

DIN EN ISO 13855



ICS 13.110

Ersatz für
DIN EN ISO 13855:2010-10

**Sicherheit von Maschinen –
Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherung des
menschlichen Körpers (ISO 13855:2024);
Deutsche Fassung EN ISO 13855:2024**

Safety of machinery –
Positioning of safeguards with respect to the approach of the human body
(ISO 13855:2024);
German version EN ISO 13855:2024

Sécurité des machines –
Positionnement des moyens de protection par rapport à l’approche du corps humain
(ISO 13855:2024);
Version allemande EN ISO 13855:2024

Gesamtumfang 95 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)



Nationales Vorwort

Das Dokument EN ISO 13855:2024 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 199 „Safety of machinery“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 114 „Sicherheit von Maschinen und Geräten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Gemeinschaftsarbeitsausschuss NA 095-01-04 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NASG/NAM/DKE: Schutzeinrichtungen, Sicherheitsmaßnahmen und Verriegelungen“ im DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente können die entsprechenden deutschen Dokumente kostenlos auf der DIN-Media-Homepage recherchiert werden.

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 13855:2010-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Titel geändert;
- b) Bilder überarbeitet;
- c) Berechnungsgrundlagen und Formeln überarbeitet;
- d) Anhang mit Übersicht der verwendeten physikalischen Größen angefügt;
- e) Dokument redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 999: 1998-12, 2008-10
DIN EN ISO 13855: 2010-10

Deutsche Fassung

Sicherheit von Maschinen —
Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf
Annäherung des menschlichen Körpers (ISO 13855:2024)

Safety of machinery —
Positioning of safeguards with respect to the approach
of the human body (ISO 13855:2024)

Sécurité des machines —
Positionnement des moyens de protection par rapport à
l'approche du corps humain (ISO 13855:2024)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 19. Juli 2024 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	7
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2006/42/EG	8
Vorwort	10
Einleitung	12
1 Anwendungsbereich	14
2 Normative Verweisungen	15
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	15
3.1 Begriffe	15
3.2 Symbole und Abkürzungen	19
3.2.1 Symbole	19
3.2.2 Abkürzungen	19
4 Methodik	19
4.1 Allgemeines	19
4.2 Statische und dynamische Trennungsabstände	22
4.3 Bezugsebenen	22
4.4 Annahmen	24
4.5 Spezifische Anforderungen an eine BWS hinsichtlich des Ganzkörperzugangs	25
4.5.1 Allgemeines	25
4.5.2 Zusätzliche Anforderungen an vertikal zur Bezugsebene montierte Schutzfelder	26
4.5.3 Zusätzliche Anforderungen an Einrichtungen mit Einzelstrahl	26
4.6 Erreichbarkeitsabstand zum SRMCD	26
4.7 Annäherung in Richtung des Schutzfeldes der SPE	27
4.8 Geschwindigkeits- und Abstandsregelung (SSC)	27
5 Trennungsabstand	28
5.1 Allgemeines	28
5.2 Trennungsabstand S	28
5.3 Annäherungsgeschwindigkeit K	29
5.3.1 Annäherungsgeschwindigkeit des menschlichen Körpers	29
5.3.2 Annäherungsgeschwindigkeit von ortsveränderlichen Maschinen	29
5.4 Reaktionszeit des Gesamtsystems T	29
5.5 Zuschläge zum Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung D_{DS}	32
5.5.1 Allgemeines	32
5.5.2 Erreichbarkeitsabstand in Anwendungen, die eine Sicherheitsfunktion auslösen	32
5.5.3 Erreichbarkeitsabstand in Anwendungen, in denen Gefährdungsbereiche durch Umgehen der Schutzeinrichtung erreicht werden können	32
5.6 Zusätzliche Entfernungsfaktoren	33
6 Dynamischer Trennungsabstand	34
6.1 Allgemeines	34
6.2 Dynamischer Trennungsabstand bei Annäherung einer Person aus unbekannter Richtung	34
6.3 Dynamischer Trennungsabstand bei Annäherung einer Person aus bekannter Richtung	35
7 Betrachtung der Annäherungsrichtung an ein Schutzfeld	37
8 Orthogonale Annäherung an ein Schutzfeld	38
8.1 Bestimmung des Erreichbarkeitsabstands bei orthogonaler Annäherung an ein Schutzfeld	38
8.2 Hinübergreifen über ein vertikales Schutzfeld	40
8.2.1 Allgemeines	40
8.2.2 Vertikale Schutzfelder ohne schützende Zusatzkonstruktionen	41
8.2.3 Vertikale Schutzfelder mit schützenden Zusatzkonstruktionen	43

