenzungsmöglichkeiten (z. B. mechanische Begrenzung, elektromechanische Begrenzung, Softwareachsen- und Raumbegrenzungssicherheitsfunktion(en)) und ihre Anwendung müssen beschrieben und bereitgestellt werden.

- a) Wenn die Achsenbegrenzung durch mechanische Begrenzungseinrichtungen vorgesehen ist, muss Folgendes vorgesehen werden:
 - 1) wie die Installation und Änderung der Position durchgeführt wird;
 - 2) was mit dem Roboter installiert/geliefert wird;
 - 3) Anzahl der mechanischen Begrenzungseinrichtungen;
 - 4) Positionen der mechanischen Begrenzungseinrichtungen.
- b) Wenn die Achsenbegrenzung durch elektromechanische Begrenzungseinrichtungen vorgesehen ist, muss Folgendes vorgesehen werden:
 - 1) Anzahl, Position und Implementierung elektromechanischer Begrenzungseinrichtungen;
 - 2) die zulässige Einstellung mechanischer und elektromechanischer Begrenzungseinrichtungen;
 - 3) die Anhaltezeit bei maximaler Geschwindigkeit einschließlich der Überwachungszeit, bevor ein vollständiger Stillstand erreicht wird;
 - 4) der Anhalteweg bei maximaler Geschwindigkeit, bevor ein vollständiger Stillstand erreicht wird;

- 5) die Mittel zur Verifizierung der Grenzwerte durch eine einfache Prüfung im Rahmen der Implementierung.
- c) Wenn die Achsenbegrenzung durch eine Software zur Achs- und Raumbegrenzung vorgesehen ist, muss Folgendes vorgesehen werden:
 - 1) gegebenenfalls die Toleranzen von Sicherheitsfunktionen für die Softwareachsen- und Raumbegrenzung;
 - 2) die Mittel zur Verifizierung der Grenzwerte durch eine einfache Prüfung im Rahmen der Implementierung;
 - 3) die Anhaltezeit und den Anhalteweg/-winkel in Übereinstimmung mit Anhang H, bei maximaler Nutzlast, wenn achs- und raumbegrenzende Sicherheitsfunktionen bei Überschreiten eines Grenzwertes einen Stillstand auslösen;
 - i) diese Anhaltezeit muss die Überwachungszeit und bis zum vollständigen Stillstand beinhalten;
 - ii) dieser Anhalteweg muss bis zum Erreichen eines vollständigen Stillstands zurückgelegt werden.
 - 4) bei Robotern, die die Überwachung der Robotergeschwindigkeit und -position so ausführen, dass die Sicherheitsfunktionen der Softwareachse und Raumbegrenzung in Übereinstimmung mit 5.3 nicht überschritten werden dürfen, sind die Anhaltezeit und der Anhalteweg/-winkel für diese Sicherheitsfunktion nicht erforderlich, weil das Anhalten eine Ausfall- oder Fehlererkennung (siehe 5.3.4) wäre.
- d) Wenn eine dynamische Begrenzung (siehe 5.7.5) vorgesehen ist, muss Folgendes vorgesehen werden:
 - 1) wenn Ausgänge für die Anwendung mit der dynamischen Raumbegrenzung vorgesehen sind, die Funktionssicherheitsleistung;
 - 2) die Übergangszeit, damit eine Änderung der Begrenzung wirksam wird.

Wenn die Roboterbewegung über die Position der Begrenzungseinrichtung(en) oder über die Begrenzungseinstellung(en) hinaus fortgesetzt werden kann, muss eine Anleitung zur Bestimmung des eingeschränkten Raums bereitgestellt werden.

Bei Verwechslungsgefahr der Hilfsachse (Achsen), ob die Eigenschaften und die angegebene Leistung nur für den Roboter, für den Roboter und seine Hilfsachsen als Ganzes oder für die Hilfsachsen als separates Gerät gelten.

7.5.12.9 Positionshalteeinrichtung(en)

Folgendes muss über die Positionshalteeinrichtung(en) angegeben werden:

- a) Verfahren zur Inspektion und/oder Verifizierung der Positionshalteeinrichtung (5.1.8);
- b) Beschreibung der Haltekapazität (5.1.8) einschließlich:
 - die maximale(n) Bewegungsstrecke(n), wenn die Positionshalteeinrichtung aktiviert ist;
 - Anweisungen, wie die Bewegung zu prüfen ist.

7.5.13 Programmierhandgeräte

Anweisungen müssen bereitgestellt werden, die die ordnungsgemäße Lagerung von

- kabellosen oder abnehmbaren Handgeräten beschreiben, sofern konfiguriert, um Verwechslungen von aktiven und inaktiven Not-Halt-Einrichtungen zu verhindern;
- Handgeräte mit Kabeln, falls so konfiguriert, um die Stolper- oder Sturzgefahr durch die Kabel zu verringern.

Informationen über die Auswahl der manuellen Betriebsart mit Hochgeschwindigkeit müssen mit Hilfe des Handgeräts bereitgestellt werden, sofern diese Möglichkeit vorgesehen ist.

7.5.14 Integration in ein Robotersystem

Anweisungen für jede Prüfung oder Untersuchung, die nach Änderung von Bauteilen oder Ergänzung von optionaler Ausrüstung (sowohl Hardware als auch Software) am Roboter erforderlich ist, die die sicherheitsbezogene Funktion einschließlich des Ausgangssignals zum Stillsetzen im Notfall nach 5.4.2.4 und der gemeinsamen Zustimmungseinrichtungen nach 5.5.3 beeinflussen können.

Informationen über einschlägige Normen, denen der Roboter entspricht, einschließlich aller Informationen über erfolgte Zertifizierungen durch Dritte.

7.5.15 Wartung

Folgendes muss vorgesehen werden:

- a) Anweisungen für sichere Instandhaltung, einschließlich sicherer Arbeitsverfahren und Anleitungen für die Schulung der notwendigen Fertigkeiten des/der Bediener(s), der/die die Einrichtungen bedient/bedienen;
- b) die Intervalle und Häufigkeit für die erforderlichen Inspektionen und Wartungsarbeiten;
- c) Anweisungen und Verfahren zur Vermeidung von Fehlern beim Zusammenbau während der Instandhaltung der Maschine;
- d) die Spezifikation für zu verwendende Fluide oder Schmiermittel für die Schmierung, Bremsen oder das Getriebesystem im Roboter, einschließlich Anleitung für korrekte Auswahl, Vorbereitung, Anwendung und Instandhaltung aller für den Verbrauch bestimmten Artikel;
- e) Angaben der zu verwendenden Ersatzteile, wenn diese sich auf die Gesundheit und Sicherheit der Bediener auswirken (z. B. sicherheitsbezogene Teile einer Steuerung).

7.5.16 Schutz gegen elektrischen Schlag

Angaben zum Schutz gegen elektrischen Schlag durch indirektes Berühren im Roboter (z. B. durch eine Einrichtung zur automatischen Unterbrechung der Stromversorgung in der Leitung, die den Roboter versorgt).

7.5.17 Ausnahme- und Notsituationen

Wenn ein Selbstblockieren nicht vermieden werden kann, muss eine Anleitung zur sicheren Entsperrung des Geräts vorgesehen sein:

- Anleitungen über die Maßnahmen zum Befreien von Bedienern, die im Roboter oder durch den Roboter eingeklemmt sind;

- Anweisungen und Empfehlungen für die Ausbildung von Bedienern hinsichtlich Reagieren in Notfällen oder anormalen Situationen.

7.5.18 Handhabung, Anheben und Transport

Anweisungen zur Handhabung, zum Anheben und zum stabilen Transport des Roboters und seiner zugehörigen Komponenten müssen bereitgestellt werden.

Anhang A (informativ)

Liste signifikanter Gefährdungen

Tabelle A.1 enthält eine Liste der signifikanten Gefährdungen für Roboter vor der Integration in ein System.

ANMERKUNG Siehe ISO 10218-2, Anhang A für Gefährdungen des Robotersystems, der Roboteranwendung und der Roboterzelle.

ANMERKUNG Die Liste in Tabelle A.1 ist von ISO 12100:2010, Tabelle B1, abgeleitet.

Tabelle A.1 — Liste der signifikanten Gefährdungen

Nr.	Art oder Gruppe	Gefährdungsbeispiele		Entsprechende Anforderung	
		Ursprung	Mögliche Auswirkungen		
1	Mechanische Gefährdungen	<ul style="list-style-type: none"> — Bewegungen (normal oder unerwartet) jedes Teils des Manipulators (einschließlich zurück) — Bewegungen (normal oder unerwartet) der zusätzlichen Achse — Bewegung von Roboterteilen — Rotationsbewegung einer Roboterachse — Ausfall einer Sicherheitsfunktion im Hinblick auf ihre erwartete Ausführung — Lose Kleidung, lange Haare — Zwischen den Gelenken des Manipulators — unbeabsichtigte Bewegung oder Aktivierung von Hilfsachsen unerwartetes Freisetzen von potenzieller Energie aus Speicherquellen 	<ul style="list-style-type: none"> — Quetschen — Scheren — Schneiden oder Abtrennen — Einfangen — Einziehen oder Einklemmen — Stoß — Durchstich oder Einstich — Reibung, Abrieb — Einspritzen oder Herausspritzen von Flüssigkeiten/Gas unter hohem Druck 	4	Risiko-bewertung
				5.1	Konstruktion von Robotern
				5.2	Roboter-steuerungen
				5.3	Sicherheits-funktionen
				5.4	Stopp-funktionen des Roboters (altern.: Funktionen zum Stillsetzen des Roboters)
				5.5	Sonstige Sicherheits-funktionen
				5.6	Simultane Bewegung
				5.7	Begrenzung der Roboter-bewegung
				5.8	Bewegung ohne Antriebsenergie

Nr.	Art oder Gruppe	Gefährdungsbeispiele		Entsprechende Anforderung	
		Ursprung	Mögliche Auswirkungen		
2	Elektrische Gefährdungen	— Kontakt mit spannungsführenden Teilen	— elektrischer Schlag	4	Risikobewertung
		— Verwechslung von verschiedenen Spannungen	— Verbrennung oder Verbrühung	5.1	Konstruktion von Robotern
		— Kontakt mit diskreten Bauteilen im elektrischen (elektronischen) Schaltkreis, d. h. Kondensatoren	— Einatmen von giftigem Rauch	5.2	Robotersteuerungen
		— Exposition gegenüber Lichtbogenstrahl	— Schädigung der Augen durch Elektrofunkens — Einfluss auf Herzschrittmacher	5.3	Sicherheitsfunktionen
3	Thermische Gefährdungen	— heiße Oberflächen	— Verbrennung	4	Risikobewertung
		— kalte Oberflächen	— Brand, Explosion	5.1	Konstruktion von Robotern
			— Strahlung durch Wärmequellen		
			— Einatmen von giftigem Rauch — Dehydrierung		
4	Gefährdungen durch Vibration	— Lösen von Verbindungen, Befestigungen, Bauteilen führt zu unerwartetem Anhalten oder Auswurf von Teilen	— Ermüdung mechanischer Komponenten, die zum Ausfall führt	4	Risikobewertung
			— neurologische Schäden	5.1	Konstruktion von Robotern
			— Gefäßerkrankung	5.10	Fähigkeit für kollaborierende Anwendungen
5	Gefährdungen durch Materialien und Substanzen	— Instandhaltungs-, Schmierungs- und Wechselbauteile, die mit Flüssigkeiten behaftet sind;	— Vergiftung	4	Risikobewertung
		— Kühlmittel und Prozessmedien	— Einatmen ätzender Rauche und Stäube	5.1	Konstruktion von Robotern
		— Unerwartete Ausfälle an den mechanischen und elektrischen Bauteilen des Roboters	— Verbrennung		

Nr.	Art oder Gruppe	Gefährdungsbeispiele		Entsprechende Anforderung	
		Ursprung	Mögliche Auswirkungen		
6	Ergo- nomische Gefähr- dungen	— schlecht gestaltetes Programmierhandgerät, Mensch-Maschine-Schnittstelle(HMI)-Touchscreen oder Bedientafel	— Ermüdung — Stoß — Fallen — Bewusstseinsverlust — Stress	4 5.1 5.2	Risiko- bewertung Konstruktion von Robotern Roboter- steuerungen
		— schlecht gestaltete Zustimmungseinrichtungen	— Folgen des durch den Menschen verursachten Fehlers	5.3	Sicherheits- funktionen
		— ungeeigneter Ort der Steuerungselemente	— Folgen des durch den Bediener verursachten Fehlers	5.5	Sonstige Sicherheits- funktionen
		— unbeabsichtigte Betätigung der Steuerungselemente			
		— schwer zu erreichen, Exposition gegenüber zusätzlichen Gefährdungen aufgrund ungeeigneter Platzierung der Bedienelemente		5.2.9	Mittel zur Steuerung des Roboters
		— schwer zu erreichen, Exposition gegenüber zusätzlichen Gefährdungen aufgrund ungeeigneter Platzierung von Bauteilen, die den Zugang für zu erwartende Instandhaltungsarbeiten erfordern (Fehlerbeseitigung, Reparatur, Einstellung)		5.10	Fähigkeit für kollaborierende Anwendungen
		— Bauteile in Gehäusen, die vorhandene Beleuchtung blockieren			
		— HMI (Mensch/Maschine Schnittstelle)-Einheiten, die zu hoch oder zu niedrig platziert sind, um angemessene Sicht zu ermöglichen			

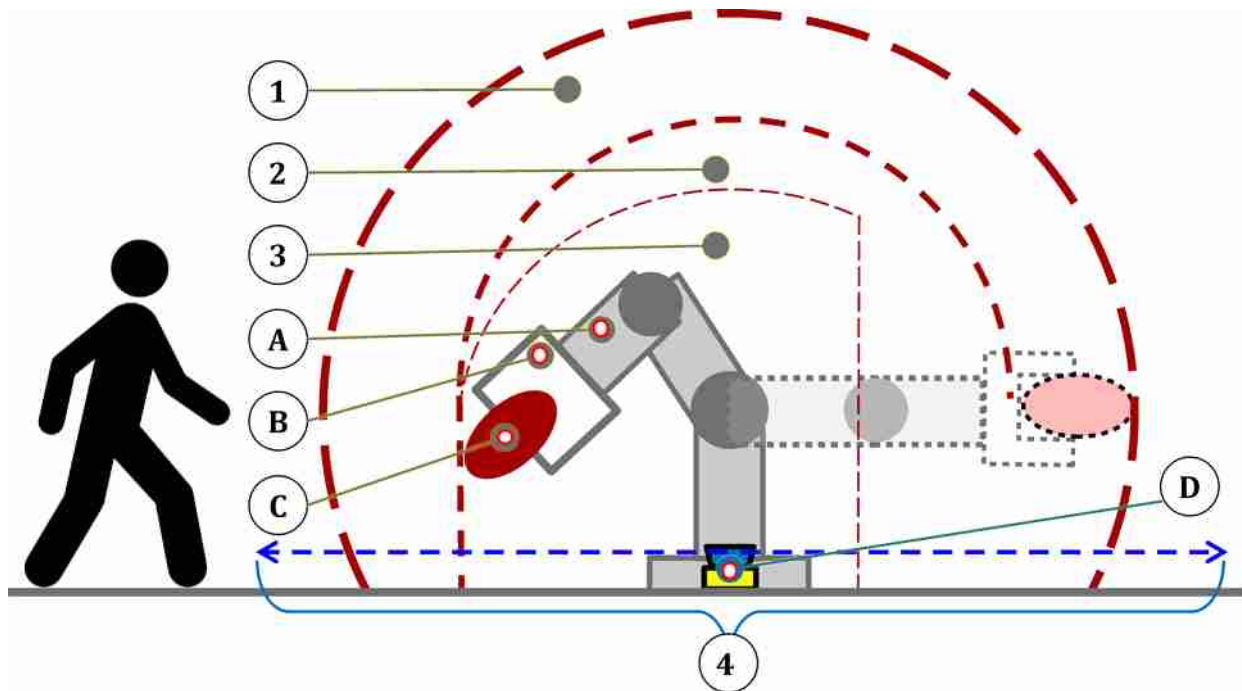
Nr.	Art oder Gruppe	Gefährdungsbeispiele		Entsprechende Anforderung	
		Ursprung	Mögliche Auswirkungen		
7	Kombinationen von Gefährdungen	<ul style="list-style-type: none"> — unerwartete Bewegungen des Roboters — unvorhersehbares Verhalten von Bedienelementen aufgrund elektromagnetischer Störungen (EMI) oder von Spannungsschößen in der Energiequelle — unerwarteter Start des Roboters — Fehldeutung der Bewegung mehrerer Roboter während gleichzeitiger Bewegung — der ausgegebene Stoppbefehl stoppt den Roboter in einem unvollständigen Zyklus — Geschwindigkeit des Roboters kann einstellbar sein, was dazu führt, dass verschiedene Aufgaben unter verschiedenen Geschwindigkeiten ausgeführt werden können — Fehlfunktion des Bedienelements mit resultierendem Lösen der Bremse des Manipulators, Lösen der Bremse bewirkt, dass sich die 	<ul style="list-style-type: none"> — Wiederherstellung der Energieversorgung nach einer Unterbrechung — äußere Einflüsse auf die Energieversorgung — unerwarteter Anlauf 	4	Risikobewertung
				5.1	Konstruktion von Robotern
				5.2	Robotersteuerungen
				5.3	Sicherheitsfunktionen
				5.4	Stoppfunktionen des Roboters (altern.: Funktionen zum Stillsetzen des Roboters)
				5.5	Sonstige Sicherheitsfunktionen
				5.2.9	Mittel zur Steuerung des Roboters
				5.6	Simultane Bewegung
				5.7	Begrenzung der Roboterbewegung
				5.8	Bewegung ohne Antriebsenergie

Nr.	Art oder Gruppe	Gefährdungsbeispiele		Entsprechende Anforderung	
		Ursprung	Mögliche Auswirkungen		
		<p>Robotererelemente unter Restkräften (Trägheit, Schwerkraft, Feder/ Energiespeichermittel) unerwartet bewegen</p> <ul style="list-style-type: none"> — unerwartete Bewegungen des Roboters oder der Hilfsachse — Ausfall einer Sicherheitsfunktion im Hinblick auf ihre erwartete Ausführung — lose ungesicherte Schläuche und Bauteile sondern sich ab oder schlagen umher — unsachgemäßer Einbau von Bauteilen verursacht unerwartete Bewegung/Gefährdung — rotierende Teile unter Hochgeschwindigkeit brechen oder lösen sich aus den Rückhalteeinrichtungen — Überlastung des Manipulators oder zugehöriger Ausrüstung führt zum Bruch oder Verformung mechanischer Bauteile — unverankerter Roboter (durch Schwerkraft in Position gehalten) versagt oder stürzt um — Handhabungsspannen während der Inbetriebnahme oder der Außerbetriebnahme — Teile können herabfallen, falls nicht ordnungsgemäß befestigt oder unsachgemäß eingebaut 		5.10	Fähigkeit für kollaborierende Anwendungen

Anhang B (informativ)

Darstellungen der Räume

Bild B.1 zeigt eine Übersicht aller verschiedenen „Räume“ in Zusammenhang mit einer Roboteranwendung. Dieses Bild zeigt Konzepte ohne Abmessungen und ist nicht maßstabsgetreu.



Legende

- | | | | |
|---|----------------------|---|-------------------|
| 1 | maximaler Raum | A | Manipulator |
| 2 | eingeschränkter Raum | B | Endeffektor |
| 3 | Arbeitsraum | C | Werkstück |
| 4 | geschützter Raum | D | Schutzeinrichtung |

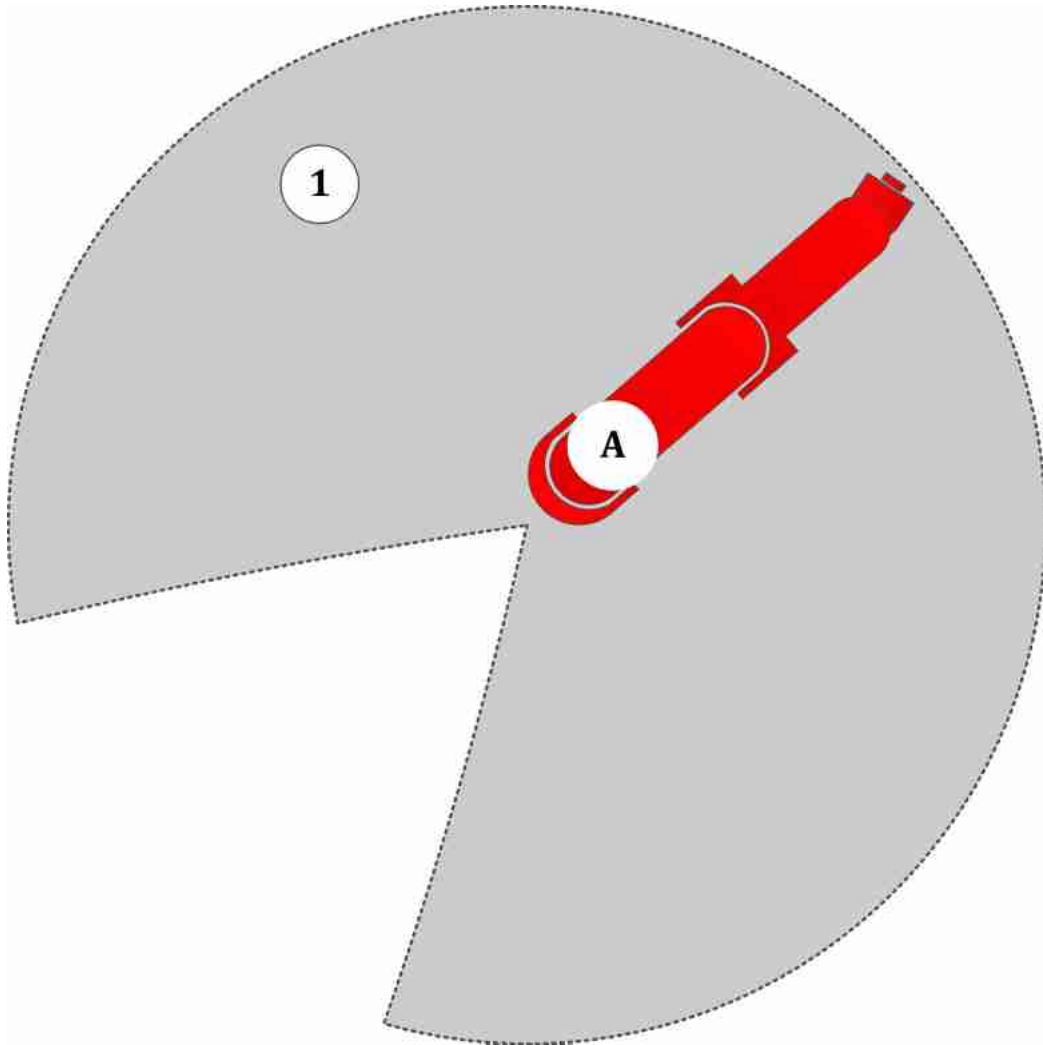
ANMERKUNG 1 Der maximale Raum ist größer oder gleich dem eingeschränkten Raum und der eingeschränkte Raum ist größer oder gleich dem Arbeitsraum.

ANMERKUNG 2 Dieses Bild zeigt Konzepte ohne Abmessungen und ist nicht maßstabsgetreu. Die Grenze des geschützten Raums kann näher an den eingeschränkten Raum heranreichen.

ANMERKUNG 3 Die Schutzeinrichtung (D) ist ein Sicherheitslaserscanner. Dieser ist nur zur Veranschaulichung dargestellt.

Bild B.1 — Räume

Bild B.2 zeigt die mit einem Roboter verbundenen Räume, wenn kein Endeffektor und kein Werkstück vorgesehen ist. Es gibt keinen eingeschränkten Raum und keinen Arbeitsraum, bis der Roboter in eine Anwendung integriert ist.

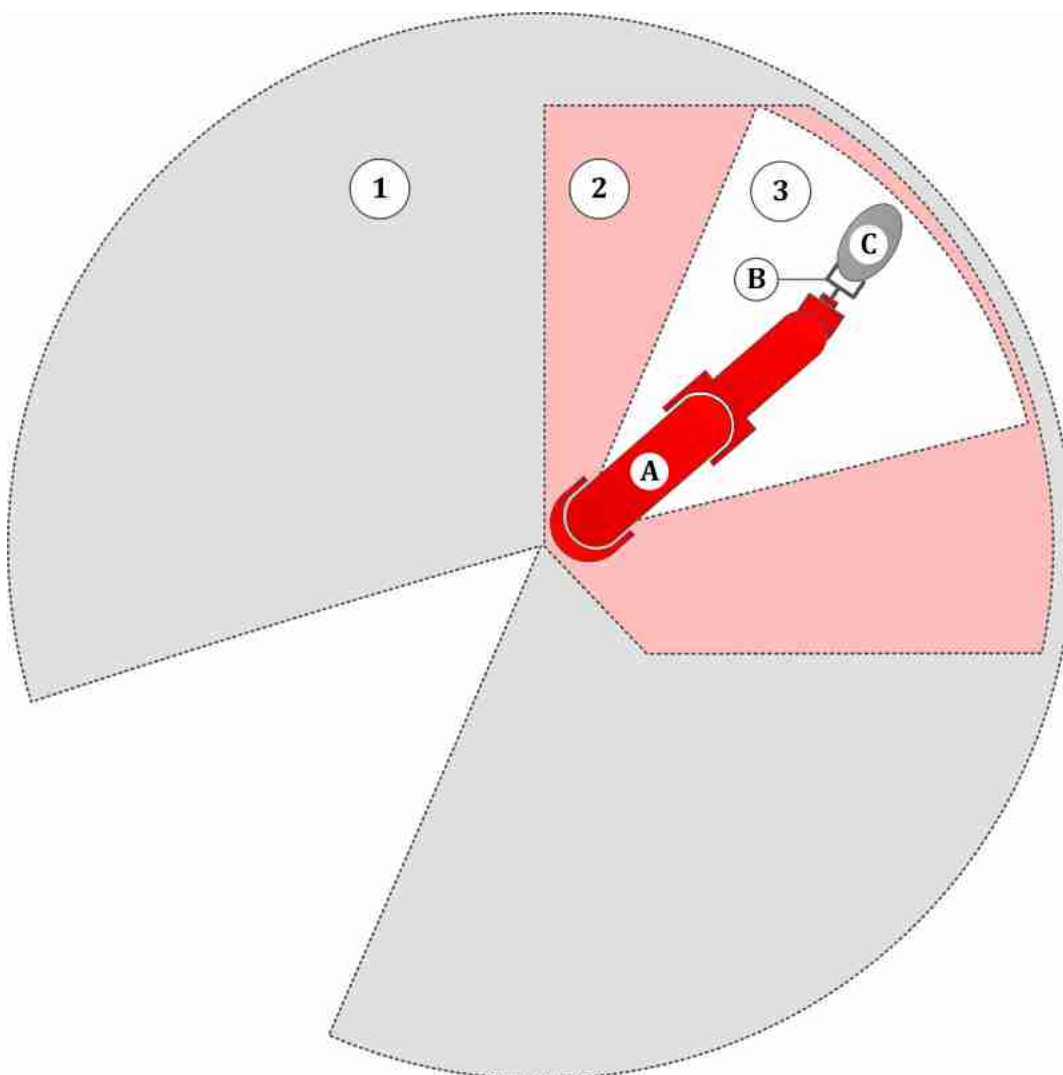


Legende

1 maximaler Raum A Manipulator

Bild B.2 — Maximaler Raum eines Roboters (ohne Endeffektor und ohne Werkstück)

Bild B.3 zeigt die mit einem Robotersystem (Roboter und Endeffektor) verbundenen Räume sowie ein Werkstück ohne Bezugnahme auf eine spezifische Anwendung.



Legende

- | | | | |
|---|----------------------|---|-------------|
| 1 | maximaler Raum | A | Manipulator |
| 2 | eingeschränkter Raum | B | Endeffektor |
| 3 | Arbeitsraum | C | Werkstück |

Bild B.3 — Räume eines Robotersystems (mit einem Endeffektor) und einem Werkstück

Anhang C (normativ)

Sicherheitsfunktionen

Tabelle C.1 enthält die Robotersicherheitsfunktionen, die in Übereinstimmung mit 5.3.3 sein müssen, mit Ausnahme der Sicherheitsfunktionen für Roboter der Klasse I (5.1.17), die mindestens PLb oder SIL 1 sein können. Tabelle C.2 enthält die Sicherheitsfunktionen, die mit unterschiedlicher funktionaler Sicherheitsleistung bereitgestellt werden dürfen.

ANMERKUNG Die Roboteranwendung kann Sicherheitsfunktion(en) erfordern, die PLe (Kat 3 oder Kat 4) oder SIL 3 (HFT 1) erfüllen.

Tabelle C.1 — Robotersicherheitsfunktionen

Ab-schnitt	Verbindlich ODER bedingt ODER optional ^a	Name der Sicherheits- funktion	Mögliches auslösendes Ereignis	Vorgesehenes Ergebnis
5.1.8	Optional	Positions- haltung	Die Roboterenergie wird getrennt, während der Roboter gestoppt wird	Der Roboter bewegt sich nicht
5.2.4	Bedingt, wenn Verriegelungs- funktionen vorgesehen sind	Verriegelung	Öffnen oder Entfernen der Schutzeinrichtung [z. B. Abdeckung]	Alle gefährdenden Roboterfunktionen unterbrechen
5.2.8.2.1	Vor- geschrieben	Manuelle Betriebsart, allgemein	Änderung der Betriebsart zur manuellen Betriebsart	Der Automatikbetrieb wird verhindert und Zustimmungseinrichtung auf der Bedienstation aktiviert
5.2.8.2.2	Vor- geschrieben für Roboter der Klasse II	manuelle Betriebsart, reduzierte Geschwin- digkeit	Manuelle Betriebsart, reduzierte Geschwindigkeit ausgewählt	Reduzierte Geschwindigkeit (5.5.2.1) aktiviert
5.2.8.2.3	Bedingt erforderlich für manuelle Betriebsart mit hoher Geschwin- digkeit	manuelle Betriebsart, hohe Geschwin- digkeit	Manuelle Betriebsart, hohe Geschwindigkeit ausgewählt	Überwachte Geschwindigkeit (5.5.2.2) aktiviert
5.2.8.3	Bedingt erforderlich, wenn eine Änderung der aktiven Risiko- minderung mit Aktivierung der Betriebsart erfolgt	Aktivierung der Betriebsart	Aktivierung der ausgewählten Betriebsart	Sicherheitshalt (5.4.3) Aktivierung der geeigneten Sicherheitsfunktionen für jede Betriebsart. Separate Aktion zur Wiederaufnahme des Betriebs (manuell oder automatisch) erforderlich

Ab-schnitt	Verbindlich ODER bedingt ODER optional ^a	Name der Sicherheits- funktion	Mögliches auslösendes Ereignis	Vorgesehenes Ergebnis
5.4.3	Vor- geschrieben	Sicherheitshalt	Interne Sicherheitsfunktion wird ausgelöst ODER Auslösen einer Schutzeinrichtung, die an den Eingang des Sicherheitshalts angeschlossen ist	Beenden aller gefährdenden Roboterfunktionen, deren Steuerung durch eine Schutzeinrichtung vorgesehen ist
5.4.3.3	Bedingt erforderlich für — HGC (5.10.2) ohne PFL — PFL durch Sicher- heits- funktionen (5.10.4) — simultane Bewegung (5.6)	überwachter Stillstand	Auslösung eines Stopps der Kategorie 2 durch eine Schutzeinrichtung oder durch einen manuellen Befehl, das Programm oder eine Sicherheitsfunktion	Nach dem Anhalten des Roboters wird die Position überwacht, um ihn im Stillstand zu halten und Der Ausgang des überwachten Stillstands zeigt an, dass der Roboterstillstand überwacht wird
5.5.1.1	Vor- geschrieben	Anlaufsperr	Energieversorgung ist eingeschaltet ODER Nach einer Unterbrechung und Wiederherstellung der Stromversorgung	Keine Bewegung, bis ein manuelles Zurücksetzen erfolgt
5.5.1.2	Vor- geschrieben	Wiederanlauf- sperr	Wechsel der Betriebsart (5.5.2.2) ODER Nach einem Sicherheitshalt während der manuellen Betriebsart	Keine Bewegung, bis ein manuelles Zurücksetzen erfolgt
5.5.2.1	Vor- geschrieben	reduzierte Geschwin- digkeit	Auswahl der manuellen Betriebsart	Sicherheitshalt (5.4.3), wenn die Geschwindigkeitsgrenze überschritten wird Verhindern, dass der Roboter den Grenzwert überschreitet, indem der Roboter vor dem Überschreiten des Grenzwerts verlangsamt oder angehalten (Sicherheitshalt) wird
5.5.2.2	Bedingt erforderlich für — HGC (5.10.2) — PFL durch Sicher- heits- funktionen (5.10.4) — Siehe auch Positions- haltung (5.1.8)	überwachte Geschwin- digkeit	Der Roboter überschreitet den konfigurierten Grenzwert. Kontinuierliche Überwachung bis zu dem Punkt, an dem ein Stopp ausgelöst werden muss, damit der konfigurierte Grenzwert nicht überschritten wird	Sicherheitshalt (5.4.3), wenn die Geschwindigkeitsgrenze überschritten wird Verhindern, dass der Roboter den Grenzwert überschreitet, indem der Roboter vor dem Überschreiten des Grenzwerts verlangsamt oder angehalten (Sicherheitshalt) wird

Ab-schnitt	Verbindlich ODER bedingt ODER optional ^a	Name der Sicherheits- funktion	Mögliches auslösendes Ereignis	Vorgesehenes Ergebnis
5.5.3	Vor- geschrieben	Zustimmungs- einrichtungs- funktion	Loslassen oder Herunterdrücken der 3P-Zustimmungseinrichtung	Anhalten und Verhindern der Roboterbewegung und des Betriebs anderer Prozesse, deren Gefährdungen durch den Roboter gesteuert werden
5.6	Bedingt erforderlich für die gleichzeitige Steuerung	Beschränkung der Roboter- auswahl	Die ausgewählten Roboter müssen der gleichzeitigen Steuerung unterliegen	Nur Roboter in derselben Betriebsart können für die simultane Bewegung ausgewählt werden UND Jeder nicht ausgewählte Roboter muss sich in einem überwachten Stillstand befinden
5.7.3	Bedingt erforderlich, wenn dies das Mittel zur Achs- begrenzung ist	Elektro- mechanische Achs- begrenzung	Überschreiten des Grenzwerts	Sicherheitshalt (5.4.3)
			Erreichen des Punkts, an dem ein Stopp ausgelöst werden muss, damit der Grenzwert nicht überschritten wird	Sicherheitshalt (5.4.3)
5.7.4	Bedingt erforderlich für — HGC (5.10.2) — PFL (5.10.4) durch Sicher- heits- funktionen	Software zur Achs- und Raum- begrenzung	Überschreiten des Grenzwerts.	Sicherheitshalt (5.4.3)
			Grenzwert(e) nicht überschreiten Erreichen des Punktes, an dem ein Stopp ausgelöst werden muss, damit der Grenzwert nicht überschritten wird	Verhindern durch Verlangsamen oder Sicherheitshalt (5.4.3), dass der Roboter den eingestellten Grenzwert überschreitet
5.7.5	Optional	dynamische Begrenzung	Überschreiten des Grenzwerts.	Sicherheitshalt (5.4.3)
			Kein Überschreiten des Grenzwerts/der Grenzwerte Erreichen des Punktes, an dem ein Stopp ausgelöst werden muss, damit der Grenzwert nicht überschritten wird	Verhindern durch Verlangsamen oder Sicherheitshalt (5.4.3), dass der Roboter den eingestellten Grenzwert überschreitet
5.10.2	Bedingt erforderlich für Roboter mit HGC	Steuerung mit selbsttätiger Rückstellung	Freisetzen der Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung	Sicherheitshalt (5.4.3)
5.10.3	Bedingt erforderlich für Roboter mit SSM- Sicherheits- funktionen/ -kapazitäten	Geschwindig- keits- und Trennungs- überwachung (SSM)	Die Position der Person zu dem Roboter muss so sein, dass der Roboter nicht anhalten kann, bevor er mit der Person in Kontakt kommt	Änderung der Robotergeschwindigkeit (z. B. Reduzierung auf null)
				Änderung der Stellung(en) und/oder Bewegungsbahn des Roboters

Ab-schnitt	Verbindlich ODER bedingt ODER optional ^a	Name der Sicherheits-funktion	Mögliches auslösendes Ereignis	Vorgesehenes Ergebnis
5.10.4	Bedingt erforderlich für alle PFL-Roboter durch Sicherheitsfunkt ionen	überwachte Energie- und Kraft- begrenzung	Überschreitet den/die eingestellten Grenzwert(e)	Eines oder mehrere der Folgenden: — Sicherheitshalt (5.4.3) — Anhalten des Roboters, anschließend Führen in eine Position, in der der Grenzwert nicht überschritten wird. Danach wird ein Sicherheitshalt (5.4.3) oder ein überwachter Stillstand (5.4.3.3) ausgelöst — Anhalten des Roboters, Halten der Position (überwachter Stillstand). Es ist zulässig, dass der Roboter automatisch einen kraft- und drehmomentfreien Zustand einnimmt
			Überwachen, um ein Überschreiten des Grenzwerts/der Grenzwerte zu verhindern	
5.1.8 5.4.3.3 An- hang I.7.1	Optional	überwachte Position	Schutzeinrichtung, manuelle Steuerungseinrichtung, Sicherheitsfunktion	Alle der folgenden Punkte: 1) Der Roboter fährt innerhalb der vorgegebenen Zeit in die konfigurierte Position; 2) Überwachter Stillstand (5.4.3.3); 3) Der Roboter verlässt die konfigurierte Position nicht. Optional, ein Sicherheitsausgang ändert den Zustand.
			Der Roboter befindet sich in einem Stoppzustand der Kategorie 2 (überwachter Stillstand) an der konfigurierten Position	Der Roboter verlässt die konfigurierte Position nicht
7.5.5 Anhang H Anhang I I.7.2	Optional	Begrenzung der Anhaltezeit	Überschreiten des Grenzwerts.	Sicherheitshalt (5.4.3)
			Erreichen des Punkts, an dem ein Stopp ausgelöst werden muss, damit der Grenzwert nicht überschritten wird	Verhindern durch Verlangsamen des Roboters oder Sicherheitshalt (5.4.3), dass der Roboter den eingestellten Grenzwert überschreitet
7.5.5 Anhang H Anhang I I.7.2	Optional	Begrenzung des Anhaltewegs	Überschreiten des Grenzwerts.	Sicherheitshalt (5.4.3)
			Erreichen des Punkts, an dem ein Stopp ausgelöst werden muss, damit der Grenzwert nicht überschritten wird	Verhindern durch Verlangsamen des Roboters oder Sicherheitshalt (5.4.3), dass der Roboter den eingestellten Grenzwert überschreitet
^a Verbindlich: muss vorgesehen werden. Bedingt: muss vorgesehen werden, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt werden in Übereinstimmung mit dem referenzierten Abschnitt. Optional: nicht erforderlich und kann optional vorgesehen werden.				

Tabelle C.2 gibt die Anforderungen an die funktionale Sicherheitsleistung an, die von den Mindestanforderungen aus Tabelle C.1 und 5.3.3 abweichen können.

Tabelle C.2 — Robotersicherheitsfunktionen

Ab-schnitt	Verbindlich ODER bedingt ODER optional ^a	Name der Sicherheits- funktion	Mögliches auslösendes Ereignis	Vorgesehenes Ergebnis	Minimale Funktions- sicherheitsleistung nach Roboterklasse (5.1.17)	
					Klasse I	Klasse II
5.2.7	Optional	Ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation	Auswahl der aktiven Steuerungsstelle	Der Roboter darf nur auf die aktive Steuerungsstelle ansprechen	PLa	PLa
5.2.7.3	Optional	externe Steuerung aktivieren	Anforderung an externe Steuerung des Roboters	Lokale Handlung erforderlich, um externe Steuerung zu ermöglichen	PLa	PLa
5.2.8.2.3 g)	Bedingt Erforderlich, wenn die Betriebsart mit hoher Geschwin- digkeit vorgesehen ist	Manuelle Betriebsart, hohe Geschwindig- keit mit Zeit- begrenzung	Überschreitung von 5 Minuten nach der Freigabe der Zustimmungs- einrichtung	Separate Handlung erforderlich, um die zuvor gewählte höhere Geschwindigkeit wieder aufzunehmen	PLa	PLa
5.4.2	Vor- geschrieben	Not-Halt	Manuelle Betätigung der Not-Halt-Einrichtung	Alle gefährdenden Roboterfunktionen unterbrechen	PLc SIL 1	PLc SIL 1
^a Verbindlich: muss vorgesehen werden. Bedingt: muss vorgesehen werden, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt werden in Übereinstimmung mit dem referenzierten Abschnitt. Optional: nicht erforderlich und kann optional vorgesehen werden.						

Anhang D (normativ)

Erforderliche Informationen zu Sicherheitsfunktionen

Die Informationen zu Sicherheitsfunktionen müssen in Übereinstimmung mit 7.5.11 bereitgestellt werden. Tabelle D.1 ist ein Beispielformat, das zur Darstellung der Informationen für die jeweilige Sicherheitsfunktion verwendet werden kann. Es dürfen weitere Informationen angegeben werden.

Tabelle D.1 — Beispiel für Informationen zur Sicherheitsfunktion

Abschnitt # sofern zutreffend	In Prüfsumme enthalten	Name der Sicherheitsfunktion	Aktiviert in Betriebsart(en)	Auslösen des Ereignis	Wirkungsbereich	Vorgesehenes Ergebnis	Stoppkategorie und Beschreibung sofern zutreffend	Vorgesehenes Ergebnis <i>Reaktion auf erkannten Fehler in der Sicherheitsfunktion</i>	Rücksetzung erforderlich	Annahmen und Anwendungsbedingungen	Diagnosedeckungsgrad	Funktionale Sicherheitsleistung <u>Siehe ANMERKUNG 1</u>		PFH _D	Ansprechzeit(en), Testrate
							<i>Siehe ANMERKUNG 2</i>	<i>Siehe ANMERKUNG 3</i>	<i>Siehe ANMERKUNG 4</i>	<i>Siehe ANMERKUNG 5</i>		PL und Kategorie	SIL und HFT		<i>Siehe ANMERKUNG 6</i>
Beispiel: 5.4.3.1	Ja	Sicherheitshalt oder „geschützter Stopp“	konfigurierbar: ALLE Betriebsarten oder nur automatische Betriebsart	interne Sicherheitsfunktion oder externe Schutzeinrichtung	Roboter	Überwachter Stillstand	Stoppkategorie 2	Roboter hält an. Während des Anhaltens wird die Bewegungsbahn beibehalten. Beim Anhalten erfolgt ein überwachter Stillstand.	Konfigurierbar: automatisches oder manuelles Zurücksetzen Zurücksetzen am Programmierhandgerät oder durch Verwendung eines externen Eingangs	1) externe Schutzeinrichtung erfüllt die gleichen Anforderungen an die Funktionssicherheit 4) duale Eingänge	mittel	PLd, Kat 3	----	1.20E-07 ohne externe Schutzeinrichtung	Die Zeit bis zum Anhalten hängt von der Einstellung der Sicherheitsfunktion für die Anhaltezeit ab

ANMERKUNGEN 1 In Übereinstimmung entweder mit ISO 13849-1 oder IEC 62061
2 Stoppkategorie in Übereinstimmung mit IEC 60204-1. Falls zutreffend, wie in IEC 61850-5-2 beschrieben.
3 Zum Beispiel, Neustart verhindern. Siehe 5.3.4 zur Ausfall- oder Fehlererkennung.
4 Beispiel: Wo ist das Zurücksetzen? Wird das Zurücksetzen manuell oder automatisch durchgeführt.
5 Annahmen: N_{op}, gemeinsame Ausgänge, Fehlerausschluss und daraus resultierende Installationsanforderungen, die einen Fehler verringern ...
Nutzungsbedingungen: Konfigurationsparameter, maximale Aktivierungshäufigkeit, Diagnosetests usw.
6 Beschreibung der anwendbaren Reaktionszeit(en), Testrate(n) oder beidem.