8.3	Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld	43
8.3.1	Allgemeines	43
8.3.2	Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $d_e \leq 40$ mm	44
8.3.3	Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $40 \text{ mm} < d_e \leq 55$ mm	45
8.3.4	Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $55 \text{ mm} < d_e \leq 120$ mm	45
8.3.5	Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $d_e > 120$ mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen	46
8.3.6	Indirekte Annäherung — Durch Hindernisse eingeschränkter Weg	47
8.4	Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld	49
8.4.1	Allgemeines	49
8.4.2	Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld bei $(d_e + H_{DB}) \leq 40$ mm	50
8.4.3	Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld, dessen Unterkante sich in einer Höhe über der Bezugsebene von $40 \text{ mm} < d_e + H_{DB}$ und $H_{DB} \leq 300$ mm befindet	51
8.4.4	Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld mit schützenden Zusatzkonstruktionen	51
8.5	Anwendungen mit Einzelstrahlen	52
8.6	Wiederingangsetzen von Maschinen durch aktive optoelektronische Schutzeinrichtungen (AOPD) mit Steuerungsfunktion	53
9	Parallele Annäherung an ein Schutzfeld	53
9.1	Allgemeines	53
9.2	Höhe eines Schutzfeldes bei paralleler Annäherung	54
9.3	Trennungsabstand eines Schutzfeldes bei paralleler Annäherung	55
9.4	Tiefe eines Schutzfeldes bei paralleler Annäherung	56
10	Zweihandschaltungen	58
10.1	Zweihandschaltungen, die Eindringen nicht verhindern	58
10.2	Zweihandschaltungen, die Eindringen verhindern	59
11	Einfach betätigte Steuerungseinrichtungen	59
11.1	Einfach handbetätigte Steuerungseinrichtungen	59
11.2	Einfach fußbetätigte Steuerungseinrichtungen	60
12	Verriegelte trennende Schutzeinrichtungen	60
12.1	Allgemeines	60
12.2	Verriegelungseinrichtungen ohne Zuhaltung	61
12.2.1	Allgemeines	61
12.2.2	Berechnung der Öffnungsweite e für eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit einer Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter	62
12.3	Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung	64
Anhang A	(informativ) Erreichen der vorgesehenen Risikominderung	65
Anhang B	(informativ) Messung und Berechnung der Leistungsfähigkeit des Systems zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung	67
B.1	Allgemeines	67
B.2	Prüfbedingungen der Maschine	67
B.3	Prüfintervall und Messverfahren	68
B.4	Fehlerzustände	68
B.5	Berechnung der Reaktionszeit des Gesamtsystems T bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung	69
B.6	Beispiel für die Auswertung einer Messung — Berechnung der Stichprobenstandardabweichung	69
Anhang C	(normativ) Einrichtungen mit mehreren Einzelstrahlen oder Anordnungen von Einzelstrahlen mit einem effektiven Detektionsvermögen $d_e > 120$ mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen — Anzahl der Strahlen und deren Höhe über der Bezugsebene ohne Höhenänderung	71
Anhang D	(normativ) Lieferanteninformationen hinsichtlich Zeit und Weg bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung	73

Anhang E (informativ) Erläuterung der Variablen zur Bestimmung des Trennungsabstandes für Schutzeinrichtungen	75
E.1 Variablen in Abschnitt 4	75
E.2 Variablen in Abschnitt 5	76
E.3 Variablen in Abschnitt 6	78
E.4 Variablen in Abschnitt 7	80
E.5 Variablen in Abschnitt 8	80
E.6 Variablen in Abschnitt 9	81
E.7 Variablen in Abschnitt 12	82
E.8 Variablen in Anhang B	82
E.9 Variablen in Anhang F	83
E.10 Variablen in Anhang G	83
Anhang F (normativ) Zeitfaktoren der Reaktionszeit des Gesamtsystems bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung	84
F.1 Allgemeines	84
F.2 Elemente der Reaktionszeit des Gesamtsystems T	84
F.2.1 Reaktionszeit des Eingangs t_I	84
F.2.2 Reaktionszeit der SRP/CS- oder SCS-Logik t_L	85
F.2.3 Reaktionszeit des SRP/CS- oder SCS-Ausgangs t_O	85
F.2.4 Reaktionszeit der Maschine t_{ME}	85
F.2.5 Zeit in Zusammenhang mit einem Toleranzfaktor t_F für die Maschine	86
F.3 Verwendung von Geräten zur Messung der Reaktionszeit des Gesamtsystems	86
F.4 Anwendung der Reaktionszeit des Gesamtsystems auf verriegelte trennende Schutzeinrichtungen mit Zuhaltung	86
Anhang G (informativ) Erläuterungen der in diesem Dokument angewendeten Gleichungen und Werte	87
G.1 Bezugsebenen	87
G.1.1 Allgemeines	87
G.1.2 Wert a — Kleinste Stufenbreite	87
G.1.3 Wert b — Kleinste Höhe von Hindernissen	87
G.1.4 Wert c — Höhenunterschied mit Sturzrisiko	87
G.2 Breite des Beins im Verhältnis zur Beinhöhe	87
G.3 Erreichbarkeitsabstand D_{DT} beim Hindurchgreifen durch vertikale Schutzfelder mit den oberen Gliedmaßen	88
G.3.1 Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld D_{DT} bei effektivem Detektionsvermögen $d_e \leq 40$ mm	88
G.3.2 Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld D_{DT} bei effektivem Detektionsvermögen von 40 mm $< d_e \leq 55$ mm	89
G.3.3 Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld D_{DT} bei effektivem Detektionsvermögen $d_e > 55$ mm	90
G.4 Erreichbarkeitsabstand D_{DS} bei Zweihandschaltungen, die Eindringen nicht verhindern	90
G.5 Erreichbarkeitsabstand D_{DS} beim Hinübergreifen über parallele Schutzfelder	90
Literaturhinweise	91

Bilder

Bild 1 — Methodik	21
Bild 2 — Darstellung von höher liegenden Ebenen zur Bestimmung der Bezugsebene beim Annähern an einen Gefährdungsbereich oder an ein SRMCD	24
Bild 3 — Beispiel für ein System mit mehreren Strahlen für den Ganzkörperzugang	26
Bild 4 — Faktoren von T und Messgrundsatz	31
Bild 5 — Annäherungsrichtung	36
Bild 6 — Typische Annäherungsrichtungen an ein Schutzfeld	37
Bild 7 — Unterschiedliche Winkel zur Annäherungsrichtung	38
Bild 8 — Zur Annäherungsrichtung abgewinkeltes Schutzfeld	38