Anhang E (normativ)

Prüfmethodik für Roboter der Klasse I – maximale Kraft je Manipulator (F_{MPM})

E.1 Allgemeines

Damit ein bestimmtes Robotermodell oder eine bestimmte Roboterserie der Klasse I zugeordnet werden kann, muss die in diesem Anhang beschriebene Methodik angewendet werden. Die Bestimmung der Roboterklasse I in Übereinstimmung mit 5.1.17 basiert auf F_{MPM} . F_{MPM} muss gemessen werden, um die maximalen vertikalen (nach unten gerichteten) und horizontalen (seitwärts gerichteten) Klemmkräfte zu bestimmen.

Wenn bei anderen Bewegungen größere Kräfte auftreten können, müssen die Bewegungen beschrieben und die daraus resultierenden Kräfte (F_{MPM}) angegeben werden.

In Übereinstimmung mit 5.1.17, Tabelle 1 wird F_{MPM} über eine Mindestkontaktfläche von 0,5 cm² angewendet. Dies muss in der Benutzerinformation dokumentiert werden.

Roboter dürfen als Klasse II eingestuft werden, ohne dass die in diesem Anhang genannten Prüfungen durchgeführt werden. Wenn dies der Fall ist, muss der Roboter die Anforderungen eines Roboters der Klasse II erfüllen, einschließlich der funktionalen Sicherheitsleistung in Übereinstimmung mit 5.3.3.

Die Kraftmesseinrichtung muss kalibriert werden.

E.2 Prüfmethodik für Roboter der Klasse I

Die Erfassung der Messungen muss wie folgt durchgeführt werden, um die Auswirkungen von Trägheits- und Stoßbedingungen zu minimieren:

- 1) Die Kraftmessvorrichtung muss mit einem elastischen Element mit einer daraus resultierenden Federkonstante $k = 75 \text{ N/mm}$ auf der Messoberfläche ausgestattet sein.
- 2) Bewegungsparameter:
 - a) für Prüfungen der vertikalen Bewegung:
 - die Kontaktfläche des Messgeräts ist im „Mittelpunkt der Reichweite“ zu positionieren, wie in C in Bild E.1, Bild E.2 oder Bild E.3 dargestellt;
 - die Mitte der mechanischen Schnittstellenplatte ist über der Mitte der Fläche der Kraftmesseinrichtung auszurichten;
 - der Roboter ist so zu positionieren, dass sich die mechanische Schnittstelle 1 mm über der Mitte der Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung befindet;
 - die Roboterbewegung ist vertikal nach unten auszurichten und dabei ist die Höchstgeschwindigkeit und Beschleunigungsfähigkeiten zu nutzen;
 - die vom Kraftmesseinrichtung gemessene maximale Kraft ist aufzeichnen.

- b) für Prüfungen der horizontalen Bewegung:
- die Kontaktfläche der Messeinrichtung ist wie in C in Bild E.4, Bild E.5 oder E.6 dargestellt zu positionieren.
 - die Mitte der Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung ist auf die Mitte der mechanischen Schnittstelle auszurichten;
 - der Roboter ist so zu positionieren, dass die mechanische Schnittstelle einen Abstand von 1 mm zur Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung hat;
 - die horizontale Roboterbewegung ist unter Verwendung der Höchstgeschwindigkeit und Beschleunigungsfähigkeiten einzuleiten;
 - die von der Kraftmesseinrichtung gemessene maximale Kraft ist aufzuzeichnen.
- 3) Mindestens drei (3) Prüfungen in vertikaler und horizontaler Richtung sind durchzuführen, bis die erzielten Ergebnisse nicht mehr als 10 % Abweichung zwischen den Prüfwerten aufweisen.
- 4) Die gemessenen Werte sind wie in Tabelle E.1 dargestellt aufzuzeichnen. Der horizontale und vertikale F_{MPM} muss der Durchschnitt der jeweiligen Messwerte sein.

Tabelle E.1 — F_{MPM} Prüfergebnisse

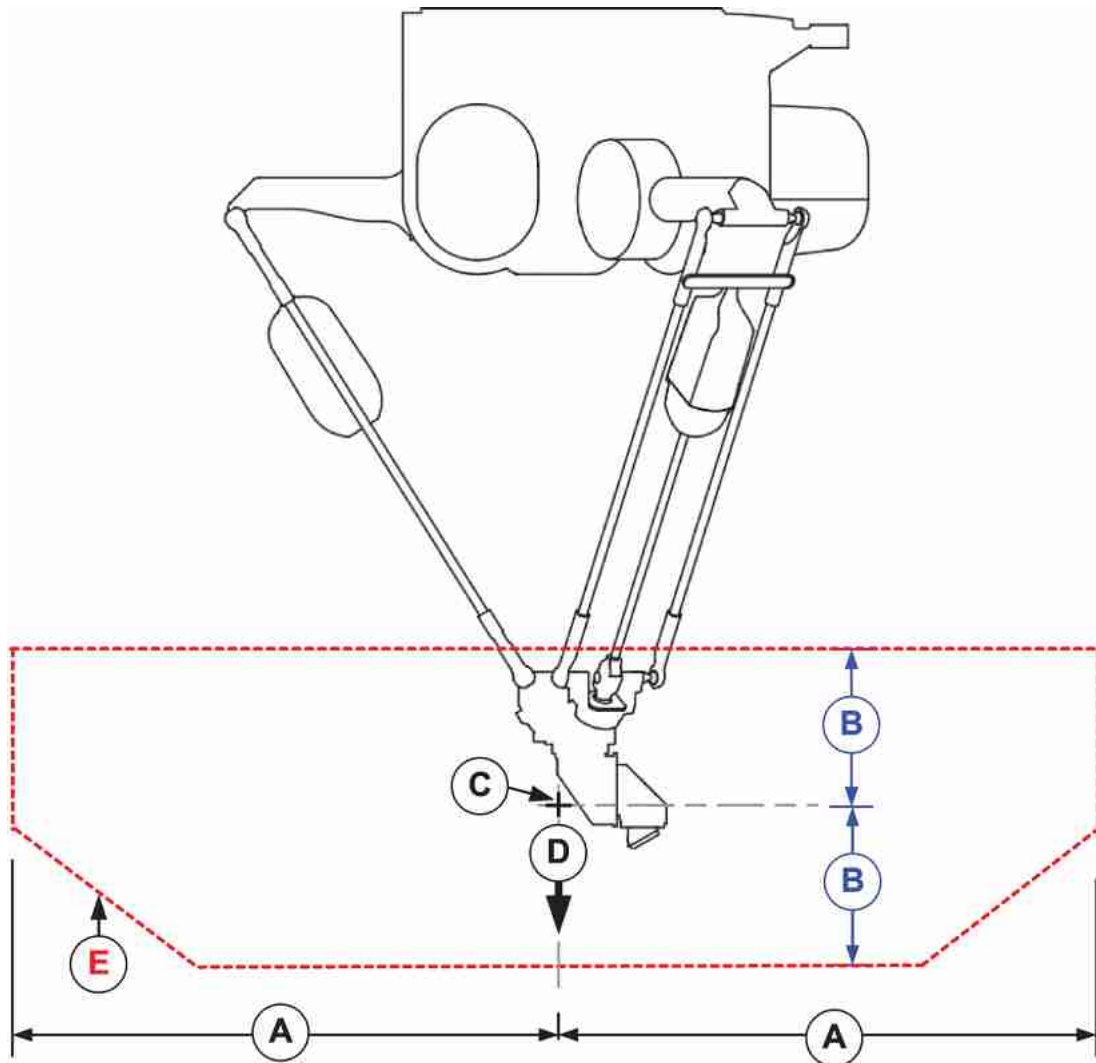
Prüfung	A-Maße	B-Maße	F_{MPM} Durchschnitt
Vertikal			
Horizontal			
Sonstige (Beschreibung)			
...			



Externe elektronische Auslegestelle-Beuth-Bayerisches Hochschul-Konsortium HS München - Bibliothek-KdNr. 4033149-ID.SAHUYA9SU21YC1KINLSM4ILL.1-2021-11-29 16:01:12

- Externe elektronische Auslegestelle-Beuth-Bayerisches Hochschul-Konsortium HS München - Bibliothek-KdNr. 4033149-ID.SAHUYA9SU21YC1KINLSM4ILL.1-2021-11-29 16:01:12

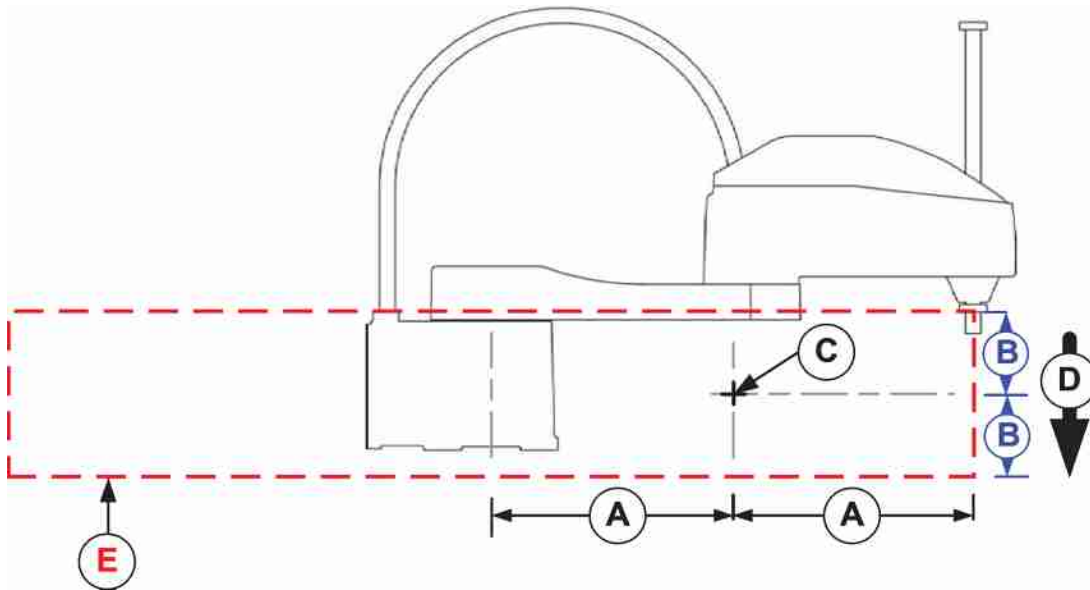
Externe elektronische Auslegestelle-Beuth-Bayerisches Hochschul-Konsortium HS München - Bibliothek-KdNr. 4033149-ID.SAHUYA9SU21YC1KINLSM4ILL.1-2021-11-29 16:01:12



Legende

- A** Mittelpunkt des maximalen Raums, im „X“-Maß (A-Maße sind gleich)
- B** Mittelpunkt des maximalen Raums, im „Z“-Maß (B-Maße sind gleich)
- C** Position der Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung
- D** Bewegungsrichtung (nach unten) zur Kraftmesseinrichtung hin
- E** Grenze des maximalen Raums, Seitenansicht

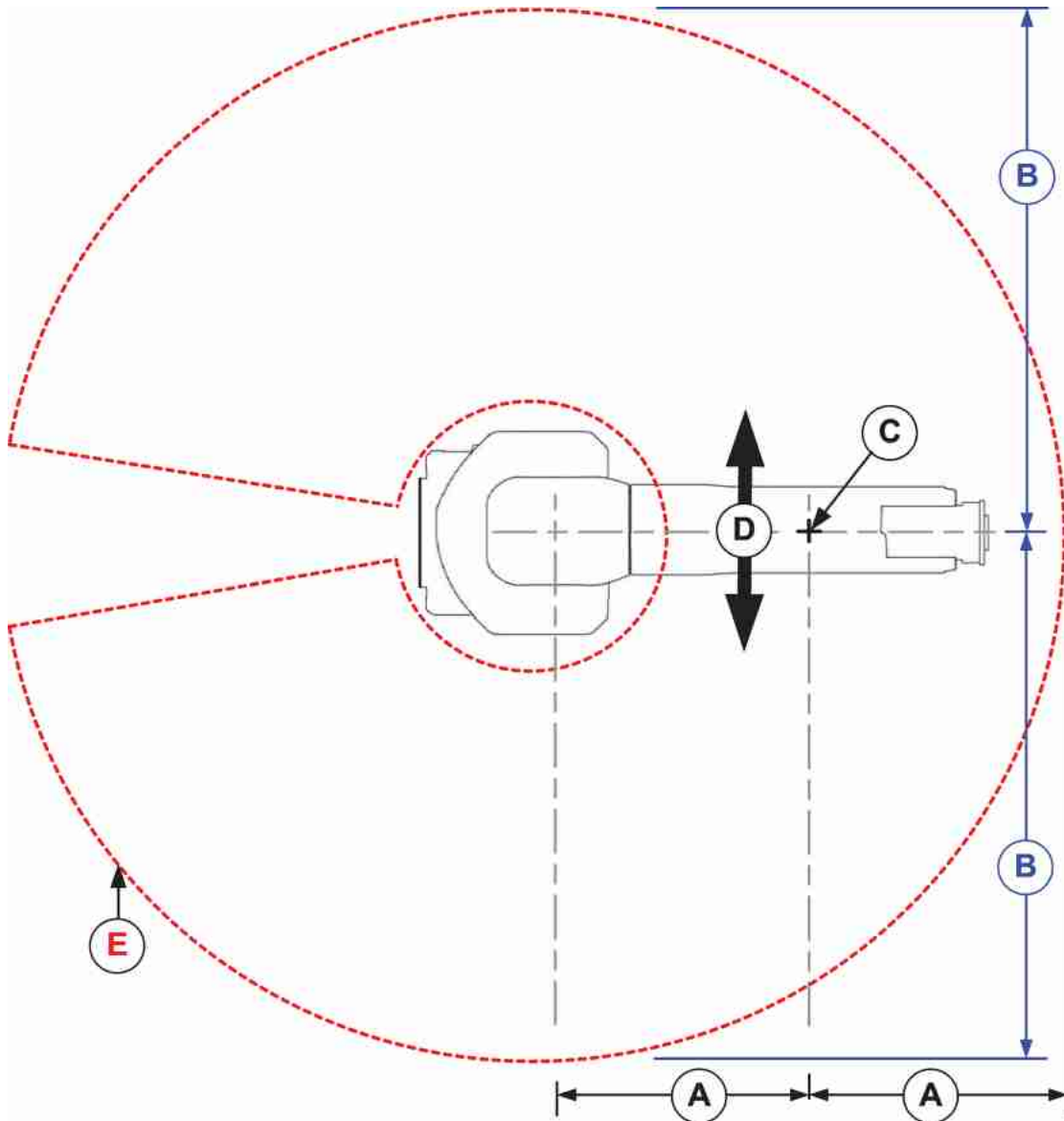
Bild E.2 — Beispiel für eine vertikale (nach unten gerichtete) Messposition für einen Delta-Roboter



Legende

- A** Maß des maximalen Raums im „X“-Maß, gemessen von der Mitte der Robotersockels bis zur Grenze des maximalen Raums (A-Maße sind gleich)
- B** Maß des maximalen Raums im „Z“-Maß, gemessen von den Grenzen des maximalen Raums (B-Maße sind gleich)
- C** Position der Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung (in der Mitte der A- und B-Maße)
- D** Bewegungsrichtung (nach unten) zur Kraftmesseinrichtung hin
- E** Grenze des maximalen Raums, Seitenansicht

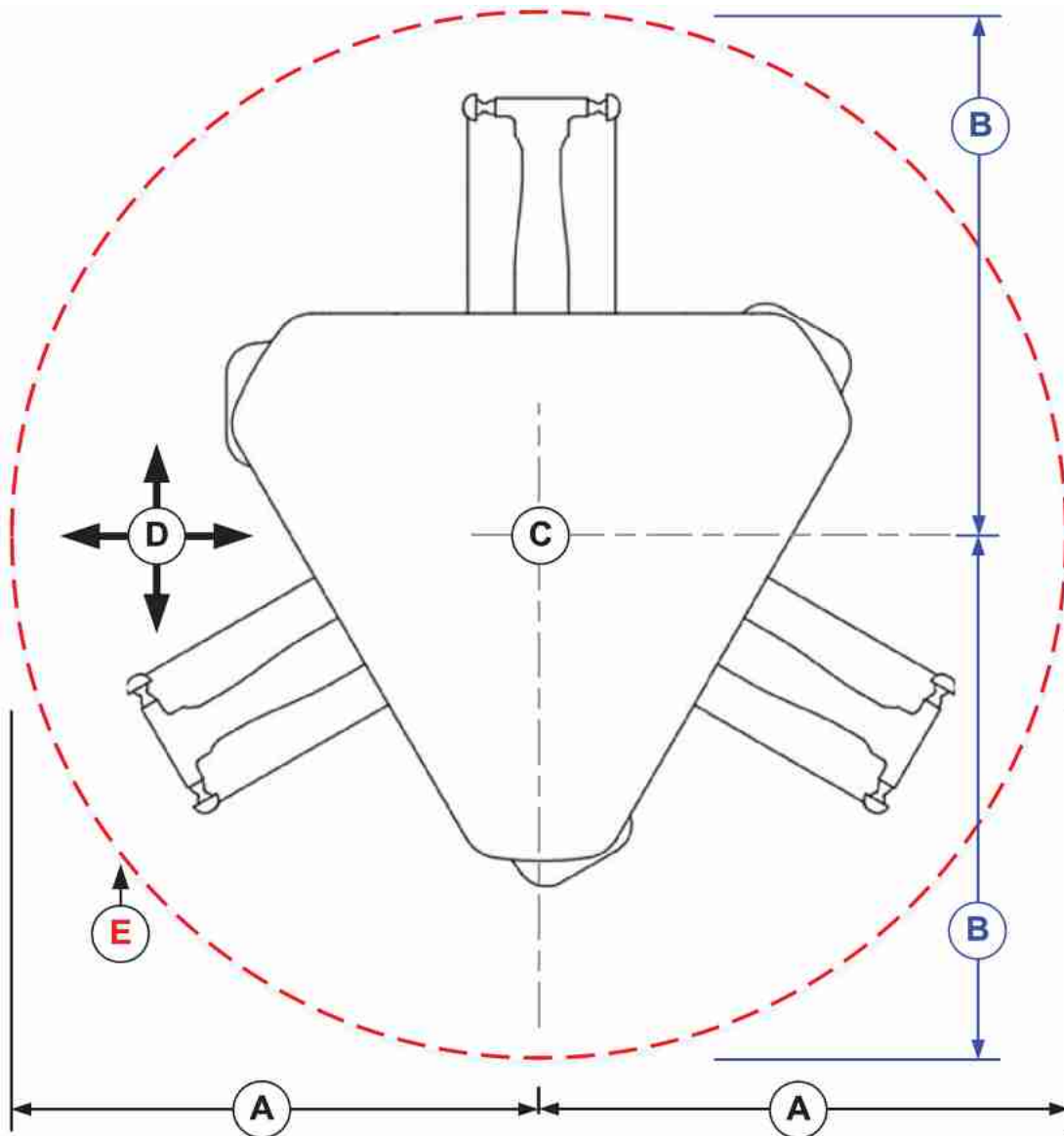
Bild E.3 — Beispiel für eine vertikale (nach unten gerichtete) Messposition für einen SCARA-Roboter



Legende

- A** Maß des maximalen Raums im „X“-Maß, gemessen von der Mitte der Robotersockels bis zur Grenze des maximalen Raums (A-Maße sind gleich)
- B** Maß des maximalen Raums im „Z“-Maß, gemessen von den Grenzen des maximalen Raums (B-Maße sind gleich)
- C** Position der Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung
- D** Bewegungsrichtung (seitlich) zur Kraftmesseinrichtung hin
- E** Grenze des maximalen Raums, Seitenansicht

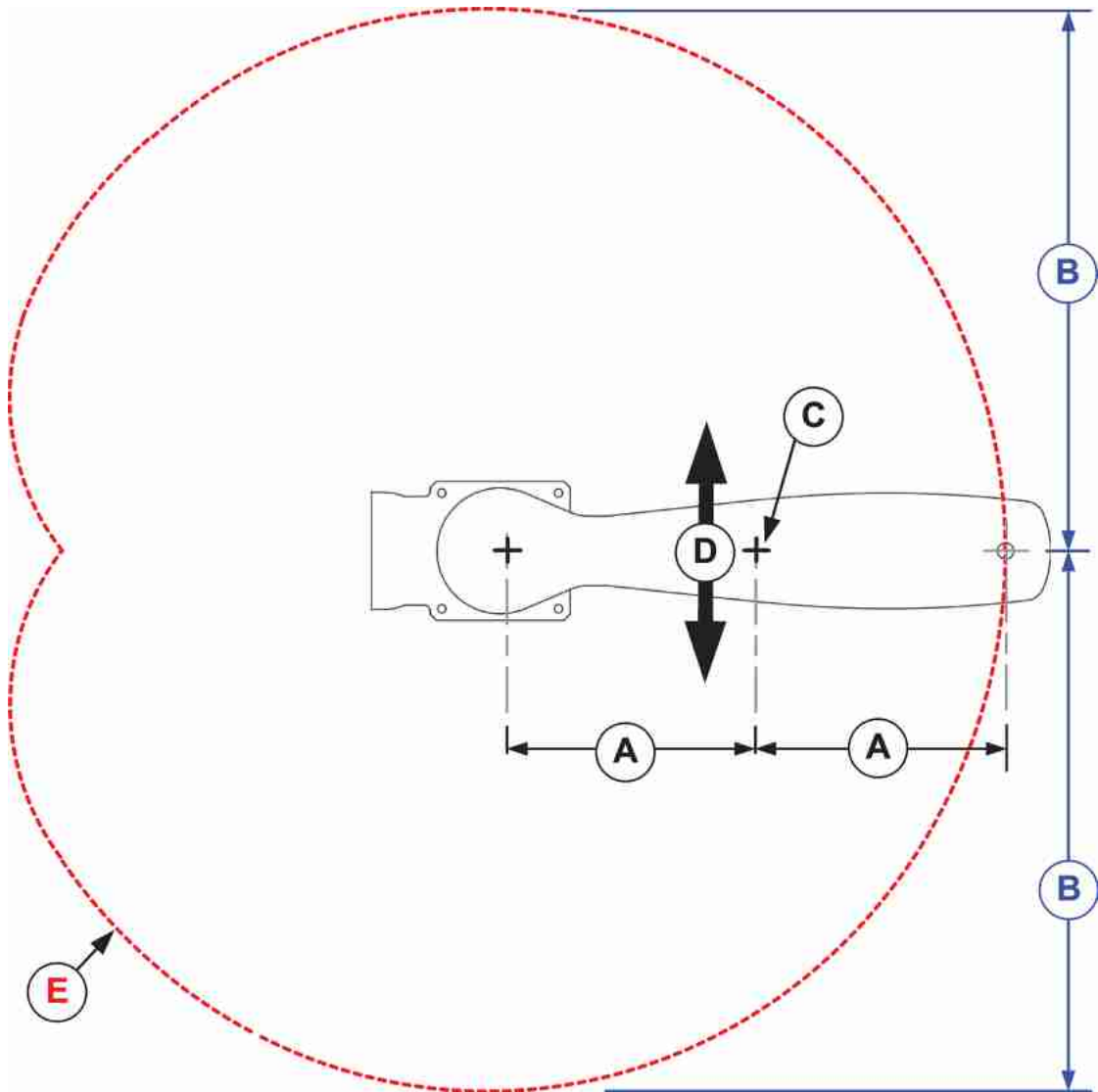
Bild E.4 — Beispiel für eine horizontale (seitliche) Messposition für einen 6-achsigen Gelenkroboter



Legende

- A** Maß des maximalen Raums im „X“-Maß, gemessen von der Mitte der Robotersockels bis zur Grenze des maximalen Raums (A-Maße sind gleich)
- B** Maß des maximalen Raums im „Z“-Maß, gemessen von den Grenzen des maximalen Raums (B-Maße sind gleich)
- C** Position der Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung (in der Mitte der A- und B-Maße)
- D** Bewegungsrichtung (seitlich) zur Kraftmesseinrichtung hin
- E** Grenze des maximalen Raums, Seitenansicht

Bild E.5 — Beispiel für eine horizontale (seitliche) Messposition für einen Delta-Roboter



Legende

- A** Maß des maximalen Raums im „X“-Maß, gemessen von der Mitte der Robotersockels bis zur Grenze des maximalen Raums (A-Maße sind gleich)
- B** Maß des maximalen Raums im „Z“-Maß, gemessen von den Grenzen des maximalen Raums (B-Maße sind gleich)
- C** Position der Kontaktfläche der Kraftmesseinrichtung
- D** Bewegungsrichtung (seitlich) zur Kraftmesseinrichtung hin
- E** Grenze des maximalen Raums, Seitenansicht

Bild E.6 — Beispiel für eine horizontale (seitliche) Messposition für einen SCARA-Roboter



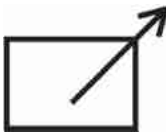
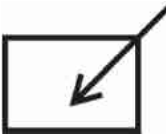

Anhang F (informativ)

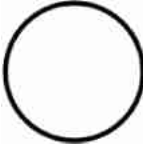
Symbole

Tabelle F.1 enthält Anleitungen für Symbole für Betriebsarten, direkte Steuerung, externe Steuerung, Ein- und Ausschalten. Weitere Symbole können für die Geschwindigkeit, das Programm und mehr verwendet werden.

Den Symbolen kann zusätzlicher Text hinzugefügt werden.

Tabelle F.1 — Symbole

Unterabschnitt	Beschreibung	Symbol	ISO 7000 Bezug
5.2.8.1	Automatische Betriebsart <i>Stellt eine automatische Regelkreisfunktion dar</i>		0017 <i>Automatische Regelung</i>
5.2.8.2	Manuelle Betriebsart <i>Zur Identifizierung einer manuell betätigten Steuerung.</i> <i>Zur Identifizierung der Schalterstellung, die das Gerät auf manuelle (im Gegensatz zur automatischen) Steuerung stellt. Zur Identifizierung des Bedienelements, das die manuelle Steuerung aktiviert. Um anzuzeigen, dass sich das Gerät in der manuellen Betriebsart befindet.</i>		0096 <i>Manuelle Betriebsart</i> <i>Manuelle Steuerung</i>
5.2.7.3	Externe Steuerung AN Aktivieren <i>Zur Identifizierung der Steuerung für den Wechsel zur externen Steuerung</i>		1108 <i>Fernsteuerung, einschalten</i> <i>Fernsteuerung, aktivieren</i>
5.2.7.3	Externe Steuerung AUS Deaktivieren (Direkte Steuerung AN) <i>Zur Identifizierung der Steuerung für den Wechsel zur direkten Steuerung</i>		1109 <i>Fernsteuerung, ausschalten</i> <i>Fernsteuerung, deaktivieren</i>
5.2.5	Energie EIN <i>Um die Verbindung mit dem Stromnetz anzuzeigen, mindestens für Netzschalter oder deren Stellungen und alle Fälle, in denen die Sicherheit betroffen ist.</i>		5007 <i>„EIN“ (Energie)</i>

Unter- abschnitt	Beschreibung	Symbol	ISO 7000 Bezug
5.2.5	Energie AUS <i>Um die Trennung vom Stromnetz anzuzeigen, mindestens für Netzschalter oder deren Stellungen und alle Fälle, in denen die Sicherheit betroffen ist.</i>		5008 <i>„AUS“ (Energie)</i>

Anhang G (normativ)

Mittel zur Verifizierung und Validierung der Gestaltung und der Schutzmaßnahmen

In Tabelle G.1 sind spezifische Leistungsanforderungen aufgelistet, die verifiziert und validiert oder sowohl verifiziert als auch validiert werden müssen. In Tabelle G.1 sind zulässige Verfahren zur Verifizierung, Validierung oder beides für jede der aufgeführten Anforderungen aus Abschnitt 5 aufgelistet.

Die Verifizierung und Validierung in Übereinstimmung mit Abschnitt 5 muss unter Verwendung eines oder mehrerer der folgenden Verfahren erfolgen.

- A** Sichtprüfung;
- B** Praktische Prüfung(en);
- C** Messung;
- D** Beobachtung während des Betriebs;
- E** Prüfung von Schemata, Schaltplänen und Konstruktionsmaterial;
- F** Überprüfung der Risikobeurteilung;
- G** Überprüfung von Spezifikationen und Benutzerinformation.

Tabelle G.1 — Mittel zur Verifizierung und Validierung der Konstruktionsanforderungen und der Schutzmaßnahmen aus Abschnitt 5

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1	Konstruktion von Robotern							
5.1.1	In Übereinstimmung mit den Grundsätzen von ISO 12100 hinsichtlich identifizierter Gefährdungen				X		X	X
5.1.2	Werkstoffe, mechanische Festigkeit und mechanische Gestaltung							
5.1.2.1	Ausfälle durch Ermüdung und Verschleiß führen während der vorgesehenen Lebensdauer nicht zu einer Gefährdungssituation	X	X	X	X			X
5.1.2.2	Werkstoffe							
5.1.2.2	Für den bestimmungsgemäßen Gebrauch geeignet		X	X				X
5.1.2.2	Gefährden nicht die Sicherheit und Gesundheit von Personen				X		X	
5.1.2.2	Sind unter allen vernünftigerweise vorhersehbaren Anwendungsbedingungen ungiftig		X	X				X
5.1.2.2	Neigen nicht zu Sprödbruch, übermäßiger Verformung oder der Emission von giftigen oder entflammenden Dämpfen		X	X				X
5.1.2.2	Behalten ihre Eigenschaften im vernünftigerweise vorhersehbaren Umfang der Klima- und Arbeitsplatzbedingungen, einschließlich Temperaturschwankungen und plötzlicher Änderungen bei	X	X	X	X			X

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1.2.1	Wo Flüssigkeiten verwendet werden, sind die Maschinen so gestaltet und konstruiert, dass Risiken in Verbindung mit Auffüllen, Verwendung, Rückgewinnung oder Ablassen vermieden werden		X	X			X	X
5.1.2.3	Mechanische Festigkeit							
5.1.2.3	Halten einer Überlast in statischen Prüfungen ohne dauerhafte Verformung oder offenkundige Mängel stand, wobei die Festigkeitsberechnungen einen statischen Prüfkoeffizienten von mindestens 1,25 haben		X	X		X		X
5.1.2.3	Können dynamischen Prüfungen, bei denen die maximale Nutzlast, multipliziert mit dem dynamischen Prüfkoeffizient verwendet wird, ohne Ausfälle standhalten, wobei der dynamische Prüfkoeffizient mindestens 1,1 beträgt		X	X		X		X
5.1.2.3	Prüfungen werden bei spezifischen Geschwindigkeiten durchgeführt		X	X				X
5.1.2.3	Sofern gleichzeitige Bewegungen programmiert werden können, werden Prüfungen unter Verwendung der nachteiligsten Bedingungen durchgeführt		X	X	X			X
5.1.2.4	Mechanische Konstruktion							
5.1.2.4	Freiliegende scharfe Kanten und Ecken sowie gefährliche Vorsprünge sind so gut wie möglich reduziert	X		X		X		
5.1.2.4	Mechanismen, die Bewegungen ermöglichen, sind im Inneren des Roboterrahmens so installiert oder angebracht, dass sie unter normalen Umständen unerreichbar sind	X		X		X		
5.1.2.4	Die Exposition gegenüber Gefährdungen, die von Komponenten wie Antriebswellen, Getriebe, Zahnriemen oder Verbindungen, die nicht durch integrierte Abdeckungen geschützt sind, ausgehen, wird entweder mithilfe feststehender trennender Schutzeinrichtungen oder beweglicher trennender Schutzeinrichtungen in Übereinstimmung mit ISO 14120 verhindert	X				X		
5.1.2.4	Die Befestigungssysteme feststehender trennender Schutzeinrichtungen, deren Entfernung für routinemäßige Servicearbeiten vorgesehen ist, bleiben am Roboter oder an der Schutzeinrichtung befestigt	X	X		X	X		X
5.1.2.4	Bewegliche trennende Schutzeinrichtungen sind so mit den gefahrbringenden Bewegungen verzahnt, dass die gefährlichen Maschinenfunktionen aufhören, bevor sie erreicht werden können	X	X		X	X		X
5.1.2.4	Fehler bei der Montage oder Nachrüstung bestimmter Teile, die eine Gefahrenquelle darstellen können, werden vermieden. Falls dies nicht praktikabel ist, müssen mindestens auf den Teilen selbst und/oder deren Gehäusen die Benutzerinformationen angegeben werden	X	X		X	X		X
5.1.3	Handhabung, Anheben und Transport							
5.1.3	Gefährdungen durch plötzliche Bewegungen oder Instabilität, sodass ein Kippen und Umfallen beim Transport, Anheben und der Handhabung des Roboters oder seiner Bauteile verhindert wird, sofern sie in Übereinstimmung mit der Betriebsanleitung gehandhabt werden	X	X	X	X			X
5.1.3	Maßnahmen zum Anheben sind vorgesehen und für die Handhabung der zu erwartenden Last angemessen, einschließlich geeigneter Konstruktion, zusätzlicher Stützelemente und angemessener Verpackung	X	X			X		X
5.1.3	Es sind Anleitungen zur Handhabung und zum Anheben des Roboters und seiner zugehörigen Bauteile vorgesehen. Sie sind für die Handhabung der erwarteten Last geeignet	X	X			X		X
5.1.4	Verpackung							

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1.4	Alle Teile des Roboters, die separat gehandhabt werden sollen, sind so verpackt oder konstruiert, dass eine verletzungsfreie Handhabung und eine Lagerung ohne Roboterschäden gewährleistet ist	X	X			X		X
5.1.5	Stabilität							
5.1.5	Stabil bei Installation, Betrieb, Verwendung, Demontage und Abbau, sodass ein Umkippen und Umfallen durch die vorgesehene Befestigung verhindert wird, um den Roboter und seine Komponenten sicher zu befestigen	X	X	X		X		X
5.1.6	Temperatur und Brandrisiken							
5.1.6	Die Temperaturen der zugänglichen Oberflächen sind in Übereinstimmung mit der Normenreihe ISO 13732			X				X
5.1.6	Falls ein Brand- oder Überhitzungsrisiko besteht, werden die Gestaltungsgrundlagen aus ISO 19353 angewendet			X		X		X
5.1.7	Spezielle Geräte							
5.1.7	Spezielle Einrichtungen und das Zubehör für die Einstellung, Instandhaltung und den sicheren Gebrauch werden mitgeliefert	X	X	X	X		X	X
5.1.8	Positionshaltung							
5.1.8	Verfügt über Mittel zur Aufrechterhaltung der Roboterposition ohne Antriebsenergie (z. B. Bremsen, Stifte)		X		X			X
5.1.8	Wenn es für die Sicherheit erforderlich ist, werden entsprechende Konstruktionsspannen angewandt und ein Prüfverfahren bereitgestellt, wenn ein Ausfall zu einer gefährlichen Situation führen kann		X	X	X			X
5.1.9	Hilfsachse (Achsen)							
5.1.9	Hilfsachsen (Achsen), die mit dem Roboter mitgeliefert werden und zum Anheben oder Halten einer hängenden Masse bestimmt sind, erfüllen die Anforderungen aus 5.1.2 und 5.1.8	X		X				X
5.1.9	Wenn die Bewegung der Hilfsachse die TCP-Geschwindigkeit in der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit beeinflusst, gelten für die Hilfsachse(n) die Anforderungen der reduzierten Geschwindigkeit (5.6.2.2)	X	X		X	X		
5.1.9	Wenn die Sicherheitsfunktion mit überwachter Geschwindigkeit für den Roboter vorgesehen ist, ist diese auch für die Hilfsachse vorgesehen		X		X	X		
5.1.9	Wenn in der größten Bewegung enthalten, ist die Achsbegrenzung in Übereinstimmung mit 5.9 vorgesehen	X	X	X		X		X
5.1.10	Energieverlust oder Energieschwankungen							
5.1.10	Energieverlust oder Energieänderungen führen nicht zu einer Gefährdungssituation		X		X	X		
5.1.10	Das Wiedereinschalten der Energie führt nicht zu einer gefährdenden Bewegung oder Änderung der Parameter		X		X	X		
5.1.10	Entspricht ISO 14118 zur Verhinderung eines unerwarteten Anlaufs		X	X	X	X		
5.1.11	Fehlfunktion von Bauteilen							
5.1.11	Roboterbauteile sind so gestaltet, ausgeführt, gesichert oder gekapselt, dass Gefährdungen, die durch Bruch oder Lösen oder Freisetzen von gespeicherter Energie verursacht werden, auf ein akzeptables Maß begrenzt werden	X	X		X		X	X
5.1.12	Gefährdende Energie							

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1.12	Gespeicherte Energie führt nicht zu Gefährdungssituationen	X	X	X	X	X	X	
5.1.12	Es sind Mittel vorgesehen, die eine unkontrollierte oder gefährliche Freisetzung der gespeicherten Energie verhindern	X	X	X	X	X		X
5.1.12	Wenn die gefährdende Energie potenziell ist (z. B. Federzug, Gaszug), verfügt der Roboter über eine Einrichtung zur Sicherung in der energielosen Position	X	X	X		X		X
5.1.12	Mit Mitteln ausgestattet, um es von allen Energiequellen zu isolieren	X	X		X	X		X
5.1.12	Mittel können verriegelt oder gesichert werden	X	X		X	X		X
5.1.12	Die sichere Freisetzung oder Eindämmung wird nach ISO 14118 ermöglicht		X			X		X
5.1.12	Wenn Roboterachsen sinken, fallen oder driften können, werden Mittel eingesetzt, um entweder Achsbewegungen zu verhindern oder sicherzustellen, dass daraus resultierende Bewegungen eingeleitet werden können und kontrolliert zu einer energielosen Position führen	X	X		X	X		X
5.1.12	Positionshaltungs-Sicherheitsfunktion(en) ist/sind vorgesehen, um eine unkontrollierte oder gefährdende Freisetzung von gespeicherter Energie zu verhindern		X					
5.1.12	Ein Warnschild zur Kennzeichnung der Gefährdung durch gespeicherte Energie ist angebracht	X						X
5.1.13	Elektrische, pneumatische und hydraulische Teile							
5.1.13	Elektrische Teile sind in Übereinstimmung mit der zutreffenden Anforderungen der IEC 60204-1 ausgelegt	X	X			X		X
5.1.13	Pneumatische Ausrüstung ist in Übereinstimmung mit der zutreffenden Anforderungen der ISO 4414 ausgelegt	X	X			X		X
5.1.13	Hydraulische Ausrüstung wird in Übereinstimmung mit den entsprechenden Anforderungen der ISO 4413 verwendet	X	X			X		X
5.1.13	Steckverbinder verhindern ein fehlerhaftes Anschließen, wenn dies zu einer gefährdenden Situation führen kann. Sofern dies nicht möglich ist, sind Steckverbinder gekennzeichnet	X	X			X		X
5.1.13	Steckverbinder, die eine Gefährdung verursachen können, wenn sie getrennt werden oder sich lösen können, sind so gestaltet und ausgeführt, um ein unbeabsichtigtes Trennen zu verhindern	X	X			X	X	
5.1.14	Einstellung des Werkzeugarbeitspunkt (TCP)							
5.1.14	Die Möglichkeit zur Eingabe des TCP-Parameters ist gegeben, wenn dieser für eine Sicherheitsfunktion benötigt wird	X	X			X		X
5.1.14	Wenn die Nichteingabe der TCP-Einstellung eine Gefährdung darstellen kann, warnt der Roboter vor der Gefährdung und der Notwendigkeit der Eingabe eines zulässigen Wertes		X		X	X		X
5.1.15	Nutzlasteinstellung							
5.1.15	Die Möglichkeit zur Eingabe des Nutzlastparameters (5.1.15) ist gegeben, wenn er für eine Sicherheitsfunktion benötigt wird		X			X		X
5.1.15	Wenn die Nichteingabe der Parameter-Einstellung eine Gefährdung darstellen kann, warnt der Roboter vor der Gefährdung und der Notwendigkeit der Eingabe eines zulässigen Wertes		X			X		X
5.1.16	Cybersicherheit							
5.1.16	Beurteilung der Cybersicherheit wird durchgeführt					X		X