Bild 9 — Betrachtung aller Erreichbarkeitsabstandszuschläge bei orthogonaler Annäherung an ein vertikales Schutzfeld (gilt sowohl für Schutzeinrichtungen als auch für ein SRMCD)	39
Bild 10 — Winkel des Schutzfeldes im Verhältnis zur Bezugsebene	40
Bild 11 — Hinübergreifen über ein vertikales Schutzfeld	41
Bild 12 — Beispiel für das Hinübergreifen über das vertikale Schutzfeld einer BWS in Verbindung mit einer schützenden Konstruktion	43
Bild 13 — Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld	44
Bild 14 — Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $d_e > 120$ mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen	47
Bild 15 — Beispiel für eine direkte und indirekte Annäherung	48
Bild 16 — Darstellung der Berechnung der tatsächlich zurückgelegten Strecke	49
Bild 17 — Hindurchgreifen unter einem Schutzfeld bei orthogonaler Annäherung	50
Bild 18 — Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld mit einer schützenden Zusatzkonstruktion	52
Bild 19 — Höhe des Schutzfeldes (niedrigster Strahl)	54
Bild 20 — Zulässige Höhe des horizontalen Schutzfeldes über der Bezugsebene H_D	55
Bild 21 — Trennungsabstand bei paralleler Annäherung	56
Bild 22 — Mindesttiefe des Schutzfeldes	57
Bild 23 — Trennungsabstand für Zweihandschaltungen (ohne Abdeckung)	58
Bild 24 — Trennungsabstand für einfach handbetätigte Steuerungseinrichtungen	59
Bild 25 — Trennungsabstand für einfach fußbetätigte Steuerungseinrichtungen	60
Bild 26 — Beispiel für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen	62
Bild 27 — Variablen für die Bestimmung der Öffnungsweite (e) für eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter	63
Bild E.1 — Öffnungen mit unregelmäßiger Form	76
Bild G.1 — Darstellung des Beindurchmessers (Breite) im Verhältnis zur Höhe	88
Bild G.2 — Darstellung der Handdicke im Verhältnis zur Eindringtiefe	89
Bild G.3 — Erreichbarkeitsabstand nach effektivem Detektionsvermögen	89

Tabellen

Tabelle ZA.1 — Übereinstimmung zwischen dieser Europäischen Norm und Anhang I der Richtlinie 2006/42/EG	8
Tabelle ZA.2 — Normative Verweisungen aus Abschnitt 2 dieses Dokuments und ihre entsprechenden europäischen Veröffentlichungen	8
Tabelle 1 — Bestimmung der Bezugsebene mit erhöhten Oberflächen beim Annähern an einen Gefährdungsbereich oder an ein SRMCD	23
Tabelle 2 — Hinübergreifen über das vertikale Schutzfeld einer BWS	42
Tabelle 3 — Horizontale Projektion des Erreichbarkeitsabstands D_{DU} beim Zugang mit den oberen Gliedmaßen unter einem vertikalen Schutzfeld mit $40 \text{ mm} < d_e + H_{DB}$ und $H_{DB} \leq 300$ mm hindurch	51
Tabelle 4 — Horizontale Projektion des Erreichbarkeitsabstands D_{GU} beim Zugang mit den unteren Gliedmaßen unter einer schützenden Konstruktion mit $120 \text{ mm} < H_{GB} \leq 180$ mm hindurch	52
Tabelle 5 — Beispielberechnung von b für übliche Betätigungswinkel einer Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter ω	64
Tabelle B.1 — Gemessene Reaktionszeiten des Systems	69
Tabelle B.2 — Vergleich von Werten der Reaktionszeit des Systems	70
Tabelle C.1 — Höhen über der und parallel zur Bezugsebene	71
Tabelle C.2 — Alternative Höhen über der Bezugsebene für industrielle Anwendungen, wenn diese durch eine Risikobeurteilung erlaubt sind	71
Tabelle E.1 — Variablen in Abschnitt 4	75
Tabelle E.2 — Variablen in Abschnitt 5	76

Tabelle E.3 — Variablen in Abschnitt 6	78
Tabelle E.4 — Variablen in Abschnitt 7	80
Tabelle E.5 — Variablen in Abschnitt 8	80
Tabelle E.6 — Variablen in Abschnitt 9	81
Tabelle E.7 — Variablen in Abschnitt 12	82
Tabelle E.8 — Variablen in Anhang B	82
Tabelle E.9 — Variablen in Anhang F	83
Tabelle E.10 — Variablen in Anhang G	83

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 13855:2024) Technischen Komitee ISO/TC 199 „Safety of machinery“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 114 „Sicherheit von Maschinen und Geräten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2025, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2025 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 13855:2010.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission CEN erteilt hat. Der Ständige Ausschuss der EFTA-Staaten genehmigt anschließend diese Aufträge für die Mitgliedsstaaten.

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

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 13855:2024 wurde von CEN als EN ISO 13855:2024 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 Mandats „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	Erläuterungen/Anmerkungen
1.2.2.	10, 11	
1.4.1.	4, 5, 6, 7, 8, 9, 12	
1.4.2.2.	12	
1.4.3.	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	
1.7.4.2.	Anhang D	

**Tabelle ZA.2 — Normative Verweisungen aus Abschnitt 2 dieses Dokuments und ihre entsprechenden
europäischen Veröffentlichungen**

Verweisung in Abschnitt 2	Ausgabe der Internationalen Norm	Titel	Entsprechende Ausgabe der Europäischen Norm
ISO 12100:2010	ISO 12100:2010	Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsleitsätze — Risikobeurteilung und Risikominderung	EN ISO 12100:2010
ISO 13857:2019	ISO 13857:2019	Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen	EN ISO 13857:2019

Die in Spalte 1 von Tabelle ZA.2 aufgeführten Dokumente werden in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes normativ zitiert, d. h. sie sind für seine Anwendung erforderlich. Das Erreichen der Konformitätsvermutung

unterliegt der Anwendung der in Spalte 4 aufgeführten Normausgabe oder, wenn keine Ausgabe einer Europäischen Norm existiert, der in Spalte 2 von Tabelle ZA.2 angegebenen Ausgabe der Internationalen Norm.