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1.16	Wenn eine Bedrohung zu einem (Sicherheits-)Risiko führen kann, sind Maßnahmen zur Unterstützung der Cybersicherheit vorgesehen		X			X		X
5.1.16	Zu den Maßnahmen gehören die Mittel zum Schutz vor unbefugtem Zugriff auf den Roboter, seine Hardware, Software, Konfigurationsdaten und das Programm der Roboteranwendung		X			X		X
5.1.17	Roboterklasse							
5.1.17	Roboter werden in Übereinstimmung mit Tabelle 1 der Klasse II zugeordnet, es sei denn, sie werden durch eine Prüfung der Klasse I zugeordnet		X	X		X		X
5.1.17	Roboter der Klasse I werden unter Berücksichtigung der maximalen Leistungsfähigkeit des Manipulators ohne Begrenzung durch die Robotersteuerung oder Sicherheitsfunktionen auf die maximal erreichbare Geschwindigkeit des TCP, die effektive Masse der beweglichen Teile des Manipulators und die maximal erreichbare Kraft je Manipulator in Übereinstimmung mit Anhang E geprüft und die Prüfergebnisse bereitgestellt		X	X				X
5.1.17	Gesamtmasse der beweglichen Teile des Manipulators wird ermittelt und bereitgestellt		X			X		X
5.1.17	Roboter der Klasse II erfüllen die Anforderungen einschließlich der Funktionssicherheit in Übereinstimmung mit Unterabschnitt 5.3		X	X		X		X
5.2	Robotersteuerung							
5.2.1	So konstruiert, dass ein nach vernünftigem Ermessen vorhersehbares menschliches Versagen während des Betriebs nicht zu Gefährdungssituationen führt		X		X			X
5.2.2	Schutz vor unerwartetem Anlauf							
5.2.2	Steuerungen sind implementiert und/oder platziert, um unerwartetes Anlaufen zu verhindern, und diese erfüllen die Anforderungen nach ISO 14118	X	X			X		X
5.2.2	Ein unerwarteter Anlauf aufgrund eines Startbefehls, der auf einen Fehler oder eine externe Einwirkung auf das Steuerungssystem zurückzuführen ist, wird in Übereinstimmung mit den Anforderungen aus den Unterabschnitten 5.3 und 5.4 vermieden		X			X		X
5.2.2	Ein unerwartetes Anlaufen aufgrund eines Startbefehls, der durch eine unzulässige Einwirkung auf eine Startsteuerung oder andere Maschinenteile, wie z. B. einen Sensor oder ein Antriebssteuerungselement, erzeugt wurde, wird durch eine Wiederanlaufsperrfunktion in Übereinstimmung mit Unterabschnitt 5.4.x verhindert		X			X		X
5.2.2	Ein unerwartetes Anlaufen durch Wiederherstellung der Spannungsversorgung nach einer Unterbrechung wird durch eine Anlaufsperrfunktion in Übereinstimmung mit Unterabschnitt 5.4.y verhindert		X			X		X
5.2.3	Singularität							
5.2.3	Vor dem Auftreten einer Singularität erzeugt der Roboter entweder eine wiederholbare Bewegung und Geschwindigkeit, oder die Ausführung des Anwenderprogramms stoppt, oder er erzeugt ein akustisches oder sichtbares Warnsignal und setzt die Bewegung mit reduzierter Geschwindigkeit fort	X	X		X	X		X
5.2.4	Verriegelungsfunktionen							
5.2.4	Zugehörige Schutzeinrichtungen entsprechen der ISO 14119	X				X		X
5.2.5	Zustandsanzeige und Warneinrichtungen							

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.2.5	Der Zustand des Roboters wird deutlich angezeigt (z. B. Energie EIN, Fehler erkannt, Betriebsart, Automatikbetrieb in Bearbeitung, direkte Steuerung, externe Steuerung)	X	X		X			
5.2.5	Anzeigen sind für den Einbauort geeignet und erfüllen die Anforderungen nach IEC 60204-1	X			X	X		X
5.2.5	Falls vorgesehen, entsprechen die Warneinrichtungen (z. B. akustisch und optisch) der ISO 12100, IEC 60204-1 und IEC 60073	X	X		X			X
5.2.6	Kennzeichnung							
5.2.6	Steuerungen, einschließlich Anzeigen und Displays, sind in Übereinstimmung mit IEC 60204-1 so beschriftet, dass ihre Funktion eindeutig erkennbar ist. Siehe Anhang F	X						X
5.2.7	Ausschließliche Bedienung von einer Bedienstation							
5.2.7.1	Allgemeines							
5.2.7.1	Durch Authentifizierung der Kommunikation nach Unterabschnitt 5.1.16 oder als Sicherheitsfunktion in Übereinstimmung mit Unterabschnitt 5.3 implementiert		X			X		X
5.2.7.2	Direkte Steuerung							
5.2.7.2	Falls vorhanden, erfolgt die direkte Steuerung durch ein Programmierhandgerät in Übereinstimmung mit Unterabschnitt 5.2.6.1		X			X		X
5.2.7.2	Bei direkter Steuerung werden das Auslösen von Roboterbewegungen, Programmänderungen, Änderungen der Sicherheitskonfiguration, der Wechsel der Steuerung zu einer anderen Bedienstation und Aktualisierungen des Steuerungsprogramms von externen Bedienstationen aus verhindert	X	X		X	X		
5.2.7.2	Die Aktivierung der direkten Steuerung hat immer Vorrang vor allen anderen Steuerungsquellen	X	X		X	X		
5.2.7.2	Die Aktivierung der direkten Steuerung ist entweder das Ergebnis einer bewussten Handlung an einer bestimmten Steuerungseinrichtung in der Bedienstation	X	X		X	X		
5.2.7.3	Externe Steuerung							
5.2.7.3	Wenn keine Mittel zur Programmierung vorgesehen sind, sodass externe Mittel erforderlich sind (z. B. durch Anschluss an einen Computer), werden diese als externe Steuerungen angesehen					X		X
5.2.7.3	An der direkten Steuerung ist eine bewusste Handlung erforderlich, um die externe Steuerung zu aktivieren	X	X		X	X		
5.2.7.3	Die Freigabe der direkten Steuerung führt zu einer sofortigen Sperrung jeder externen Steuerung	X	X		X	X		
5.2.8	Betriebsarten							
5.2.8.1	Automatisch							
5.2.8.1	Der Roboter verfügt über eine automatische Betriebsart, in der der Roboter das Anwenderprogramm ausführt und die entsprechenden konfigurierten Sicherheitsfunktionen aktiviert sind		X		X	X		
5.2.8.1	Wenn eine Stoppbedingung erkannt wird, halten alle beweglichen Teile des Roboters an		X			X		

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.2.8.1	Die automatische Betriebsart startet erst nach einer separaten Bestätigung durch den Bediener		X		X	X		
5.2.8.2	Manuell							
5.2.8.2.1	Allgemeines							
5.2.8.2.1	Roboterbewegungen sind nur durch eine Bedienstation ausführbar, welche den einzigen Steuerungspunkt des Roboters darstellt	X	X		X			
5.2.8.2.2	Reduzierte Geschwindigkeit							
5.2.8.2.2	Der Roboter verfügt über eine manuelle Betriebsart für den Tipbetrieb, das Teachin, die Programmierung und die Programmverifizierung	X	X			X		X
5.2.8.2.2	Roboterbewegungen sind nur bei Betätigung einer Zustimmungseinrichtung und mit reduzierter Geschwindigkeit möglich (siehe 5.5.2.1)	X	X			X		
5.2.8.2.2	Die automatische Betriebsart wird verhindert, wenn sich der Roboter in der manuellen Betriebsart befindet	X	X			X		
5.2.8.2.3	Hohe Geschwindigkeit							
5.2.8.2.3	Sofern eine manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist, stehen Mittel zur Auswahl der manuellen Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit in Übereinstimmung mit 5.6.3 zur Verfügung	X	X		X	X		
5.2.8.2.3	Wenn eine manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist, verfügt der Roboter über Mittel, um die Geschwindigkeit vom Anfangswert schrittweise manuell zu erhöhen	X	X		X	X		
5.2.8.2.3	Wenn die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist, verfügt der Roboter über eine Anzeige der momentanen Geschwindigkeit	X	X		X			
5.2.8.2.3	Wenn die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist, verfügt der Roboter über eine überwachte Sicherheitsfunktion für die Geschwindigkeit, in Übereinstimmung mit 5.5.2.2, die aktiviert ist		X		X	X		
5.2.8.2.3	Wenn die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist, verfügt der Roboter über eine Start/Stopp-Steuerung in Verbindung mit einer Zustimmungseinrichtung nach 5.5.3	X	X		X	X		
5.2.8.2.3	Wenn die manuelle Betriebsart für hohe Geschwindigkeiten vorgesehen ist, ist die Höchstgeschwindigkeit nicht größer als die eingestellte reduzierte Geschwindigkeit: — bei Auswahl oder Aktivierung der manuellen Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit — wenn die Zustimmungseinrichtung nach 5.5.3 durch Stellen der Zustimmungseinrichtung in die Mittelstellung der Freigabeposition, nachdem er entweder losgelassen oder vollständig gedrückt wurde, wiederausgelöst wird	X	X	X	X	X		
5.2.8.2.3	Wenn die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist und die Zustimmungseinrichtung für fünf (5) Minuten oder länger losgelassen wird, erfordert die Wiederaufnahme der zuvor gewählten höheren Geschwindigkeit eine separate bewusste Handlung		X		X	X		
5.2.8.2.3	Wenn die manuelle Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit vorgesehen ist, verfügt der Roboter über einen Sicherheitsfunktionsausgang, der anzeigt, wenn sich der Roboter in der manuellen Betriebsart mit hoher Geschwindigkeit befindet		X		X	X		
5.2.8.3	Auswahl, Aktivierung und Wechsel der Betriebsart							

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.2.8.3	Auswahl erfordert eine bewusste Handlung, z. B. Schlüsselschalter	X	X		X	X		
5.2.8.3	Die ausgewählte Betriebsart ist eindeutig erkennbar, unmissverständlich angegeben und sichtbar gemacht oder angezeigt	X	X		X			X
5.2.8.3	Der Wechsel zwischen den Betriebsarten führt zu einem Sicherheitshalt; das Auslösen der Bewegung erfolgt in Übereinstimmung mit 5.5.1 für Start und Wiederanlauf		X			X		X
5.2.8.3	Wenn die Änderung der Betriebsart zu einer Änderung der aktiven Risikominderungsmaßnahmen führt, ist die Betriebsartauswahl eine Sicherheitsfunktion		X		X	X		
5.2.8.3	Mittel, um sicherzustellen, dass jeweils nur eine Betriebsart aktiv ist	X	X			X		
5.2.8.3	Für jede Betriebsart sind die erforderlichen Maßnahmen zur Risikominderung für diese Betriebsart aktiv	X	X			X		
5.2.8.3	Die Aktivierung der gewählten Betriebsart löst keine Roboterbewegung oder andere Gefährdungen aus		X			X		
5.2.8.3	Falls vorgesehen, entsprechen optionale Ausgänge zur Anzeige der gewählten Betriebsart für sicherheitsbezogene Zwecke 5.3		X			X		
5.2.9	Mittel zur Steuerung des Roboters							
5.2.9.1	Allgemeines							
5.2.9.1	Der Roboter verfügt über Mittel zur Steuerung, zum Befehlen, Programmieren/Teachen, Konfigurieren und zur Fehlerbehebung, z. B. Programmierhandgerät oder andere Bedienstation(en)		X		X	X		
5.2.9.1	Mittel sind am Bedienfeld oder Programmierhandgerät vorgesehen oder verfügen über externe Steuerungsmöglichkeiten und die entsprechende Konnektivität (kabelgebunden oder kabellos)	X			X	X		
5.2.9.1	Jede Bedienstation bzw. jedes Programmierhandgerät verfügt über eine Not-Halt-Einrichtung in Übereinstimmung mit 4.3.5 von ISO 13850:2015 zum Auslösen einer Not-Halt-Funktion in Übereinstimmung mit 5.4.2	X			X	X		
5.2.9.1	Jedes Programmierhandgerät, das eine Bewegung einleiten oder Bewegung(en) verursachen kann, ist mit einer Zustimmungsfunktion und einer 3P-Zustimmungseinrichtung nach 5.5.3 ausgestattet	X	X			X		
5.2.9.1	Roboter der Klasse I ohne Zustimmungseinrichtung verfügen über einen Sicherheitsfunktionseingang zur Integration einer externen 3P-Zustimmungseinrichtung					X		X
5.2.9.1	Roboter der Klasse I sind so konstruiert, dass vorhersehbare Roboteraufgaben sicher ohne die 3P-Zustimmungseinrichtung ausgeführt werden können. Andernfalls wird eine 3P-Zustimmungseinrichtung mit dem Roboter mitgeliefert	X	X	X	X	X		X
5.2.9.1	Programmierhandgeräte und Steuerpulte sind in Übereinstimmung mit den Anforderungen von IEC 61310-1:2007, IEC 61310-2:2007 und IEC 61310-3:2007		X			X		X
5.2.9.1	Ein visuelles Signal an der Bedienstation zeigt den aktiven Zustand einer Bedienstation an	X	X			X		
5.2.9.1	Bei Robotern mit externer Steuerungsmöglichkeit zeigen die mitgelieferten Bedienstationen (einschließlich Programmierhandgeräte) an, wenn die externe Steuerung aktiv ist	X	X			X		

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.2.9.1	Wenn Bedienstationen am oder im Manipulator des Roboters montiert sind, werden ein oder mehrere Mittel zur Risikominderung in Übereinstimmung mit 5.12 für handgeführte Steuerungen (HGC) und/oder zur Energie- und Kraftbegrenzung (PFL) eingesetzt					X		X
5.2.9.2	Programmierhandgerät(e)							
5.2.9.2	Die Masse und Größe der Programmierhandgeräte führt nicht zu Ermüdung und Unbehagen, die sich aus dem bestimmungsgemäßen Gebrauch ergeben			X	X			
5.2.9.2	Programmierhandgeräte sind mit Mitteln oder Anweisungen zur Platzierung oder Versteauung versehen, um die Möglichkeit einer Beschädigung, die zu einer Gefährdung führen kann, zu minimieren, sowie ggf. mit einer Kabelversteauung, um Verhedderungs- und Stolpergefahren zu reduzieren	X						X
5.2.9.3	Kabellose(s) oder abnehmbare(s) Programmierhandgerät(e)							
5.2.9.3	Eine visuelle Anzeige ist vorgesehen, die anzeigt, wenn das Programmierhandgerät aktiv ist	X	X		X	X		
5.2.9.3	Eine visuelle Anzeige gibt an, an welchem Roboter das Programmierhandgerät angeschlossen ist	X			X			
5.2.9.3	Der Verlust der sicherheitsbezogenen Kommunikation führt zu einem Sicherheitshalt für alle Roboter, die in der manuellen Betriebsart(en) gesteuert werden		X		X	X		
5.2.9.3	Die Wiederherstellung der sicherheitsbezogenen Kommunikation erfordert eine bewusste Aktion zum Neustart der Roboterbewegung		X			X		
5.2.9.3	Die Not-Halt-Einrichtung entspricht ISO 13850:2015, 4.3.8		X			X		
5.2.9.3	Es sind eindeutige Mittel zum Verbinden und Trennen der Robotersteuerung vom Programmierhandgerät vorgesehen (z. B. eine positive Handlung des Bedieners)	X	X			X		X
5.2.9.3	Die sicherheitsbezogene kabellose Kommunikation (z. B. Funk, Infrarot) von Programmierhandgeräten entspricht IEC 62745					X		X
5.2.9.3	Es sind Mittel vorgesehen, sodass eine Verwechslung zwischen aktiven und inaktiven Not-Halt-Einrichtungen verhindert wird	X	X		X	X		X
5.2.10	Mittel zum Auslösen des Automatikbetriebs							
5.2.10	Die Robotersteuerung startet den Automatikbetrieb erst, nachdem eine separate Bestätigung erfolgt ist		X		X	X		
5.2.10	Der Roboter verfügt über Mittel zum Starten des Automatikbetriebs von einer anderen Steuerungseinrichtung als dem Programmierhandgerät		X		X	X		
5.2.10	Der Roboter verfügt über Mittel, die verhindern, dass der Automatikbetrieb des Roboters nur durch das Programmierhandgerät alleine gestartet wird		X		X	X		
5.3	Sicherheitsfunktionen							
5.3.1	Allgemeines							
5.3.1	Die sicherheitsbezogenen Steuerungssysteme entsprechen 5.3 und Anhang C			X				X
5.3.1	Die Ausführung aller Sicherheitsfunktionen des Roboters ist in der Benutzerinformation in Übereinstimmung mit Anhang D angegeben.	X						X
5.3.2	Funktionssicherheitsnormen							
5.3.2	SRP/CS (oder SCS) sind entweder in Übereinstimmung mit ISO 13849-1 oder IEC 62061 konstruiert					X	X	X

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.3.3	Leistung							
5.3.3	Die minimale Funktionssicherheitsleistung für Sicherheitsfunktionen ist PLd, Kategorie 3 (ISO 13849-1:2015); oder SIL 2, HFT = 1 mit einer Gebrauchsdauer von nicht weniger als 20 Jahren, in Übereinstimmung mit IEC 62061:2015; oder PLd oder SIL 2 mit einer PFH _D < 4,43 × 10 ⁻⁷ /h; sofern kein anderes Kriterium für eine bestimmte Roboterklasse (5.1.17, Tabelle 1) und für eine bestimmte Sicherheitsfunktion nach Tabelle 3 angegeben ist					X		X
5.3.3	Wenn vorgesehen, sind die sicherheitsbezogenen Eingänge und Ausgänge, die mit einer PLd- oder SIL-2-Sicherheitsfunktion verbunden sind, redundant und können in ein Steuerungssystem mit redundanter Architektur implementiert werden					X		X
5.3.4	Ausfall- oder Fehlererkennung							
5.3.4	Jeder Ausfall der sicherheitsbezogenen Steuerung oder erkannter Fehler einer Sicherheitsfunktion führt zu einem Stopp der Kategorie 0 oder 1 nach IEC 60204-1		X			X		
5.3.4	Das Auslösen der Sicherheitsfunktion führt zu dem/den definierten Ergebnis(sen) in Übereinstimmung mit Anhang C		X		X	X		
5.3.5	Parametrisierung der Sicherheitsfunktionen							
5.3.5	Der Roboter verfügt über die Mittel und die Möglichkeit der software-basierten Parametrisierung sicherheitsbezogener Anwendungssoftware und für die Entwicklung der sicherheitsbezogenen Anwendungssoftware					X		X
5.3.5	Die Parametrisierung hat einen sicherheitsbezogenen Aspekt wie in ISO 13849-1:2015, 4.6.4 oder IEC 62061:2015, 6.11.2 angegeben							X
5.3.5	Online-Softwaretools nach IEC 61508-4:2010, 3.2.10 werden nicht verwendet					X		X
5.3.5	Die aktivierte(n) Sicherheitsfunktion(en) ist/sind bei Einschalten immer aktiviert		X		X	X		
5.3.5	Nach einer manuellen Änderung sicherheitsbezogener Parameter ist ein Neustart der Robotersteuerung erforderlich		X			X		X
5.3.5	Änderungen der sicherheitsbezogenen Parameter können während der automatischen Ausführung des Anwenderprogramms nicht rekonfiguriert werden		X					
5.3.5	Einstellungen von Sicherheitsfunktionsparametern erzeugen einen Bezeichner, damit Änderungen dieser Einstellungen erkannt werden können		X					X
5.3.5	Es ist möglich, Informationen über aktive Einstellungen und die Konfiguration der Sicherheitsfunktionen anzuzeigen und zu dokumentieren	X	X					X
5.3.6	Kommunikation							
5.3.6	Wenn Datenkommunikation in der Implementierung einer Sicherheitsfunktion angewendet wird, werden die Anforderungen nach IEC 61508-2:2010, 7.4.11 angewendet					X		X
5.3.6	Wenn ein Roboter über ein internes Roboternetzwerk verfügt, ist das Netzwerk ein Netzwerk der Übertragungskategorie 1 in Übereinstimmung mit Tabelle 2					X		X
5.3.6	Wenn ein Roboter über ein externes Roboternetzwerk verfügt, ist das Netzwerk ein Netzwerk der Übertragungskategorie 2 oder 3 in Übereinstimmung mit Tabelle 2					X		X
5.3.7	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)							

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.3.7	Die sicherheitsbezogene EMV (d. h. Störfestigkeit und Emissionen) entspricht den Anforderungen an elektromagnetische Störungen (EMI) und EMV nach ISO 13849-1 bzw. IEC 62061		X	X		X		X
5.4	Stoppfunktionen des Roboters (altern.: Funktionen zum Stillsetzen des Roboters)							
5.4.1	Allgemeines							
5.4.1	Der Roboter verfügt über eine Sicherheitshalt-Funktion, eine unabhängige Not-Halt-Funktion und eine weitere Haltefunktion		X			X		
5.4.1	Die Stoppfunktionen haben Vorkehrungen für den Anschluss externer Schutzeinrichtungen	X				X		
5.4.1	Der Roboter ist so ausgelegt, dass Haltefunktionen Vorrang vor sämtlichen anderen Steuerfunktionen haben		X			X		
5.4.1	Sobald eine Haltefunktion ausgelöst wurde, lösen keine anderen Steuerfunktionen eine Roboterbewegung aus, bis der Haltezustand erzielt wurde		X			X		
5.4.1	Die Funktionssicherheitsleistung ist in Übereinstimmung mit 5.3					X		X
5.4.2	Not-Halt							
5.4.2.1	Allgemeines							
5.4.2.1	Der Roboter verfügt über eine Not-Halt Funktion, Stoppkategorie 0 oder 1, in Übereinstimmung mit IEC 60204-1					X		X
5.4.2.1	Die Not-Halt-Funktion(en) und -Einrichtung(en) entsprechen ISO 13850		X			X		X
5.4.2.1	Die Not-Halt-Funktion hat Vorrang vor allen anderen Steuerungs- und Haltefunktionen des Roboters		X			X		X
5.4.2.1	Die Not-Halt-Funktion bewirkt das Anhalten aller Gefährdungen innerhalb des Wirkungsbereichs		X			X		X
5.4.2.1	Die Not-Halt-Funktion unterbricht die Antriebsleistung des Roboterantriebs/der Roboterantriebe		X			X		X
5.4.2.1	Die Not-Halt-Funktion bleibt aktiv, bis sie zurückgesetzt wird		X			X		X
5.4.2.1	Die Not-Halt-Funktion wird nur durch manuelle Betätigung zurückgesetzt, die keinen Wiederanlauf nach Rücksetzen auslöst, sondern lediglich den Wiederanlauf zulässt		X			X		X
5.4.2.1	Der Roboter hat die Möglichkeit, einen externen Not-Halt-Eingang zur Nutzung durch das Robotersystem anzuschließen	X	X			X		X
5.4.2.2	Bedienstation und Programmierhandgerät							
5.4.2.2	Jeder Bedienstand und jedes Programmierhandgerät des Roboters, der/das eine Roboterbewegung oder andere Gefährdungssituationen auslösen kann, verfügt über eine manuell zu betätigende Not-Halt Funktion	X	X			X		
5.4.2.3	Not-Halt-Eingang							
5.4.2.3	Eingang (Eingänge) der Sicherheitsfunktion für den Not-Halt bleibt/bleiben in Betrieb, wenn die Energieversorgung aus- und dann wieder eingeschaltet wird			X				
5.4.2.4	Not-Halt-Ausgang							
5.4.2.4	Wenn ein Ausgang der Sicherheitsfunktion vorgesehen ist, bleibt der Ausgang in Betrieb, wenn die Energieversorgung aus- und dann wieder eingeschaltet wird		X			X		

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.4.3	Sicherheitshalt							
5.4.3.1	Allgemeines							
5.4.3.1	Der Roboter verfügt über eine oder mehrere Sicherheitshalt-Funktionen, die durch interne Sicherheitsfunktionen oder externe Schutzeinrichtungen ausgelöst werden können		X			X		X
5.4.3.1	Die Haltefunktion löst das Anhalten aller Roboterbewegungen aus		X		X	X		
5.4.3.1	Die Haltefunktion ist eine Stopp-Kategorie 0, 1 oder 2 nach IEC 60204-1		X		X	X		
5.4.3.1	Wenn die Haltefunktion der Stopp-Kategorie 2 in Übereinstimmung mit IEC 60204-1 ist, führt dies zu einem überwachten Stillstand in Übereinstimmung mit 5.4.3.3					X		X
5.4.3.1	Die Haltefunktion versetzt den Roboter in einen sicheren Zustand		X			X		
5.4.3.1	Wenn der Roboter ohne Zustimmungseinrichtung geliefert wird, ist die Haltefunktion immer in allen Betriebsarten aktiv	X	X			X		X
5.4.3.2	Sicherheitshalt-Ausgang							
5.4.3.2	Wenn ein Ausgang der Sicherheitsfunktion für einen Sicherheitshalt vorgesehen ist, funktioniert der Ausgang auch nach Abschalten der Antriebsenergie weiterhin oder löst einen Sicherheitshalt aus		X		X	X		X
5.4.3.3	Überwachter Stillstand							
5.4.3.3	Der überwachte Stillstand ist vorgesehen, wenn er erforderlich ist, um eine unbeabsichtigte Roboterbewegung nach einem Roboterstopp in Übereinstimmung mit Kategorie 2 der IEC 60204-1:2016 zu verhindern		X		X	X		
5.4.3.3	Jegliche unbeabsichtigte Roboterbewegung im Zustand des überwachten Stillstands führt zu einer Stopp-Kategorie 0 oder 1 in Übereinstimmung mit IEC 60204-1:2016		X		X	X		
5.4.3.3	Der überwachte Stillstand ist für handgeführte Roboter in Übereinstimmung mit 5.12.2 vorgesehen, ohne PFL-Fähigkeiten in Übereinstimmung mit 5.12.4		X		X	X		
5.4.3.3	Der überwachte Stillstand ist für energie- und kraftbegrenzte Roboter in Übereinstimmung mit 5.12.4 vorgesehen		X		X	X		
5.4.3.3	Der überwachte Stillstand ist bei simultaner Bewegung vorgesehen (5.8)		X		X	X		
5.4.3.3	Wenn ein überwachter Stillstand vorgesehen ist, verfügt der Roboter über einen Ausgang der Sicherheitsfunktion, der signalisiert, dass der Roboterstillstand überwacht wird		X			X		X
5.4.4	Sonstige Stoppfunktionen							
5.4.4	Der Roboter verfügt über Mittel zum Auslösen einer Haltefunktion		X			X		
5.4.4	Eine Bedienstation, die in der Lage ist, eine automatische Bewegung auszulösen, hat die Fähigkeit, die Bewegung zu stoppen		X			X		
5.5	Sonstige Sicherheitsfunktionen							
5.5.1	Anlauf- und Wiederanlaufssperre							
5.5.1.1	Anlaufssperre							
5.5.1.1	Die Robotersteuerung verfügt über eine Anlaufsperrenfunktion, um einen automatischen Start zu verhindern, wenn sich der Roboter in manueller Betriebsart befindet und die Energieversorgung eingeschaltet oder unterbrochen und wiederhergestellt wird		X			X		

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.5.1.1	Das Zurücksetzen der Anlaufsperrfunktion ist nur durch vorsätzliches Betätigen einer bestimmten Steuerungseinrichtung in einer Bedienstation des Roboters möglich	X	X			X		
5.5.1.2	Wiederanlaufsperr							
5.5.1.2	Die Robotersteuerung verfügt über eine Verriegelungsfunktion, um den automatischen Wiederanlauf des Roboters nach einer Änderung der Betriebsart zu verhindern, und zwar von der automatischen Betriebsart zur manuellen Betriebsart, von der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit zur manuellen Betriebsart mit Hochgeschwindigkeit und von der manuellen Betriebsart mit Hochgeschwindigkeit zur manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit und von den in 5.6 beschriebenen Betriebsarten zu anderen Betriebsarten und umgekehrt		X			X		X
5.5.1.2	Das Zurücksetzen der Wiederanlaufsperrfunktion erfordert ein vorsätzliches Betätigen einer bestimmten Steuerungseinrichtung in einer Bedienstation des Roboters	X	X		X	X		
5.5.1.2	Die Steuerungseinrichtung ist nicht identisch mit der Steuerungseinrichtung, die für das Zurücksetzen der Anlaufsperrfunktion verwendet wird (5.5.1.1)		X			X		X
5.5.2	Geschwindigkeitsbegrenzungsüberwachung							
5.5.2.1	Reduzierte Geschwindigkeit							
5.5.2.1	Der Roboter verfügt über eine Sicherheitsfunktion(en) für reduzierte Geschwindigkeit, um die Begrenzung der Geschwindigkeit(en) auf 250 mm/s oder weniger zu ermöglichen		X	X		X		
5.5.2.1	Wenn die Sicherheitsfunktion der reduzierten Geschwindigkeit aktiviert ist, beträgt die Geschwindigkeit des TCP und jedem Punkt des Manipulators nicht mehr als 250 mm/s einschließlich der Auswirkungen jeder Hilfsachse		X			X		
5.5.2.1	Es ist möglich, Geschwindigkeiten unter 250 mm/s als maximale Begrenzung auszuwählen		X			X		X
5.5.2.1	Die funktionale Sicherheitsleistung bei reduzierter Geschwindigkeit ist in Übereinstimmung mit 5.3					X		X
5.5.2.1	Die Sicherheitsfunktion mit reduzierter Geschwindigkeit ist mit der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit aktiviert.		X		X	X		X
5.5.2.2	Überwachte Geschwindigkeit							
5.5.2.2	Die Sicherheitsfunktion mit überwachter Geschwindigkeit ist in Übereinstimmung mit 5.3							X
5.5.2.2	Wenn die Sicherheitsfunktion mit überwachter Geschwindigkeit aktiviert ist, überschreitet die Geschwindigkeit des TCP und eines beliebigen Punktes des Manipulators nicht die eingestellte (überwachte) Geschwindigkeit einschließlich der Auswirkungen einer beliebigen Hilfsachse		X		X	X		
5.5.2.2	Die Deaktivierung der Sicherheitsfunktion mit überwachter Geschwindigkeit ist Teil der Parametrisierung in Übereinstimmung mit 5.3.5		X		X	X		X
5.5.3	Zustimmungsfunktion							
5.5.3.1	Allgemeines							
5.5.3.1	In der manuellen Betriebsart nach 5.7.1 ist eine Zustimmungsfunktion aktiv		X		X	X		
5.5.3.2	Zustimmungseinrichtung							
5.5.3.2	Die Zustimmungseinrichtung ist ein dreistufiger Zustimmungsschalter (3P) in Übereinstimmung mit IEC 60204-1:2016, 10.9 und IEC 60947-5-8	X	X			X		

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.5.3.2	Wenn nicht-elektromechanische Schalter in der Zustimmungseinrichtung verwendet werden, erfüllen diese vergleichbare Anforderungen					X		X
5.5.3.2	Zustimmungseinrichtungen, die in ein Programmierhandgerät in Übereinstimmung mit 5.7.3. integriert sind, sind vom Typ 3P mit einer Funktionalität in Übereinstimmung mit 5.5.3.3	X				X		X
5.5.3.2	Zusätzliche 3P-Zustimmungseinrichtungen arbeiten unabhängig von allen anderen Funktionen/Einrichtungen zur Steuerung der Bewegung		X		X	X		
5.5.3.3	Funktionalität							
5.5.3.3	Die Implementierung der Zustimmungseinrichtung hat eine Funktionssicherheitsleistung nach 5.3		X			X		X
5.5.3.3	Sofern sie dauerhaft in einer Mittelstellung der Freigabeposition (EIN) gehalten wird, erlaubt die Zustimmungseinrichtung die Roboterbewegung		X		X	X		
5.5.3.3	Das Loslassen aller Zustimmungseinrichtungen desselben Programmierhandgeräts löst einen Sicherheitshalt aus		X		X	X		
5.5.3.3	Das Loslassen einer aktiven Zustimmungseinrichtung, die nicht in das Programmierhandgerät integriert ist, löst einen Sicherheitshalt aus		X	X		X		
5.5.3.3	Das Herunterdrücken einer beliebigen 3P-Zustimmungseinrichtung an einem Programmierhandgerät löst einen Sicherheitshalt in Übereinstimmung mit 5.4.3 aus.		X		X	X		
5.5.3.3	Das Zurückgehen von der durchgedrückten Stellung („AUS gedrückt“) zur mittleren EIN-Position darf keine Roboterbewegung zulassen		X		X	X		
5.5.3.3	Eine Roboterbewegung wird nur zugelassen, nachdem die 3P-Zustimmungseinrichtung nach der Rückkehr aus der „AUS gedrückt“-Position vollständig losgelassen wurde („AUS losgelassen“-Position)		X		X	X		
5.5.3.3	Die Roboterbewegung ist erst zulässig, wenn die 3P-Zustimmungseinrichtung in die Mittelstellung (EIN) gebracht wird	X	X			X		
5.5.3.3	Der Wechsel von der automatischen zur manuellen Betriebsart, während sich die Zustimmungseinrichtung in der EIN-Mittelstellung befindet, erfordert das Loslassen der Zustimmungseinrichtung (Loslassen „AUS“) und erneute Betätigen (Mittelstellung „EIN“), bevor die Roboterbewegung zugelassen wird		X		X	X		
5.6	Simultane Bewegung							
5.6	Wenn ein oder mehrere Manipulatoren mit einem einzigen Programmierhandgerät verbunden sind, kann das Programmierhandgerät einen oder mehrere Manipulatoren unabhängig voneinander oder simultan bewegen		X		X	X		
5.6	Wenn in der manuellen Betriebsart die Manipulatoren in die simultane Bewegung einbezogen werden sollen, wird jeder Manipulator ausgewählt, bevor er bewegt werden kann	X	X			X		
5.6	Wenn für die simultane Bewegung ausgewählt, befinden sich alle ausgewählten Manipulatoren in der gleichen Betriebsart		X			X		
5.6	Nur ausgewählte Manipulatoren können bewegt werden	X	X		X	X		
5.6	In der manuellen Betriebsart wird am Auswahlpunkt angezeigt, welche Manipulatoren für die simultane Bewegung ausgewählt wurden.	X	X		X			
5.6	In der manuellen Betriebsart können nicht ausgewählte Roboter nicht bewegt werden		X			X		

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.6	Ein unerwartetes Anlaufen 5.2.2 eines nicht ausgewählten Roboters wird verhindert		X			X		
5.7	Begrenzung der Roboterbewegung							
5.7.1	Allgemeines							
5.7.1	Es sind Mittel vorgesehen, um die Roboterbewegung so zu begrenzen, dass sie kleiner ist als der maximale Raum	X	X	X		X		X
5.7.1	Die Mittel begrenzen die 3 Achsen der größten (weitesten) Roboterbewegung	X	X			X		
5.7.1	Der Roboter entspricht 5.9.2, 5.9.3, 5.9.4 oder einer Kombination daraus	X	X			X		
5.7.1	Der Roboter bewegt sich entweder nicht über die Position der Begrenzungseinrichtung(en) hinaus oder löst bei Erreichen der Begrenzungseinrichtung(en) einen Sicherheitshalt (5.4.3) aus	X	X	X		X		X
5.7.1	Die Begrenzungseinrichtung(en) ist/sind in der Lage, die Bewegung des Roboters bei maximaler Nutzlast, Höchstgeschwindigkeit und der ungünstigsten Stellung, die zur maximalen Belastung der Begrenzungseinrichtung(en) führt, zu stoppen	X	X	X		X		X
5.7.1	Die Bewegungsgrenze befindet sich an der tatsächlich erwarteten Position nach Erreichen einer mechanischen Begrenzungseinrichtung, einschließlich Überschießen oder Verformung, oder an der tatsächlich erwarteten Anhalteposition, die den Anhalteweg nach Erreichen einer beliebigen elektromechanischen Begrenzungseinrichtungsposition oder Software zur Achs- und Raumbegrenzungsposition oder Ebene berücksichtigt, wenn das Ergebnis ein Sicherheitshalt ist; oder an der Software zur Achs- und Raumbegrenzungsposition, wenn der Anhalteweg direkt durch die Funktion berücksichtigt wird		X	X		X		X
5.7.2	Mechanische Achsbegrenzungseinrichtungen							
5.7.2	Wenn keine Sicherheitsfunktion(en) für Softwareachsen und Raumbegrenzung vorgesehen sind, verfügt der Roboter über Vorkehrungen für den Einbau und die Integration einstellbarer mechanischer oder elektromechanischer Begrenzungseinrichtungen	X				X		X
5.7.2	Die Prüfung mechanischer Anschläge erfolgt ohne unterstützendes Anhalten	X			X			
5.7.3	Elektromechanische Achsbegrenzungseinrichtungen							
5.7.3	Die Funktionssicherheitsleistung für elektromechanischen Begrenzungseinrichtungen entspricht den Anforderungen von 5.3		X			X		
5.7.3	Die Steuer- und Anwenderprogramme des Roboters verändern nicht die Einstellungen der elektromechanischen Begrenzungseinrichtung		X			X		
5.7.4	Software zur Achs- und Raumbegrenzung							
5.7.4	Sicherheitsfunktionen, die eine Software zur Achs- und Raumbegrenzung bereitstellen, entsprechen den Anforderungen aus 5.3					X		X
5.7.4	Während der Wiederherstellung nach einem Sicherheitshalt, wenn sich die Roboterposition außerhalb einer Grenzwerteinstellung der softwareachsen- und raumbegrenzenden Sicherheitsfunktion befindet, befindet sich der Roboter in der manuellen Betriebsart mit reduzierter Geschwindigkeit, wie in 5.6.2.2 beschrieben		X			X		
5.7.4	Einstellungen für die softwareachsen- und raumbegrenzenden Sicherheitsfunktionen sind sicherheitsbezogene Parameter in Übereinstimmung mit 5.3.5					X		

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.7.5	Dynamische Begrenzung							
5.7.5	Sofern vorgesehen, entspricht die dynamische Begrenzung 5.3		X	X	X	X		X
5.8	Bewegung ohne Antriebsenergie							
5.8	Mittel sind dafür vorgesehen, dass die Achsen in Notfällen oder anormalen Situationen ohne Anwendung von Antriebsenergie bewegt werden können und Anweisungen sind vorgesehen	X	X		X	X		X
5.8	Falls durchführbar, wird das Bewegen der Achsen von einem einzelnen Bediener durchgeführt		X		X			
5.8	Mittel sind frei zugänglich, jedoch vor unbeabsichtigtem Auslösen geschützt	X						
5.8	Wenn Achsenbewegungen von Hand ausgeführt werden können, enthalten die Benutzerinformationen Informationen dazu, ob ein Roboterschaden entstehen würde, wenn eine Reparatur erforderlich ist, bevor der Gebrauch des Roboters wiederaufgenommen wird							X
5.9	Laser und Lasereinrichtungen							
5.9	Bei Robotern mit integrierten Lasereinrichtungen wird durch die Konstruktion und Integration jegliche unbeabsichtigte Strahlung verhindert	X	X			X		X
5.9	Lasereinrichtungen sind so abgesichert, dass Gefährdungen durch Einwirkung von effektiver Strahlung, durch Reflexion oder Streuung erzeugte Strahlung und Sekundärstrahlung vermieden werden	X	X	X		X		
5.9	Optische Geräte zur Beobachtung oder Ausrichtung von Lasereinrichtungen erzeugen keine Gefährdung durch ihre Verwendung	X	X	X		X		
5.10	Fähigkeit für kollaborierende Anwendungen							
5.10.2	Handgeführte Steuerungen (HGC)							
5.10.2	Roboter mit HGC verfügen über eine Sicherheitsfunktion mit überwachter Geschwindigkeit (5.3), die während der Integration in Übereinstimmung mit ISO 10218-2 eingestellt (oder konfiguriert) werden kann					X		X
5.10.2	Roboter mit HGC verfügen über eine Softwareachse und raumbegrenzende Sicherheitsfunktion(en) (5.9.4)					X		X
5.10.2	Roboter mit HGC verfügen über einen überwachten Stillstand (5.4.3.3)					X		X
5.10.2	Roboter mit HGC verfügen über eine Sicherheitsfunktion mit selbsttätiger Rückstellung (Anhang C)					X		X
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, wird die Schwingungsprüfung in Übereinstimmung mit ISO 20643:2005 durchgeführt			X		X		
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, befindet es sich in der Nähe der mechanischen Schnittstelle, an der der Endeffektor installiert wird, oder ist für die Installation an einem solchen Ort vorgesehen	X				X		X
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, verfügt sie über eine Not-Halt-Funktion, die 5.4.2 entspricht	X	X		X	X		
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, verfügt sie über eine Sicherheitsfunktion mit selbsttätiger Rückstellung in Übereinstimmung mit IEC 60204-1:2016, 9.2.3.7	X	X		X	X		
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, ermöglicht die Aktivierung (Stellung „EIN“) der selbsttätigen Rückstellung die Bewegung	X	X		X			

Abschnitt	Geltende Gestaltungsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	Verfahren						
		A	B	C	D	E	F	G
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, löst die Deaktivierung (Stellung „AUS“) der selbsttätigen Rückstellung einen Sicherheitshalt aus, danach einen überwachten Stillstand in Übereinstimmung mit 5.4.3.3	X	X		X	X		
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, sind selbsttätige Rückstellungen so positioniert und integriert, dass ein Bediener die Steuerungseinrichtung mit selbsttätiger Rückstellung nicht betätigen kann (Stellung „EIN“), während er sich zwischen dem Roboter und einem festen Objekt befindet (z. B. kein Einklemmen oder Quetschen möglich)	X	X	X		X		
5.10.2	Wenn HGC vorgesehen ist, ist sie mit Augenmerk auf das Anwendererlebnis der Steuerung des Roboters konstruiert, sodass Einklemmen, Quetschen, scharfe Kanten und andere Verletzungsrisiken durch „Einfangen“ oder durch „Druck von Objekten“ reduziert oder eliminiert werden	X	X	X		X		
5.10.3	Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung (en: Speed and Separation Monitoring, SSM)							
5.10.3	Wenn SSM vorgesehen ist, hält der Roboter den Trennungsabstand zu dem/den Bediener(n) in Übereinstimmung mit ISO/DIS 10218-2, 5.13.6.3.2, durch eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen ein: — Reduzieren der Geschwindigkeit des Roboters; — Ändern der Position(en) und/oder der Bewegungsbahn des Roboters		X	X		X		
5.10.3	Die Nichteinhaltung des Trennungsabstands führt zu einem Sicherheitshalt		X	X				X
5.10.4	Energie- und Kraftbegrenzung (en: Power and Force Limiting, PFL) durch inhärente Konstruktion oder Sicherheitsfunktionen							
5.10.4	Wenn PFL durch eigensichere Konstruktion erreicht wird, ist der Grenzwert festgelegt, nicht einstellbar und nicht konfigurierbar	X	X	X		X		X
5.10.4	Wenn PFL durch Sicherheitsfunktionen erreicht wird, werden die PFL-Werte während des Betriebs nicht überschritten, oder bei Überschreitung wird ein Sicherheitshalt ausgelöst		X	X		X		
5.10.4	Wenn PFL durch Sicherheitsfunktionen erreicht wird, sind folgende Sicherheitsfunktionen vorgesehen: überwachte Geschwindigkeit (5.5.2.2), Software zur Achs- und Raumbegrenzung (5.9.4) und überwachter Stillstand (5.4.3.3)		X	X		X		
5.10.4	Das Überschreiten eines beliebigen Parametergrenzwerts führt zu einem Sicherheitshalt in Übereinstimmung mit 5.4.3		X	X		X		
5.10.4	PFL-Sicherheitsfunktionen sind in Übereinstimmung mit 5.3		X			X		

Anhang H (normativ)

Messung der Anhaltezeit und des Anhaltewegs

Dieser Anhang gilt für Roboter, die über eine/mehrere Sicherheitsfunktion(en) zur Begrenzung der Anhaltezeit oder des Anhaltewegs verfügen, die einen Stopp auslösen, bevor der/die Grenzwert(e) der Sicherheitsfunktion überschritten wird/werden. Ohne diese Sicherheitsfunktionen können die aus diesem Anhang resultierenden Daten verwendet werden, um die wahrscheinliche Stoppleistung zu bestimmen.

ANMERKUNG 1 Um diese Informationen nutzbar und praktikabel zu machen, werden Werte bei den verschiedenen Grenzwerten der Sicherheitsfunktion mit überwachter Geschwindigkeit und maximalen Bedingungen des ungünstigsten Falls angegeben.

Diese Prüfungen müssen mit den in ISO 9283:1998, Abschnitt 6 beschriebenen Bedingungen der Leistungsprüfung, wie zutreffend, übereinstimmen.