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 Directives, Teil 1, beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumententypen beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC Directives, Teil 2, erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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 199, *Safety of machinery*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 114, *Sicherheit von Maschinen und Geräten*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 13855:2010), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- das Dokument wurde um Anwendungsfälle erweitert und entsprechend dem Stand der Technik teilweise überarbeitet;
- die Bilder wurden hinsichtlich Deutlichkeit und eines besseren Verständnisses überarbeitet;
- der Wortlaut des Anwendungsbereichs wurde verbessert, um diesen mehr auf den Inhalt des Dokuments zu konzentrieren;
- Abschnitt 4 wurde hinsichtlich einer besseren Erläuterung der Methodik verbessert;
- ab Abschnitt 5 wurde das Dokument neu gegliedert;

- die Berechnung des Erreichbarkeitsabstands für solche Anwendungen, die eine Sicherheitsfunktion auslösen, und solche, die keine Sicherheitsfunktion auslösen, wurde getrennt;
- Aufnahme der Berechnung des dynamischen Trennungsabstandes für mobile Anwendungen mit unbekannter Annäherungsrichtung der Person;
- Verbesserungen zur besseren Unterscheidung verschiedener Annäherungswege;
- Anforderungen an einfach betätigte Steuerungseinrichtungen (hand- und fußbetätigt) und verriegelte trennende Schutzeinrichtung wurden hinzugefügt;
- die Anhänge wurden überarbeitet, um sie an den Haupttext dieses Dokuments anzupassen;
- Anhang D bis Anhang G wurden hinzugefügt.

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

Sicherheitsnormen im Bereich Maschinensicherheit sind wie folgt gegliedert:

- a) Typ-A-Normen (Sicherheitsgrundnormen) behandeln Grundbegriffe, Gestaltungsleitsätze und allgemeine Aspekte, die auf Maschinen angewandt werden können;
- b) Typ-B-Normen (Sicherheitsfachgrundnormen) behandeln einen Sicherheitsaspekt oder eine Art von Schutzeinrichtungen, die für eine ganze Reihe von Maschinen verwendet werden können:
 - Typ-B1-Normen für bestimmte Sicherheitsaspekte (z. B. Sicherheitsabstände, Oberflächentemperatur, Lärm);
 - Typ-B2-Normen für Schutzeinrichtungen (z. B. Zweihandschaltungen, Verriegelungseinrichtungen, druckempfindliche Schutzeinrichtungen, trennende Schutzeinrichtungen);
- c) Typ-C-Normen (Maschinensicherheitsnormen) behandeln detaillierte Sicherheitsanforderungen an eine bestimmte Maschine oder Gruppe von Maschinen.

Dieses Dokument ist eine Typ-B1-Norm wie in ISO 12100 angegeben.

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

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

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

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

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

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

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

Für Maschinen, die in den Anwendungsbereich einer Typ-C-Norm fallen und die nach den Anforderungen dieser Typ-C-Norm konstruiert und gebaut worden sind, gilt Folgendes: Wenn die Anforderungen dieser Typ-C-Norm von den Anforderungen in Typ-B-Normen abweichen, haben die Anforderungen dieser Typ-C-Norm Vorrang gegenüber den Festlegungen der anderen Normen.

Die richtige Anordnung nichttrennenden Schutzeinrichtungen beeinflusst erheblich deren Wirksamkeit. Bei der Entscheidung über diese Anordnungen werden mehrere Gesichtspunkte berücksichtigt, wie beispielsweise:

- die Notwendigkeit einer Risikobeurteilung nach ISO 12100;
- praktische Erfahrungen bei der Benutzung der Maschine;
- die Zeit bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung nach dem Ansprechen der Schutzeinrichtung, zum Beispiel zum Stillsetzen der Maschine;
- biomechanische und anthropometrische Daten;
- jegliches Eindringen eines Körperteils in den Gefährdungsbereich, bis die nichttrennende Schutzeinrichtung ausgelöst wird;
- der Weg, den ein bestimmtes Körperteil nimmt, wenn es sich vom Schutzfeld aus in Richtung des Gefährdungsbereiches bewegt;
- die mögliche Anwesenheit einer Person zwischen der Schutzeinrichtung und dem Gefährdungsbereich;
- die Möglichkeit des unerkannten Zugangs zum Gefährdungsbereich.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen an die Anordnung und die Maße von Schutzeinrichtungen in Zusammenhang mit der Annäherung des menschlichen Körpers oder von Körperteilen an (eine) Gefährdung(en) innerhalb ihres vorgesehenen Wirkungsbereichs fest. Diese betreffen:

- die Anordnung und die Maße des Schutzfelds/der Schutzfelder von BWS und von Schaltmatten und Schaltplatten;
- die Anordnung von Zweihandschaltungen und einfach betätigten Steuerungseinrichtungen;
- die Anordnung von verriegelten trennenden Schutzeinrichtungen.

Dieses Dokument legt auch Anforderungen an die Anordnung von sicherheitsbezogenen Handsteuergeräten (SRMCD, en: safety-related manual control devices) in Zusammenhang mit der Annäherung des menschlichen Körpers oder von Körperteilen von innerhalb des von der Schutzeinrichtung geschützten Bereichs fest. Diese betreffen:

- die Anordnung und die Maße des Schutzfelds/der Schutzfelder einer BWS und von Schaltmatten und Schaltplatten; und
- die Anordnung und die Maße von verriegelten trennenden Schutzeinrichtungen.

Bei der Bewertung der Fähigkeit des menschlichen Körpers oder von Körperteilen, Zugriff auf das SRMCD von innerhalb des vorgesehenen abgesicherten Bereiches aus zu erlangen, sind die Anforderungen dieses Dokuments auch anwendbar, um die Maße der Schutzeinrichtung(en) zu bestimmen. Annäherungen durch beispielsweise Rennen, Springen oder Stürzen werden in diesem Dokument nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG 1 Die Werte für Annäherungsgeschwindigkeiten (Schrittgeschwindigkeit und Bewegung der oberen Gliedmaßen) in diesem Dokument sind über lange Zeit erprobt und haben sich in der Praxis bewährt.

ANMERKUNG 2 Andere Arten der Annäherung können zu Annäherungsgeschwindigkeiten führen, die höher oder niedriger sind als die in diesem Dokument angegebenen.

Dieses Dokument ist für Schutzeinrichtungen anwendbar, die zum Schutz von Personen ab 14 Jahren an Maschinen verwendet werden.

Die in diesem Dokument berücksichtigten Schutzeinrichtungen umfassen:

- a) berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS) wie:
 - aktive optoelektronische Schutzeinrichtungen (AOPD, en: active opto-electronic protective devices) (siehe IEC 61496-2);
 - AOPD, die diffuse Reflexion nutzen und die ein oder mehrere Schutzfelder aufweisen, die in zwei Dimensionen festgelegt sind (AOPDDR-2D) (siehe IEC 61496-3);
 - AOPD, die diffuse Reflexion nutzen und die ein oder mehrere Schutzfelder aufweisen, die in drei Dimensionen festgelegt sind (AOPDDR-3D) (siehe IEC 61496-3);
 - bildverarbeitende Schutzeinrichtungen mit passivem Testmusterverfahren (VBPDP, en: vision-based protective device passive pattern) (siehe IEC/TS 61496-4-2);
 - bildverarbeitende Schutzeinrichtungen mit stereoskopischem Betrachtungsverfahren (VBPDPST, en: vision-based protective device using stereo vision techniques) (siehe IEC/TS 61496-4-3);
- b) Schaltmatten und Schaltplatten (siehe ISO 13856-1);

- c) Zweihandschaltungen (siehe ISO 13851);
- d) einfach betätigte Steuerungseinrichtungen;
- e) verriegelte trennende Schutzeinrichtungen (siehe ISO 14120).

Dieses Dokument ist nicht anwendbar für:

- Schutzeinrichtungen (z. B. mitführbare Zweihandschaltungen), die von Hand und ohne Anwendung von Werkzeugen näher an den Gefährdungsbereich heran bewegt werden können, als es der Trennungsabstand vorgibt;
- den Schutz vor Risiken, die auf Gefährdungen durch Emissionen zurückzuführen sind (z. B. das Heraus-schleudern von festen oder flüssigen Materialien, Strahlung, Lichtbogen, Hitze, Lärm, Dämpfe, Gase);
- den Schutz vor Risiken, die durch den Ausfall von mechanischen Teilen der Maschine oder schwerkraftbedingtes Herunterfallen von Maschinenteilen entstehen.

Die nach diesem Dokument ermittelten Trennungsabstände gelten nicht für Schutzeinrichtungen, die ausschließlich für die Anwesenheitsüberwachungsfunktion verwendet werden.

2 Normative Verweisungen

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

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

ISO 13857:2019, *Safety of machinery — Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs*

3 Begriffe, Symbole 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 <https://www.electropedia.org/>

3.1 Begriffe

3.1.1

Reaktionszeit des Gesamtsystems

ABGELEHNT: Nachlauf des gesamten Systems

T

Zeitintervall zwischen dem Auslösen der Sensorfunktion und dem Erreichen der vorgesehenen Risikominderung

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Zeit enthält üblicherweise Toleranzfaktoren (z. B. wegen der Messunsicherheit, Berücksichtigung von Umweltfaktoren wie Reibung).

3.1.2

Reaktionszeit

t_x

maximale Zeit zwischen dem Auftreten des Ereignisses, das zum Ansprechen der Schutzeinrichtung führt, und dem Erreichen ihres geplanten Zustands

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Zeit enthält üblicherweise Toleranzfaktoren (z. B. wegen der Messunsicherheit, Berücksichtigung von Umweltfaktoren wie Reibung).

[QUELLE: IEC 61496-1:2020, 3.21, modifiziert — Der Wortlaut „und dem Erreichen des AUS-Zustandes der Ausgangsschaltelemente (OSSD)“ wurde ersetzt durch „und dem Erreichen ihres geplanten Zustands“. Der Wortlaut „des Sensorteiles“ wurde ersetzt durch „der Schutzeinrichtung“. Die ursprünglichen Anmerkungen 1, 2 und 3 zum Begriff wurden gestrichen und die neue Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

3.1.3

Detektionsvermögen

d

Fähigkeit, die spezifizierten Probekörper im angegebenen Schutzfeld zu erkennen

[QUELLE: IEC 61496-3:2018, 3.3, modifiziert — Anmerkungen zum Begriff und Verweisungen wurden gestrichen.]