Die Anforderungen an Daten sind wie folgt:

- Die Stoppzeit muss ab Auslösung des Stopps bis zum vollständigen Stillstand des Roboters ermittelt werden;

ANMERKUNG 2 Dies beinhaltet keine Bewegungen und anderen Gefährdungen in Verbindung mit dem System, wie zum Beispiel Endeffektor, Werkstück(e). Siehe ISO 10218-2.

- Wenn validierte Simulationswerte unter Verwendung von Grenzwerten der Sicherheitsfunktion verfügbar sind, dürfen diese Werte verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Diese Daten können je nach zusätzlichen Verzögerungen aufgrund von Eigenschaften und Anordnung des Steuerungssystems, z. B. kabellose Handbediengeräte, variieren.

Wenn der Roboter nicht mit einer Sicherheitsfunktion für den Anhalteweg ausgestattet ist, muss der Hersteller den Anhalteweg in linearen oder Winkleinheiten angeben, sofern zutreffend. Der/die Anhalteweg(e) muss/müssen als Weg ab Auslösung des Stopps bis zum vollständigen Stillstand des Roboters ermittelt werden.

Für die Stoppkategorie 0, 1 und 2 nach IEC 60204-1 müssen die Anhaltezeit und der Anhalteweg für jedes Gelenk für die folgenden Variationen angegeben werden:

- Geschwindigkeitsgrenzwerte der Sicherheitsfunktion für 33 %, 66 % und 100 % der Höchstgeschwindigkeit
- Nutzlast für 33 %, 66 % und 100 % der maximalen Nutzlast,
- Erweiterung für 33 %, 66 % und 100 % der maximalen Erweiterung (ungünstigster Fall).

Wenn die wahrscheinlichen Anhaltezeit- und Anhaltewegswerte aus den Höchstwerten abgeleitet werden können, darf der Hersteller anstelle der obigen Variationen die 100 %-Höchstwerte mit einer Gleichung zur Ermittlung der Zwischenwerte angeben.

Die Daten sind für die drei Achsen mit der größten Auslenkung anzugeben. Die Daten müssen in einem Gitter aufgetragen werden, das alle 10 ms, 10 mm/s, 5 % oder 5°, sofern zutreffend, abgetastet wird. Die Datenpunkte und die lineare Interpolation müssen eindeutig angegeben werden.

Anhang I (informativ)

Optionale Eigenschaften

I.1 Allgemeines

Die in diesem Dokument festgelegten Anforderungen stellen die Mindestsicherheitsanforderungen dar. Zur Verbesserung der Sicherheit eines Roboters können viele zusätzliche Fähigkeiten und Sicherheitsfunktionen hinzugefügt werden. Die Anforderungen an die Funktionssicherheitsleistung entsprechen 5.3.

Die in diesem Anhang enthaltenen optionalen Eigenschaften sind nicht nach ihrer Bedeutung oder Wichtigkeit geordnet. Mit diesen Eigenschaften ausgestattete Roboter können in der Anwendung und Wiederverwendung flexibler sein und weisen eine größere potenzielle Risikominderung im Fall von Sicherheitsfunktionen auf.

I.2 Ausgänge der Not-Halt-Sicherheitsfunktion

- a) Leistungsvermögen für Ausgänge der Not-Halt-Sicherheitsfunktion (5.4.2.4), um ein gesamtes Stillsetzen im Notfall zu ermöglichen, bei dem der Not-Halt des Roboters mit dem Not-Halt der Zelle verbunden ist. Siehe ISO 10218-2.
- b) Leistungsvermögen der Einrichtung zum Stillsetzen im Notfall (Not-Halt Einrichtung), funktionsfähig zu sein ohne Energieversorgung an den Roboterstellteilen, nach 5.4.2.

I.3 Funktionalität von Zustimmungseinrichtungen

- a) Leistungsvermögen des Ausgangs von Zustimmungseinrichtungen zum Zusammenschalten einer/von Zustimmungseinrichtung(en) in einen gemeinsamen Schaltkreis, der mehrere Roboter und Einrichtungen steuert, siehe 5.5.3 und 7.x. Siehe ISO 10218-2.
- b) Leistungsvermögen, mehrere zusätzliche Zustimmungseinrichtungen zu einer Zustimmungseinrichtungsfunktion zusammenzuschalten.
- c) Die Sicherheitsfunktion muss das Aussetzen der Funktion der Zustimmungseinrichtung ermöglichen.

I.4 Betriebsartauswahl-Ausgang

- a) Fähigkeit, Informationen zur Betriebsartenwahl an das sicherheitsbezogene Steuerungssystem zu geben.
- b) Der Ausgang entspricht 5.3.

I.5 Antikollisionserkennung

Um Schäden an Bedienern am effektivsten zu verhindern, sollte der Roboter anhalten und ein Warnsignal erzeugen, wenn eine Kollision erkannt wird, und sich nicht ohne Eingreifen des Bedieners in eine andere Position bewegen.

I.6 Erhalt der Bahngenauigkeit bei allen Geschwindigkeiten

Dies würde das Erfordernis, eine Roboterbewegung von einer Gefahrenposition aus zu beobachten, begrenzen.

I.7 Optionale Fähigkeiten

I.7.1 Konfigurierbare Position als Sicherheitsfunktion mit überwachter Position

Sofern geliefert, wird eine konfigurierbare Sicherheitsfunktion mit Positionsüberwachung eine Änderung des Zustands eines Sicherheitsausgangs auslösen, wenn sich ein Roboter in seiner konfigurierten Position befindet. Dies wird durch den Roboter in einem überwachten Stillstand an der konfigurierten überwachten Position ausgelöst. Siehe Anhang C.

I.7.2 Stoppleistungs-Sicherheitsfunktion(en) oder Nicht-Sicherheitsmessung

Sofern vorhanden, sollte eine Sicherheitsfunktion zur Überwachung der Stoppleistung oder Messungen der Stoppleistung für häufige Inspektionen zur Verifizierung der Stoppleistung (Anhaltedauer, Anhaltewinkel/Anhalteweg) eine der folgenden Funktionen aufweisen:

- a) Sicherheitsfunktion, die die Einstellung des Anhaltezeit- oder Anhalteweg-Grenzwerts erlaubt, oder
- b) eine Eigenschaft, die keine Sicherheitsfunktion ist und Folgendes bietet:
 - 1) Ein Mittel zur Messung und Aufzeichnung der Stoppleistung bei der nächsten Anforderung;
 - 2) Auswählen des Eingabeereignisses zur Bestimmung des Starts des Stoppvorgangs (z. B. Zustandsänderung des Eingangs der Schutteinrichtung);
 - 3) Grenzwerte für Warnungen einstellen, wenn diese Grenzwerte überschritten werden.

Im Falle von b) können häufige Inspektionen zur Verifizierung der Stoppleistung erforderlich sein, um die Stoppleistung zu überprüfen und um festzustellen, ob Anwendungsänderungen erforderlich sind.

I.7.3 Sicherheitsfunktion der Echtzeit-Schnittstellen

Bei der Implementierung von Sicherheitsfunktionen mit Geräten außerhalb des Roboters, wie etwa Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung, ist es oftmals vorteilhaft, die Eigenschaften des Roboters dank der Wiedergabetreue des Roboters in Echtzeit zu kennen. Diese können die Position der Robotergerlenke und die Geschwindigkeit beinhalten. Damit diese Informationen als Teil der Sicherheitsfunktion so effektiv wie möglich genutzt werden können, müssen diese Daten über eine Sicherheitsschnittstelle bereitgestellt werden.

Für einige Sicherheitsfunktionen wäre es vorteilhaft, wenn die Robotersteuerung Echtzeit-Steuerungsdaten über dieselbe Sicherheitsschnittstelle empfangen würde. Diese Daten können unter anderem Wegpunkte der Bewegungsbahn und Geschwindigkeitsüberschreitungen enthalten.

Alle vorgenannten Schnittstellen sind effektiver, wenn sie mit hohen Kommunikationsraten und geringer Latenz implementiert werden.

Literaturhinweise

- [1] ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards*
- [2] ISO 3864-1, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 1: Design principles for safety signs and safety markings*
- [3] ISO 3864-2, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 2: Design principles for product safety labels*
- [4] ISO 3864-3, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 3: Design principles for graphical symbols for use in safety signs*
- [5] ISO 3864-4, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 4: Colorimetric and photometric properties of safety sign materials*
- [6] ISO 7000, *Graphical symbols for use on equipment — Registered symbols*
- [7] ISO 7010, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs*
- [8] ISO 8373:2012, *Robots and robotic devices — Vocabulary*
- [9] ISO 9283:1998, *Manipulating industrial robots — Performance criteria and related test methods*
- [10] ISO 9409 (all parts), *Manipulating industrial robots — Mechanical interfaces*
- [11] ISO 9946, *Manipulating industrial robots — Presentation of characteristics*
- [12] ISO 10218-2—¹, *Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration*
- [13] ISO 13849-2, *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 2: Validation*
- [14] ISO 13850, *Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design*
- [15] ISO 13851, *Safety of machinery — Two-hand control devices — Principles for design and selection*
- [16] ISO 13854, *Safety of machinery — Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body*
- [17] ISO 13855, *Safety of machinery — Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body*
- [18] ISO 13856 (all parts), *Safety of machinery — Pressure-sensitive protective devices*
- [19] ISO 13857, *Safety of machinery — Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs*
- [20] ISO 14118, *Safety of machinery — Prevention of unexpected start-up*

1 In Vorbereitung.

- [21] ISO 14119, *Safety of machinery — Interlocking devices associated with guards — Principles for design and selection*
- [22] ISO 14120, *Safety of machinery — Guards — General requirements for the design and construction of fixed and movable guards*
- [23] ISO 14123-1, *Safety of machinery — Reduction of risks to health resulting from hazardous substances emitted by machinery — Part 1: Principles and specifications for machinery manufacturers*
- [24] ISO 14123-2, *Safety of machinery — Reduction of risks to health resulting from hazardous substances emitted by machinery — Part 2: Methodology leading to verification procedures*
- [25] ISO 14159, *Safety of machinery — Hygiene requirements for the design of machinery*
- [26] ISO 14738, *Safety of machinery — Anthropometric requirements for the design of workstations at machinery*
- [27] ISO 19353, *Safety of machinery — Fire prevention and fire protection*
- [28] ISO 20607, *Safety of machinery — Instruction handbook — General drafting principles*
- [29] ISO/TR 23849, *Guidance on the application of ISO 13849-1 and IEC 62061 in the design of safety-related control systems for machinery*
- [30] ISO 29262, *Production equipment for microsystems — Interface between end effector and handling system*
- [31] ISO 31000, *Risk management — Guidelines*
- [32] EN 614 (alle Teile), *Sicherheit von Maschinen — Ergonomische Gestaltungsgrundsätze*
- [33] EN 563, *Sicherheit von Maschinen — Temperaturen berührbarer Oberflächen — Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen*
- [34] EN 1093 (alle Teile), *Sicherheit von Maschinen — Bewertung der Emission von luftgetragenen Gefahrstoffen*
- [35] EN 1127-1, *Explosionsfähige Atmosphären — Explosionsschutz — Teil 1: Grundlagen und Methodik*
- [36] EN 1127-2, *Explosionsfähige Atmosphären — Explosionsschutz — Teil 2: Grundlagen und Methodik in Bergwerken*
- [37] EN 1837, *Sicherheit von Maschinen — Maschinenintegrierte Beleuchtung*
- [38] EN 12198 (alle Teile), *Sicherheit von Maschinen — Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung*
- [39] EN 50159, *Bahnanwendungen — Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme — Sicherheitsrelevante Kommunikation in Übertragungssystemen*
- [40] ISO/TR 23849, *Guidance on the application of ISO 13849-1 and IEC 62061 in the design of safety-related control systems for machinery*
- [41] IEC 31010, *Risk management — Risk assessment techniques*

- [42] IEC 60073, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification — Coding principles for indicators and actuators*
- [43] IEC 60204-1, *Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements*
- [44] IEC 60269 (all parts), *Low-voltage fuses*
- [45] IEC 60947 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear*
- [46] IEC 60364-7-729, *Low-voltage electrical installations — Part 7-729: Requirements for special installations or locations — Operating or maintenance gangways*
- [47] IEC 60812, *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*
- [48] IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 6-2: Generic standards — Immunity for industrial environments*
- [48] IEC 61000-6-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 6-4: Generic standards — Emission standard for industrial environments*
- [49] IEC 61496-2, *Safety of machinery — Electro sensitive protective equipment — Part 2: Particular requirements for equipment using active opto electronic protective devices (AOPDs)*
- [50] IEC 61800-5-2, *Adjustable speed electrical power drive systems — Part 5-2: Safety requirements — Functional*
- [51] IEC 61310-1, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals*
- [52] IEC 61496 (all parts), *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment*
- [53] IEC 61496-2, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)*
- [54] IEC 61496-3, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 3: Particular requirements for Active Opto-electronic Protective Devices responsive to Diffuse Reflection (AOPDDR)*
- [55] IEC/TR 61496-4, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 4: Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD)*
- [56] IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*
- [57] IEC 61800-5-2, *Adjustable speed electrical power drive systems — Part 5-2: Safety requirements — Functional*
- [58] IEC 62046, *Safety of machinery — Application of protective equipment to detect the presence of persons*
- [59] IEC 62061, *Safety of machinery — Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*
- [60] IEC 62079, *Preparation of instructions — Structuring, content and presentation*
- [61] IEC 62280, *Railway applications — Communication, signalling and processing systems — safety related communication in transmission systems*

- [62] IEC TR 63074, *Safety of machinery — Security aspects related to functional safety of safety-related control systems*
- [63] IEC/IEEE 82079-1, *Preparation of information for use (instructions for use) of products — Part 1: Principles and general requirements*
- [64] CEN/TR 14715, *Safety of machinery — Ionizing radiation emitted by machinery — Guidance for the application of technical standards in the design of machinery in order to comply with legislative requirements*
- [65] Research project No. FP-0317: *Collaborative robots – Investigation of pain sensibility at the Man-Machine-Interface*. Institute for Occupational, Social and Environmental Medicine at the Johannes Gutenberg University of Mainz, Germany. Final report December 2014

Contents

Foreword	7
Introduction	9
1 Scope	11
2 Normative references	12
3 Terms, definitions and abbreviations	13
3.1 Terms and definitions	13
3.1.1 Robot, robot system, robot application, application	13
3.1.2 Sub-assemblies and components of robots, robot systems and robot applications	15
3.1.3 Controls-related	16
3.1.4 Program-related	18
3.1.5 Power-related	18
3.1.6 Hazard-related	19
3.1.7 Roles	19
3.1.8 Functional safety-related	20
3.1.9 Spaces, zones and distances	21
3.1.10 Risk reduction measures	23
3.1.11 Verification and validation	24
3.2 Abbreviated terms	24
4 Risk Assessment	25
5 Design and protective measures	26
5.1 Robot design	26
5.1.1 General	26
5.1.2 Materials, mechanical strength and mechanical design	26
5.1.3 Handling, lifting and transportation	27
5.1.4 Packaging	27
5.1.5 Stability	27
5.1.6 Temperature and fire risks	27
5.1.7 Special equipment	27
5.1.8 Position holding	28
5.1.9 Auxiliary axis (axes)	28
5.1.10 Power loss or change	28
5.1.11 Component malfunction	28
5.1.12 Hazardous energy	28
5.1.13 Electrical, pneumatic and hydraulic parts	29
5.1.14 Tool centre point (TCP) setting	30
5.1.15 Payload setting	30
5.1.16 Cybersecurity	30
5.1.17 Robot class	31
5.2 Robot controls	32
5.2.1 General	32
5.2.2 Protection from unexpected start- up	32
5.2.3 Singularity	32
5.2.4 Interlocking functions	32
5.2.5 Status indication and warning devices	32
5.2.6 Labelling	33
5.2.7 Single point of control	33

5.2.8	Modes	33
5.2.9	Means of controlling the robot	35
5.2.10	Means of initiating automatic operation	37
5.3	Safety functions	37
5.3.1	General.....	37
5.3.2	Functional safety standards.....	37
5.3.3	Performance	38
5.3.4	Failure or fault detection.....	38
5.3.5	Parametrization of safety functions	38
5.3.6	Communications.....	39
5.3.7	Electromagnetic compatibility (EMC)	40
5.4	Robot stopping functions	40
5.4.1	General.....	40
5.4.2	Emergency stop.....	41
5.4.3	Protective stop.....	42
5.4.4	Other stop.....	42
5.5	Other safety functions	43
5.5.1	Start and restart interlocking.....	43
5.5.2	Speed limit(s) monitoring.....	43
5.5.3	Enabling function	44
5.6	Simultaneous motion.....	45
5.7	Limiting robot motion	46
5.7.1	General.....	46
5.7.2	Mechanical axis limiting devices.....	46
5.7.3	Electro-mechanical axis limiting devices	47
5.7.4	Soft axis and space limiting.....	47
5.7.5	Dynamic limiting	47
5.8	Movement without drive power	47
5.9	Lasers and laser equipment.....	48
5.10	Capabilities for collaborative applications.....	48
5.10.1	General.....	48
5.10.2	Hand-guided controls (HGC)	48
5.10.3	Speed and separation monitoring (SSM).....	49
5.10.4	Power and force limiting (PFL) by inherent design or safety function(s).....	49
6	Verification and validation of safety requirements and protective measures	50
6.1	General.....	50
6.2	Verification and validation.....	50
7	Information for use	50
7.1	General.....	50
7.2	Signals and warning devices	50
7.3	Marking.....	50
7.4	Signs (pictograms) and written warnings.....	51
7.5	Instruction handbook.....	51
7.5.1	General.....	51
7.5.2	Identification.....	52
7.5.3	Intended use	52
7.5.4	Installation	52
7.5.5	Stopping	53
7.5.6	Commissioning and programming.....	53
7.5.7	Operation and setting.....	53
7.5.8	Singularity	53

7.5.9	Hazardous energy.....	53
7.5.10	Movement without drive power.....	54
7.5.11	Cybersecurity	54
7.5.12	Functional safety.....	54
7.5.13	Teach pendants.....	57
7.5.14	Integration into a robot system	57
7.5.15	Maintenance.....	57
7.5.16	Protection against electrical shock.....	58
7.5.17	Abnormal and emergency situations.....	58
7.5.18	Handling, lifting and transportation	58

Annex A (informative)	List of significant hazards	59
------------------------------	--	-----------

Annex B (informative)	Illustrations spaces	63
------------------------------	-----------------------------------	-----------

Annex C (normative)	Safety functions	67
----------------------------	-------------------------------	-----------

Annex D (normative)	Required safety function information	71
----------------------------	---	-----------

Annex E (normative)	Test methodology for Class I robots	
	– maximum force per manipulator (F_{MPM}).....	73

E.1	General.....	73
-----	--------------	----

E.2	Test methodology for Class I robots	73
-----	---	----

Annex F (informative)	Symbols.....	81
------------------------------	---------------------	-----------

Annex G (normative)	Means of verification and validation of the design and protective measures.....	83
----------------------------	--	-----------

Annex H (normative)	Stopping time and distance measurement	97
----------------------------	---	-----------

Annex I (informative)	Optional features.....	99
------------------------------	-------------------------------	-----------

I.1	General.....	99
-----	--------------	----

I.2	Emergency stop safety function outputs	99
-----	--	----

I.3	Enabling device functionality	99
-----	-------------------------------------	----

I.4	Mode selection output	99
-----	-----------------------------	----

I.5	Anti-collision sensing.....	99
-----	-----------------------------	----

I.6	Maintaining path accuracy across all speeds	100
-----	---	-----

I.7	Optional capabilities.....	100
-----	----------------------------	-----

I.7.1	Configurable position for as a monitored position safety function	100
-------	---	-----

I.7.2	Stopping performance safety function(s) or non-safety measurement.....	100
-------	--	-----

I.7.3	Real-time interfaces safety function	100
-------	--	-----

Annex ZA (informative)	Relationship between this European Standard and the essential requirements of Directive 2006/42/EC aimed to be covered.....	101
-------------------------------	--	------------

Bibliography.....	103
--------------------------	------------

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

The procedures used to develop this document and those intended for its further maintenance are described in the ISO/IEC Directives, Part 1. In particular, the different approval criteria needed for the different types of ISO documents should be noted. This document was drafted in accordance with the editorial rules of the ISO/IEC Directives, Part 2 (see www.iso.org/directives).

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights. Details of any patent rights identified during the development of the document will be in the Introduction and/or on the ISO list of patent declarations received (see www.iso.org/patents).

Any trade name used in this document is information given for the convenience of users and does not constitute an endorsement.

For an explanation of the voluntary nature of standards, the meaning of ISO specific terms and expressions related to conformity assessment, as well as information about ISO's adherence to the World Trade Organization (WTO) principles in the Technical Barriers to Trade (TBT), see www.iso.org/iso/foreword.html.

This document was prepared by Technical Committee ISO/TC 299, *Robotics*, in collaboration with the European Committee for Standardization (CEN) Technical Committee CEN/TC 310, *Advanced automation technologies and their applications*, in accordance with the Agreement on technical cooperation between ISO and CEN (Vienna Agreement).

This third edition cancels and replaces the second edition (ISO 10218-1:2011), which has been technically revised.

The main changes compared to the previous edition are as follows:

- incorporating safety requirements for industrial robots intended for use in collaborative applications (formerly, the content of ISO/TS 15066);
- clarifying requirements for functional safety;
- adding requirements for cybersecurity to the extent that it applies to industrial robot safety.

A list of all parts in the ISO 10218 series can be found on the ISO website.

Any feedback or questions on this document should be directed to the user's national standards body. A complete listing of these bodies can be found at www.iso.org/members.html.

Introduction

The ISO 10218 series has been created in recognition of the particular hazards that are presented by robotics in an industrial environment. ISO This document addresses robots as incomplete machines, while ISO 10218-2 addresses robots integrated into complete machines (systems, applications, cells).

This ISO document is a type-C standard according to ISO 12100.

This document is of relevance, in particular, for the following stakeholder groups representing the market players with regard to robot safety:

- robot manufacturers (small, medium and large enterprises);
- robot system/ application integrators (small, medium and large enterprises);
- health and safety bodies (regulators, accident prevention organisations, market surveillance etc).

Others can be affected by the level of safety achieved with the means of the document by the above-mentioned stakeholder groups:

- robot system users/employers (small, medium and large enterprises);
- robot system users/employees (e.g. trade unions);
- service providers, e. g. for maintenance (small, medium and large enterprises);

The above-mentioned stakeholder groups have been given the possibility to participate at the drafting process of this document.

Robots and the extent to which hazards, hazardous situations or hazardous events are covered is indicated in the Scope of this ISO document.

When provisions of a type-C standard are different from those which are stated in type-A or type-B standards, the provisions of the type-C standard take precedence over the provisions of the other standards for machines that have been designed and built in accordance with the provisions of the type-C standard.

In recognition of the variable nature of hazards with different uses of industrial robots, the ISO 10218 series is divided into two parts. This document ISO provides requirements for safety in the design and construction of the robot. Since safety in the application of industrial robots is influenced by the design and application of the robot application, ISO 10218-2 provides requirements for the safeguarding of operators during integration, commissioning, functional testing, programming, operation and maintenance.

The ISO 10218 series deals with robotics in an industrial environment, which is comprised of workplaces where the public is excluded and the people (operators) are working adults. Other standards cover such topics as coordinate systems and axis motions, general characteristics, performance criteria and related testing methods, terminology, and mechanical interfaces.

For ease of reading this ISO document, the words “robot” and “robot system” refer to “industrial robot” and “industrial robot system” as defined in this document.

This ISO document has been updated based on experience gained since the release of the ISO 10218 series in 2011. This document remains aligned with the minimum requirements of a harmonized type-C standard for robots in an industrial environment.

Where appropriate, ISO/TS 15066:2016 on the safety of collaborative robot systems, was added to the ISO 10218 series. Most of ISO/TS 15066 has been incorporated into ISO ISO/DIS 10218-2:2020), since human-robot collaboration relates to the application and not the robot alone. Safety functions that enable a collaborative task can be embedded in the robot or can be provided by a protective device, or a combination of the robot and a protective device.

It is important to emphasize that the term “collaborative robot” is not used in ISO this document as only the application can be developed, verified and validated as a collaborative application. In addition, the term “collaborative operation” is not used in this document.

Revisions include the following:

- category 2 stopping functions;
- cybersecurity;
- definitions and abbreviations;
- details within the information for use clause;
- functional safety requirements;
- hand-guided control (HGC) requirements;
- markings;
- mechanical strength and stability requirements;
- mode selection;
- power and force limiting (PFL) requirements to enable collaborative applications;
- power loss requirements;
- hand-guided controls (HGC) requirements;
- robot classification (Class I and Class II) for functional safety requirements;
- spaces (maximum, restricted) figures shown in Annex B;
- speed and separation monitoring (SSM) requirements to enable collaborative applications;
- test methodology to determine the maximum force per manipulator for Class I robots.

Robotics – Safety requirements – Part 1: Industrial robots

1 Scope

This ISO document specifies requirements for the inherently safe design, protective measures and information for use of robots for an industrial environment.

This ISO document addresses the robot as an incomplete machine.

This ISO document is not applicable to the following uses and products:

- underwater;
- law enforcement;
- military (defence);
- airborne and space robots, including outer space;
- medical robots;
- healthcare robots;
- prosthetics and other aids for the physically impaired;
- service robots, which provide a service to a person and as such the public can have access;
- consumer products as this is household use to which the public can have access;
- lifting or transporting people;
- mobile platforms;
- tele-operated manipulators.

Note 1 Requirements for robot systems, integration, and applications are covered in ISO 10218-2.

Note 2 Additional hazards can be created by specific applications (e.g. welding, laser cutting, machining). These system-related hazards need to be considered during robot system and robot application design. See ISO 10218-2.

This document deals with all significant hazards, hazardous situations or hazardous events when used as intended and under specified conditions of misuse which are reasonably foreseeable by the manufacturer.

This document does not cover the hazards related to:

- severe conditions (e.g. extreme climates, freezer applications, strong magnetic fields) outside of manufacturer's specification;
- underground use;

- specific hygienic requirements;
- use in nuclear environments;
- use in potentially explosive environments;
- use in environments with ionizing and non-ionizing radiation levels;
- hazardous ionizing and non-ionizing radiation;
- handling loads the nature of which can lead to dangerous situations (e.g. molten metals, acids/bases, radiating materials);
- handling or lifting or transporting people;
- the public or non-working adults have access, i.e. service robots, consumer products.

Noise emission is generally not considered a significant hazard of the robot alone, and consequently noise is excluded from the scope of this document.

This is not applicable to robots that were manufactured prior to its publication date.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies.

ISO 4413:2010, *Hydraulic fluid power — General rules and safety requirements for systems and their components*

ISO 4414:2010, *Pneumatic fluid power — General rules and safety requirements for systems and their components*

ISO 7010:2019, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs*

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

ISO 13732-1:2006, *Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces — Part 1: Hot surfaces*

ISO 13849-1:2015, *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design*

ISO 13850:2015, *Safety of machinery — Emergency stop — Principles for design*

ISO 14118:2017, *Safety of machinery — Prevention of unexpected start-up*

ISO 14119:2013, *Safety of machinery — Interlocking devices associated with guards — Principles for design and selection*

ISO 14120:2015, *Safety of machinery — Guards — General requirements for the design and construction of fixed and movable guards*

ISO 19353:2019, *Safety of machinery — Fire prevention and fire protection*

ISO 20607:2002, *Safety of machinery — Instruction handbook — General drafting principles*

ISO 20643:2005/AMD 1:2012, *Mechanical vibration — Hand-held and hand-guided machinery — Principles for evaluation of vibration emission*

IEC 60204-1:2016, *Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements*

IEC 60947-5-8:2006, *Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-8: Control circuit devices and switching elements - Three-position enabling switches*

IEC 61310-1:2007, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals*

IEC 61310-2:2007, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 2: Requirements for marking*

IEC 61310-3:2007, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 3: Requirements for locations and operation of actuators*

IEC 61508-2:2010, *Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems — Part 2: Requirements for electrical/ electronic/ programmable electronic safety-related systems*

IEC 62061:2015, *Safety of machinery — Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*

IEC 62745:2017, *Safety of machinery — Requirements for cableless control systems of machinery*

3 Terms, definitions and abbreviations

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 12100 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>

3.1 Terms and definitions

3.1.1 Robot, robot system, robot application, application

3.1.1.1

industrial environment

workplace where the public is restricted from access or not reasonably expected to be present for the intended tasks and *robot application* (3.1.1.4)

Note 1 to entry: This includes manufacturing, laboratory, pharmaceutical, warehousing, logistics, and more.

3.1.1.2 industrial robot robot

automatically controlled, reprogrammable multipurpose *manipulator(s)* (3.1.2.5), programmable in three or more *axes* (3.1.2.1), which can be either fixed in place or fixed to a *mobile platform* (3.1.2.8) for use in automation *applications* (3.1.1.6) in an *industrial environment* (3.1.1.1)

Note 1 to entry: The industrial robot includes:

- the *manipulator(s)* (3.1.2.5), including *robot actuators* (3.1.2.10) controlled by the robot control;
- the robot control;
- the means by which to teach or program the robot, including any communications interface (hardware and software).

Note 2 to entry: Industrial robot includes any *auxiliary axes* (3.1.2.2) that are integrated into the kinematic solution.

Note 3 to entry: The following are considered industrial robots:

- the manipulating portion(s) of mobile robots, where a mobile robot consists of a *mobile platform* (3.1.2.8) with an integrated *manipulator* (3.1.2.5) or *robot* (3.1.1.2);
- robots with hand-guided controls (HGC);
- robots with power and force limited (PFL) functionality;
- robots with built-in speed and separation monitoring (SSM) functionality.

3.1.1.3 robot system industrial robot system

machine comprising an *industrial robot* (3.1.1.2), *end-effector(s)* (3.1.2.3), and any *end-effector* sensors and equipment) needed to support the intended task and a *task program* (3.1.4.2)

Note 1 to entry: Examples of equipment are vision systems, adhesive dispensing, weld control.

3.1.1.4 robot application industrial robot application machine comprising an *industrial robot system* (3.1.1.3), workpieces, machinery and equipment

intended use and purpose of the *robot* (3.1.1.2) or *robot system* (3.1.1.3), i.e. the process, the task(s)

EXAMPLE Manipulating, processing, machining, inspection, spot welding, painting, assembly, palletizing.

3.1.1.5 collaborative application

applications (3.1.1.6) that implements one or more *collaborative task(s)* (3.1.1.8)

NOTE 1 to entry: *Collaborative applications* can include non-collaborative and *collaborative tasks*.

3.1.1.6

collaborative task

portion of the robot sequence where both the *robot application* (3.1.1.4) and *operator(s)* (3.1.7.2) are within the same *safeguarded space* (3.1.9.5)

3.1.1.7

industrial robot cell robot cell

one or more *robot applications* (3.1.1.4) including any object that has influence on the risk assessment of the intended use, associated *safeguarded space(s)* (3.1.9.5) and *safeguards* (3.1.10.2)

3.1.2 Sub-assemblies and components of robots, robot systems and robot applications

3.1.2.1

axis

actuated mechanical joint (e.g. rotating about a pivot, linear) that provides at least one degree of freedom

3.1.2.2

auxiliary axis

axis (3.1.2.1) that is not physically part of the *manipulator* (3.1.2.5) and is controlled by the *robot* (3.1.1.2)

Note 1 to entry: Controlled means that there is feedback signal(s) to enable closed loop control by the *robot*.

3.1.2.3

end-effector

device specifically designed for attachment to the *mechanical interface* (3.1.2.7) to enable the *robot* (3.1.1.2) to perform its task

EXAMPLE: Gripper, welding gun, spray gun.

Note 1 to entry: End-effectors are sometimes known as end-of-arm tooling (EOAT).

3.1.2.4

gripper

end-effector (3.1.2.3) designed for seizing and holding workpieces

Note 1 to entry: Various types of grippers and the terms grip, grasp, grasping and releasing are defined in ISO 14539:2000.

[SOURCE: ISO 14539:2000, definition 4.1.2. Modified with addition of the note.]

3.1.2.5

manipulator

mechanism consisting of an arrangement of segments, jointed or sliding relative to one another

NOTE 1 to entry: A *manipulator* (3.1.2.5) includes *robot actuators* (3.1.2.10).

3.1.2.6

mass per manipulator (M)

mass of all moving parts of the *robot* (3.1.1.2)

3.1.2.7

mechanical interface

mounting surface at the end of the *manipulator* (3.1.2.5) to which the *end-effector* (3.1.2.3) is attached

3.1.2.8

mobile platform

assembly of the components which enables locomotion and provides the structure by which to affix a *manipulator* (3.1.2.5)

3.1.2.9

payload

mass of all that is attached to the *manipulator* (3.1.2.5), including the *end-effector* (3.1.2.3) and workpiece

Note 1 to entry: The payload can be, but is not limited to, the payload attached to the *mechanical interface* (3.1.2.7) of the *robot* (3.1.1.2).

3.1.2.10

robot actuator

powered mechanism that converts energy to effect motion

NOTE 1 to entry: Energy can be electrical, hydraulic, pneumatic or more.

3.1.2.11

tool centre point

TCP

point defined for a given *robot application* (3.1.1.4) with regard to the *mechanical interface* (3.1.2.7) coordinate system.

Note 1 to entry: The TCP setting defines the location of the TCP relative to the *mechanical interface*.

3.1.3 Controls-related

3.1.3.1

control station

enclosure which contains one or more control devices intended to activate or deactivate functions

Note 1 to entry: The *control station* can be fixed in place (e.g. control panel) or can be movable (*teach pendant* or *pendant* (3.1.3.2) which can be referred to as a portable control station).

3.1.3.2

teach pendant

pendant

portable hand-held *control station* (3.1.3.1) linked to the *robot* (3.1.1.2) with which a *robot* can be programmed, moved or actuated

3.1.3.3

direct control

state of the system or portions of the system in which operation is only effected from the *control station* (3.1.3.1) or *teach pendant* (3.1.3.2) of the individual machine(s) or portions of the machine(s)

3.1.3.4

single-point-of-control

ability to operate the *robot* (3.1.1.2) such that initiation of motion is only possible from one source of control and cannot be overridden from another initiation source

3.1.3.5

singularity

occurrence whenever the rank of the Jacobian matrix becomes less than full rank

NOTE to entry: Mathematically, in a singular configuration, the joint velocity in joint space can become infinite to maintain Cartesian velocity. In actual operation, motions defined in Cartesian space that pass near singularities can produce high axis speeds. These high speeds can be unexpected to an *operator* (3.1.7.2).

[SOURCE: ISO 10218-1:2011, 3.21]

3.1.3.6

span-of-control

predetermined portion of a *robot cell* (3.1.1.9) or machine that is under control of a specific device for a safety function (3.1.8.1)

Note 1 to entry: Span-of-control can apply to a component part, a portion of a machine, an incomplete machine, i.e. a *robot* (3.1.1.2), or a machine within the *robot cell* (3.1.1.9).

3.1.3.7

simultaneous motion

motion of two or more *robots* (3.1.1.2) at the same time under the control of a single *control station* (3.1.3.1), which can be coordinated or can be synchronous

Note 1 to entry: A *teach pendant* (3.1.3.2) is an example of a single *control station* (3.1.3.1).

3.1.3.8

mode

operating mode

characterization of the way and the extent to which the *operator* (3.1.7.2) intervenes in the control equipment

Note 1 to entry: In the context of this standard, mode refers to the control state of the *robot* (3.1.1.2), e.g. *automatic mode* (3.1.3.10), *manual mode* (3.1.3.9).

3.1.3.9

manual mode

control state that allows for the *direct control* (3.1.3.3)

Note 1 to entry: Sometimes referred to as teach mode where program points and *robot* (3.1.1.2) attributes are set.

3.1.3.10

automatic mode

control state that allows executing programmed tasks

3.1.4 Program-related

3.1.4.1

control program

inherent set of instructions which defines the capabilities, actions, and responses of a *robot* (3.1.1.2)

Note 1 to entry: This type of program is fixed and usually not modified by the *user* (3.1.7.3).

3.1.4.2

task program (*noun*)

set of instructions for motion and auxiliary functions and program control flow that define the specific intended task of the *robot system* (3.1.1.3)

Note 1 to entry: This type of program is generated during *integration* (3.1.7.1) or by the *user* (3.1.7.3).

Note 2 to entry: The *task program* (3.1.4.2) can include functions of other machinery within the *robot application* (3.1.1.4).

3.1.4.3

teach

task programming (*verb*)

programming of the task performed manually positioning of the *manipulator* (3.1.2.5), or by using a *teach pendant* (3.1.3.2) to move the *robot* (3.1.1.2) through positions, or by using a *teach pendant* to program without causing motion, or by using an external device for off-line programming

Note 1 to entry: Manually positioning can be referred to as "lead-through teaching".

3.1.4.4

program verification (*noun*)

execution of a *task program* (3.1.4.2) for confirming the *robot* (3.1.1.2) path and process performance

Note 1 to entry: *Verification* (3.1.11.2) can include the total path traced by the *tool centre point (TCP)* (3.1.2.11) during the execution of a *task program* (3.1.4.2) or a segment of the path. The instructions can be executed in a single instruction or continuous instruction sequence. *Verification* is used in new *applications* (3.1.1.6) and in fine-tuning/editing existing *applications*.

3.1.5 Power-related

3.1.5.1

drive power

energy source or sources enabling the *robot actuators* (3.1.2.10) to apply force or torque

3.1.5.2

energy source

electrical, mechanical, hydraulic, pneumatic, chemical, thermal, potential, kinetic or other type of source that is capable to supply power

3.1.6 Hazard-related

3.1.6.1

hazard

potential source of harm

Note 1 to entry: The term “hazard” can be qualified in order to define its origin (for example, mechanical hazard, electrical hazard) or the nature of the potential harm (for example, electric shock hazard, cutting hazard, toxic hazard, fire hazard).

Note 2 to entry: The hazard envisaged by this definition either

- is permanently present during the intended use of the machine (for example, motion of hazardous moving elements, electric arc during a welding phase, unhealthy posture, noise emission, high temperature), or
- can appear unexpectedly (for example, explosion, crushing hazard as a consequence of an unintended/unexpected start-up, ejection as a consequence of a breakage, fall as a consequence of acceleration/deceleration).

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.6, modified by deletion of NOTE 3]

3.1.6.2

hazardous motion

movement that can cause personal physical injury or damage to health

3.1.6.3

hazardous situation

circumstance in which a person is exposed to at least one *hazard* (3.1.6.1)

Note 1 to entry: The exposure can result in harm immediately or over a period of time.

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.10.]

3.1.7 Roles

3.1.7.1

integration

act of combining a *robot* (3.1.1.2) other equipment or another machine including additional *robot systems* (3.1.1.3) and *robot applications* (3.1.1.4) to form a *robot cell* (3.1.1.9) capable of performing useful work

Note 1 to entry: This act of machine building can include the requirements for the installation of the machinery and equipment associated with the *applications* (3.1.1.6).

3.1.7.2

operator

person or persons using, operating, adjusting, maintaining, cleaning, repairing, troubleshooting, transporting, commissioning and disassembling a *robot* (3.1.1.2), *robot system* (3.1.1.3), or *robot cell* (3.1.1.9)

Note 1 to entry: This definition includes person or persons that can be expected at or near machinery, even if not performing a task associated with the specific machine or portion of a machine.

3.1.7.3

user

entity that uses *robot applications* (3.1.1.4) and *robot cell* (3.1.1.9) and is responsible for the *operator(s)* (3.1.7.2) associated with the *robot applications* and *robot cells*

3.1.8 Functional safety-related

3.1.8.1

safety function

function of the machine whose failure can result in an immediate increase of the risk(s)

[SOURCE: ISO 12100:2010]

3.1.8.2

emergency stop function

function which is intended to avert arising or reduce existing *hazards* (3.1.6.1) to persons, damage to machinery or to work in progress, and be initiated by a single human action

Note 1 to entry: ISO 13850 gives detailed provisions.

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.40]

3.1.8.3

protective stop

automatic interruption of operation that causes a cessation and prevention of motion which retains the information of the state of the *robot* (3.1.1.2), including its program, to facilitate a restart

3.1.8.4

monitored standstill

safety-rated monitored stop

safety function (3.1.8.1) that monitors the position after the *robot* (3.1.1.2) has stopped while drive power is active

3.1.8.5

monitored-speed

safety function (3.1.8.1) that limits the speed to a configured value

3.1.8.6

reduced-speed

safety function (3.1.8.1) that limits the speed to be no greater than 250 mm/s .

3.1.8.7

soft axis and space limiting

soft limit

safety function(s) (3.1.8.1) with monitored limit(s) placed on the range of motion of the *robot* (3.1.1.2)

3.1.8.8

safety function input

input signal having a specified safety-related performance

3.1.8.9

safety function output

output signal having a specified safety-related performance

3.1.9 Spaces, zones and distances

3.1.9.1

maximum space

space that can be reached by the moving parts of the *robot* (3.1.1.2)

Note 1 to entry: In the context of ISO this document, maximum space applies to the *robot* (3.1.1.2). See Annex B, Figure B.2 for a figure of the *robot* space.

Note 2 to entry: In the context of ISO 10218-2, maximum space applies to either the *robot system* (3.1.1.3) or *robot application* (3.1.1.4). See Annex B, Figures B.1 and B.3 for figures of spaces.

Note 3 to entry: In the context of *mobile platforms* (3.1.2.8), maximum space is indeterminate.

3.1.9.2

operating space

portion of the *restricted space* (3.1.9.3) that is used while performing all motions commanded by the *task program* (3.1.4.2)

Note 1 to entry: In the context of ISO this document, operating space applies to the *robot* (3.1.1.2).

3.1.9.3

restricted space

portion of the *maximum space* (3.1.9.1) reduced by *limiting devices* (3.1.9.4)

Note 1 to entry: When the restricted space refers to the *robot system* (3.1.1.3), this includes the space reached by the *end-effector* (3.1.2.3), see ISO 10218-2.

Note 2 to entry: When the restricted space refers to the *robot application* (3.1.1.4), this includes the space reached by the *end-effector* (3.1.2.3) and workpiece(s), see ISO 10218-2.

3.1.9.4

limiting device

means that reduce the range of motion of the *maximum space* (3.1.9.1), resulting in the *restricted space* (3.1.9.3)

Note 1 to entry: ISO 12100:2010, 3.28.8 has a broader definition of a limiting device, which encompasses more than motion. In ISO 12100, it is a device that prevents a machine or hazardous machine condition(s) from exceeding a designed limit (such as space limit, pressure limit, load moment limit, etc.).

Note 2 to entry: Limiting device(s) can be fulfilled by *safety function(s)* (3.1.8.1), e.g. *soft axis and space limiting* (3.1.8.7). See *soft axis and space limiting* and *safeguard* (3.1.10.2).

3.1.9.5

safeguarded space

space where *safeguards* (3.1.10.2) are active or where the perimeter safeguard provides protection

Note 1 to entry: This sometimes refers to the space within perimeter safeguarding.