3.1.4

effektives Detektionsvermögen

d_e

Grenze des Parameters der Sensorfunktion, die durch den Integrator der Einrichtung festgelegt wird und deren Ansprechen verursacht

3.1.5

berührungslos wirkende Schutzeinrichtung

BWS

Anordnung von Geräten und/oder Komponenten, die zusammenarbeiten, um für einen Zugangsschutz oder eine Anwesenheitserkennung zu sorgen, und die mindestens Folgendes beinhaltet:

- ein Sensorelement;
- Steuerungs-/Überwachungselemente;
- Ausgangsschaltelemente und/oder eine sicherheitsbezogene Datenschnittstelle

Anmerkung 1 zum Begriff: BWS beziehen sich nur auf kontaktlose Sensorgeräte.

[QUELLE: IEC 61496-1:2020, 3.5, modifiziert — Die ursprünglichen Anmerkungen 1 und 2 zum Begriff wurden gestrichen und eine neue Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

3.1.6

indirekte Annäherung

Annäherung, bei der der kürzeste Weg zum Gefährdungsbereich durch ein mechanisches Hindernis versperrt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Gefährdungsbereich kann nur durch eine Annäherung um das Hindernis herum erreicht werden.

3.1.7

Schutzfeld

Bereich, in dem ein festgelegter Prüfkörper durch die sensitive Schutzeinrichtung erkannt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Schutzfeld kann auch ein Punkt, eine Linie oder eine Fläche sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: ISO 13856-1 nutzt die Benennung „wirksame Betätigungsfläche“ zur Beschreibung von Schaltmatten und Schaltplatten. In diesem Dokument werden die Benennungen „Schutzfeld“ und „wirksame Betätigungsfläche“ synonym verwendet.

[QUELLE: IEC 61496-1:2020, 3.4, modifiziert — Anmerkung 2 zum Begriff wurde hinzugefügt und „berührungslos wirkende Schutzeinrichtung (BWS)“ wurde durch „sensitive Schutzeinrichtung“ ersetzt.]

3.1.8

Trennungsabstand

ABGELEHNT: Mindestabstand

S

Mindestabstand zwischen der Betätigungsposition der Schutzeinrichtungen und dem Gefährdungsbereich, der erforderlich ist, um zu verhindern, dass der menschliche Körper oder Körperteile vor der Beendigung der gefahrbringenden Maschinenfunktion in den Gefährdungsbereich hineinreichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Schutzeinrichtungen sind in ISO 12100:2010, 3.28, enthalten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Trennungsabstand ist immer der kürzeste Abstand zwischen dem Schutzfeld und dem Gefährdungsbereich, unabhängig vom Eintrittspunkt der Person in das Schutzfeld.

3.1.9

Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung

ABGELEHNT: Eindringabstand

D_{DS}

Entfernung, über die sich ein Körperteil durch die Schutzeinrichtung hindurch oder an der Schutzeinrichtung vorbei in Richtung des Gefährdungsbereichs oder in Richtung eines *sicherheitsbezogenen Handsteuergeräts (SRMCD)* (3.1.14) von innerhalb des abgesicherten Bereichs aus bewegen kann, bevor die Schutzeinrichtung ausgelöst wird

3.1.10

Bezugsebene

Ebene, auf der Personen während des Betriebs der Maschine oder des Zugangs zum Gefährdungsbereich oder zum *sicherheitsbezogenen Handsteuergerät (SRMCD)* (3.1.14) üblicherweise stehen würden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bezugsebene ist nicht notwendigerweise die Erde oder der Boden (z. B. kann ein Arbeitspodest die Bezugsebene sein).

[QUELLE: ISO 13857:2019, 3.2, modifiziert — „oder zum sicherheitsbezogenen Handsteuergerät (SRMCD)“ und die Querverweisung auf Begriff 3.1.14 wurden hinzugefügt.]

3.1.11

Wirkungsbereich

vorgegebener Abschnitt der Maschine, der unter der Kontrolle eines bestimmten Steuerungselements oder einer Sicherheitsfunktion steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine nichttrennende Schutzeinrichtung kann eine Stoppfunktion einer Maschine oder eines Abschnitts einer Maschine auslösen.

3.1.12

abgesicherter Bereich

Bereich oder Volumen, der/das (einen) Gefährdungsbereich(e) umschließt und in dem trennende und/oder nichttrennende Schutzeinrichtungen zum Schutz von Personen vorgesehen sind

3.1.13

Ganzkörperzugang

Situation, in der eine Person vollständig in einen *abgesicherten Bereich* (3.1.12) eindringen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Benennung *Ganzkörperzugang* wird in anderen Dokumenten anders verwendet, um die Größe einer Öffnung für einen ergonomischen Zugang zu bezeichnen.

3.1.14

sicherheitsbezogenes Handsteuergerät

SRMCD, en: safety-related manual control device

Steuerungseinrichtung, die eine bewusste Handlung durch eine Person voraussetzt, und deren Betätigung zum sofortigen Anstieg des Risikos/der Risiken führen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele sind Betätigungseinrichtungen wie Drucktaster, Wahlschalter oder Fußhebel, die mit Funktionen wie Rücksetzen, Anlaufen/Wiederanlaufen, bedingungsloses Entsperren der trennenden Schutzeinrichtung oder Steuerung mit selbsttätiger Rückstellung (e.g. Vorrücken, Tippen) versehen sind.

3.1.15

einfach betätigte Steuerungseinrichtung

Steuerungseinrichtung, die entweder die Betätigung durch eine Hand oder einen Fuß erfordert, um gefahrbringende Maschinenfunktionen in Gang zu setzen, und so eine Schutzmaßnahme nur für die Person bietet, von der sie bedient wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele sind Betätigungseinrichtungen wie Drucktaster oder Fußhebel, die nur gefahrbringende Maschinenfunktionen bei Betätigung oder schrittweise Bewegungen bei jeder Betätigung steuern.