Note 2 to entry: The *safeguarded space* can change dynamically.

3.1.9.6

hazard zone

any space within and/or around machinery in which a person can be exposed to a *hazard* (3.1.6.1)

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.11]

3.1.9.7

task zone

any predetermined space within and/or around the *robot system* (3.1.1.3) in which personnel can perform a specified activity

3.1.9.8

detection zone

zone within which a specified test piece is detected by *sensitive protective equipment* (3.1.10.5)

Note 1 to entry: The detection zone can be a point, line, plane or a space.

Note 2 to entry: Adapted from IEC 61496-1:2004, definition 3.4.

[SOURCE: ISO 13855:2010, 3.1.8, modified by addition of “sensitive” before “protective equipment” and adding “or a space to NOTE 1 to entry.]

3.1.9.9

hazard zone

any space within and/or around machinery in which a person can be exposed to a *hazard* (3.1.6.1)

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.11]

3.1.9.10

task zone

any predetermined space within and/or around the *robot application* (3.1.1.4) in which *operators* (3.1.7.2) can perform a specified activity

3.1.9.11

separation distance

shortest permissible distance between any moving hazardous part of the *robot application* (3.1.1.4) and any *operator* (3.1.7.2)

Note 1 to entry: This value can be fixed or variable.

3.1.10 Risk reduction measures

3.1.10.1

protective measure:

measure intended to achieve risk reduction, implemented:

- by the designer (inherently safe design, safeguarding and complementary protective measures, information for use); and/or
- by the *user* (3.1.7.3) (organization: safe working procedures, supervision, permit-to-work systems; provision and use of additional *safeguards* (3.1.10.2); use of personal protective equipment; training).

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.19]

3.1.10.2

safeguarding

protective measure using *safeguards* (3.1.10.2) to protect persons from the *hazards* (3.1.6.1) which cannot reasonably be eliminated or risks which cannot be sufficiently reduced by inherently safe design measures

[SOURCE: ISO 12100, 3.21]

3.1.10.3

safeguard

guards or *protective devices* (3.1.10.4)

Note 1 to entry: *Protective devices* (3.1.10.4) include a broad range of means by which to reduce or control risks, for example:

- interlocking devices for guards,
- *sensitive protective equipment (SPE)* (3.1.10.5),
- *safety function* (3.1.8.1), e.g. *limiting devices* (3.1.9.4) provided by *soft axis and space limiting* (3.1.8.7),
- *limiting devices* (3.1.9.4),
- limited movement control device.

[Source: ISO 12100, 3.26, modified — Note 1 to entry has been added.]

3.1.10.4

protective device

safeguards (3.1.10.2) other than a guard

Note 1 to entry: Examples of types of protective devices are provided in 3.28.1 to 3.28.9 of ISO 12100:2010.:

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.18, modified — Note 1 to entry has been adapted.]

3.1.10.5

sensitive protective equipment

SPE

equipment for detecting persons or parts of persons which generates an appropriate signal to the control system to reduce risk to the persons detected

[SOURCE: ISO 12100:2010, 3.28.5, modified — Note 1 to entry has been deleted.]

3.1.11 Verification and validation

3.1.11.1 validation

confirmation, through the provision of objective evidence, that the requirements for a specific intended use or *application* (3.1.1.6) have been fulfilled

Note 1 to entry: Validation determines if the specification accomplishes what was intended, e.g. that a specified limit is acceptable for its purpose. Validation includes functional testing.

[SOURCE: ISO 9000:2015, 3.8.13, modified — Note 1 to entry has been added.]

3.1.11.2 verification

confirmation, through the provision of objective evidence, that specified requirements have been fulfilled

Note 1 to entry: Verification determines if the design meets its specification, e.g. through review, measurement, analysis, or inspection.

[SOURCE: ISO 9000:2015, 3.8.12, modified — Note 1 to entry has been added.]

3.2 Abbreviated terms

Abbreviated term	Term	
3P	3-position <3-position <i>enabling device</i> >	5.2.9.1, 5.5.3.2, 5.5.3.3, Annex C, Annex G
Cat	Category	5.3.3, Annex C, Table D.1
Class	Classification	5.1.17, Table 1, 5.2.8.2.2, 5.2.9.1, 5.3.3, 5.7.1, 5.9.1, h), 7.5.12.7, Annex C, Table C.1, Annex E, Annex G
EMC	Electromagnetic Compatibility	5.3.7, Annex G
EMI	Electromagnetic Interference	5.3.7, Annex A, Annex G
F _{MPM}	Force maximum per manipulator	5.1.17.c), Table 1, Annex E
HFT	Hardware Fault Tolerance	5.3.3, 7.5.12.1, Annex C, Table D.1, Annex G
HGC	Hand-Guided Control	Introduction, 3.1.1.2, 5.2.9.1, 5.5.1.2, 5.10.2, Annex C, Annex G
M	Total mass of moving parts of the manipulator	5.1.17, Table 1
m _L	Effective mass of the payload for the robot application (specified maximum payload of the application)	5.1.17, Table 1

Abbreviated term	Term	
m_M	Effective mass of the moving parts of the manipulator	5.1.17, Table 1
m_R	Effective mass of the robot system as a function of robot posture and motion with specified maximum payload $m_R = \frac{M}{2} + m_L$	5.1.17, Table 1
n_{op}	mean Number of annual OPERations	Annex D
PFH_D	average Probability of dangerous Failure per Hour	5.3.3, 7.5.12, Table D.1
PFL	power and force limiting	Introduction, 3.1.1.2, 5.2.9.1, 5.4.3.3, 5.10.2, 5.10.4, Annex C, Annex G
PL	performance level	5.3.3, Annex C
PLa	Performance Level a	Annex C, Table C.2
PLb	Performance Level b	Annex C
PLc	Performance Level c	Annex C, Table C.2
PLd	Performance Level d	5.3.3, Annex C, Annex D, Annex G
PLe	Performance Level e	5.3.3, Annex C
SIL	Safety Integrity Level	5.3.3, 7.5.12.1, Annex C, Annex D
SIL 1	Safety Integrity Level 1	Annex C
SIL 2	Safety Integrity Level 2	5.3.3, Annex C, Annex G
SSM	Speed and Separation Monitoring	Annex C
SPE	Sensitive Protective Equipment	3.1.10.2, 3.1.10.5, Annex C
TCP	tool centre point	3.1.2.11, 3.1.4.4, 5.1.9, 5.1.14, 5.1.16, 5.1.17, 5.5.2.1, 5.5.2.2, 7.5.3.d), 7.5.12.2, Annex G

4 Risk Assessment

A robot manufacturer shall perform a risk assessment in accordance with ISO 12100.

Note 1 ISO 12100 provides requirements and guidance in performing hazard identification and risk reduction.

Note 2 Annex A contains a list of hazards that can be present with robots.

For robot system, robot application and robot cell requirements, see ISO 10218-2:2021.

5 Design and protective measures

5.1 Robot design

5.1.1 General

The robot shall be designed in accordance with the principles of ISO 12100 for identified hazards. For protective measures concerning information, see Clause 7.

Note See IEC 60812 and other similar standards for information about failure mode effects analysis.

5.1.2 Materials, mechanical strength and mechanical design

5.1.2.1 General

Robots shall be designed and constructed to prevent hazardous situation(s) which result from failure due to fatigue and wear. Design and construction shall take into account the lifecycle of the intended use (e.g. transportation, installation, operating conditions and maintenance in accordance with the information for use).

5.1.2.2 Materials

Materials used to build the robot shall;

- a) be selected to be appropriate for the intended use of the robot (e.g. resistance to corrosion, abrasion, impacts, temperatures, fatigue, brittleness, ageing);
- b) not endanger persons' safety or health;
- c) be non-toxic in all reasonably foreseeable conditions of use;
- d) not be prone to brittle fracture, excessive deformation, or emission of toxic or flammable fumes;
- e) retain their properties in the reasonably foreseeable range of climatic and workplace conditions, including temperature variations or sudden changes.

Where fluids are used, machinery shall be designed and constructed to prevent risks due to filling, use, recovery or draining.

5.1.2.3 Mechanical strength

The robot shall be designed and constructed to:

- withstand an overload in static tests without permanent deformation or patent defect, where strength calculations shall have a minimum static test coefficient of 1,25;
- undergo, without failure, dynamic tests using the maximum unit payload multiplied by the dynamic test coefficient, where the dynamic test coefficient shall be at least 1,1.

Tests shall be performed at the maximum speed. If simultaneous motion can be programmed, the tests shall be done using the least favourable conditions.

5.1.2.4 Mechanical design

Robots shall be designed and constructed so that exposed sharp edges, sharp corners, and hazardous projections are reduced as far as reasonably practicable. Mechanisms that enable motion shall be installed or mounted inside the robot frame such they are normally inaccessible.

Exposure to hazards caused by components such as motor shafts, gears, drive belts, or linkages which are not protected by integral covers (e.g. panel over a gear box) shall be prevented either by fixed guards or movable guards in accordance with ISO 14120. The fixing systems of the fixed guards which are intended to be removed for routine service actions shall remain attached to the robot or the guard. Movable guards shall be interlocked with the hazardous movements in such a way that the hazardous machine functions cease before they can be reached.

The design shall ensure that errors when fitting or refitting certain parts, which can be a source of risk, shall be prevented. If not practicable, the information for use shall be provided at least on the parts themselves and/or their housings.

5.1.3 Handling, lifting and transportation

Hazards due to sudden movements or instability such that tipping and falling-over during transport, lifting and handling of the robot or its component parts, shall be prevented as long as they are handled in accordance with the instructions for use.

One or more of the following measures shall be provided for lifting and shall be adequate for handling the anticipated load:

- appropriate design;
- additional support elements;
- adequate packaging.

Provisions for handling and lifting the robot and its associated components shall be provided and shall be adequate for handling the anticipated load.

EXAMPLE Lifting hooks, eye bolts, threaded holes, fork pockets.

For robots and any part of the robot intended to be handled separately whose weight does not exceed 23 kg and are designed for handling by one person, instructions for safe transport, lifting and handling may be sufficient.

Note See EN 1005-2 for manual handling of machinery and components parts of machinery.

5.1.4 Packaging

The robot, and any part of the robot intended to be handled separately, shall be packaged or designed to ensure handling without injury and storage without robot damage.

5.1.5 Stability

Robots shall be stable for installation, operation, use, disassembly and dismantling such that tipping and falling-over are prevented by specified mounting to affix the robot and its components (e.g. manipulator, control panel, teach pendant) securely.

5.1.6 Temperature and fire risks

The design of the robot shall be such that the temperatures of accessible surfaces are in accordance with the ISO 13732 series.

Where there is a risk of fire or overheating, the design principles of ISO 19353 shall be applied.

5.1.7 Special equipment

Special equipment and accessories to enable the robot to be adjusted, maintained and used safely shall be supplied or made available.

Note Usual workplace equipment, e.g. ladders, spanners, screwdrivers, hexagonal keys, is not considered to be special equipment.

5.1.8 Position holding

If the loss of power can lead to a hazard due to gravity affecting the manipulator, the robot shall have a means for maintaining robot position without drive power (e.g. brakes, pins, or other technology).

If required for safety,

- position holding shall use appropriate design margins in accordance with 5.1.2; and
- a method shall be provided for testing the position holding means if failure of the position holding means can cause a hazardous situation, e.g. unexpected movement of the manipulator.

Note 1 See 5.3.4 for failure or fault detection when position holding is provided by a safety function.

Note 2 See 5.1.10 about power loss or change.

5.1.9 Auxiliary axis (axes)

Auxiliary axis (axes) is an optional capability.

Position holding means provided with auxiliary axis (axes) shall comply with 5.1.8.

An auxiliary axis can be part of the robot's overall kinematic solution, allowing for coordination with the manipulator kinematics.

When the auxiliary axis motion affects the TCP speed in reduced-speed manual mode, the requirements of reduced-speed (5.5.2.1) shall apply to the auxiliary axis (axes).

When a monitored-speed safety function is provided with the robot, this safety function (see 5.5.2.2) shall also be provided for the auxiliary axis (axes).

Axis limiting shall be provided in accordance with 5.7 when the auxiliary axis (axes) is included in the three axes of greatest (largest) displacement motions.

5.1.10 Power loss or change

Loss or change of electrical, hydraulic or pneumatic power to the robot shall not result in a hazardous situation.

Re-initiation of power shall not lead to

- any hazardous movement(s); or
- a change of parameters.

The robot shall comply with ISO 14118 to prevent unexpected start-up.

Note See IEC 60204-1 for electrical power supply requirements. See ISO 4413 for hydraulics and ISO 4414 for pneumatics requirements.

5.1.11 Component malfunction

Robot components shall be designed, constructed, secured, or contained in accordance with 5.1.2, so that risks caused by breaking or loosening, or releasing, including those related to stored energy, are reduced to an acceptable level.

5.1.12 Hazardous energy

Stored energy shall not cause hazardous situation(s). A means shall be provided to prevent uncontrolled or hazardous release of stored energy. If the hazardous energy is potential (e.g.

spring balancer, gas balancer), the robot shall have means to secure it in a position which can be either the energized or de-energized position.

The robot shall be fitted with means to isolate it from all energy supply sources. This means shall be capable of being locked or secured.

Safe release or containment shall be provided in accordance with ISO 14118.

A label shall be affixed to identify the stored energy hazard.

Where robot axes can move due to gravity, means shall be applied either to prevent axis motion or to ensure that resulting motions can be initiated and result in a de-energized position in a controlled way. Safety function(s) for position holding (see 5.1.8) may be provided to prevent uncontrolled or hazardous release of release stored energy.

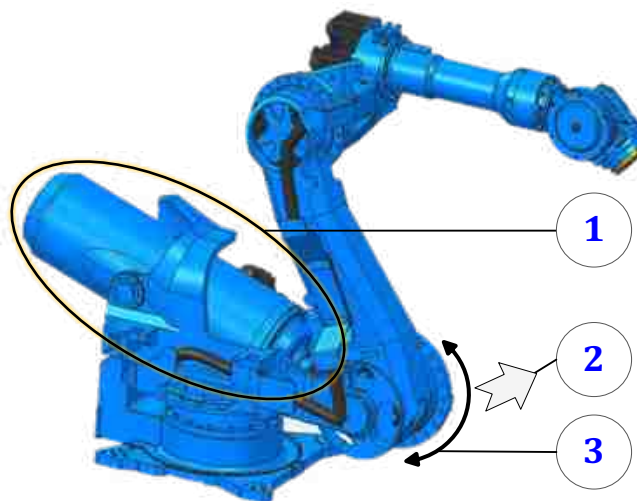
Note 1 Hazardous energy can take many forms, e.g. kinetic, gravity, electrical, pneumatic, hydraulic, thermal, chemical. The sources of these energies can sometimes be readily identified. However, often the sources are hidden or not obvious, e.g. accumulators, capacitors, batteries, springs, counterbalances, flywheels, heat as an outcome due to friction or other reactions.

Note 2 Energy saving capabilities, e.g., energy recovery or regeneration locally at the robot or back to the local mains electrical supply, can be a source of stored energy.

Note 3 This document does not cover hazards associated with nuclear, potential explosive environments, and radiation. See Scope 1.

Note 4 Preventing axis movement can be provided by securely fixing with bolts, holding brackets with sufficient design margin, etc.

Note 5 Figure 1 shows an example of stored energy in a spring balancer. A hazardous situation can occur when a motor is removed, even though the energy supply to the robot is isolated. Upon release, the unexpected motion of the robot due to the energy in the spring balancer can cause injury, e.g. crushing, entrapment.



Key

- 1 spring balancer
- 2 motor removal (direction of motion removal)
- 3 motion direction

Figure 1: Example of stored energy in a spring balancer

5.1.13 Electrical, pneumatic and hydraulic parts

The electrical parts shall be in accordance with the relevant requirements of IEC 60204-1.

The pneumatic equipment shall be in accordance with the relevant requirements of ISO 4414.

The hydraulic equipment shall be in accordance with the relevant requirements of ISO 4413.

Note 1 For requirements related to specific sub-assemblies and components, see relevant IEC or ISO standards, e.g. IEC 60269, IEC 60947, ISO 13850.

Electrical, hydraulic and pneumatic connectors shall be selected to prevent erroneous connection when this can lead to a hazardous situation. Where this is not practicable, connectors shall be labelled to lessen the likelihood of erroneous connection(s).

Note 2 See IEC 60204-1, 13.4.5 for requirements for plug-socket combinations.

Electrical, hydraulic and pneumatic connectors that can cause a hazard if they are separated or if they break away, shall be designed and implemented to prevent unintended separation.

5.1.14 Tool centre point (TCP) setting

If a TCP setting is needed for a safety function, it shall be possible for a TCP setting to be entered in accordance with 5.3.5.

Failure to enter the TCP setting shall result in a warning of the need for entry of a value. Upon manual reset of the warning, the program may continue. After the manual reset of the warning, subsequent warnings are not required.

The range of acceptable values shall be limited.

EXAMPLE: If the robot has a TCP monitored-speed safety function, a TCP offset setting can be needed.

Note 1 TCP settings are the dimensional values that define the location of the TCP relative to the mechanical interface to enable the TCP to be controlled; e.g. speed, pose.

Note 2 If the robot and auxiliary axes are being operated in coordination with one another, each individual axis can move at different speeds and this includes the auxiliary axis.

5.1.15 Payload setting

If a payload setting is needed for a safety function, it shall be possible for a payload setting to be entered in accordance with 5.3.5.

Failure to enter the payload shall result in a warning of the need for entry of a value. Upon manual reset of the warning, the program may continue. After the manual reset of the warning, subsequent warnings are not required.

The range of acceptable values shall be limited.

5.1.16 Cybersecurity

A cybersecurity assessment of the robot shall be carried out. If the assessment has identified that a threat can result in (safety) risk(s), measures to support cybersecurity shall be provided. These measures shall include the means to prevent unauthorized access to the robot, its hardware, software, configuration data and the industrial robot application program.

The means to prevent unauthorized access can include providing the following:

- ability to disable access to communications ports, e.g. TCP/UDP port;
- ability to change the TCP/UDP port number, e.g. logical connection;
- authenticated protection of the safety configuration;

- ability to change the default usernames and passwords;
- use of encrypted and authenticated protocols.

Note 1 For further information, see ISO/TR 22100-4:2018.

Note 2 For information and requirements about security of industrial automation and control systems, see IEC 62443 series and IEC TR 63074:2019.

5.1.17 Robot class

Robots shall be classified as either Class I or Class II. Classification as a Class I robot shall be determined in accordance with Table 1, by the maximum capability of the manipulator without being limited by robot control or safety functions, based on the following values:

- a) maximum achievable speed of the TCP;
- b) total mass of moving parts of the manipulator (M);
- c) maximum achievable force per manipulator (F_{MPM}) in accordance with the test methodology in Annex E.

Note 1 Maximum speed M , and F_{MPM} are not used for determining risk or suitability for use in collaborative application (see ISO 10218-2). These are factors solely used in determining if a robot is a Class I robot.

The total mass of moving parts of the manipulator (M) shall be determined by measurement of the weight of the moveable parts of the manipulator without its fixed base. When the manipulator is intended to be used in applications where the base moves, the total mass of the manipulator (with the base and its fastenings) shall be provided.

Note 2 Applications where the base moves can include mounting the manipulator (including its base) to a mobile platform, track, gantry, etc.

Robots may be classified as a Class II robot without performing testing in accordance with Annex E. In this case, the robot shall meet the requirements of Class II robots including the functional safety requirements in accordance with 5.3.

Table 1: Robot class

Robot Class	Total mass per manipulator (M) [kg]	Maximum force* per manipulator (F_{MPM}) [N]	Maximum speed [mm/s]
I	10 kg and under	50 and under	250 mm/s and under
II	Over 10 kg	Over 50	Over 250 mm/s
NOTES: M is the total mass of the moving parts of the manipulator. See Annex E for M test methodology. If multiple manipulators are provided, M is per manipulator. See reference [65] FP 0317 (Mainz Study) for derivation of the 50 N maximum force per manipulator value (F_{MPM}). * Maximum force is with a manipulator minimum contact area of 0.5cm ² [65]. Reference [65] FP 0317 (Mainz Study): the third quartile of the 29 body parts that were considered (except head and neck) study FP 0317 shows that forces of around 50N are below pain onset independent of pressure (except needles and knives). Therefore, the 50 N limit can be applied as a general borderline between robot class I and II.			

5.2 Robot controls

5.2.1 General

Control systems shall be designed so that reasonably foreseeable human error during operation does not lead to hazardous situations.

5.2.2 Protection from unexpected start-up

The means for the prevention of unexpected start-up shall comply with ISO 14118. Control functions shall be implemented and control devices, if provided, shall be located appropriately.

Unexpected start-up due to a start command which is the result of a failure in or an external influence on the control system shall be avoided by appropriate control system design in accordance with the requirements of 5.3, 5.4 and 5.5.

Unexpected start-up due to a start command generated by inopportune action on a start control or other parts of the machine such as a sensor or a power control element shall be prevented by a restart interlock function in accordance with 5.5.1.2.

Unexpected start-up due to restoration of the power supply after an interruption shall be prevented by a start interlock function in accordance with subclause 5.5.1.1.

5.2.3 Singularity

Motions defined in Cartesian space that pass near singularities can produce unexpected axis speeds and motions. Prior to the occurrence of a singularity, the robot shall fulfil one of the following:

- a) generate repeatable motion and speed while passing through the singularity;
- b) task program execution stops without further motion, a warning is provided, and recovery from the stop requires a manual restart the task program;
- c) generate an audible or visible warning signal and continue to pass through the singularity with speeds limited in accordance with reduced-speed (5.5.2.1).

Note Risks due to singularity can occur in automatic mode (5.2.8.1) when capabilities used to enable collaborative applications (5.12) are active and in manual mode (5.2.8.2).

5.2.4 Interlocking functions

Interlocking devices associated with guards shall comply with ISO 14119.

Note See 5.5.1, Start and restart interlocking.

5.2.5 Status indication and warning devices

Status of the robot shall be clearly indicated, e.g. power on, fault detected, mode (5.2.8), automatic operation in process, direct control (5.2.7.2), external control (5.2.7.3). Indicators shall be suitable for the installed location and shall meet the requirements of IEC 60204-1.

When provided, warning devices (e.g. audible and visual) shall be in accordance with ISO 12100, IEC 60204-1 and IEC 60073.

Note IEC 60073 contains the basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – coding principles for indication devices and actuators. IEC 61310 series is specific to safety of machinery with requirements for indication, marking and actuation. The IEC 61310 series is normatively referenced in IEC 60204-1.

5.2.6 Labelling

Control devices, indicators and displays shall be labelled to clearly indicate their function, e.g. power on “I”, power off “O”, in accordance with IEC 60204-1 and IEC 60073-2. See Annex F.

5.2.7 Single point of control

5.2.7.1 General

Single point of control shall be implemented by one the following:

- by authentication of the communication controlling the robot in accordance with 5.1.16;
- as a safety function in accordance with 5.3.

Only one source of control shall be accepted at one time.

5.2.7.2 Direct control

When direct control is provided, it shall be in accordance with 5.2.7 (single point of control). When the robot is under direct control, the following shall be prevented from external controls (5.2.7.3):

- a) initiation of robot motion;
- b) program changes;
- c) changes of safety configuration;
- d) change of control to another control station;
- e) updates to the control program.

The activation of the direct control shall always override any other sources of control. The activation of the direct control shall be the result of a deliberate action on a specific control device on the control station.

Note For means of controlling the robot, which includes teach pendants, see 5.2.9.

5.2.7.3 External control

External control capability may be provided. If means of programming are not provided with the robot, such that external means are required (e.g. by connection to a computer), those shall be considered external controls.

When direct control (5.2.7.2) is provided, the following shall be fulfilled in accordance with 5.2.7.1:

- a) a deliberate action shall be required at the direct control to enable the external control;
- b) enabling of the direct control shall result in an immediate disabling of any external control;

Note For means of controlling the robot, which includes teach pendants, see 5.2.9.

5.2.8 Modes

5.2.8.1 Automatic

The robot shall have an automatic mode. In automatic mode, the robot shall execute the task program and the relevant configured safety functions shall be active. Any detected stop condition shall result in a stop for all moveable parts of the robot.

Automatic operation shall not start until a separate confirmation is provided by the operator.

5.2.8.2 Manual

5.2.8.2.1 General

Robot movements shall only be possible in accordance with 5.2.9, which is the single point of control (5.2.7) of the robot.

5.2.8.2.2 Reduced-speed

The robot shall have a reduced-speed manual mode for jogging, teaching, programming and program verification. This requirement may be excluded for Class I robots that are exclusively designed for applications where it is foreseeable that the jogging, teaching, programming and program verification do not lead to a hazardous situation.

Robot movements shall only be possible during the actuation of the enabling device in accordance with 5.5.3 and with reduced-speed in accordance with 5.5.2.1.

Automatic operation shall be prevented when the robot is in manual mode.

Note Previously, reduced-speed manual mode was also known as manual reduced-speed, T1 or teach.

5.2.8.2.3 High-speed

The robot may have a high-speed manual mode, where the speed may be greater than reduced-speed. High-speed manual mode is intended only for verification of programmed tasks (see ISO 10218-2).

When high-speed manual mode is provided, the robot shall have a:

- a) means to select high-speed manual mode in accordance with 5.2.8.2.3;
- b) means to manually increase the speed in multiple steps, starting from the reduced-speed setting which can be 250 mm/s or lower;
- c) display of the actual speed;
- d) monitored-speed, in accordance with 5.5.2.2, that is active;
- e) separate start/stop control in conjunction with an enabling device in accordance with 5.5.3;
- f) speed limit no greater than the reduced-speed setting for the following situations:
 - upon selection or activation of manual high-speed;
 - when the enabling device, in accordance with 5.5.3, is re-initiated by placing the enabling device in the centre-enabled position after either having been released or fully compressed;
- g) if the enabling device is released for five (5) minutes or more, a separate deliberate action to resume the higher speed that was previously selected shall be required;
- h) monitored-speed safety function output indicating that the robot is in high-speed manual mode.

The robot may have one or both of the following capabilities:

- the means to disable high-speed manual mode;
- the means to set the monitored-speed limit to a value of 250 mm/s or lower.

Note This optional high-speed manual mode has previously been known as manual high speed or T2.

5.2.8.3 Selection, activation and change of the operating mode

Selection of the operating mode shall require an intentional action, e.g., key switch, selection on touch screen.

Note 1 Selection of the operating mode is not considered a safety function.

The selected mode shall be:

- clearly identifiable;
- unambiguously indicated;
- visible or displayed.

Mode selection may be restricted with a secured access means (e.g. key, access control systems or access codes) that limits the use of some modes or functions of the robot.

Changing between any mode shall result in a protective stop (5.4.3). Initiation of motion shall be in accordance with the requirements of start and restart interlocking (5.5.1).

Where the change of the mode results in a change in the active risk reduction measures:

- a) the activation of the selected mode shall be considered a safety function;
- b) only one operating mode shall be active at a time;
- c) each mode shall have the necessary risk reduction measures active for that mode;
- d) activation of the selected operating mode shall not initiate robot motion or other hazards.

Note 2 Many robots implement manual mode so that the robot inputs for the “perimeter safeguard” are not active in manual mode (to allow entry), while “perimeter safeguard” would be active in automatic.

An optional output(s) may be provided to indicate the active mode. When provided for safety-related purposes, the safety function output(s) shall comply with the requirements of 5.3.

Note 3 Symbols for mode labelling are shown in Annex F.

5.2.9 Means of controlling the robot

5.2.9.1 General

The robot shall have the means by which to control, command, program/teach, configure and troubleshoot the robot, such as. teach pendant or other control station(s). At least one of the following means shall be provided:

- a) control panel or teach pendant;
- b) external control capability and the corresponding connectivity (cabled or wireless).

Each control station or teach pendant shall have an emergency stop device in accordance ISO 13850:2015, 4.3.5, for the initiation of an emergency stop function in accordance with 5.4.2.

Any pendant that can initiate motion or cause movement(s) shall have an enabling function and a 3P enabling device in accordance with 5.5.3.

For Class I robots in accordance with 5.1.17, where their maximum force and speed are limited by inherently safe design:

- a 3P enabling device is not required; and

— a safety function input shall be provided for the integration of an external 3P enabling device.

Class I robots shall be designed such that foreseeable robot tasks (e.g. maintenance, troubleshooting, and other tasks) can be performed safely without the 3P enabling device, if this is not possible, then a 3P enabling device shall be provided with the robot.

Note 1 Hand-held units (pendants) linked to the robot, which only have the capability of visualizing robot parameters are not considered as control stations or teach pendants.

Teach pendants and control panels shall be in accordance with IEC 61310-1:2007, IEC 61310-2:2007 and IEC 61310-3:2007.

A visual signal at the control station shall indicate the active status of a control station e.g. an indicator light on a control panel or a warning at a teach pendant display.

For robots with external control capability, control stations (including teach pendants) provided with the robot shall indicate when external control is active.

Where control stations are mounted onto or within the robot manipulator, one or more of the following risk reduction means shall be applied:

- hand-guided controls (HGC) in accordance with 5.10.2;
- power and force limiting (PFL) in accordance with 5.10.4.

Note 2 HGC (5.10.2) can be combined with PFL (5.10.4).

Note 3 For requirements of single-point-of-control, direct control and external control, see 5.2.7.

5.2.9.2 Teach pendant(s)

Teach pendants may have a fixed connection, e.g. fixed attached cable, to the robot or a detachable connection (pluggable detachable cable or wireless connection in accordance with 5.2.9.3).

The mass and size of teach pendants shall not lead to fatigue and discomfort derived from the intended use.

Note EN 1005-5 gives guidance for the evaluation of handling machine parts with masses under 3 kg. EN 1005-2 gives guidance for the evaluation of handling machine parts with masses equal or larger than 3 kg over distances under 2 m.

Teach pendants shall be provided with the following means or instructions:

- placement or stowage to minimize the possibility of damage which can result in a hazard;
- cable stowage, if applicable, to reduce entanglement and tripping hazards.

5.2.9.3 Cableless or detachable teach pendant(s)

Teach pendants that have no cables connecting to the robot, or where the cable can be detached, the following shall be fulfilled:

- a) visual indication shall be provided to show that the teach pendant is active, e.g. at the teach pendant display;
- b) visual indication shall be provided to indicate which robot the teach pendant is connected (e.g. at the teach pendant display) at the robot;
- c) loss of safety-related communication shall result in a protective stop for all robots being controlled when in manual mode(s).

- d) restoration of safety-related communication shall not restart robot motion without a separate deliberate action;
- e) their emergency stop device(s) shall be in accordance with ISO 13850:2015, 4.3.8;
- f) an unambiguous means shall be provided to connect and disconnect robot control from the teach pendant (e.g. a positive action by the operator);
- g) safety-related wireless communication (e.g. radio, infra-red) of teach pendants shall be in accordance with IEC 62745; and
- h) a means shall be provided to prevent confusion between active and inactive emergency stop devices, (e.g. stowage or instructions for providing stowage).

5.2.10 Means of initiating automatic operation

The robot shall not start automatic operation until a separate confirmation is provided by the operator.

The robot shall provide the means by which to

- start automatic operation from a control device other than the teach pendant;

Note 1 This function can be achieved by the restart interlock, see 5.5.1.2.

- prevent robot automatic operation from being initiated only by the teach pendant.

Note 2 This can be provided by the integration (ISO 10218-2) using an external input to the robot.

5.3 Safety functions

5.3.1 General

Safety-related control systems (electric, hydraulic, pneumatic, mechanical and software) shall comply with 5.3 and Annex C.

The safety-related control system performance of all safety functions of the robot shall be provided, in the information for use, in accordance with Annex D.

Note 1 Table D. 1 shows an example format to present the required information.

A robot may be provided with capabilities and safety functions in accordance with 5.10 to enable the implementation of collaborative tasks in accordance with ISO 10218-2. Optional features (Annex I) can be provided (see Annex C).

Note 2 Safety-related control systems can also be called SRP/CS (safety-related parts of control systems) or SCS (safety related control system).

5.3.2 Functional safety standards

Safety related parts of the control system (SRP/CS or SCS) shall be designed in accordance with either:

- ISO 13849-1 *Safety-related parts of control systems – General principles for design*; or
- IEC 62061 *Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*.

ISO 13849 and IEC 62061 standards address functional safety using similar but different methods.

5.3.3 Performance

The minimum functional safety performance for safety functions shall be at least one of the following:

- Performance Level (PL) d, category 3 architecture in accordance with ISO 13849-1:2015;
or
- Safety Integrity Level (SIL) 2, hardware fault tolerance (HFT) = 1 with a mission time of not less than 20 years, in accordance with IEC 62061:2015;
or
- Performance Level (PL) d or SIL 2, with a PFH_D less than $4.43 \times 10^{-7}/h$.

Another criterion may be provided for a specific robot Class (5.1.17, Table 1) and a specific safety function (Table C.2) in accordance with Annex C.

Note A robot application can require safety function(s) meeting PLe (Cat 3) or SIL 3 (HFT 1). See ISO 10218-2.

A robot may have safety functions with a higher functional safety performance than the required PLd or SIL 2 that may be integrated into safety function subsystems external to the robot using safety related inputs and outputs.

When provided, the robot safety related inputs and outputs associated with a PLd or SIL 2 safety function shall be redundant and capable of being implemented into a control system with a redundant architecture

5.3.4 Failure or fault detection

Any failure of the safety-related control system or fault detected of a safety-related function shall result in a stop category 0 or 1 in accordance with IEC 60204-1. Triggering a safety function indicates that the safety function is working as intended, which is not a failure or fault of the safety function. The triggering of the safety function shall result in the defined result(s) of the safety function in accordance with Annex C.

5.3.5 Parametrization of safety functions

The robot shall be provided with the means and capability for software-based parameterization of safety-related application software and for designing the safety-related application software. This shall be considered as a safety-related aspect as stated in ISO 13849-1:2015, 4.6.4 or IEC 62061:2015, 6.11.2.

Note Correct operation of safety function is based on proper and reliable setting of a safety-related parameter(s) used in the safety function(s), especially for safety-related application software.

Therefore, software on-line tools, as defined in IEC 61508-4: 2010, 3.2.10, shall not be used.

Once the safety function(s) are activated, the safety function(s) shall always be active upon turning power on.

Manual change(s) to safety-related parameters shall require the restart of the robot control after change(s). Safety-related parameters shall not be capable of being reconfigured during automatic execution of the task program.

For a specific parameter, a set of different values may be configured and a specific value of the different set applied during a specific part of the task program.

Safety function parameter settings shall generate an identifier (e.g. checksum) so that changes to these settings can be identified.

Information on the active settings and configuration of the safety functions shall be capable of being viewed and documented, for example by showing the identifier's result on the user interface. Additional data may be provided, e.g. configuration information, authorized personnel, configuration date.

5.3.6 Communications

When data communications are used in the implementation of a safety function, the requirements of IEC 61508-2:2010, 7.4.11 shall be applied.

When a robot has an internal robot network, the network shall be considered as a transmission category 1 network in accordance with Table 2. When a robot has an external network, the network shall be considered as a transmission category 2 or category 3 network in accordance with Table 2. The characteristics of the transmission categories (1, 2, or 3) are described in Table 3.

Note 1 A transmission category 1 network typically has a fixed maximum number of participants, while a category 2 network is a less controlled network but has negligible opportunity for unauthorized access. A transmission category 3 network has unknown properties and a high risk of unauthorized access. See Table 3.

Table 2: Robot network – countermeasure requirements

Transmission Category	Repetition	Deletion	Insertion	Resequencing	Corruption	Delay	Masquerade
1	+	+	+	+	++	+	-
2	++	++	++	+	++	++	-
3	++	++	++	++	++	++	++
<p>NOTE The term: “masquerade” means that the true source of a message is not correctly identified. For example, a message from a non-safety element is incorrectly identified as a message from a safety element. [Source: IEC 61508-2:2010, 7.4.11.1]</p> <p>Key</p> <p>- Threat can be neglected.</p> <p>+ Threat exists, but rare; weak countermeasures sufficient.</p> <p>++ Threat exists; strong countermeasures required.</p>							

Table 3: Categories of communications transmission systems

Transmission Category	Main characteristics
1	Designed for known and fixed maximum number of participants. All properties of the transmission system are known and invariable during the lifetime of the system. Negligible opportunity for unauthorised access.
2	Properties are unknown, partially unknown or variable during the lifetime of the system. Limited scope for extension of user group. Known user group or groups. Negligible opportunity for unauthorized access (networks are trusted). Occasional use of non-trusted networks.
3	Properties are unknown, partially unknown or variable during the lifetime of the system. Unknown multiple user groups. Significant opportunity for unauthorized access.
SOURCE: IEC 62280:2014 Table B.1, first 2 columns	

Note 2 For a full description of communications categories, see IEC 62280:2014 or EN 50159:2010.

5.3.7 Electromagnetic compatibility (EMC)

Safety-related EMC (i.e. immunity and emission) shall comply with the electromagnetic interference (EMI) and EMC requirements of ISO 13849-1 or IEC 62061 as applied.

Note This requirement is relevant to functional safety. Other EMC standards can be required by other standards.

5.4 Robot stopping functions

5.4.1 General

Every robot shall have a protective stop function, an independent emergency stop function, and another stop function. Each stop function shall have provision for the connection of external devices.

The robot shall be designed such that stop functions have precedence over any other control functions. When a stop function has been initiated, no other control functions shall enable robot movement until the stop condition has been achieved.

The functional safety performance shall be in accordance with 5.3.

Table 3 compares the stop functions.

Table 1 — Comparison of the stop functions

Parameter	Other stop	Emergency stop	Protective stop
Purpose	Stopping, on/off	Emergency	Safeguarding
Effect	Stop the robot or its hazardous functions, then remove energy to actuators	Remove energy sources to all hazards	Safely control the safeguarded hazard(s) in accordance with either 5.4.3.1 (protective stop, general) or 5.4.3.3 (monitored standstill safety function)
Initiation	Manual	Manual	Manual, automatic or may be automatically initiated by a safety function
Stop category in accordance with IEC 60204-1	0 or 1	0 or 1	0, 1 or 2
Safety-related control system performance	Not required	See performance requirement in Annex C.2	See performance requirement in 5.3.
Reset	Not applicable	Manual only	Manual or automatic <i>Can vary with each safety function that initiates a protective stop</i>
Use frequency	Frequent	Infrequent	Variable: from on-going (i.e. internal robot safety functions) to infrequent

5.4.2 Emergency stop

5.4.2.1 General

The robot shall have one emergency stop function stop, category 0 or 1, in accordance with IEC 60204-1. The emergency stop function(s) and device(s) shall be in accordance with ISO 13850 and the emergency stop function shall

- take precedence over all other robot control and stop functions;
- cause all hazards within the span-of-control to stop;
- remove drive power from the robot actuator(s); and
- remain active until it is reset.

The emergency stop function shall only be reset by manual action that does not cause a restart after resetting but shall only permit a restart to occur.

The robot shall include the capability for the connection of an external emergency stop input for use by the robot system, see ISO 10218-2.

5.4.2.2 Control station and teach pendant

Any control station or teach pendant which has the capability of initiating robot motion or other hazardous situations shall have a manually initiated emergency stop function.

5.4.2.3 Emergency stop input

Any safety function input for emergency stop shall remain operative when power is turned off and then turned on;

Note See 5.2.2 for prevention of unexpected start-up.

5.4.2.4 Emergency stop output

When a safety function output for an emergency stop is provided, the output shall remain operative when power is turned off and then turned on;

- a) fault detection shall be in accordance with 5.3.6;
- b) functional safety performance shall be in accordance with 5.3.

Note See 5.2.2 for prevention of unexpected start-up.

5.4.3 Protective stop

5.4.3.1 General

The robot shall have one or more protective stop functions that have the capability to be initiated by an internal safety function or external protective device(s).

This stop function shall:

- a) cause a stop of all robot motion;
- b) be a stop category 0, 1 or 2, in accordance with IEC 60204-1;
- c) if the protective stop is a stop category 2 stop in accordance with IEC 60204-1, it shall result in a monitored standstill in accordance with 5.4.3.3;
- d) shall always be active in all modes for robots supplied without an enabling device (5.5.3).

This stop may be initiated manually or automatically.

5.4.3.2 Protective stop output

When a safety function output for a protective stop is provided, the output shall continue to function or generate a protective stop upon removal of power.

5.4.3.3 Monitored standstill

A monitored standstill shall be provided when it is required to prevent unintended motion of the robot following a robot stop in accordance with category 2 of IEC 60204-1:2016. Any unintended motion of the robot in the monitored standstill state shall result in a stop category 0 or 1 in accordance with IEC 60204-1:2016.

Monitored standstill shall be provided for the following:

- hand-guided robots in accordance with 5.10.2, without PFL capabilities in accordance with 5.10.4;
- power and force limited by safety functions in accordance with 5.10.4;
- simultaneous motion (5.6).

When monitored standstill is provided, the robot shall have a safety function output which signals that the robot standstill is monitored.

This safety function may also be initiated from external protective devices.

5.4.4 Other stop

The robot shall be provided with a means to initiate a stop function.

This stop function, when activated, results in a stop category 0 or 1 in accordance with IEC 60204-1:2016. This function can be used as a normal stop function. A protective stop input that initiates a Category 0 or 1 stop (IEC 60204-1) can be used for this stop function.

When a control station is provided with the capability to initiate motion or operation in automatic mode, then it shall have the capability to stop motion, i.e. normal stop.

Note 1 The prepares the robot for the robot application to implement a normal stop.

Note 2 See 5.2.10 for initiation of automation operation.

5.5 Other safety functions

5.5.1 Start and restart interlocking

5.5.1.1 Start interlock

The robot control shall have a start interlock function to prevent automatic start of the robot when the robot is in manual mode and the energy supply to the robot is switched on or is interrupted and restored.

The reset of the start interlock shall only be possible by a deliberate actuation of a specific control device in a control station of the robot (e.g. an electromechanical pushbutton in a control panel or a virtual pushbutton on the touch screen in a teach pendant).

5.5.1.2 Restart interlock

The robot control system shall have a restart interlock function to prevent the automatic restart of the robot as follows:

a) after a change in the mode of operation:

- from automatic mode to manual mode;
- from reduced-speed manual mode to high-speed manual mode and from high-speed manual mode to reduced-speed manual mode;
- from modes described in 5.2.8 to other modes and vice versa, when the automatic start can lead to a hazard;

Note For a change within a mode to the same mode with HGC, the restart interlock can be reset by the actuation of the hold-to-run device.

b) in manual mode, after a protective stop is initiated by any enabled protective function.

The reset of the restart interlock shall require a deliberate actuation of a specific control device in a control station of the robot (e.g. an electromechanical pushbutton in a control panel, a virtual pushbutton on the touch screen in a teach pendant).

The control device shall not be the same as the control device used for the reset of the start interlock (5.5.1.1).

5.5.2 Speed limit(s) monitoring

5.5.2.1 Reduced-speed

The robot shall have reduced-speed safety function(s) to enable limiting the speed(s) to 250 mm/s or less. With the reduced-speed safety function active, the speed of the TCP and any point of the manipulator shall not exceed 250 mm/s including the effects of any auxiliary axis.

It shall be possible to select speeds lower than 250 mm/s as the maximum limit.

Reduced-speed functional safety performance shall be in accordance with 5.3. This safety function shall be enabled in reduced-speed manual mode (see 5.2.8.2.2).

Note See ISO 10218-2 for manual mode reduced-speed requirements of the robot application.

5.5.2.2 Monitored-speed

Monitored-speed shall be in accordance with 5.3. The robot may have a monitored-speed safety function(s) to enable limiting the speed of one or more of the following:

- the TCP;
- one or more axis(es).

With the monitored-speed safety function active, the speed of the TCP and any point of the manipulator shall not exceed the set (monitored) speed including the effects of any auxiliary axis.

When a monitored-speed safety function is provided, the robot may have the capability to disable the monitored-speed safety function. Disabling this function shall be part of parameterization in accordance with 5.3.5.

5.5.3 Enabling function

5.5.3.1 General

An enabling function shall be active in manual mode in accordance with 5.7.1. The enabling function is a control function interlock manually activated by one or more enabling devices that:

- a) when enabled, allows a robot operation to be initiated by a separate start control, and
- b) when not enabled
 - initiates a stop function, and
 - prevents initiation of machine operation.

Note An enabling function permits robot motion, when the emergency stop is not activated, while in manual mode.

5.5.3.2 Enabling device

The enabling device shall be a 3P type enabling control device in accordance with IEC 60204-1:2016, 10.9 and IEC 60947-5-8. When non-electromechanical switches are used in the enabling device, they shall comply with equivalent requirements.

Enabling devices integral to a teach pendant in accordance with 5.2.9 shall be three-position (3P) type with the functionality in accordance with 5.5.3.3.

Additional 3P enabling devices may be integral with, or physically separate (e.g. a grip-type 3P enabling device) from an additional teach pendant and shall operate independently from any other motion control function or device.

5.5.3.3 Functionality

The enabling device implementation shall have a functional safety performance in accordance with 5.3.

When continuously held in a centre-enabled (ON) position, the enabling device implementation shall permit robot motion.

Note 1 For a 3-position (3P) enabling device, centre ON is the enabled position while OFF is the released and compressed positions.

The enabling device shall have the following functionality:

- a) release of all enabling device on the same teach pendant shall cause a protective stop;

Note 2 If two (2) 3P enabling devices, on the same teach pendant, are being held in the centre-enabled position, it cannot be distinguished if one of them is intentionally released or it is unconsciously released.

- b) release of any active enabling devices that are not integrated to the teach pendant shall cause a protective stop;
- c) full compression of any 3P enabling device on a teach pendant shall cause a protective stop in accordance with 5.4.3;
- d) after compression past the centre-enabled position of the 3P enabling device to the “compress OFF” position, the following shall be fulfilled:
 - 1) going from fully compressed (compress OFF) to the centre ON position shall not permit robot motion; and
 - 2) robot motion shall only be permitted after the 3P enabling device has been fully released (“release OFF” position) after being in the “compress OFF” position;
 - 3) robot motion shall not be permitted until the 3P enabling device is moved to the centre (ON) position;
- e) change from automatic mode to manual mode when the enabling device is in the centre ON position, shall require that the enabling device be released (release OFF) and re-enabled (centre ON) before robot motion is permitted.

Note 3 It is important to consider the ergonomic issues of sustained exertion of manual activation force in the design and integration of the enabling device into the teach pendant.

5.6 Simultaneous motion

Multiple manipulators may be linked to a single teach pendant, where the teach pendant has the capability to move manipulators independently or in simultaneous motion. When configured for simultaneous motion and in manual mode, the following shall be fulfilled:

- a) all robot functions shall be under the control of the one teach pendant;
- b) manipulators to be included in simultaneous motion shall be selected before the manipulator(s) can be moved;
- c) to be selected for simultaneous motion, the selected manipulators shall be in the same operating mode (e.g. reduced-speed manual mode);
- d) an indication shall be provided at the point of selection (e.g. at the pendant, control cabinet, or manipulator) of the manipulator(s) that have been selected for simultaneous motion;
- e) only selected manipulators(s) shall be capable of being moved;
- f) manipulators not selected shall not be able to be moved.

Unexpected start-up (5.2.2) shall be prevented of any manipulators not selected.

5.7 Limiting robot motion

5.7.1 General

A means to limit the motion of the robot to be less than the maximum space shall be provided. The means shall limit the three (3) axes of greatest (largest) displacement motions. The robot shall comply with 5.9.2, 5.9.3, 5.9.4 or a combination thereof.

Note 1 The greatest displacement motions are typically the three axes with largest movements.

Note 2 In the context of this document, auxiliary axes are part of the robot.

For Class I robots in accordance with Table 1, limiting robot motion may be optional.

Either the robot shall not move beyond the limiting device(s) position or, upon reaching the limiting device(s), shall initiate a protective stop (5.4.3).

Limiting device(s) shall have capability to stop robot motion under the following conditions:

- maximum payload;
- maximum speed;
- worst pose that results in the maximum strain to the limiting device(s).

Note 3 The maximum strain is the pose that results in the greatest motor torque.

The motion limit shall be defined as being one of the following:

- a) at the actual expected position after reaching a mechanical limiting device, including the case of dynamic overshoot or deformation of a mechanical stop;
- b) at the actual expected stopping position that accounts for the stopping distance travel after reaching any of the following:
 - 1) electro-mechanical limiting device (5.7.3) actuation position;
 - 2) soft axis and space limiting (5.7.4) position or plane where the intended result is a protective stop;
- c) at the soft axis and space limit position (or plane) when the stopping distance travel is accounted for directly by the soft axis and space limiting safety function(s) to ensure the position or plane shall not be exceeded. Stopping distance is not a consideration in determining the restricted space in this situation because the safety function includes stopping distance.

5.7.2 Mechanical axis limiting devices

The robot shall have provisions for the attachment and integration of adjustable mechanical or electro-mechanical limiting devices when soft axis and space limiting safety function(s) (5.9.4) is not provided.

Note 1 Adjustable devices allow the user to configure the size of the restricted space.

Note 2 Mechanical stops, e.g. hard stops, are manually adjusted and then manually secured with fasteners.

Note 3 The provision of instructions for obtaining and utilizing limiting devices can fulfil the requirements of this clause.

Testing of mechanical stops shall be without any assisted stopping.

5.7.3 Electro-mechanical axis limiting devices

Electro-mechanical means of limiting the range of motion may be provided only if they are designed and implemented to meet the performance specified in 5.3.3. The functional safety performance of electro-mechanical limiting device safety functions shall comply with the requirements in 5.3.

The robot control and task programs shall not change electro-mechanical limit device settings.

5.7.4 Soft axis and space limiting

Safety functions that provide soft axis and space limiting shall comply with the requirements in 5.3. Soft axis limiting safety functions are software-defined limits to robot motion. Space limiting safety functions define geometric shapes or planes which can be used to limit robot motion to be inside a defined space, or to prevent the robot from entering into a defined space.

Soft axis and space limiting safety functions may be used to limit motion and to define the restricted space (see ISO 10218-2).

During recovery from any protective stop when the robot position is outside a soft axis and space limiting safety function limit setting, the robot shall be in reduced-speed manual mode as described in 5.2.8.2.2.

The settings for soft axis and space limiting safety functions shall be safety-related parameter(s) in accordance with 5.3.5.

Note 1 A combination of several safety function limits can be used to create dynamic restricted spaces.

Note 2 Soft axis and space limiting safety functions can be particularly useful in controlling motion in irregular shaped restricted spaces or protecting against pinch-points created by obstructions. See ISO 10218-2.

5.7.5 Dynamic limiting

Dynamic limiting automatically modifies the robot's axis limiting safety functions resulting in changes to the robot restricted space during automatic operation. Dynamic limiting safety function(s) are optional. When provided, dynamic limiting shall comply with 5.3 and may be accomplished by parametrization in accordance with 5.3.5.

5.8 Movement without drive power

Means shall be provided so that the axes can be moved without the use of drive power in emergency or abnormal situations. Instructions shall be provided.

Note 1 Some robots can be moved with or without drive power by one operator.

Where practicable, moving the axes shall be carried out by a single operator. The means shall have the capability to be readily accessible but be protected from unintended actuation. If movement of axes by hand can be done, information for use shall include whether robot damage would result such that repair is needed before resumption of robot use.

Note 2 Some robot require external equipment for movement (e.g. crane, lift truck), which is not provided with the robot.

5.9 Lasers and laser equipment

When robots have integrated laser equipment, the design and integration shall prevent any accidental radiation. Laser equipment shall be safeguarded such that hazardous situations due to exposure to effective radiation, radiation produced by reflection or diffusion and secondary radiation is prevented.

Optical equipment for the observation or adjustment of laser equipment shall not create a hazardous situation from its use.

5.10 Capabilities for collaborative applications

5.10.1 General

To develop a collaborative task in accordance with ISO 10218-2, robot capabilities, including safety functions, can be needed for the intended collaborative task. Inherent design (5.10.4) and safety functions can be useful for risk reduction in accordance with ISO 12100 and ISO 10218-2.

5.10.2 Hand-guided controls (HGC)

Robots with hand-guided controls shall have the following safety functions in accordance with 5.3:

- monitored-speed (5.5.2.2) which monitored-speed shall be capable of being configured during integration in accordance with ISO 10218-2; and
- soft axis and space limiting (5.7.4); and
- monitored standstill (5.4.3.3); and
- hold-to-run (5.10.2c) and Annex C).

Vibration testing shall be performed in accordance with ISO 20643:2005.

When provided, the HGC shall comply with the following:

- a) be located, or be provided for installation at a location, close to the mechanical interface, to which the end-effector will later be installed (see ISO 10218-2); and
- b) have an emergency stop function complying with (5.4.2); and
- c) have hold-to-run controls, in accordance with IEC 60204-1:2016, 9.2.3.7, where
 - 1) activating (ON position) the hold-to-run control device shall enable motion;
 - 2) deactivating (OFF position) the hold-to-run control device shall cause a protective stop and then a monitored standstill in accordance with 5.4.3;
 - 3) the hold-to-run controls shall be positioned and integrated in such a way that an operator cannot actuate (ON position) the hold-to-run control device while being between the robot and a fixed object (e.g. no trapping or crushing);

EXAMPLE The following are examples but not the only means for accomplishing 3) above:

- two positions (e.g. front and rear or a ring with more than one hold-to-run control device position);
 - a separate hold-to-run control device;
 - by localization of the hold-to-run control device.
- 4) the HGC shall be designed considering the user operation of controlling the robot such that pinching, crushing sharp edges and other “caught-in” or “compressed by objects” injury risks are reduced or eliminated through design.

When PFL is provided in accordance with 5.10.4, then 5.10.2 a) through c) may be optional.

5.10.3 Speed and separation monitoring (SSM)

With SSM, the robot and operator may move concurrently within the safeguarded space.

When provided in the robot, the robot shall maintain the separation distance from the operator(s), in accordance with ISO/DIS 10218-2:2020, 5.13.6.3.2 by one or more of the following:

- reduce robot speed (e.g. down to speed zero); and/or
- change pose(s) and/or trajectory of the robot.
- failure to maintain the separation distance, shall result in, a protective stop.

Detection of operator(s) can be integral to the robot or external or a combination of the robot and external means. The speed and separation monitoring safety functions shall comply with 5.3.

Note SSM can be implemented using several methods, e.g.

- external sensor system supplies the robot with operator position and velocity data for internal calculation of a motion plan to maintain the separation distance;
- external sensor system provides the robot with a motion plan to maintain separation distance.

5.10.4 Power and force limiting (PFL) by inherent design or safety function(s)

Accomplishing PFL can be by inherently safe design or safety functions.

Where PFL is achieved by inherently safe design, the limits shall be fixed, not adjustable and not configurable.

Where PFL is achieved by safety functions,

- a) the power and force limit values shall be adjustable; and
- b) power and force limit values shall not be exceeded during operating or when power and force limit values are exceeded, a protective stop shall be initiated; and
- c) the following safety functions shall be provided:
 - 1) monitored-speed (5.5.2.2);
 - 2) soft axis and space limiting (5.7.4);
 - 3) monitored standstill (5.4.3.3).

Exceeding any parameter limit shall cause a protective stop in accordance with 5.4.3. The power and force limiting safety functions of a robot shall be in accordance with 5.3.

6 Verification and validation of safety requirements and protective measures

6.1 General

In accordance with the requirements in Clauses 4 and 5, the robot manufacturer shall verify and validate the design of their robots including any inherent/ integrated or associated safety functions and protective measures.

6.2 Verification and validation

Annex G lists requirements of Clause 5, and the acceptable means by which to verify and validate whether these requirements have been met. Using one or more method in accordance with Annex G, each requirement shall be verified or validated or both verified and validated.

Note It is the manufacturer's responsibility to ensure that all applicable items are verified or validated or both verified and validated.

7 Information for use

7.1 General

Information for use shall be provided in accordance with ISO 12100:2010, 6.4 for appropriate integration of the robot into a robot system (see ISO 10218-2). Information for use shall inform the user about ways in which the robot should not be used and experience has shown that this misuse has occurred often.

Information for use is an integral part of the design of a robot and consists of:

- a) signals and warning devices;
- b) markings, signs (warning labels) and written warnings;
- c) accompanying documents (e.g. instruction handbook).

For hydraulic systems, the information for use shall comply with the requirements of ISO 4413:2010, 7. For pneumatic systems, the information for use shall comply with the requirements of ISO 4414:2010, 7.

Unless otherwise required by national law, the information for use shall be in the language of the country where the robot is supplied.

7.2 Signals and warning devices

Where provided, visual (e.g. flashing lights) and audible signals (e.g. buzzers) shall comply with 5.2.5.

7.3 Marking

Each robot shall be marked in a distinct, legible and durable manner with:

- a) the manufacturer's information including the following:
 - business name;
 - full address;
 - if an authorized representative or authorized supplier is applicable, then their business name and full address;
- b) robot information including the following:
 - type of robot (e.g. industrial robot);
 - robot series name or designation, if applicable;
 - model number or reference number (if any);
 - the year of manufacture;
 - the mass and/or weight of the robot manipulator;
 - the maximum reach and payload capacity;
- c) supply data for electrical and, where applicable, hydraulic and pneumatic systems (e.g. minimum and maximum pneumatic pressures);
- d) lifting points for transportation and installation purposes, where applicable;
- e) mandatory markings where required.

Markings, nameplates, labels and identification plates shall be prominently positioned, legible and be of sufficient durability to withstand the physical environment involved (e.g. water resistant).

For the electrical equipment, the requirements of IEC 60204-1:2018 Subclause 16 apply.

7.4 Signs (pictograms) and written warnings

Signs and written warnings shall comply with ISO 12100:2010, 6.4.4.

Registered signs in accordance with ISO 7010 shall be used as far as applicable. Where no registered signs are applicable, safety signs and markings with written warnings shall be in accordance with the principles of the ISO 3864 series.

7.5 Instruction handbook

7.5.1 General

The manufacturer shall provide an instruction handbook in accordance with ISO 12100:2010, 6.4.5 and ISO 20607:2019. The handbook shall contain instructions on the location and function(s) of all controls necessary for setup, installation, integration and maintenance.

For the electrical equipment, the information related shall comply with the requirements of IEC 60204-1:2018 subclause 17. Diagrams shall be provided of the interfaces of electrical, hydraulic and pneumatic systems necessary for setup, installation, integration and maintenance.

In addition, the instruction handbook shall contain information in accordance with the following subclauses 7.5.2 to 7.5.15.

Some or the required information can be stated in other written instructions (for example, on the packaging)

7.5.2 Identification

Information shall be provided about the manufacturer as follows:

- a) the business name;
- b) full address;
- c) contact information of the manufacturer (e.g. telephone number, service/ support website address);
- d) if an authorized representative or authorized supplier is applicable, also provide the business name, full address, and contact information;
- e) the designation of the machinery as marked on the machinery itself, except for the serial number.

7.5.3 Intended use

The following descriptions shall be provided:

- a) the robot and its components (e.g. manipulator, control, teach pendant);
- b) the limitations of robot use;
- c) the intended use(s) as well as the reasonably foreseeable misuse(s) and prohibited usage(s) of the robot;
- d) the limits for the
 - range of motion;
 - payload capacity, including maximum mass;
 - maximum payload;
 - TCP;
- e) how to install and connect an end-effector;
- f) the residual risks, which are those that cannot be eliminated by the protective measures implemented in the robot;
- g) where the manipulator is intended to be used in applications where the base moves, the total mass of the manipulator (with the base and fastenings);
- h) for Class I robots in accordance with 5.1.17 Table 1, the F_{MPM} value.

7.5.4 Installation

The following installation information shall be provided:

- description of the installation;
- description of the installation requirements (e.g. mounting requirements, utility needs, floor loading, environmental conditions);
- fixed control stations shall be located outside of the safeguarded space such that the operation of their control devices cannot cause additional risks.

Guards, protective devices and other parts that are part of the robot but not fitted shall be clearly identified for their purpose.

Details about the centre of gravity shall be provided. If the intended use includes both fixed and mobile installations, then the centre of gravity details shall include maximum size and weight of the payload.

7.5.5 Stopping

Information about stopping functions, devices and integration with external equipment shall be provided.

For robots without stopping distance and/or stopping time monitoring safety functions, the following shall be provided:

- stopping time and either distance or angle from initiation of stop signal of the three axes with the greatest relevant displacement and motion in accordance with Annex H;
- recommended interval for periodic stopping time and either stopping distance or stopping angle testing.

7.5.6 Commissioning and programming

Instructions for commissioning, programming and how the initial test and examination of the robot and its protective measures are to be carried out before first use and being placed into production, including functional testing of the parameter setting for reduced-speed manual mode.

7.5.7 Operation and setting

Instructions for safe operation and setting, including safe working practices and the training required to achieve the necessary skill level of operator(s) operating the equipment.

7.5.8 Singularity

Information about singularity prevention shall include the following:

- the singularity protection provided with the robot;
- instructions on avoiding singularities during programming which can be used for developing training programs.

7.5.9 Hazardous energy

The following information about hazardous energy shall be provided:

- the sources of energy;
- the types of energy;
- any stored energy.

Instructions shall be provided about how to:

- a) isolate the energy including the isolation means;
- b) lock or otherwise secure the isolation means in the de-energized position;
- c) perform maintenance tasks safely;
- d) secure an axis when removal of a component (e.g. motor) can cause hazardous motion due to gravity or the release of hazardous energy (e.g. spring).

Note See example shown in Figure 1.

7.5.10 Movement without drive power

Movement without drive power shall be described and include the following:

- a) a description of this capability; instructions for how to move the robot without drive power;
- b) recommendations for training operator(s) on responding to emergency or abnormal situations(e.g. situations that can require movement without drive power);
- c) warning of the potential hazard(s);
- d) warnings that gravity and the release of braking devices can create additional hazards.

7.5.11 Cybersecurity

Cybersecurity features and methodologies shall be specified and the requirement for development of organizational measures shall be stated.

7.5.12 Functional safety

7.5.12.1 General

Each safety function, or combination of safety functions, shall be described by specifying its functional safety performance, functionality, the availability, and the limits and conditions of use. Safety related parameters shall be provided (e.g. PL, category, SIL, HFT, DC, response time, stop category, PFH_D, test rate, assumptions, comments).

Each safety function's information shall be provided in accordance with Annex D. An example table format is provided in Annex D.

Instructions shall be provided about the location and function of all control systems including diagrams of the interface of electrical, hydraulic, and pneumatic systems necessary for setup and installation.

Note This does not include schematics of robot or other controls, components or proprietary property.

7.5.12.2 Software and safety-related parametrization of software

The following information about safety-related parametrization of software shall be provided:

- a) how safety parameters are secured;
- b) safety functions affected by manually set parameters, such as payload, TCP;
- c) what robot safety function(s) are included in the identifier (e.g. checksum);
- d) how to view and document the settings and parameters;

Information shall be provided about robot settings and software limitations related to safety function configuration if such functionality is provided. The importance of verifying and validating safety function parameters before starting the use of the robot system/ robot application shall be emphasized. This includes the initial setting and any changes to parameters.

7.5.12.3 Response time of safety functions

If the robot has safety function inputs, the maximum response time shall be provided. This response time is measured from the input state change until the safety function becomes active.

If the robot has safety function outputs, the maximum response time of safety function outputs shall be provided. This response time is measured from the safety function initiation until the output changes state.

The maximum response time, of each safety function, for any parameter limit change to become effective shall be provided.

The time required to change from one defined safety monitored-speed limit to another when multiple speed limits are provided shall be provided.

Response time for the detection of the loss of the communication signal for cableless pendants shall be provided.

Note The response time of the safety function is different than the stopping time needed to achieve a safe state.

7.5.12.4 Stop functions including emergency stop

For all stop functions, the stop category (i.e. category 0, 1 or 2) in accordance with IEC 60204-1 shall be provided.

Information on the complete effect of the robot stop functions, including emergency stop in relation to both the manipulator and any input(s).

7.5.12.5 External inputs & outputs

Information about the specification of each external input and output provided and the fault detection measures implemented as well as instructions for the provision of external fault detection means if required

Information on the complete effect of the robot stop functions, including emergency stop in relation to emergency stop outputs and other external inputs and outputs where provided.

7.5.12.6 Operating modes

Instructions and warnings that the reduced-speed manual mode tasks should, where practicable, be performed with all operators outside the safeguarded space

Instructions and warnings that high-speed manual mode, if used, shall be integrated such that it shall be performed only when no person is inside of the safeguarded space;

Instruction that prior to selecting automatic mode, any suspended safeguards shall be returned to their full functionality.

Instructions how to use the manual mode (e.g. reduced-speed or verification) provided and the associated residual risks.

7.5.12.7 Enabling device(s)

Enabling device information shall include a description of the operation of each enabling device and intended functionality if multiple enabling devices can be used.

The number and operation of enabling devices and instructions for installation of additional devices including the data and criteria necessary to determine the safety-related control system performance;

If the robot has an enabling device input, instructions shall be provided for how to install the enabling device.

Information about the provision of an enabling device output and the safety-related performance of its function in accordance with 5.3.

If the Class I robot has no enabling device, instructions shall be provided stating that the application risk assessment, in accordance with ISO/DIS 10218-2, shall determine whether an enabling device is required for risk reduction.

7.5.12.8 Axis limiting

Axis limiting capabilities (e.g. mechanical limiting, electro-mechanical limiting, soft axis and space limiting safety function(s)) and how to use these capabilities shall be described and provided.

- a) When axis limiting is provided by mechanical limiting devices, the following shall be provided:
 - 1) how to install or re-locate;
 - 2) what is installed / provided with the robot;
 - 3) the number of mechanical limiting devices;
 - 4) locations of the mechanical limiting devices.
- b) When axis limiting is provided by electromechanical limiting devices, the following shall be provided:
 - 1) number, location and implementation of any electro-mechanical limiting devices;
 - 2) the allowed of adjustment of mechanical and electro-mechanical limiting devices;
 - 3) the stopping time at maximum speed including monitoring time before a full stop is achieved;
 - 4) the stopping distance at maximum speed before a full stop is achieved;
 - 5) the means to verify the limits with a simple test, to be used at implementation.
- c) When axis limiting is provided by soft axis and space limiting, the following shall be provided:
 - 1) the tolerances, if any, of safety functions for soft axis and space limiting;
 - 2) the means to verify the limits with a simple test, to be used at implementation;
 - 3) the stopping time and stopping distance/angle in accordance with Annex H, at the maximum payload, when axis and space limiting safety functions generates a stop upon exceeding a limit;
 - i) this stopping time shall include the monitoring time until a full stop is achieved;
 - ii) this stopping distance shall be until a full stop is achieved.
 - 4) for robots that perform monitoring of the robot speed and position so that soft axis and space limiting safety functions shall not be exceeded in accordance with 5.3, the stopping time and angle/distance for this safety function is not required because stopping would be a failure or a fault detection (see 5.3.4).
- d) when dynamic limiting (see 5.7.5) is provided, the following shall be provided:
 - 1) if outputs are provided for use in dynamic restricted space application, the functional safety performance;
 - 2) the transition time for a limit change to be effective.

If robot motion can continue beyond the limiting device(s) position or beyond the limit setting(s), guidance for determining the restricted space shall be provided.

Where there is a potential for confusion about auxiliary axis (axes), if the specified characteristics and performance apply to the robot alone, to the robot and its auxiliary axes as a whole or the auxiliary axes as a separate device.

7.5.12.9 Position holding device(s)

The following shall be provided about position holding device(s):

- a) procedures to inspect and/or verify the position holding device (5.1.8);
- b) description of the holding capability (5.1.8) including:
 - the maximum distance of movement(s) when the position holding device is engaged;
 - instructions for how to test the movement.

7.5.13 Teach pendants

Instructions shall be provided describing the proper storage of

- cableless or detachable pendants, if so configured, to prevent confusion between active and inactive emergency stop devices;
- pendants with cables, if so configured, to lessen the risks of tripping or falling due to the cables.

Information shall be provided about how to select high-speed manual mode using the pendant, where this capability is provided.

7.5.14 Integration into a robot system

Instructions for any test or examination necessary after change of component parts or addition of optional equipment (both hardware and software) to the robot which can affect the safety-related functions, including an emergency stop output signal as in 5.4.2.4 and common enabling devices as in 5.5.3).

Information on relevant standards the robot meets, including any certification issued by a third party.

7.5.15 Maintenance

The following shall be provided:

- a) instructions for safe maintenance, including safe working practices and the training required to achieve the necessary skill level of operator(s) operating the equipment;
- b) the intervals and frequency for the required inspections and maintenance;
- c) instructions and procedures to avoid errors of fitting during maintenance of the machine;
- d) specification for any fluids or lubricants to be used in lubrication, braking, or transmission system internal to the robot, including guidance on correct selection, preparation, application and maintenance of expendables;
- e) specifications of the spare parts to be used, when these affect the health and safety of operators (e.g. safety related parts of the control system).

7.5.16 Protection against electrical shock

Information on how to provide protection against electric shock due to indirect contact in the robot(e.g. by a device for automatic disconnection of the power supply in the line powering the robot) .

7.5.17 Abnormal and emergency situations

Where self-blocking cannot be avoided, the guidance to safely unblock the equipment shall be provided:

- guidance on the means for the release of operator(s) trapped in or by the robot;
- information and recommendations for training operator(s) on responding to emergency or abnormal situations.

7.5.18 Handling, lifting and transportation

Instructions for handling, lifting and stable transportation of the robot and its associated components shall be provided.

Annex A (informative) List of significant hazards

Table A. 1 provides a list of significant hazards for robots before integration into a system.

Note See ISO 10218-2, Annex A for hazards of the robot system, robot application and robot cell.

Note The list in Table A. 1 is derived from ISO 12100:2010, Table B1.

Table A. 1— List of significant hazards

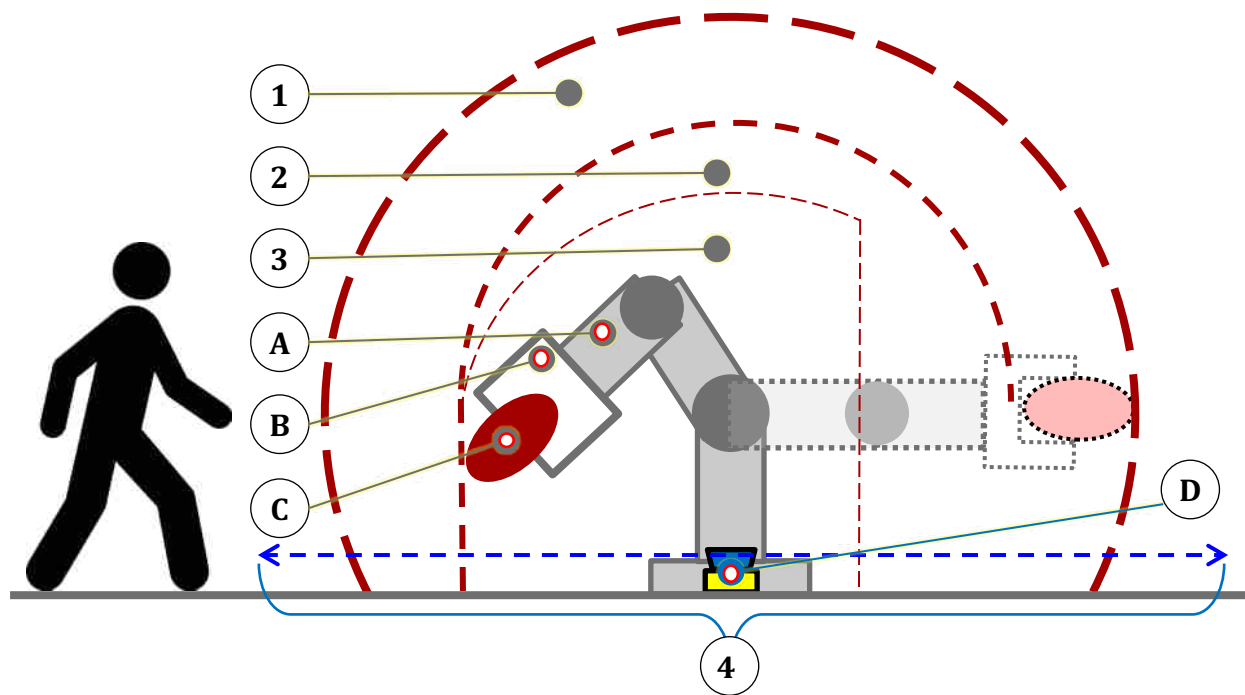
No.	Type or group	Example of hazards		Corresponding requirement	
		Origin	Potential consequences		
1	Mechanical hazards	— movements (normal or unexpected) of any part of the manipulator(including back)	— crushing	4	Risk assessment
			— shearing	5.1	Robot design
		— movements (normal or unexpected) of additional axis	— cutting or severing	5.2	Robot controls
		— movement of robot parts	— entanglement	5.3	Safety functions
		— rotational motion of any axes	— drawing-in or trapping	5.4	Robot stopping functions
		— failure of a safety function to perform as expected	— impact	5.5	Other safety functions
		— loose clothing, long hair	— stabbing or puncture	5.6	Simultaneous motion
		— between joints of the manipulator	— friction, abrasion	5.7	Limiting robot motion
		— unintended motion or activation of auxiliary axes unexpected release of potential energy from stored sources	— high-pressure fluid/gas injection or ejection	5.8	Movement without drive power
2	Electrical hazards	— contact with live parts	— electric shock	4	Risk assessment
		— confusion of various voltages	— burn or scald	5.1	Robot design
		— contact with discrete components in the electrical (electronic) circuitry, i.e. capacitors	— inhalation of toxic fume	5.2	Robot controls
			— eye damage by electric spark	5.3	Safety functions
		— exposure to arc flash	— influence on pacemaker		
3	Thermal hazards	— hot surfaces	— burns	4	Risk assessment
		— cold surfaces	— fire, explosion	5.1	Robot design
			— radiation from heat sources		
			— inhalation of toxic fumes		
			— dehydration		
4	Vibration hazards	— loosening of connections, fasteners, components resulting		4	Risk assessment
				5.1	Robot design

No.	Type or group	Example of hazards		Corresponding requirement	
		Origin	Potential consequences		
		in unexpected stopping or expulsion of parts	<ul style="list-style-type: none"> — fatigue of mechanical components leading to failure — neurological damage — vascular disorder 	5.10	Capabilities for collaborative applications
5	Material/ substance hazards	<ul style="list-style-type: none"> — servicing, lubrication and changing components that are covered in fluids; — cooling and process fluids — unexpected failures to the mechanical and electrical components of the robot 	<ul style="list-style-type: none"> — poisoning — inhalation of corrosive fumes and dust — burns 	4 5.1	Risk assessment Robot design
6	Ergonomic hazards	<ul style="list-style-type: none"> — poorly designed teach pendant, human-machine interface (HMI) touch screen or operator panel — poorly designed enabling devices — inappropriate location of controls — inadvertent operation of controls — hard to reach, exposure to additional hazards due to inappropriate location of operating controls — hard to reach, exposure to additional hazards due to inappropriate location of components that require access for anticipated maintenance actions (troubleshooting, repair, adjustment) — components in enclosures that block existing lighting — HMI units placed too high or low for convenient viewing 	<ul style="list-style-type: none"> — fatigue — impact — falling — loss of awareness — stress — consequence of human error — consequence of operator error 	4 5.1 5.2 5.3 5.5 5.2.9 5.10	Risk assessment Robot design Robot controls Safety functions Other safety functions Means of controlling the robot Capabilities for collaborative applications

No.	Type or group	Example of hazards		Corresponding requirement	
		Origin	Potential consequences		
7	Combinations of hazards	— unexpected movements of robot	— restoration of energy supply after an interruption	4	Risk Assessment
		— unpredictable behaviour of controls due to electromagnetic interference (EMI) or surges in energy source	— external influences on the power source	5.1	Robot design
		— unexpected robot start	— unanticipated start	5.2	Robot controls
		— misinterpretation motion of multiple robots during simultaneous motion		5.3	Safety functions
		— issued stop command stops the robot in an incomplete cycle		5.4	Robot stopping functions
		— robot speed can be adjustable resulting in various tasks being done at a variety of speeds		5.5	Other safety functions
		— malfunctions of the control with consequent release of manipulator brake; release of brake causes robot elements to move under residual forces (inertia, gravity, spring/energy storage means) unexpectedly		5.2.9	Means for controlling the robot
		— unexpected movements of robot or, auxiliary axis		5.6	Simultaneous motion
		— failure of a safety function to perform as expected		5.7	Limiting robot motion
		— loose unsecured hoses and components separate or whip about		5.8	Movement without drive power
		— components improperly installed creating unexpected motion/hazard		5.10	Capabilities for collaborative applications
		— high-speed rotational parts breaking or disengaging from part retention equipment			
		— overload of manipulator or associated equipment resulting in breaking or buckling of mechanical components			
		— unrestrained robot (maintained in position by gravity) falls or overturns			
		— handling mishaps during commissioning or decommissioning			
		— parts can fall off if not properly attached or installed improperly			

Annex B (informative) Illustrations spaces

Figure B.1 shows an overview of all the various “spaces” associated with a robot application. This figure shows concepts without dimensions and it is not shown to scale.



Key:

- 1 maximum space
- 2 restricted space
- 3 operating space
- 4 safeguarded space

- A manipulator
- B end-effector
- C workpiece
- D protective device

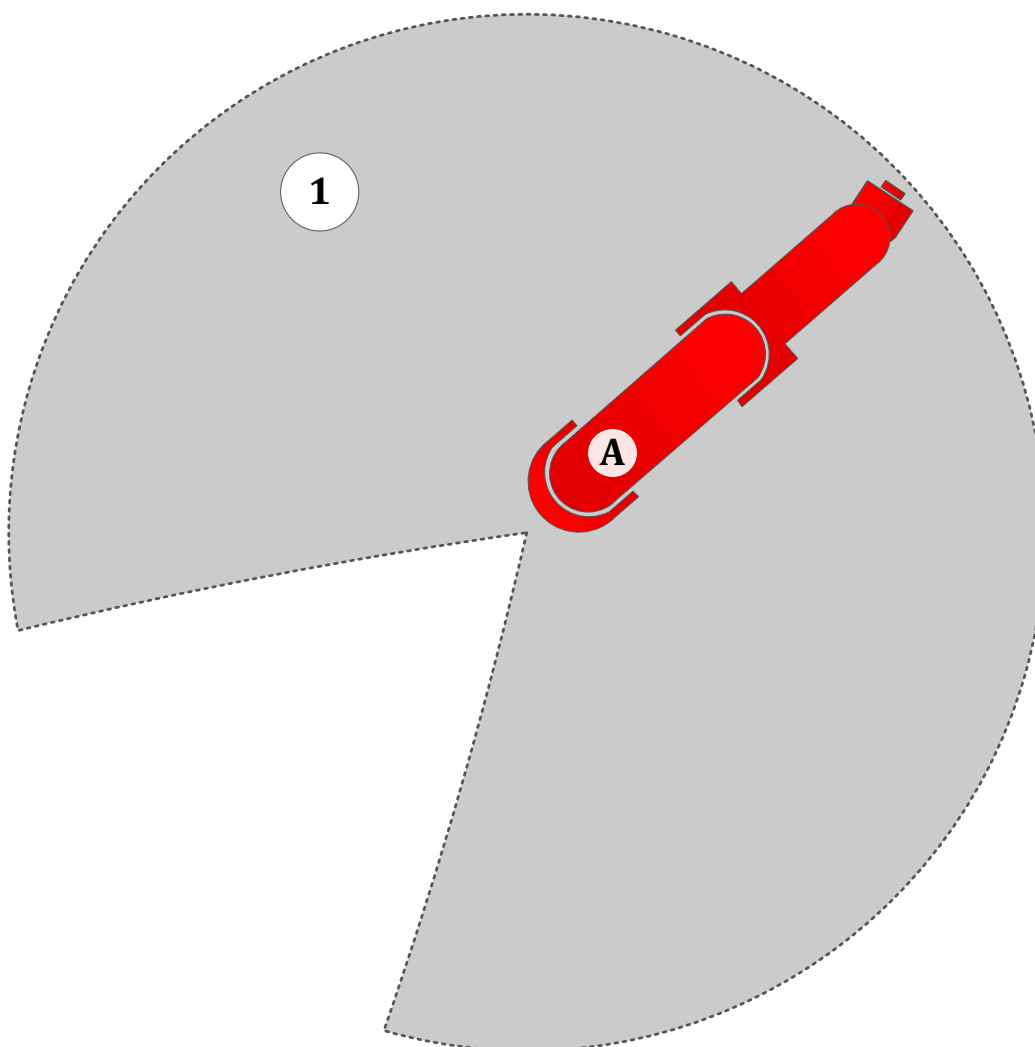
Note 1 The maximum space is greater or equal to the restricted space and the restricted space is greater or equal to the operating space.

Note 2 This figure shows concepts without dimensions and it is not shown to scale. The safeguarded space border can be closer to the restricted space.

Note 3 Protective device (D) is a safety laser scanner. It is shown only for illustrative purposes.

Figure B. 1 — Spaces

Figure B.2 shows the spaces associated with a robot, where there is no end-effector and no workpiece. There is no restricted space and no operating space until the robot is integrated into an application.



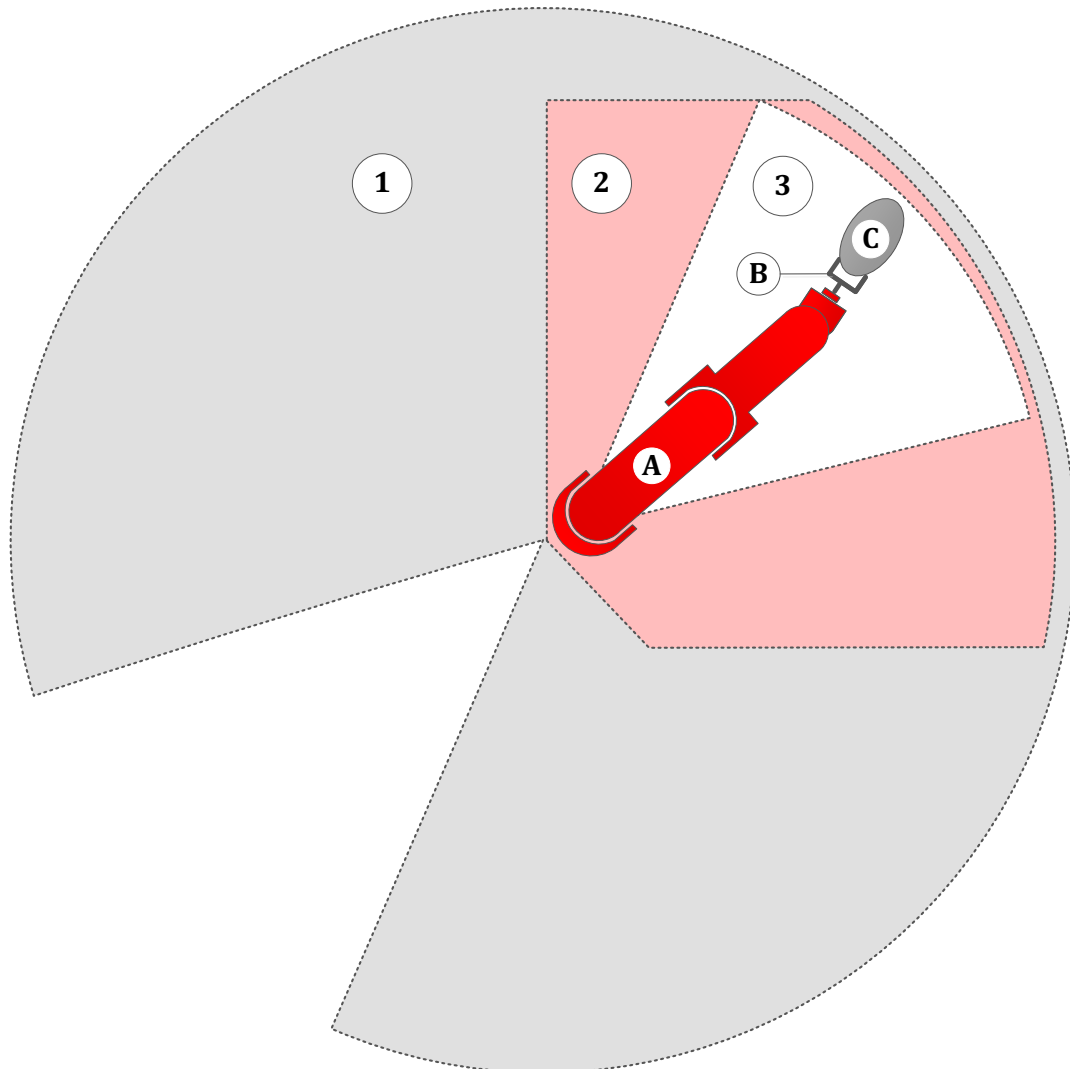
Key:

1 maximum space

A manipulator

**Figure B. 2 — Maximum space of a robot
(without end-effector and without workpiece)**

Figure B.3 shows the spaces associated with a robot system (robot and end-effector) plus showing a workpiece without reference to a specific application.



Key:

- 1** maximum space
- 2** restricted space
- 3** operating space

- A** manipulator
- B** end-effector
- C** workpiece

Figure B. 3 — Spaces of a robot system (with an end-effector) plus a workpiece

Annex C (normative) Safety functions

Table C.1 details the robot safety functions that shall be in accordance with 5.3.3, except Class I robot (5.1.17) safety functions which may be at least PLb or SIL 1. Table C.2 contains the safety functions which may be provided with different functional safety performance.

Note The robot application can require safety function(s) meeting PLe (Cat 3 or Cat 4) or SIL 3 (HFT 1).