3.1.16

industrielle Umgebung

Arbeitsplatz, zu dem die Öffentlichkeit eingeschränkten Zugang hat oder an dem vernünftigerweise nicht zu erwarten ist, dass die Öffentlichkeit bei den vorgesehenen Aufgaben und Maschinenanwendungen anwesend ist

3.1.17

dynamische Gefährdung

Quelle eines Schadens, die entweder durch die Bewegung von Maschinenteilen oder durch die Bewegung der Maschine selbst ihren Ursprungsort verändert

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Maße und die Form des Gefährdungsbereichs einer dynamischen Gefährdung ergeben sich aus dem Bewegungsbereich der Maschinenteile (Betriebsbereich) oder dem Bewegungsbereich der Maschine selbst.

3.1.18

Anhalteweg

Strecke, die eine Gefährdung, ein Gefährdungspunkt oder gefahrbringender Maschinenteil oder die Maschine selbst ab dem Zeitpunkt der Auslösung der Sicherheitsfunktion zurücklegt, bis die vorgesehene Risikominderung erreicht ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Es sind Situationen möglich, in denen die vorgesehene Risikominderung erreicht ist, auch wenn die gefahrbringenden Maschinenteile sich noch immer bewegen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Gefährdungen können sich auch dann fortbewegen, wenn die Maschinenteile still stehen (z. B. ein rotierender Laserstrahl).

3.1.19

Geschwindigkeits- und Abstandsregelung

SSC, en: speed and separation control

Sicherheitsfunktion, die die vorgesehene Risikominderung durch Aufrechterhaltung des Trennungsabstandes erzielt, indem die Geschwindigkeit und/oder der Bewegungsablauf der Maschine bzw. der Maschinenteile relativ zu der festgestellten Position der Körperteile geändert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Trennungsabstand hängt von mehreren Parametern ab, z.B. von der Geschwindigkeit und Annäherungsrichtung der Körperteile; von der Geschwindigkeit, Richtung und Ausrichtung von sich bewegenden Gefährdungsbereichen; von dem *effektiven Detektionsvermögen* (3.1.4) der Schutzeinrichtungen; von der *Reaktionszeit* (3.1.2) der sicherheitsbezogenen Teile der zutreffenden Steuerung.

3.1.20

sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung

SRP/CS, en: safety-related part of a control system

Teil einer Steuerung, das eine Sicherheitsfunktion ausführt, beginnend mit (einer) sicherheitsbezogenen Eingabe(n) bis hin zur Erzeugung von (einer) sicherheitsbezogenen Ausgabe(n)

[QUELLE: ISO 13849-1:2023, 3.1.1, modifiziert — Anmerkung 1 zum Begriff wurde gestrichen.]

3.2 Symbole und Abkürzungen

3.2.1 Symbole

Siehe Anhang E.

3.2.2 Abkürzungen

AOPD	aktive optoelektronische Schutzeinrichtung (en: active opto-electronic protective device)
AOPDDR	aktive optoelektronische diffuse Reflexion nutzende Schutzeinrichtung (z. B. Laserscanner) (en: active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection)
VBPD	bildverarbeitende Schutzeinrichtung (en: vision-based protective device)
BWS	berührungslos wirkende Schutzeinrichtung
SPE	sensitive Schutzeinrichtung (siehe ISO 12100:2010, 3.28.5) (en: sensitive protective equipment)
SRMCD	sicherheitsbezogenes Handsteuergerät (en: safety-related manual control device)
SRP/CS	sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung (en: safety-related part of a control system)
SCS	sicherheitsbezogenes Steuerungssystem (en: safety-related control system) (siehe IEC 62061:2021, 3.2.3)
SSC	Geschwindigkeits- und Abstandsregelung (en: speed and separation control)

4 Methodik

4.1 Allgemeines

Schutzeinrichtungen müssen so konfiguriert und angeordnet werden, dass der Zugang zu dem zu schützenden Gefährdungsbereich rechtzeitig erkannt wird, um die vorgesehene Risikominderung zu erreichen.

Bei einer Anwendung unter Verwendung einer SPE, bei der zwei oder mehr Gefährdungsbereiche vorhanden sind, muss der Trennungsabstand für jeden Gefährdungsbereich berechnet werden. Wenn erforderlich, müssen zusätzliche Schutzeinrichtungen vorgesehen werden, die ein Umgehen des Schutzfeldes der Schutzeinrichtung verhindern (siehe Bild 12).

Bild 1 zeigt die Methodik zur Bestimmung der Anordnung der Sensor- oder Betätigungseinrichtungen von Schutzeinrichtungen nach diesem Dokument wie folgt:

- a) Es wird festgestellt, ob die entsprechende Schutzeinrichtung geeignet ist, um die vorgesehene Risikominderung für die identifizierte Gefährdung zu erreichen (nach ISO 12100).

ANMERKUNG 1 Die vorgesehene Risikominderung kann sowohl das Erkennen des Eindringens in einen Gefährdungsbereich als auch das Erreichen eines SRMCD aus dem abgesicherten Bereich heraus umfassen.

- b) Falls eine Typ-C-Norm für die Maschinen vorhanden ist, wird eine der festgelegten Arten von Schutzeinrichtungen aus dieser Norm ausgewählt und es wird der in dieser Norm festgelegte Abstand verwendet. Wenn keine Typ-C-Norm vorhanden ist, wird mit Schritt c) fortgefahren.

Falls keine Typ-C-Norm vorliegt, werden die in diesem Dokument enthaltenen Gleichungen zur Berechnung des Trennungsabstandes für die ausgewählte Schutzeinrichtung verwendet.