Table C. 1 — Robot safety functions

Clause	Mandatory OR Conditional OR Optional ¹	Safety Function Name	Possible Triggering Event	Intended Result
5.1.8	Optional	position holding	Robot power is removed while the robot is stopped	Robot does not move
5.2.4	Conditional if interlocking functions are provided	interlocking	Opening or removing the guard [e.g. cover]	Cease all hazardous robot functions
5.2.8.2.1	Mandatory	manual mode, general	Change of mode to manual mode	Automatic mode is prevented and Enabling device active on control station
5.2.8.2.2	Mandatory for Class II robots	manual mode, reduced-speed	Manual mode, reduced-speed selected	Reduced-speed (5.5.2.1) active
5.2.8.2.3	Conditional required for high-speed manual mode	manual mode, high-speed	Manual mode, high-speed selected	Monitored-speed (5.5.2.2) active
5.2.8.3	Conditional required if there is a change in active risk reduction with mode activation	mode activation	Activation of the selected mode	Protective stop (5.4.3) Activation of safety functions appropriate for each mode. Separate action required for resuming operation (manual or automatic)
5.4.3	Mandatory	protective stop	Internal safety function triggers OR Actuation of a protective device which is connected to the protective stop input	Cease all hazardous robot functions intended to be controlled by a protective device
5.4.3.3	Conditional required for • HGC (5.10.2) without PFL • PFL by safety functions (5.10.4) • Simultaneous motion (5.6)	monitored standstill	Triggering of a category 2 stop by a protective device, manual command, the program, safety function	Following the robot stopping the position is monitored to remain at a standstill and The monitored standstill output indicates that the robot standstill is monitored

Clause	Mandatory OR Conditional OR Optional ¹	Safety Function Name	Possible Triggering Event	Intended Result
5.5.1.1	Mandatory	start interlock	Energy supply is switched on OR After an interruption and restoration of power	No motion until there is a manual reset
5.5.1.2	Mandatory	restart interlock	Change of mode (5.5.2.2) OR After a protective stop while in manual mode	No motion until there is a manual reset
5.5.2.1	Mandatory	reduced-speed	Selecting manual mode	Protective stop (5.4.3) if speed limit is exceeded Prevent the robot from exceeding the limit by slowing or stopping (protective stop) before the limit is exceeded
5.5.2.2	Conditional required for • HGC (5.10.2) • PFL by safety functions (5.10.4) • See also Position holding (5.1.8)	monitored-speed	Robot exceeds the configured limit. Continuous monitoring until reaching the point where a stop shall be initiated so that the configured limit will not be exceeded	Protective stop (5.4.3) if speed limit is exceeded Prevent the robot from exceeding the limit by slowing or stopping (protective stop) before the limit is exceeded
5.5.3	Mandatory	enabling device function	Release or compression of the 3P enabling device	Stop and prevent robot motion and the operation of other processes whose hazards are controlled by the robot
5.6	Conditional Required for simultaneous control	restriction of robot selection	Selection of robots to be under simultaneous control	Only robots in the same mode can be selected for simultaneous motion AND Any robot not selected shall be in a monitored standstill
5.7.3	Conditional required if this is the means of axis limiting	electro-mechanical axis limiting	Exceed the limit Reach the point where a stop shall be initiated so that the limit will not be exceeded	Protective stop (5.4.3) Protective stop (5.4.3)
5.7.4	Conditional required for • HGC (5.10.2) • PFL (5.10.4) by safety functions	soft axis and space limiting	Exceed the limit. Not exceed the limit(s) Reach the point where a stop shall be initiated so that the limit will not be exceeded	Protective stop (5.4.3x) Prevent the robot from exceeding the set limit by slowing or protective stop (5.4.3)
5.7.5	Optional	dynamic limiting	Exceed the limit. Not exceed the limit(s) Reach the point where a stop shall be initiated so that the limit will not be exceeded	Protective stop (5.4.3) Prevent the robot from exceeding the set limit by slowing or a protective stop (5.4.3)
5.10.2	Conditional required for robots with HGC	hold-to-run control	Release of hold-to-run control device	Protective stop (5.4.3)

Clause	Mandatory OR Conditional OR Optional ¹	Safety Function Name	Possible Triggering Event	Intended Result
5.10.3	Conditional required for robots with SSM safety functions/ capabilities	speed and separation monitoring (SSM)	Position of the human relative to the robot is such that the robot will not be able to stop before coming in contact with the human	Change robot speed (e.g. down to speed zero)
				Change pose(s) and/or trajectory of the robot
5.10.4	Conditional required for PFL robots by safety functions	monitored power and force limiting	Exceeds the set limit(s)	One or more of the following: <ul style="list-style-type: none">Protective Stop (5.4.3) .Stop the robot, then move to a position where the limit is not exceeded. Then, cause a protective stop (5.4.3) or a monitored standstill (5.4.3.3)Stop the robot, hold position (monitored standstill). It is permitted for the robot to automatically go into a force and torque-free state
			Monitors to prevent exceeding the limit(s)	
5.1.8 5.4.3.3 Annex I.7.1	Optional	monitored position	Protective device, manual control device, safety function	All of the following: 1) Robot moves to configured position within specified time; 2) Monitored standstill (5.4.3.3); 3) Robot does not move from the configured position. Optionally, a safety output changes state.
			Robot is in a Category 2 stop (monitored standstill) at the configured position	Robot does not move from the configured position
7.5.5 Annex H Annex I I.7.2	Optional	stopping time limiting	Exceed the limit.	Protective stop (5.4.3)
			Reach the point where a stop shall be initiated so that the limit shall not be exceeded	Prevent the robot from exceeding the set limit by slowing the robot or by a protective stop (5.4.3)
7.5.5 Annex H Annex I I.7.2	Optional	stopping distance limiting	Exceeding the limit.	Protective stop (5.4.3)
			Reach the point where a stop shall be initiated so that the limit shall not be exceeded	Prevent the robot from exceeding the set limit by slowing the robot or by a protective stop (5.4.3)
¹ Mandatory: shall be provided. Conditional: shall be provided if certain conditions are met according to referenced clause Optional: not required and can be provided as an option.				

Table C.2 states the functional safety performance requirements that may differ from the minimum requirements of Table C.1 and 5.3.3.

Table C. 2 — Robot safety functions

Clause	Mandatory OR Conditional OR Optional ²	Safety Function Name	Possible Triggering Event	Intended Result	Minimum Functional Safety Performance by Robot Class (5.1.17)	
					Class I	Class II
5.2.7	Optional	single-point-of-control	Selection of active point of control	Robot shall respond only to the active point of control	PLa	PLa
5.2.7.3	Optional	external control enable	Request for external control of robot	Local action required to enable external control	PLa	PLa
5.2.8.2.3 g)	Conditional Required if high-speed manual mode is provided	manual mode, high-speed time limitation	Exceeding 5 minutes of enabling device released	Separate action required to resume the previously selected higher speed	PLa	PLa
5.4.2	Mandatory	emergency stop	Manual actuation of an emergency stop device	Cease all hazardous robot functions	PLc SIL 1	PLc SIL 1
² Mandatory: shall be provided. Conditional: shall be provided if certain conditions are met according to referenced clause Optional: not required and can be provided as an option.						

Annex D (normative) Required safety function information

The safety function information shall be provided in accordance with Clause 7.5.11. Table D. 1 is an example format that can be used to present the information for each safety function. More information may be provided.

Table D. 1 — Safety function information example

Clause # if applicable	Included in Checksum	Safety function name	Active in mode(s)	Triggering event	Span-of- control	Intended result	Stop Category & description, if applicable See NOTE 2	Intended result Reaction on detected fault in safety function See NOTE 3	Reset required See NOTE 4	Assumptions & Conditions of use See NOTE 5	Diagnostic Coverage	Functional safety performance See NOTE 1 PL and Category	SIL and HFT	PFH _D	Response time(s), Test rate See NOTE 6
Example: 5.4.3.1	Yes	Protective stop or “safeguard stop”	Configurable: All modes or only Automatic mode	internal safety function or external protective device	robot	Monitored standstill	Stop Category 2	Robot stops. While stopping trajectory is maintained. Upon stopping, a monitored standstill occurs.	configurable: automatic or manual reset Reset at teach pendant or by use of an external input 2) dual inputs	1) external protective device fulfills same functional safety requirements 2) dual inputs	medium	PLd, Cat 3	----	1.20E-07 without external protective device	Time to stop depends on stopping time safety function setting
NOTES <ol style="list-style-type: none"> 1 In accordance with either ISO 13849-1 or IEC 62061 2 Stop category according IEC 60204-1. If applicable, as described in IEC 61850-5-2. 3 For example, inhibit restart. See 5.3.4 for Failure or fault detection. 4 Example: Where is the reset? Is the reset is manual or automatic. 5 Assumptions: N_{op}, shared outputs, fault exclusion, and any resulting installation requirements that lessen a fault... 6 Conditions of use: configuration parameters, maximum activation frequency, diagnostics tests... <p>Describe applicable response time(s), test rate(s) or both.</p>															

Annex E
(normative)
**Test methodology for Class I robots– maximum force per
manipulator (F_{MPM})**

E.1 General

For a specified robot model or series to be a Class I robot, the methodology in this annex shall be used. Robot class I determination, in accordance with 5.1.17, is based on the F_{MPM} . F_{MPM} shall be measured to determine the maximum vertical (downward) and horizontal (sideways) clamping forces.

If greater forces can occur with other motions, the motions shall be described and the resulting forces (F_{MPM}) shall be provided.

in accordance with 5.1.17, Table 1, the F_{MPM} is applied over a minimum contact area of 0.5cm^2 . It shall be documented in the information for use.

Robots may be classified as Class II without performing the tests specified within this annex. If this happens, the robot shall meet the requirements of a Class II robot, including the functional safety performance in accordance with 5.3.3.

The force measurement device shall be calibrated.

E.2 Test methodology for Class I robots

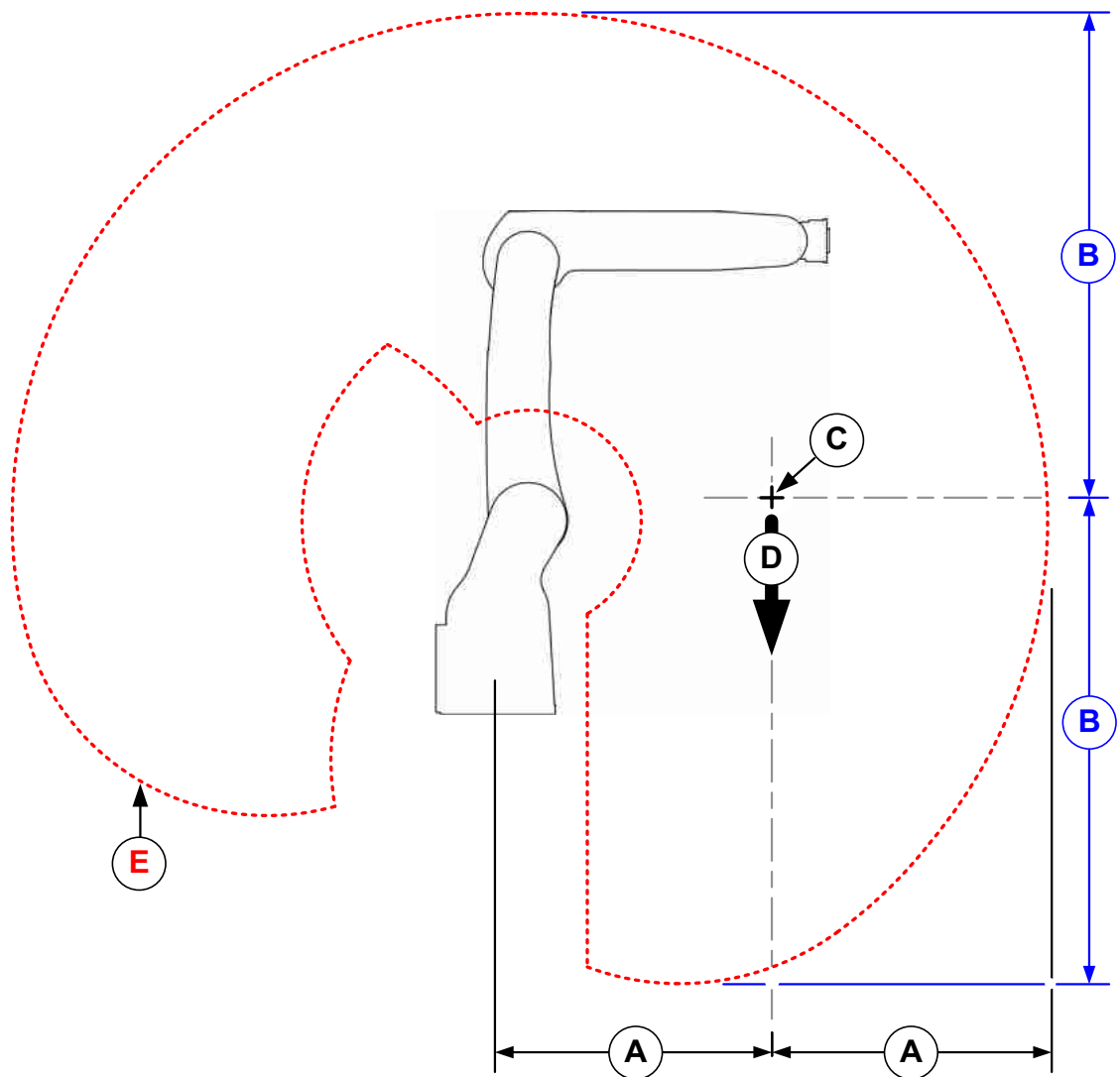
Measurement collection shall be performed as follows to minimize the effects of Inertia and Impact conditions:

- 1) The force measuring device shall have an elastic element with a resulting spring constant of $k = 75\text{ N/mm}$ on the measurement surface.
- 2) Movement parameters:
 - a) for vertical movement testing:
 - position the measurement device contact surface ‘midpoint of reach’ as represented in C in Figure E. 1, Figure E. 2, or Figure E. 3;
 - align the centre of the mechanical interface plate is over the centre of force measurement device surface area;
 - position the robot such that mechanical interface is 1mm above the centre of the force measurement device contact surface;
 - initiate robot motion vertically down using the maximum speed and acceleration capabilities;
 - record the maximum force measured by the force measurement device.
 - b) for horizontal movement testing:

- position the measurement device contact surface as represented in C of Figure E. 4, Figure E. 5, or E. 6.
 - align the centre of the force measurement device contact surface with the centre the mechanical interface;
 - position the robot such that mechanical interface is separated by 1mm from the force measurement device contact surface;
 - initiate robot motion horizontally using the maximum speed and acceleration capabilities;
 - record the maximum force measured by force measurement device.
- 3) Perform a minimum of three (3) tests vertically and horizontally, until achieved results have no more than a 10% variance between test values.
- 4) Record the measured values as shown in Table E. 1. The horizontal and vertical F_{MPM} shall be the average of the respective measured values.

Table E. 1 — F_{MPM} test results

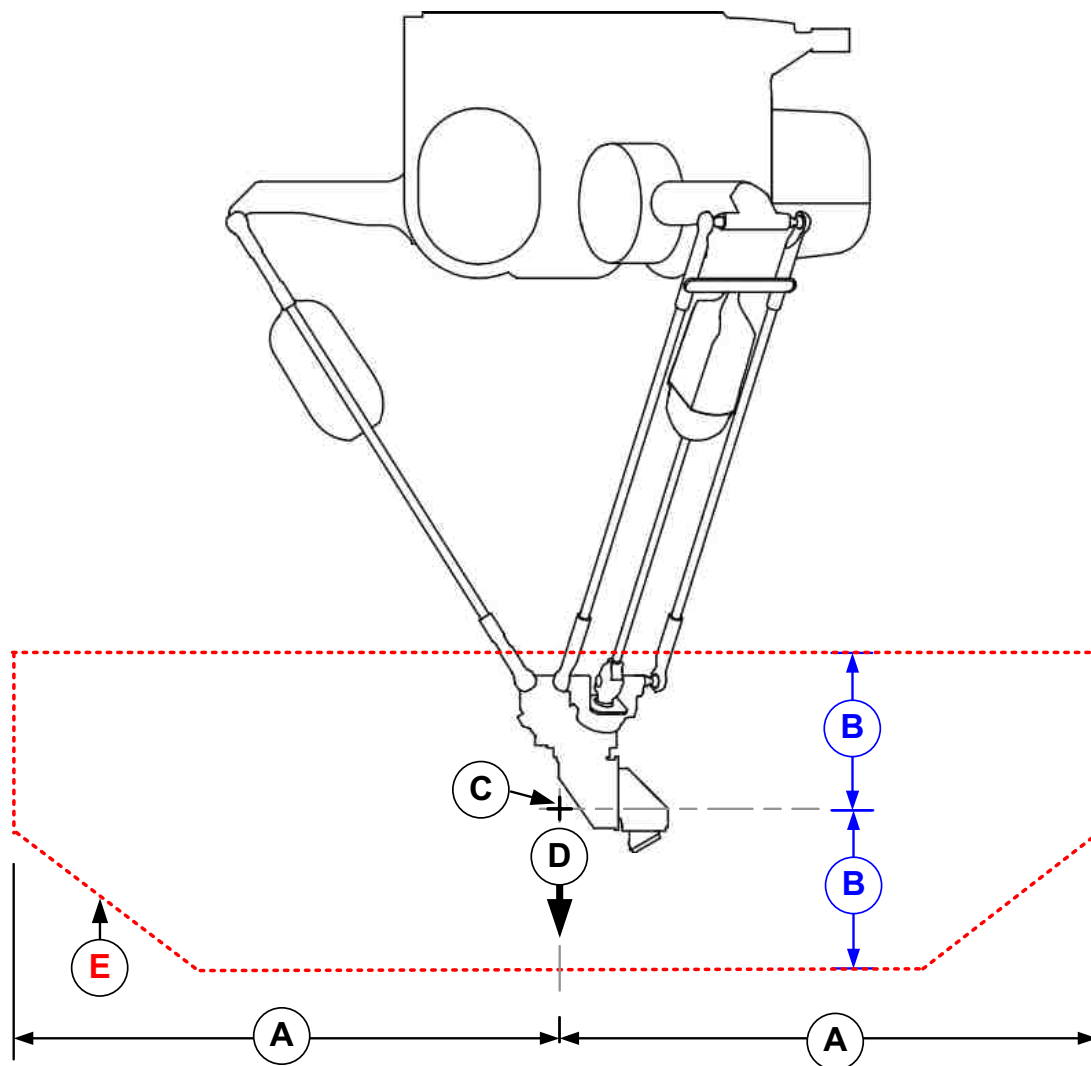
Test	A dimension	B dimension	F_{MPM} average
Vertical			
Horizontal			
Other (describe)			
...			



KEY

- A** dimension of the maximum space in the “X” dimension, measured from the centre of the robot base to the maximum space border (A dimensions are equal)
- B** dimension of the maximum space in the “Z” dimension, measured the borders of the maximum space (B dimensions are equal)
- C** location of the contact surface of the force measurement device
- D** direction of movement (downwards) towards the force measurement device
- E** border of the maximum space, side view

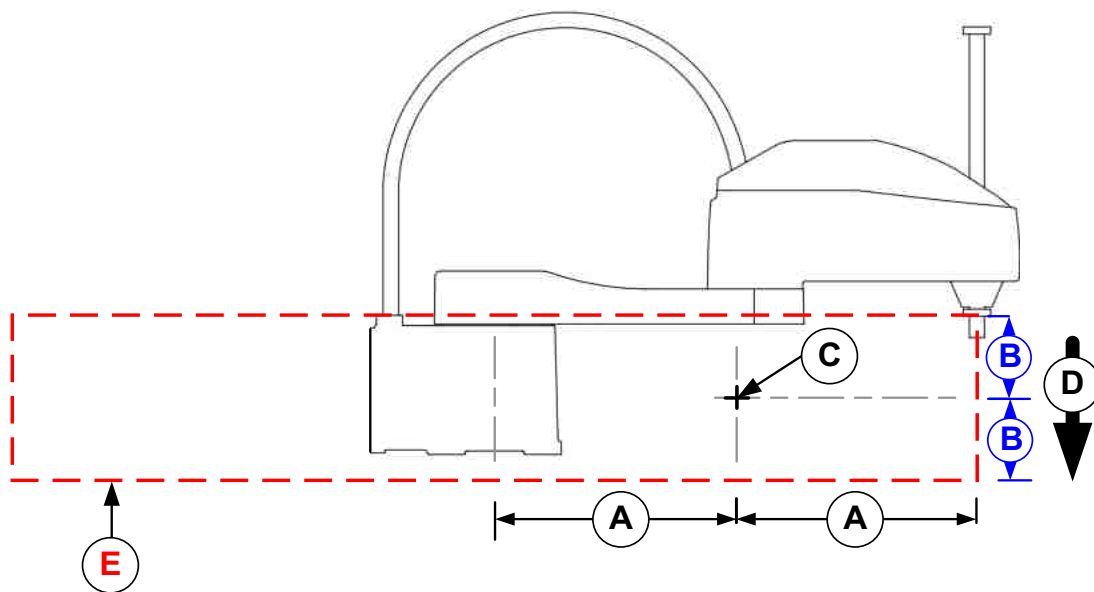
Figure E. 1 — Example vertical (downwards) measurement location for a 6 axis articulated robot



KEY

- A** centre of maximum, in the "X" dimension space (A dimensions are equal)
- B** centre of maximum space, in the "Z" dimension (B dimensions are equal)
- C** location of the contact surface of the force measurement device
- D** direction of movement (downwards) towards the force measurement device
- E** border of the maximum space, side view

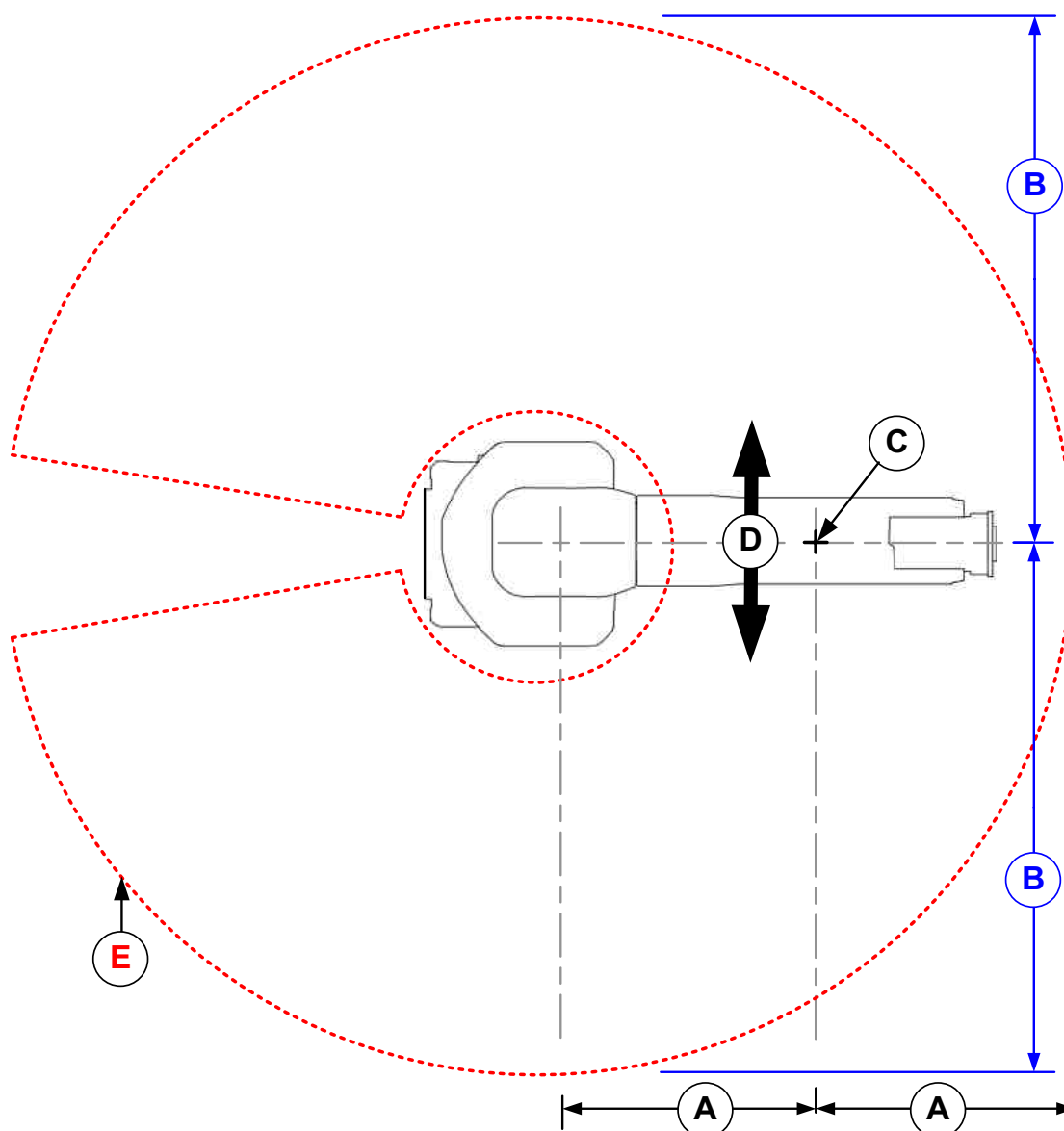
Figure E. 2 — Example vertical (downwards) measurement location for a Delta robot



KEY

- A** dimension of the maximum space in the “X” dimension, measured from the centre of the robot base to the maximum space border (A dimensions are equal)
- B** dimension of the maximum space in the “Z” dimension, measured the borders of the maximum space (B dimensions are equal)
- C** location of the contact surface of the force measurement device (at the centre of the A and B dimensions)
- D** direction of movement (downwards) towards the force measurement device
- E** border of the maximum space, side view

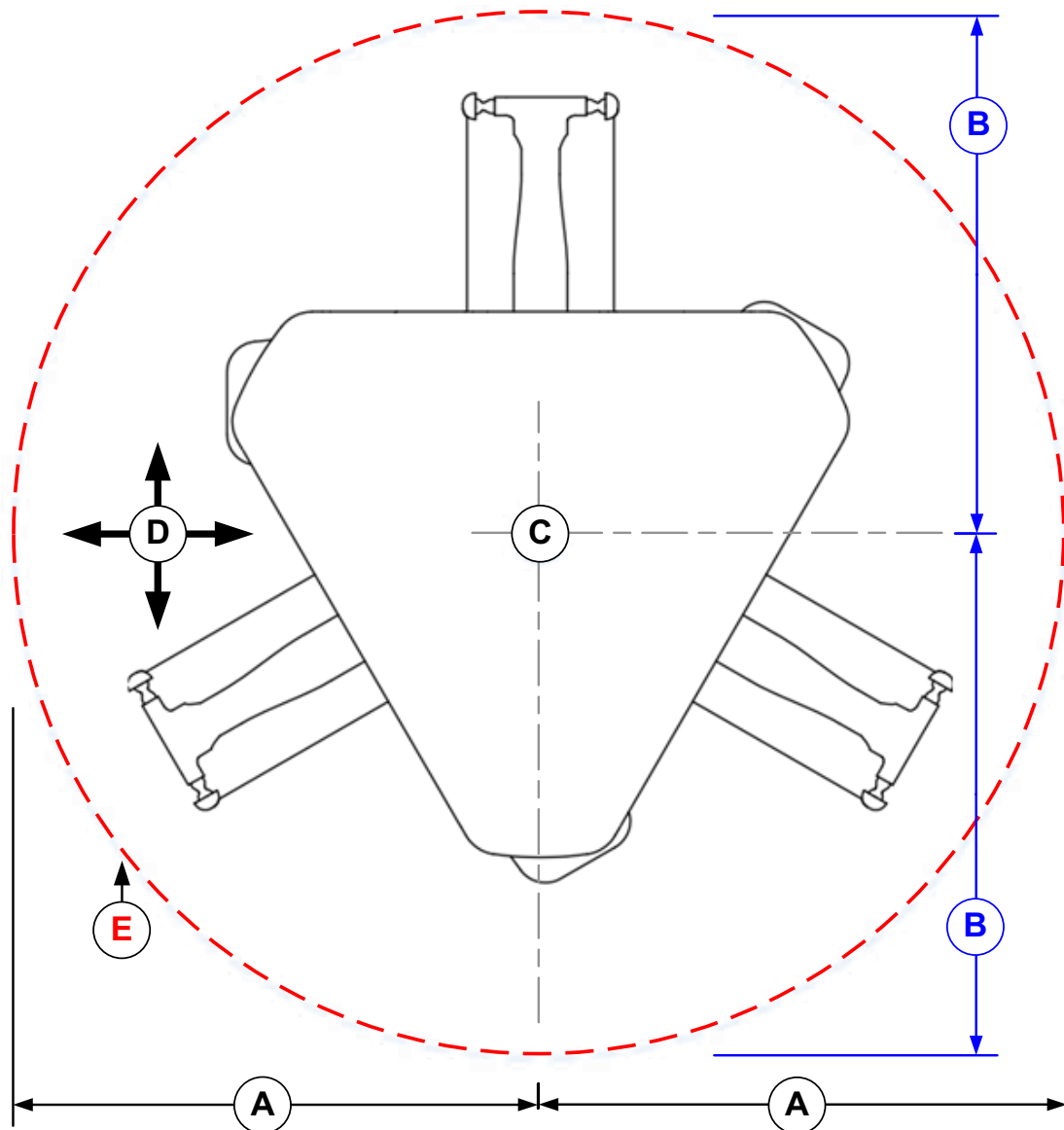
Figure E. 3 — Example vertical (downwards) measurement location for a SCARA robot



KEY

- A** dimension of the maximum space in the “X” dimension, measured from the centre of the robot base to the maximum space border (A dimensions are equal)
- B** dimension of the maximum space in the “Z” dimension, measured the borders of the maximum space (B dimensions are equal)
- C** location of the contact surface of the force measurement device
- D** direction of movement (sideways) towards the force measurement device
- E** border of the maximum space, side view

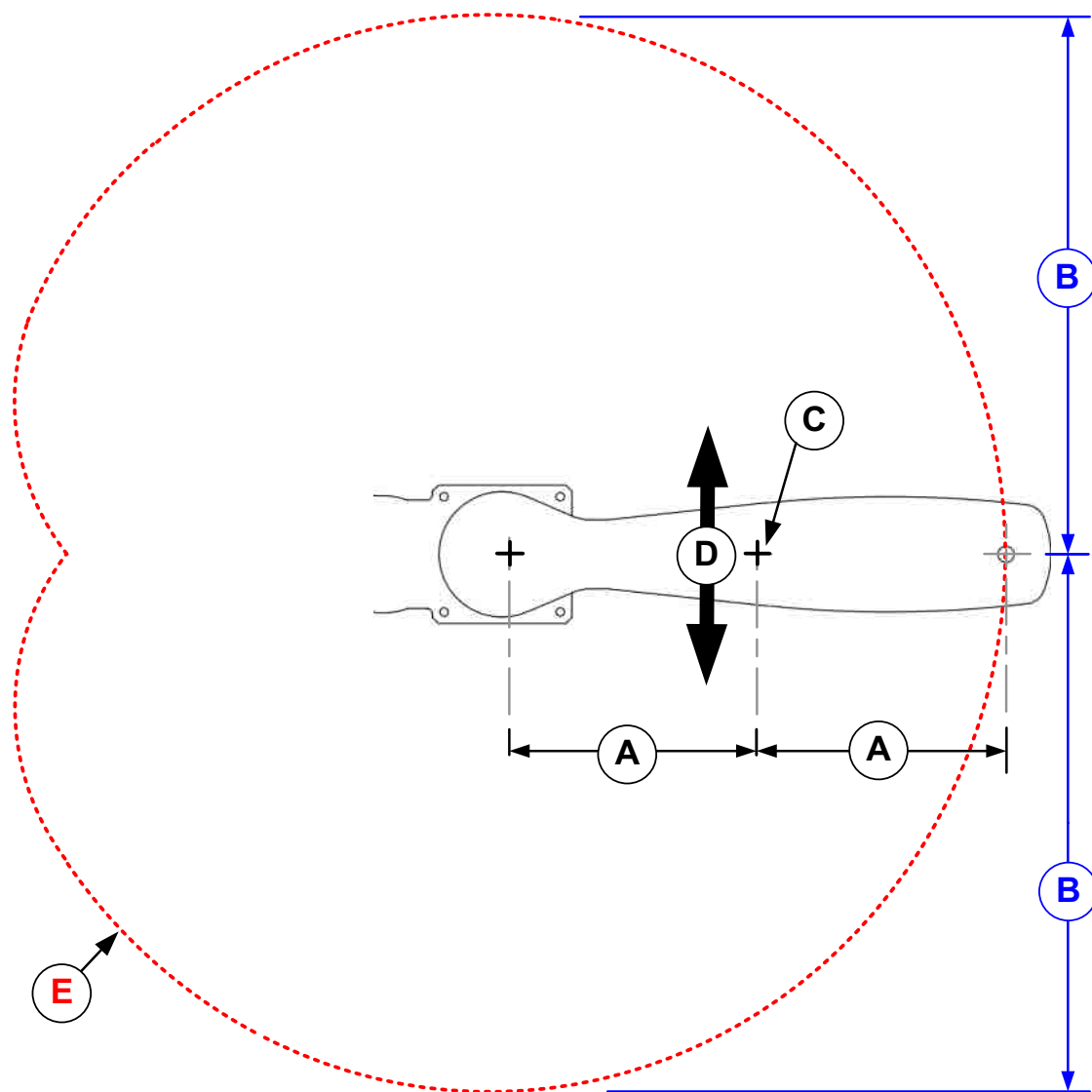
Figure E. 4 — Example horizontal (sideways) measurement location for a 6 axis articulated robot



KEY

- A** dimension of the maximum space in the “X” dimension, measured from the centre of the robot base to the maximum space border (A dimensions are equal)
- B** dimension of the maximum space in the “Z” dimension, measured the borders of the maximum space (B dimensions are equal)
- C** location of the contact surface of the force measurement device (at the centre of the A and B dimensions)
- D** direction of movement (sideways) towards the force measurement device
- E** border of the maximum space, side view

Figure E. 5 — Example horizontal (sideways) measurement location for a Delta robot



KEY

- A** dimension of the maximum space in the “X” dimension, measured from the centre of the robot base to the maximum space border (A dimensions are equal)
- B** dimension of the maximum space in the “Z” dimension, measured the borders of the maximum space (B dimensions are equal)
- C** location of the contact surface of the force measurement device
- D** direction of movement (sideways) towards the force measurement device
- E** border of the maximum space, side view



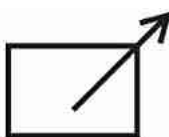
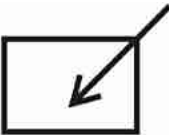

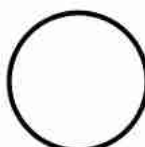
Figure E. 6 — Example horizontal (sideways) measurement location for a SCARA robot

Annex F (informative) Symbols

Table G.1 provides guidance for symbols for modes, direct control, external control, power on and power off. Other symbols can be used for the speed, program and more.

Additional text can be included with the symbols.

Table G.1 — Symbols

Subclause	Description	Symbol	ISO 7000 reference
5.2.8.1	Automatic mode <i>To indicate any automatic closed loop function</i>		0017 <i>Automatic control</i>
5.2.8.2	Manual mode <i>To identify a manually operated control. To identify the switch position that places the equipment under manual (as opposed to automatic) control. To identify the control that activates manual control. To indicate that the equipment is in manual control mode.</i>		0096 <i>Manual mode</i> <i>Manual control</i>
5.2.7.3	External control ON Activate <i>To identify the control for changing over to external control</i>		1108 <i>Remote control, switch on</i> <i>Remote control, activate</i>
5.2.7.3	External control OFF Deactivate (Direct control ON) <i>To identify the control for changing over to direct control</i>		1109 <i>Remote control, switch off</i> <i>Remote control, deactivate</i>
5.2.5	Power ON <i>To indicate connection to the mains, at least for mains switches or their positions, and all those cases where safety is involved.</i>		5007 <i>"ON" (power)</i>
5.2.5	Power OFF <i>To indicate disconnection from the mains, at least for mains switches or their positions, and all those cases where safety is involved.</i>		5008 <i>"OFF" (power)</i>

Annex G (normative)

Means of verification and validation of the design and protective measures

Table G.1 lists specific performance requirements that shall be verified or validated, or both. Table G.1 lists acceptable methods for verification, validation or both of each listed requirements from Clause 5.

Verification and validation, in accordance with Clause 5, shall be performed using one or more of the below methods.

- A** visual inspection;
- B** practical test(s);
- C** measurement;
- D** observation during operation;
- E** review of schematics, circuit diagrams and design material;
- F** review of risk assessment;
- G** review of specifications and information for use.

Table G. 1 — Means of verification and validation of the design requirements and protective measures in Clause 5

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1	Robot Design							
5.1.1	In accordance with the principles of ISO 12100 for identified hazards				X		X	X
5.1.2	Materials, mechanical strength, and mechanical design							
5.1.2.1	Failures due to fatigue and wear do not lead to a hazardous situation for intended lifecycle	X	X	X	X			X
5.1.2.2	Materials							
5.1.2.2	Appropriate for the intended use		X	X				X
5.1.2.2	Do not endanger persons' safety or health				X		X	
5.1.2.2	Are non-toxic in all reasonably foreseeable conditions of use		X	X				X
5.1.2.2	Are not prone to brittle fracture, excessive deformation, or emission of toxic or flammable fumes		X	X				X
5.1.2.2	Retain their properties in the reasonably foreseeable range of climatic and workplace conditions, including temperature variations or sudden changes	X	X	X	X			X
5.1.2.1	Where fluids are used, machinery is designed and constructed to prevent risks due to filling, use, recovery or draining		X	X			X	X

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1.2.3	Mechanical strength							
5.1.2.3	Withstand an overload in static tests without permanent deformation or patent defect, where strength calculations have a minimum static test coefficient of 1,25		X	X		X		X
5.1.2.3	Can undergo, without failure, dynamic tests using the maximum payload multiplied by the dynamic test coefficient, where the dynamic test coefficient is at least 1,1		X	X		X		X
5.1.2.3	Tests are performed at specified speeds		X	X				X
5.1.2.3	If simultaneous movements can be programmed, tests are done using the least favourable conditions		X	X	X			X
5.1.2.4	Mechanical design							
5.1.2.4	Exposed sharp edges and corners, and hazardous projections are reduced as far as reasonably practicable	X		X		X		
5.1.2.4	Mechanisms that enable motion are installed or mounted inside the robot frame such they are normally inaccessible	X		X		X		
5.1.2.4	Exposure to hazards caused by components such as motor shafts, gears, drive belts, or linkages which are not protected by integral covers are prevented either by fixed guards or movable guards in accordance with ISO 14120	X				X		
5.1.2.4	The fixing systems of the fixed guards intended to be removed for routine service actions remain attached to the robot or the guard	X	X		X	X		X
5.1.2.4	Movable guards are interlocked with the hazardous movements in such a way that the hazardous machine functions cease before they can be reached	X	X		X	X		X
5.1.2.4	Errors when fitting or refitting certain parts, which can be a source of risk, are prevented. If not practicable, the information for use are provided at least on the parts themselves and/or their housings	X	X		X	X		X
5.1.3	Handling, lifting and transportation							
5.1.3	Hazards due to sudden movements or instability such that tipping and falling-over during transport, lifting and handling of the robot or its component parts, are prevented as long as they are handled in accordance with the instructions for use	X	X	X	X			X
5.1.3	Measures are provided for lifting and are adequate for handling the anticipated load, including appropriate design, additional support elements and adequate packaging	X	X			X		X
5.1.3	Provisions for handling and lifting the robot and its associated components are provided and are adequate for handling the anticipated load	X	X			X		X
5.1.4	Packaging							
5.1.4	Any part(s) of the robot intended to be handled separately, are packaged or designed to ensure handling without injury and storage without robot damage	X	X			X		X
5.1.5	Stability							
5.1.5	Stable for installation, operation, use, disassembly and dismantling such that tipping and falling-over are prevented by specified mounting to affix the robot and its components securely	X	X	X		X		X
5.1.6	Temperature and fire risks							
5.1.6	Temperatures of accessible surfaces are in accordance with the ISO 13732 series			X				X
5.1.6	Where there is a risk of fire or overheating, the design principles of ISO 19353 are applied			X		X		X
5.1.7	Special equipment							

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1.7	Supplied with the special equipment and accessories to enable it to be adjusted, maintained and used safely	X	X	X	X		X	X
5.1.8	Position holding							
5.1.8	Have means to maintain robot position without drive power (e.g. brakes, pins)		X		X			X
5.1.8	When required for safety, appropriate design margins are used and a test method provided if failure can cause a hazardous situation		X	X	X			X
5.1.9	Auxiliary axis (axes)							
5.1.9	Auxiliary axis (axes) when provided with the robot and that are intended to lift or hold a suspended mass complies with 5.1.2 and 5.1.8	X		X				X
5.1.9	When the auxiliary axis motion affects the TCP speed in reduced-speed manual mode, the requirements of reduced-speed 5.6.2.2) apply to the auxiliary axis (axes)	X	X		X	X		
5.1.9	When monitored-speed safety function is provided for the robot, it is also provided for the auxiliary axis		X		X	X		
5.1.9	When included in greatest motion, Axis limiting is provided in accordance with 5.9	X	X	X		X		X
5.1.10	Power loss or change							
5.1.10	Loss or change of power does not result in a hazardous situation		X		X	X		
5.1.10	Re-initiation of power does not lead to hazardous movement or change in parameters		X		X	X		
5.1.10	Complies with ISO 14118 to prevent unexpected start-up		X	X	X	X		
5.1.11	Component malfunction							
5.1.11	Robot components are designed, constructed, secured, or contained so that hazards caused by breaking or loosening, or releasing stored energy, are reduced to an acceptable level	X	X		X		X	X
5.1.12	Hazardous energy							
5.1.12	Stored energy does not cause hazardous situations	X	X	X	X	X	X	
5.1.12	Means are provided to prevent the uncontrolled or hazardous release of stored energy	X	X	X	X	X		X
5.1.12	If hazardous energy is potential (e.g. spring balancer, gas balancer), the robot has the means to secure it in de-energized position	X	X	X		X		X
5.1.12	Fitted with means to isolate it from all energy sources	X	X		X	X		X
5.1.12	Means are capable of being locked or secured	X	X		X	X		X
5.1.12	Safe release or containment is provided in accordance with ISO 14118		X			X		X
5.1.12	Where robot axes can sink, drop or drift, means are applied either to prevent axis motion or to ensure that resulting motions can be initiated and result in a de-energized position in a controlled way	X	X		X	X		X
5.1.12	Hold position safety function(s) are provided to prevent uncontrolled or hazardous release of stored energy		X					
5.1.12	A label is affixed to identify the stored energy hazard	X						X
5.1.13	Electrical, pneumatic, and hydraulic parts							
5.1.13	Electrical parts are implemented in accordance with relevant requirements of IEC 60204-1	X	X			X		X
5.1.13	Pneumatic equipment is implemented in accordance with relevant requirements of ISO 4414	X	X			X		X
5.1.13	Hydraulic equipment is implemented in accordance with relevant requirements of ISO 4413	X	X			X		X

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.1.13	Connectors prevent erroneous connection where this can lead to a hazardous situation. Where not practicable, connectors are labelled	X	X			X		X
5.1.13	Connectors that can cause a hazard if they are separated, or if they break away, are designed and constructed to prevent unintended separation	X	X			X	X	
5.1.14	Tool Centre Point (TCP) setting							
5.1.14	The capability to enter the TCP parameter is provided if it is needed for a safety function	X	X			X		X
5.1.14	If failure to enter the TCP setting can create a hazard, the robot warns of the hazard and need for entry of an acceptable value		X		X	X		X
5.1.15	Payload setting							
5.1.15	The capability to enter the payload parameter (5.1.15) is provided if it is needed for a safety function		X			X		X
5.1.15	If failure to enter the payload setting can create a hazard, the robot warns of the hazard and need for entry of an acceptable value		X			X		X
5.1.16	Cybersecurity							
5.1.16	Cybersecurity assessment is carried out					X		X
5.1.16	If a threat can result in (safety) risk(s), measures to support cybersecurity are provided		X			X		X
5.1.16	Measures include the means to prevent unauthorized access to the robot, its hardware, software, configuration data and the robot application program		X			X		X
5.1.17	Robot class							
5.1.17	Robots are classified as Class II in accordance with Table 1 unless determined to be Class I by testing		X	X		X		X
5.1.17	Class I robots are tested, and the test results provided, considering the maximum capability of the manipulator without being limited by robot control or safety functions, of the maximum achievable speed of the TCP, effective mass of moving parts of the manipulator, and the maximum achievable force per manipulator in accordance with Annex E		X	X				X
5.1.17	Total mass of moving parts of the manipulator is determined and provided		X			X		X
5.1.17	Class II robot meets the requirements including functional safety in accordance with subclause 5.3		X	X		X		X
5.2	Robot control							
5.2.1	Designed so reasonably foreseeable human error during operation does not lead to hazardous situations		X		X			X
5.2.2	Protection from unexpected start-up							
5.2.2	Controls are implemented and/or located to prevent unexpected start-up and comply with ISO 14118	X	X			X		X
5.2.2	Unexpected start-up due to a start command which is the result of a failure in or an external influence on the control system is avoided in accordance with the requirements of subclauses 5.3 and 5.4		X			X		X
5.2.2	Unexpected start-up due to a start command generated by inopportune action on a start control or other parts of the machine such as a sensor or a power control element is prevented by a restart interlock function in accordance with subclause 5.4.x		X			X		X
5.2.2	Unexpected start-up due to restoration of the power supply after an interruption is prevented by a start interlock function in accordance with subclause 5.4.y		X			X		X
5.2.3	Singularity							
5.2.3	Prior to the occurrence of a singularity, the robot either generate repeatable motion and speed; or task program execution stops; or	X	X		X	X		X

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
	generates an audible or visible warning signal and continues motion at reduced-speeds							
5.2.4	Interlocking functions							
5.2.4	Associated with guards comply with ISO 14119	X				X		X
5.2.5	Status indication and warning devices							
5.2.5	Status of the robot is clearly indicated (e.g. power on, fault detected, mode, automatic operation in process, direct control, external control)	X	X		X			
5.2.5	Indicators are suitable for the installed location, and meet the requirements of IEC 60204-1	X			X	X		X
5.2.5	When provided, warning devices (e.g. audible and visual) are in accordance to ISO 12100, IEC 60204-1, and IEC 60073	X	X		X			X
5.2.6	Labelling							
5.2.6	Controls, including indicators and displays, are labelled to clearly indicate their function, in accordance with IEC 60204-1. See Annex F	X						X
5.2.7	Single point of control							
5.2.7.1	General							
5.2.7.1	Implemented by authentication of communication in accordance with subclause 5.1.16 or as a safety function in accordance with subclause 5.3		X			X		X
5.2.7.2	Direct control							
5.2.7.2	When provided, direct control by a teach pendant is in accordance with subclause 5.2.6.1		X			X		X
5.2.7.2	When under direct control, initiation of robot motion, program changes, changes of safety configuration, change of control to another control station, and updates to the control program are prevented from external control stations	X	X		X	X		
5.2.7.2	Activation of direct control always overrides any other sources of control	X	X		X	X		
5.2.7.2	Activation of direct control is the result of either a deliberate action on a specific control device on the control station	X	X		X	X		
5.2.7.3	External control							
5.2.7.3	If means for programming are not provided, such that external means are required (e.g. by connection to a computer), those are considered external controls					X		X
5.2.7.3	A deliberate action is required at the direct control to enable the external control	X	X		X	X		
5.2.7.3	Enabling of the direct control results in an immediate disabling of any external control	X	X		X	X		
5.2.8	Modes							
5.2.8.1	Automatic							
5.2.8.1	Robot has an automatic mode in which the robot executes the task program and the relevant configured safety functions are active		X		X	X		
5.2.8.1	If any stop condition is detected, all moveable parts of the robot stop		X			X		
5.2.8.1	Automatic operation does not start until a separate confirmation is provided by the operator		X		X	X		
5.2.8.2	Manual							
5.2.8.2.1	General							
5.2.8.2.1	Robot movements are only possible using a control station that is the single point of control of the robot	X	X		X			
5.2.8.2.2	Reduced-speed							

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.2.8.2.2	Robot has a reduced-speed manual mode for jogging, teaching, programming and program verification	X	X			X		X
5.2.8.2.2	Robot movements are only possible during actuation of an enabling device and with reduced-speed (see 5.5.2.1)	X	X			X		
5.2.8.2.2	Automatic operation is prevented when the robot is in manual mode	X	X			X		
5.2.8.2.3	High-speed							
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, means to select high-speed manual are provided in accordance with 5.6.3	X	X		X	X		
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, robot has means provided to manually increase the speed from the initial value in multiple steps	X	X		X	X		
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, robot has a display of the actual speed	X	X		X			
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, robot has a monitored- speed safety function, in accordance with 5.5.2.2, that is active		X		X	X		
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, robot has a start/stop control in conjunction with an enabling device in accordance with 5.5.3	X	X		X	X		
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, has a speed limit no greater than the set reduced-speed: - upon selection or activation of manual high-speed - when the enabling device, in accordance with 5.5.3, is re-initiated by placing the enabling device in the centre-enabled position after either having been released or fully compressed	X	X	X	X	X		
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, and if the enabling device is released for five (5) minutes or more, resumption of the previously-selected higher speed requires a separate deliberate action		X		X	X		
5.2.8.2.3	When high-speed manual mode is provided, robot has a safety function output indicating when the robot is in manual high-speed		X		X	X		
5.2.8.3	Selection, activation and change of the operating mode							
5.2.8.3	Selection requires an intentional action, e.g. key switch	X	X		X	X		
5.2.8.3	The selected mode is clearly identifiable, unambiguously indicated, and visible or displayed	X	X		X			X
5.2.8.3	Changing between modes results in a protective stop; initiation of motion is in accordance with 5.5.1 for start and restart		X			X		X
5.2.8.3	When change of mode will result in a change in active risk reduction measures, mode selection is a safety function		X		X	X		
5.2.8.3	Means to ensure that only one operating mode is active at a time	X	X			X		
5.2.8.3	Each mode has the necessary risk reduction measures active for that mode	X	X			X		
5.2.8.3	Activation of the selected mode does not initiate robot motion or other hazards		X			X		
5.2.8.3	When provided, optional outputs to indicate selected mode for safety-related purposes comply with 5.3		X			X		
5.2.9	Means of controlling the robot							
5.2.9.1	General							
5.2.9.1	Robot has means to control, command, program/teach, configure, and troubleshoot the robot, e.g. teach pendant or other control station(s)		X		X	X		
5.2.9.1	Means are provided at the control panel or teach pendant, or have external control capability and the corresponding connectivity (cabled or wireless)	X			X	X		

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.2.9.1	Each control station or teach pendant has an emergency stop device in accordance to 4.3.5 of ISO 13850:2015 for the initiation of an emergency stop function in accordance with 5.4.2	X			X	X		
5.2.9.1	Any pendant that can initiate motion or cause movement(s) has an enabling function and a 3P enabling device in accordance with 5.5.3	X	X			X		
5.2.9.1	Class 1 robots without an enabling device have a safety function input for the integration of an external 3P enabling device					X		X
5.2.9.1	Class 1 robots are designed such that foreseeable robot tasks can be performed safely without the 3P enabling device, and if not, then a 3P enabling device is provided with the robot	X	X	X	X	X		X
5.2.9.1	Teach pendants and control panels are in accordance with the requirements of IEC 61310-1:2007, IEC 61310-2:2007 and IEC 61310-3:2007		X			X		X
5.2.9.1	A visual signal at the control station indicates the active status of a control station	X	X			X		
5.2.9.1	For robots with external control capability, control stations (including teach pendants) provided indicate when external control is active	X	X			X		
5.2.9.1	Where control stations are mounted onto or within the robot manipulator, one or more risk reduction means in accordance with 5.12 are applied for hand-guided controls (HGC) and/or power and force limiting (PFL)					X		X
5.2.9.2	Teach pendant(s)							
5.2.9.2	The mass and size of teach pendants does not lead to fatigue and discomfort derived from the intended use			X	X			
5.2.9.2	Teach pendants are provided with means or instructions for placement or stowage to minimize the possibility of damage which can result in a hazard, and cable stowage, if applicable, to reduce entanglement and tripping hazards	X						X
5.2.9.3	Cableless or detachable teach pendant(s)							
5.2.9.3	Visual indication is provided, to show that the teach pendant is active	X	X		X	X		
5.2.9.3	Visual indication is provided, indicating the robot to which the teach pendant is connected	X			X			
5.2.9.3	Loss of safety-related communication results in a protective stop for all robots being controlled when in manual mode(s)		X		X	X		
5.2.9.3	Restoration of safety-related communication requires a separate deliberate action to restart robot motion		X			X		
5.2.9.3	Emergency stop device is in accordance with ISO 13850:2015, 4.3.8		X			X		
5.2.9.3	Unambiguous means are provided to connect and disconnect robot control from the teach pendant (e.g. a positive action by the operator)	X	X			X		X
5.2.9.3	Safety-related wireless communication of teach pendants (e.g. radio, infra-red) comply with IEC 62745					X		X
5.2.9.3	Means are provided to prevent confusion between active and inactive emergency stop devices	X	X		X	X		X
5.2.10	Means of initiating automatic operation							
5.2.10	Robot control does not start automatic operation until a separate confirmation is provided		X		X	X		
5.2.10	Robot provides means to start automatic operation from a control device other than the teach pendant		X		X	X		
5.2.10	Robot provides means to prevent robot automatic operation from being initiated only by the teach pendant		X		X	X		
5.3	Safety functions							
5.3.1	General							

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.3.1	Safety-related control systems comply with 5.3 and Annex C			X				X
5.3.1	Performance of all safety functions of the robot is provided in the information for use, in accordance with Annex D.	X						X
5.3.2	Functional safety standards							
5.3.2	SRP/CS (or SCS) are designed in accordance with either ISO 13849-1 or IEC 62061					X	X	X
5.3.3	Performance							
5.3.3	Minimum functional safety performance for safety functions is PLd, Category 3 (ISO 13849-1:2015); or SIL 2, HFT = 1 with a mission time of not less than 20 years, in accordance with IEC 62061:2015; or PLd or SIL 2 with a $PFH_D < 4.43 \times 10^{-7}/h$; unless another criterion is stated for a specific robot class (5.1.17, Table 1) and for a specific safety function in accordance with Table 3					X		X
5.3.3	When provided, the safety related inputs and outputs associated with a PLd or SIL 2 safety function are redundant and capable of being implemented into a control system with a redundant architecture					X		X
5.3.4	Failure or fault detection							
5.3.4	Any failure of the safety-related control system or faults detected of a safety function results in a stop category 0 or 1 in accordance with IEC 60204-1		X			X		
5.3.4	Triggering of the safety function results in the defined result(s), in accordance with Annex C		X		X	X		
5.3.5	Parameterization of safety functions							
5.3.5	Robot has the means and capability for software-based parameterization of safety-related application software and for designing the safety-related application software					X		X
5.3.5	The parameterization has safety-related aspect as stated in ISO 13849-1:2015, 4.6.4 or IEC 62061:2015, 6.11.2							X
5.3.5	Software on-line tools, defined in IEC 61508-4:2010, 3.2.10, are not used					X		X
5.3.5	Activated safety function(s) are always active upon turning power on		X		X	X		
5.3.5	Restart of the robot control is required after manual change is made to safety-related parameters		X			X		X
5.3.5	Changes to safety-related parameters are not capable of being reconfigured during automatic execution of the task program		X					
5.3.5	Safety function parameter settings generate an identifier so setting changes can be identified		X					X
5.3.5	Information on active settings and configuration of the safety functions are capable of being viewed and documented	X	X					X
5.3.6	Communications							
5.3.6	When data communications are used in the implementation of a safety function, the requirements of IEC 61508-2:2010, 7.4.11 are applied					X		X
5.3.6	When a robot has an internal robot network, the network is a transmission category 1 network in accordance with Table 2					X		X
5.3.6	When a robot has an external robot network, the network is a transmission category 2 or 3 network in accordance with Table 2					X		X
5.3.7	Electromagnetic compatibility (EMC)							
5.3.7	Safety-related EMC (i.e. immunity and emission) complies with the electromagnetic interference (EMI) and EMC requirements of ISO 13849-1 or IEC 62061		X	X		X		X

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.4	Robot stopping functions							
5.4.1	General							
5.4.1	Robot has a protective stop function, an independent emergency stop function, and another stop function		X			X		
5.4.1	Stop functions have provisions for the connection of external protective devices	X				X		
5.4.1	Robot designed such that stop functions have precedence over any other control functions		X			X		
5.4.1	When a stop function has been initiated, no other control functions enable robot movement until the stop condition has been achieved		X			X		
5.4.1	Functional safety performance is in accordance with 5.3					X		X
5.4.2	Emergency stop							
5.4.2.1	General							
5.4.2.1	Robot has one emergency stop function, stop category 0 or 1, in accordance with IEC 60204-1					X		X
5.4.2.1	Emergency stop function(s) and device(s) are in accordance with ISO 13850		X			X		X
5.4.2.1	Emergency stop function takes precedence over all other robot control and stop functions		X			X		X
5.4.2.1	Emergency stop function causes all hazards within the span-of-control to stop		X			X		X
5.4.2.1	Emergency stop function removes drive power from the robot actuator(s)		X			X		X
5.4.2.1	Emergency stop function remains active until it is reset		X			X		X
5.4.2.1	Emergency stop function is reset only by manual action that does not cause a restart after resetting but only permits a restart to occur		X			X		X
5.4.2.1	Robot has the capability for the connection of an external emergency stop input for use by the robot system	X	X			X		X
5.4.2.2	Control station and teach pendant							
5.4.2.2	Each robot control station and teach pendant capable of initiating robot motion or other hazardous situations has a manually initiated emergency stop function	X	X			X		
5.4.2.3	Emergency stop input							
5.4.2.3	Safety function input(s) for emergency stop remains operative when power is turned off and then turned on			X				
5.4.2.4	Emergency stop output							
5.4.2.4	When a safety function output is provided, the output remains operative when drive power is turned off and then turned on		X			X		
5.4.3	Protective stop							
5.4.3.1	General							
5.4.3.1	Robot has one or more protective stop functions capable of being initiated by internal safety function(s) or external protective device(s)		X			X		X
5.4.3.1	Stop function causes a stop of all robot motion		X		X	X		
5.4.3.1	Stop function is a stop category 0, 1 or 2 in accordance with IEC 60204-1		X		X	X		
5.4.3.1	If the stop function is a stop category 2 stop in accordance with IEC 60204-1, it results in a monitored standstill in accordance with 5.4.3.3					X		X
5.4.3.1	Stop function brings the robot to a safe state		X			X		

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.4.3.1	If robot is supplied without an enabling device, stop function is always active in all modes	X	X			X		X
5.4.3.2	Protective stop output							
5.4.3.2	When a safety function output for a protective stop is provided, the output continues to function or generate a protective stop upon removal of power		X		X	X		X
5.4.3.3	Monitored standstill							
5.4.3.3	Monitored standstill is provided when it is required to prevent unintended motion of the robot following a robot stop in accordance with category 2 of IEC 60204-1:2016		X		X	X		
5.4.3.3	Any unintended motion of the robot in the monitored standstill state results in a stop category 0 or 1 in accordance with IEC 60204-1:2016		X		X	X		
5.4.3.3	Monitored standstill is provided for hand-guided robots in accordance with 5.12.2, without PFL capabilities in accordance with 5.12.4		X		X	X		
5.4.3.3	Monitored standstill is provided for power and force limited robots in accordance with 5.12.4		X		X	X		
5.4.3.3	Monitored standstill is provided for simultaneous motion (5.8)		X		X	X		
5.4.3.3	When monitored standstill is provided, robot has a safety function output which signals that the robot standstill is monitored		X			X		X
5.4.4	Other stop							
5.4.4	Robot has means to initiate a stop function		X			X		
5.4.4	A control station capable to initiate motion in automatic has capability to stop motion		X			X		
5.5	Other safety functions							
5.5.1	Start and restart interlocking							
5.5.1.1	Start interlock							
5.5.1.1	Robot control system has a start interlock function to prevent automatic start when in manual mode and the energy supply is switched on or is interrupted and restored		X			X		
5.5.1.1	Reset of the start interlock function is only possible by a deliberate actuation of a specific control device in a control station of the robot	X	X			X		
5.5.1.2	Restart interlock							
5.5.1.2	Robot control system has a restart interlock function to prevent the automatic restart of the robot after a change in the mode of operation, from automatic mode to manual mode, from reduced-speed manual mode to high-speed manual mode and from high-speed manual mode to reduced-speed manual mode, and from modes described in 5.6 to other modes and vice versa		X			X		X
5.5.1.2	Reset of the restart interlock requires a deliberate actuation of a specific control device in a control station of the robot	X	X		X	X		
5.5.1.2	Control device is not the same as the control device used for the reset of the start interlock (5.5.1.1)		X			X		X
5.5.2	Speed limit(s) monitoring							
5.5.2.1	Reduced-speed							
5.5.2.1	Robot has reduced-speed safety function (s) to enable limiting the speed(s) to 250 mm/s or less		X	X		X		
5.5.2.1	With the reduced-speed safety function active, the speed of the TCP and any point of the manipulator do not exceed 250 mm/s including the effects of any auxiliary axis		X			X		
5.5.2.1	Is possible to select speeds lower than 250 mm/s as the maximum limit		X			X		X

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.5.2.1	Reduced-speed functional safety performance is in accordance with 5.3					X		X
5.5.2.1	Reduced-speed safety function is enabled with reduced-speed manual mode.		X		X	X		X
5.5.2.2	Monitored-speed							
5.5.2.2	Monitored-speed safety function is in accordance with 5.3							X
5.5.2.2	When monitored-speed safety function is active, the speed of the TCP and any point of the manipulator does not exceed the set (monitored) speed including the effects of any auxiliary axis		X		X	X		
5.5.2.2	Disabling the monitored-speed safety function is part of the parameterization in accordance with 5.3.5		X		X	X		X
5.5.3	Enabling function							
5.5.3.1	General							
5.5.3.1	An enabling function is active in manual mode according with 5.7.1		X		X	X		
5.5.3.2	Enabling device							
5.5.3.2	Enabling device is a "three-position" (3P) type enabling control device in accordance with IEC 60204-1:2016, 10.9 and IEC 60947-5-8	X	X			X		
5.5.3.2	When non-electromechanical switches are used in the enabling device, they comply with equivalent requirements					X		X
5.5.3.2	Enabling devices integral to a teach pendant in accordance with 5.7.3. are three-position (3P) type with the functionality in accordance with 5.5.3.3	X				X		X
5.5.3.2	Additional 3P enabling devices operate independently from any other motion control function or device		X		X	X		
5.5.3.3	Functionality							
5.5.3.3	Enabling device implementation has a functional safety performance in accordance with 5.3		X			X		X
5.5.3.3	When continuously held in a centre-enabled position, the enabling device permits robot motion		X		X	X		
5.5.3.3	Releasing all enabling devices on the same teach pendant causes a protective stop		X		X	X		
5.5.3.3	Release of any active enabling device that is not integrated to the teach pendant causes a protective stop		X	X		X		
5.5.3.3	Full compression of any 3P enabling device on a teach pendant causes a protective stop in accordance with 5.4.3.		X		X	X		
5.5.3.3	Going from fully compressed (compress OFF) to the centre ON position does not permit robot motion		X		X	X		
5.5.3.3	Robot motion is only permitted after the 3P enabling device has been fully released ("release OFF" position) after being in the "compress OFF" position		X		X	X		
5.5.3.3	Robot motion is not permitted until the 3P enabling device is moved to the centre (ON) position	X	X			X		
5.5.3.3	Changing from automatic mode to manual mode when the enabling device is in the centre ON position, requires the enabling device be released (release OFF) and re-enabled (centre ON) before robot motion is permitted		X		X	X		
5.6	Simultaneous motion							
5.6	When one or more manipulators are linked to a single teach pendant, the teach pendant has the capability to move one or more of the manipulators independently or in simultaneous motion		X		X	X		
5.6	When in the manual mode, for the manipulators to be included in simultaneous motion, each manipulator is selected before it can be moved	X	X			X		

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.6	When selected for simultaneous motion, all selected manipulators are in the same operating mode		X			X		
5.6	Only selected manipulators are capable of being moved	X	X		X	X		
5.6	An indicator is provided at the point of selection of the manipulators selected for simultaneous motion while in manual mode.	X	X		X			
5.6	When in the manual mode, unselected robots are not able to be moved		X			X		
5.6	Unexpected start-up 5.2.2 of any robots not selected is prevented		X			X		
5.7	Limiting robot motion							
5.7.1	General							
5.7.1	Means are provided to limit motion of the robot to be less than the maximum space	X	X	X		X		X
5.7.1	The means limits the 3 axes of greatest (largest) displacement motions	X	X			X		
5.7.1	Robot complies with 5.9.2, 5.9.3, 5.9.4, or a combination of these	X	X			X		
5.7.1	The robot does not move beyond the limiting device(s) position, or upon reaching the limiting device(s) initiates a protective stop (5.4.3)	X	X	X		X		X
5.7.1	The limiting device(s) has the capability to stop robot motion at maximum payload; maximum speed; and worst pose that results in the maximum strain to the limiting device(s)	X	X	X		X		X
5.7.1	Motion limit is at the actual expected position after reaching a mechanical limiting device including dynamic overshoot or deformation; or at the actual expected stopping position that accounts for stopping distance travel after reaching any electro-mechanical limiting device actuation position or soft axis and space limiting position or plane where the result is a protective stop; or at the soft axis and space limit position when the stopping distance travel is accounted for directly by the function		X	X		X		X
5.7.2	Mechanical axis limiting devices							
5.7.2	When soft axis and space limiting safety function(s) are not provided, robot has provisions for attachment and integration of adjustable mechanical or electro-mechanical limiting devices	X				X		X
5.7.2	Testing of mechanical stops is done without assisted stopping	X			X			
5.7.3	Electro-mechanical axis limiting devices							
5.7.3	Functional safety performance for electro-mechanical limiting device safety functions comply with the requirements in 5.3		X			X		
5.7.3	The robot control and task programs do not change electro-mechanical limit device settings		X			X		
5.7.4	Soft axis and space limiting							
5.7.4	Safety functions that provide soft axis and space limiting comply with the requirements in 5.3					X		X
5.7.4	During recovery from any protective stop when the robot position is outside a soft axis and space limiting safety function limit setting, the robot is under reduced-speed manual mode, as described in 5.6.2.2		X			X		
5.7.4	Settings for soft axis space limiting safety functions are safety-related parameter(s) in accordance with 5.3.5					X		
5.7.5	Dynamic limiting							
5.7.5	When provided, dynamic limiting complies with 5.3		X	X	X	X		X
5.8	Movement without drive power							
5.8	Means are provided so the axes can be moved without the use of drive power in emergency or abnormal situations and instructions are provided	X	X		X	X		X

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
5.8	Where practicable, moving the axes is carried out by a single operator		X		X			
5.8	Means are readily accessible but protected from unintended actuation	X						
5.8	When axes movement can be done by hand, information for use includes whether robot damage would result when repair is needed before the robot resumes use							X
5.9	Lasers and laser equipment							
5.9	When robots have integrated laser equipment, the design and integration prevents any accidental radiation	X	X			X		X
5.9	Laser equipment is safeguarded such that hazardous situations due to exposure to effective radiation, radiation produced by reflection or diffusion and secondary radiation is prevented	X	X	X		X		
5.9	Optical equipment for the observation or adjustment of laser equipment does not create a hazardous situation from its use	X	X	X		X		
5.10	Capabilities for collaborative applications							
5.10.2	Hand-guided controls (HGC)							
5.10.2	Robots with HGC have monitored-speed safety function (5.3) capable of being set (or configured) during integration in accordance with ISO 10218-2					X		X
5.10.2	Robots with HGC have soft axis and space limiting safety function(s) (5.9.4)					X		X
5.10.2	Robots with HGC have monitored standstill (5.4.3.3)					X		X
5.10.2	Robots with HGC have hold-to-run safety function (Annex C)					X		X
5.10.2	When HGC is provided, vibration testing is performed in accordance with ISO 20643:2005			X		X		
5.10.2	When HGC is provided, it is located close to the mechanical interface where the end-effector will be installed, or be provided for installation at such a location	X				X		X
5.10.2	When HGC is provided, it has an emergency stop function complying with 5.4.2	X	X		X	X		
5.10.2	When HGC is provided, it has hold-to-run controls as a safety function in accordance with IEC 60204-1:2016, 9.2.3.7	X	X		X	X		
5.10.2	When HGC is provided, activating (ON position) the hold-to-run control device enables motion	X	X		X			
5.10.2	When HGC is provided, deactivating (OFF position) the hold-to-run control device causes a protective stop, then a monitored standstill in accordance with 5.4.3.3	X	X		X	X		
5.10.2	When HGC is provided, hold-to-run controls are positioned and integrated so an operator cannot actuate (ON position) the hold-to-run control device while being between the robot and a fixed object (e.g. no trapping or crushing)	X	X	X		X		
5.10.2	When HGC is provided, HGC is designed with attention to the user experience of controlling the robot such that pinching, crushing, sharp edges and other "caught-in" or "compressed by objects" injury risks are reduced or eliminated	X	X	X		X		
5.10.3	Speed and separation monitoring (SSM)							
5.10.3	When SSM is provided, the robot maintains the separation distance from the operator(s) in accordance with ISO/DIS 10218-2, 5.13.6.3.2, by one or more of the following:		X	X		X		

Clause	Applicable design requirements and/or protective measures	Method						
		A	B	C	D	E	F	G
	- reduce robot speed; - change pose(s) and/or trajectory of the robot							
5.10.3	Failure to maintain the separation distance results in a protective stop		X	X				X
5.10.4	Power and force limiting (PFL) by inherent design or safety function(s)							
5.10.4	Where PFL is achieved by inherently safe design, the limit is fixed, not adjustable and not configurable	X	X	X		X		X
5.10.4	Where PFL is achieved by safety functions the PFL values are not exceeded during operation, or if exceeded a protective stop initiated		X	X		X		
5.10.4	Where PFL is achieved by safety functions, the following safety functions are provided: monitored-speed (5.5.2.2), soft axis and space limiting (5.9.4), and monitored standstill (5.4.3.3)		X	X		X		
5.10.4	Exceeding any parameter limit causes a protective stop in accordance with 5.4.3		X	X		X		
5.10.4	PFL safety functions are in accordance with 5.3		X			X		

Annex H (normative) Stopping time and distance measurement

This Annex applies to robots that do not have stopping time or stopping distance limiting safety function(s) that cause a stop before exceeding the safety function limit(s). Without these safety functions, the data resulting from this Annex can be used to determine the likely stopping performance.

Note 1 To make this information useful and practical, values are provided at various monitored-speed safety function limits and at maximum, worst case, conditions.

Testing shall comply with the performance testing conditions described in ISO 9283:1998, Clause 6, as applicable.

The data requirement is as follows:

- the stopping time shall be determined from the initiation of a stop to when all robot motion ceases;

Note 2 This does not include any motion and other hazards related to the system, such as end-effector, workpiece(s). See ISO 10218-2.

- if validated simulation values are available using safety function limits, then these values may be used.

Note 3 This data can vary depending on additive delays due to control system feature and configuration, i.e. cableless pendants.

If the robot does not have a stop distance safety function, the manufacturer shall provide the stopping distance in linear or angular units, as appropriate. The stopping distance(s) is determined as the distance from the initiation of a stop to when all robot motion ceases.

For stop category 0, 1 and 2 in accordance with IEC 60204-1, the stopping time and stopping distance for each joint shall be provided for the following variations:

- safety function speed limits for 33 %, 66 % and 100 % of maximum speed
- payload for 33 %, 66 % and 100 % of maximum payload,
- extension for 33 %, 66 % and 100 % of maximum (worst-case) extension.

If likely stopping time and distance values can be derived from the maximum values, then instead of the above variations, the manufacturer may provide 100 % maximum values with an equation for obtaining intermediate values.

Data shall be provided for the three axes of greatest displacement. The data shall be plotted on a grid that is sampled every 10ms, 10 mm/s, 5 % or 5° as is appropriate. Data points and linear interpolation shall be clearly indicated.

Annex I **(informative)** **Optional features**

I.1 General

The requirements specified in this document are the minimum safety requirements. Many additional capabilities and safety functions can be added to a robot to enhance safety. Functional safety performance requirements are according to 5.3.

The optional features in this annex are listed in no specific order of importance or desirability. Robots equipped with these capabilities can have greater flexibility in use and reuse, and greater potential risk reduction in the case of safety functions.

I.2 Emergency stop safety function outputs

- a) Capability for emergency stop safety function outputs (5.4.2.4), to enable having a common emergency stop where the robot emergency stop is connected to the cell emergency stop). See ISO 10218-2.
- b) Capability for emergency stop device to be functional without robot control power in accordance with 5.4.2.

I.3 Enabling device functionality

- a) Capability of enabling device output to interconnect enabling device(s) into a common circuit controlling multiple robots and equipment, see 5.5.3 and 7.x. See ISO 10218-2..
- b) Capability to connect multiple additional enabling devices to one enabling device function.
- c) Safety function to allow suspending the enabling device function.

I.4 Mode selection output

- a) Capability to provide information of the mode selection to the safety-related control system.
- b) Output complies with 5.3.

I.5 Anti-collision sensing

To be most effective in preventing harm to operator(s), the robot should stop and create a warning signal when a collision is sensed and not move to another position without operator intervention.

I.6 Maintaining path accuracy across all speeds

This would limit the perceived need to view robot movement from a position of danger.

I.7 Optional capabilities

I.7.1 Configurable position for as a monitored position safety function

When supplied, a configurable monitored position safety function will cause a change in the state of a safety output when the robot is in its configured position. This is triggered by the robot being in a monitored standstill at the configured monitored position. See Annex C.

I.7.2 Stopping performance safety function(s) or non-safety measurement

When supplied, a stopping performance monitoring safety function or stopping performance measurement for periodic inspection to verify stopping performance (stopping time, stopping angle/ distance(s)) should provide one of the following features:

- a) safety function that allows setting the stopping time limit and or the stopping distance limit; or
- b) a capability which is not a safety function, that provides the following:
 - 1) a means to measure and record the stopping performance at the next demand;
 - 2) select the input event to define the start of the stopping event (e.g. safeguarding device input state change);
 - 3) set limits for warning when these limits are exceeded.

In the case of b), periodic inspections can be needed to verify stopping performance and if application modifications are needed.

I.7.3 Real-time interfaces safety function

When implementing safety functions with equipment external to the robot, such as speed and separation monitoring, it is often advantageous to know in real-time characteristics of the robot known with fidelity by the robot. These can include robot joint position and velocity. For this information to be most effectively used as part of a safety function, this data would need to be provided over a safety interface.

For some safety functions, it would also be advantageous if the robot controller, over the same safety interface, would accept real-time control data. This data can include, but is not limited to, trajectory waypoints and speed overrides.

All the above interfaces are more effective when they are implemented with higher communication rates and low latency.

Annex ZA (informative)

Relationship between this European Standard and the essential requirements of Directive 2006/42/EC aimed to be covered

This European Standard has been prepared under a Commission's standardization request "M/396 Mandate to CEN and CENELEC for Standardisation in the field of machinery" to provide one voluntary means of conforming to essential requirements of Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast).

Once this standard is cited in the Official Journal of the European Union under that Directive, compliance with the normative clauses of this standard given in Table ZA.1 confers, within the limits of the scope of this standard, a presumption of conformity with the corresponding essential requirements of that Directive, and associated EFTA regulations.

Table ZA.1— Correspondence between this European Standard and Annex I of Directive 2006/42/EC

The relevant Essential Requirements of Directive 2006/42/EC	Clause(s)/sub-clause(s) of this EN	Remarks/Notes
1.1.2. Principles of safety integration	4, 5, 6, 7.5.3, Annex G	
1.1.3. Materials and products	5.1.2.2	
1.1.5. Design of machinery to facilitate its handling	5.1.3, 5.1.4, 7.5.18	
1.1.6. Ergonomics	5.2.5, 5.2.9.1, 5.2.9.2	
1.2.1. Safety and reliability of control systems	5.1.2, 5.1.5, 5.1.8, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.9.3, 5.3, 5.4.1, 5.4.3.1, 5.5.1, 5.5.3, 5.6, 5.7, Annex C	
1.2.2. Control devices	5.1.13, 5.2.5, 5.2.7, 5.2.8.2.3, 5.2.9.1, 5.2.9.3, 5.2.10, 5.4.1, 5.4.2, 5.6	
1.2.3. Starting	5.5.1, 5.2.8.1, 5.2.8.3, 5.2.9.3	
1.2.4.1. Normal stop	5.4.1, 5.4.4	
1.2.4.2. Operational stop	5.4.3.3	
1.2.4.3. Emergency stop	5.2.9.3, 5.4.1, 5.4.2, 5.10.1, 5.10.2	
1.2.5. Selection of control or operating modes	5.2.8.2, 5.2.8.3	
1.2.6. Failure of the power supply	5.1.8, 5.1.10, 5.3, 5.5.1.1	
1.3.1. Risk of loss of stability	5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 7.5.4	
1.3.2. Risk of break-up during operation	5.1.2, 5.1.11, 5.1.13, 7.5.15	
1.3.4. Risks due to surfaces, edges or angles	5.1.2.4, 5.10.2	
1.3.7. Risks related to moving parts	5.1.2.4, 7.5.17	
1.3.8. Choice of protection against risks arising from moving parts	5.1.2.4	
1.3.8.1. Moving transmission parts	5.1.2.4, 5.2.4	

The relevant Essential Requirements of Directive 2006/42/EC	Clause(s)/sub-clause(s) of this EN	Remarks/Notes
1.3.9. Risks of uncontrolled movements	5.1.8	
1.4.1. General requirements	5.5.3, 5.7, 5.10	
1.4.2.1. Fixed guards	5.1.2.4	
1.4.2.2. Interlocking movable guards	5.1.2.4, 5.2.4	
1.4.3. Special requirements for protective devices	5.3, Annex H	
1.5.1. Electricity supply	5.1.13	
1.5.2. Static electricity	5.1.12	
1.5.3. Energy supply other than electricity	5.1.13	
1.5.4. Errors of fitting	5.1.2.4, 5.1.13, 7.5.15	
1.5.5. Extreme temperature	5.1.6	
1.5.6. Fire	5.1.6	
1.5.9. Vibrations	5.10.2	
1.6.3. Isolation of energy sources	5.1.12	
1.7.1. Information and warnings on the machinery	7.1, 7.4	
1.7.1.1. Information and information devices	5.2.5, 5.2.9.1, 7.1	
1.7.1.2. Warning devices	5.2.5, 7.2	
1.7.2. Warning of residual risks	7.5.3, 7.5.12.6	
1.7.3. Marking of machinery	7.3	
1.7.4. Instructions	7.1	
1.7.4.1. General principles for the drafting of instructions	7.5.1	
1.7.4.2. Contents of the instructions	7.1, 7.5	
2.2.1. General	5.10.2	
2.2.1.1. Instructions	7.5.15	
4.1.2.1. Risks due to lack of stability	5.1	
4.1.2.3. Mechanical strength	5.1.2	
4.1.2.4. Pulleys, drums, wheels, ropes and chains	5.1.2.3	
4.1.3. Fitness for purpose	5.1.2.3	
4.2.1. Control of movements	5.2.8.2.2, 5.2.8.2.3, 5.5.3, 5.10.2	
4.3.3. Lifting machinery	7.3	
4.4.2. Lifting machinery	7.5.3	

WARNING 1 — Presumption of conformity stays valid only as long as a reference to this European Standard is maintained in the list published in the Official Journal of the European Union. Users of this standard should consult frequently the latest list published in the Official Journal of the European Union.

WARNING 2 — Other Union legislation may be applicable to the product(s) falling within the scope of this standard.

Bibliography

- [1] ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards*
- [2] ISO 3864-1, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 1: Design principles for safety signs and safety markings*
- [3] ISO 3864-2, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 2: Design principles for product safety labels*
- [4] ISO 3864-3, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 3: Design principles for graphical symbols for use in safety signs*
- [5] ISO 3864-4, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 4: Colorimetric and photometric properties of safety sign materials*
- [6] ISO 7000, *Graphical symbols for use on equipment — Registered symbols*
- [7] ISO 7010, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs*
- [8] ISO 8373:2012, *Robots and robotic devices — Vocabulary*
- [9] ISO 9283:1998, *Manipulating industrial robots — Performance criteria and related test methods*
- [10] ISO 9409 (all parts), *Manipulating industrial robots — Mechanical interfaces*
- [11] ISO 9946, *Manipulating industrial robots — Presentation of characteristics*
- [12] ISO 10218-2—¹, *Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration*
- [13] ISO 13849-2, *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 2: Validation*
- [14] ISO 13850, *Safety of machinery — Emergency stop function — Principles for design*
- [15] ISO 13851, *Safety of machinery — Two-hand control devices — Principles for design and selection*
- [16] ISO 13854, *Safety of machinery — Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body*
- [17] ISO 13855, *Safety of machinery — Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body*
- [18] ISO 13856 (all parts), *Safety of machinery — Pressure-sensitive protective devices*

¹ Under preparation.

- [19] ISO 13857, *Safety of machinery — Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs*
- [20] ISO 14118, *Safety of machinery — Prevention of unexpected start-up*
- [21] ISO 14119, *Safety of machinery — Interlocking devices associated with guards — Principles for design and selection*
- [22] ISO 14120, *Safety of machinery — Guards — General requirements for the design and construction of fixed and movable guards*
- [23] ISO 14123-1, *Safety of machinery — Reduction of risks to health resulting from hazardous substances emitted by machinery — Part 1: Principles and specifications for machinery manufacturers*
- [24] ISO 14123-2, *Safety of machinery — Reduction of risks to health resulting from hazardous substances emitted by machinery — Part 2: Methodology leading to verification procedures*
- [25] ISO 14159, *Safety of machinery — Hygiene requirements for the design of machinery*
- [26] ISO 14738, *Safety of machinery — Anthropometric requirements for the design of workstations at machinery*
- [27] ISO 19353, *Safety of machinery — Fire prevention and fire protection*
- [28] ISO 20607, *Safety of machinery — Instruction handbook — General drafting principles*
- [29] ISO/TR 23849, *Guidance on the application of ISO 13849-1 and IEC 62061 in the design of safety-related control systems for machinery*
- [30] ISO 29262, *Production equipment for microsystems — Interface between end effector and handling system*
- [31] ISO 31000, *Risk management — Guidelines*
- [32] EN 614 (all parts), *Safety of machinery — Ergonomic design principles*
- [33] EN 563, *Safety of machinery — Temperatures of touchable surfaces — Ergonomics data to establish temperature limit values for hot surfaces*
- [34] EN 1093 (all parts), *Safety of machinery — Evaluation of the emission of airborne hazardous substances*
- [35] EN 1127-1, *Explosive atmospheres — Explosion prevention and protection — Part 1: Basic concepts and methodology*
- [36] EN 1127-2, *Explosive atmospheres — Explosion prevention and protection — Part 2: Basic concepts and methodology for mining*
- [37] EN 1837, *Safety of machinery — Integral lighting of machines*

- [38] EN 12198 (all parts), *Safety of machinery — Assessment and reduction of risks arising from radiation emitted by machinery*
- [39] EN 50159, *Railway applications — Communication, signalling and processing systems — Safety-related communication in transmission systems*
- [40] ISO/TR 23849, *Guidance on the application of ISO 13849-1 and IEC 62061 in the design of safety-related control systems for machinery*
- [41] IEC 31010, *Risk management — Risk assessment techniques*
- [42] IEC 60073, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification — Coding principles for indicators and actuators*
- [43] IEC 60204-1, *Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements*
- [44] IEC 60269 (all parts), *Low-voltage fuses*
- [45] IEC 60947 (all parts), *Low-voltage switchgear and controlgear*
- [46] IEC 60364-7-729, *Low-voltage electrical installations — Part 7-729: Requirements for special installations or locations — Operating or maintenance gangways*
- [47] IEC 60812, *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*
- [48] IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 6-2: Generic standards — Immunity for industrial environments*
- [48] IEC 61000-6-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 6-4: Generic standards — Emission standard for industrial environments*
- [49] IEC 61496-2, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)*
- [50] IEC 61800-5-2, *Adjustable speed electrical power drive systems — Part 5-2: Safety requirements — Functional*
- [51] IEC 61310-1, *Safety of machinery — Indication, marking and actuation — Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals*
- [52] IEC 61496 (all parts), *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment*
- [53] IEC 61496-2, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)*
- [54] IEC 61496-3, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 3: Particular requirements for Active Opto-electronic Protective Devices responsive to Diffuse Reflection (AOPDDR)*

- [55] IEC/TR 61496-4, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 4: Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD)*
- [56] IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*
- [57] IEC 61800-5-2, *Adjustable speed electrical power drive systems — Part 5-2: Safety requirements — Functional*
- [58] IEC 62046, *Safety of machinery — Application of protective equipment to detect the presence of persons*
- [59] IEC 62061, *Safety of machinery — Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*
- [60] IEC 62079, *Preparation of instructions — Structuring, content and presentation*
- [61] IEC 62280, *Railway applications — Communication, signalling and processing systems — safety related communication in transmission systems*
- [62] IEC TR 63074, *Safety of machinery — Security aspects related to functional safety of safety-related control systems*
- [63] IEC/IEEE 82079-1, *Preparation of information for use (instructions for use) of products — Part 1: Principles and general requirements*
- [64] CEN/TR 14715, *Safety of machinery — Ionizing radiation emitted by machinery — Guidance for the application of technical standards in the design of machinery in order to comply with legislative requirements*
- [65] Research project No. FP-0317: *Collaborative robots – Investigation of pain sensibility at the Man-Machine-Interface*. Institute for Occupational, Social and Environmental Medicine at the Johannes Gutenberg University of Mainz, Germany. Final report December 2014