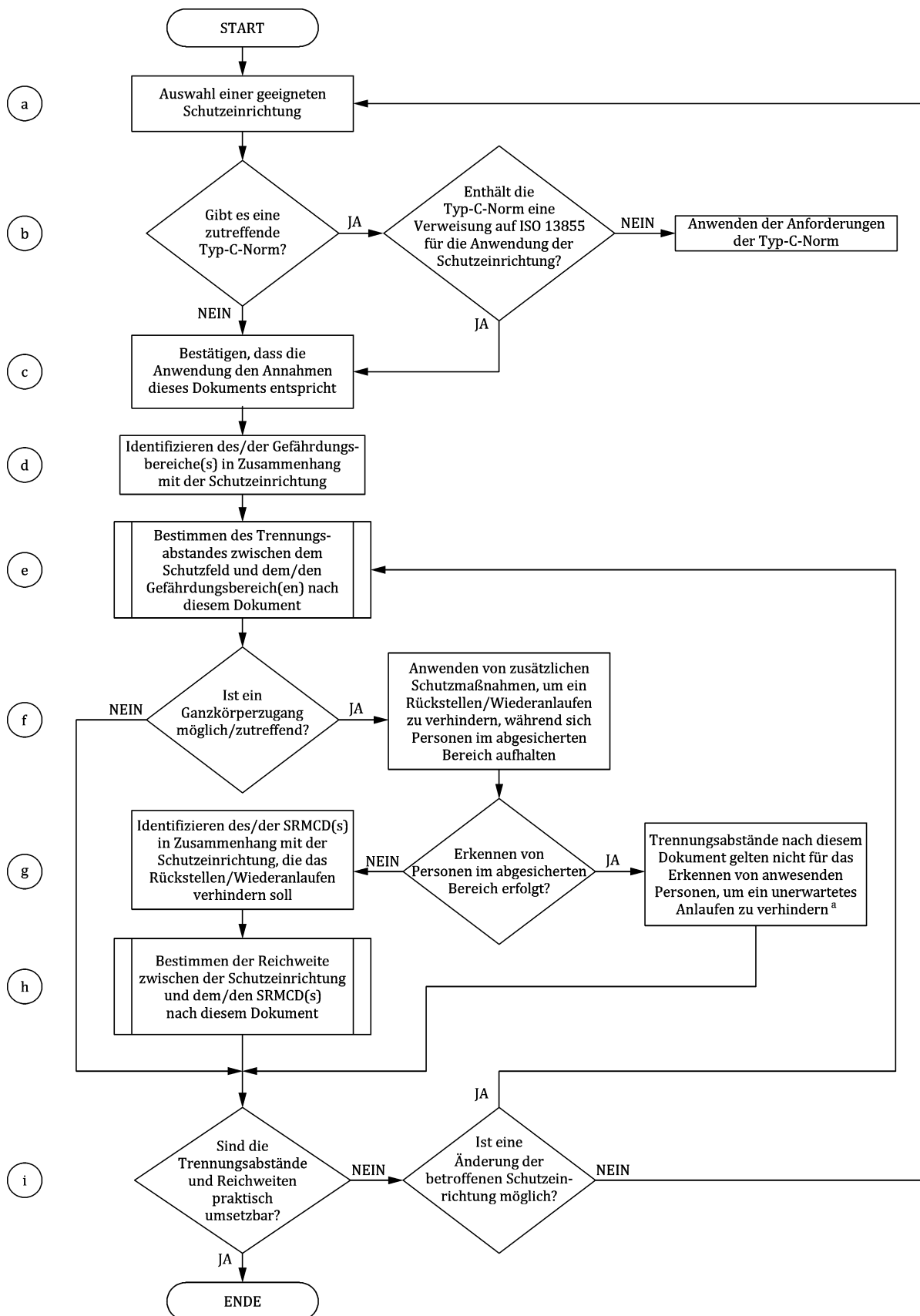
ANMERKUNG 2 Typ-C-Normen können entweder direkt oder durch Verweisung auf dieses Dokument Mindestabstände festlegen (die in diesem Dokument als Trennungsabstand bezeichnet werden).

- c) Es wird bestätigt, dass die Anwendung der Schutzeinrichtung mit den in diesem Dokument genannten Annahmen übereinstimmt.
- d) Es werden die Gefährdungsbereiche in Zusammenhang mit der Schutzeinrichtung identifiziert.
- e) Es werden die Trennungsabstände zwischen der Schutzeinrichtung und deren Gefährdungsbereich(en) ermittelt. Dann wird der größte (den größten Schutz bietende) dieser Trennungsabstände ausgewählt. Eine mögliche Umgehung der Schutzeinrichtung muss berücksichtigt werden (z. B. Hinübergreifen, Hindurchgreifen, Herumgreifen oder Daruntergreifen).
- f) Es wird ermittelt, ob ein Ganzkörperzugang möglich ist. Ist der Ganzkörperzugang möglich, werden zusätzliche Schutzmaßnahmen entsprechend Schritt g) umgesetzt, um ein unerwartetes Rücksetzen/Wiederaanlaufen zu verhindern, während sich (eine) Person(en) innerhalb des abgesicherten Bereiches befindet/befinden. Ist der Ganzkörperzugang nicht möglich oder nicht zutreffend (z. B. bei Zweihandschaltung), wird mit Schritt i) fortgefahren;

ANMERKUNG 3 ISO 12895 ist derzeit speziell für die Themen des Ganzkörperzugangs und die daraus entstehenden Risiken in Vorbereitung.

- g) Wenn keine zusätzliche Erkennung von Personen innerhalb des abgesicherten Bereiches erfolgt, ist/sind (ein) SRMCD(s) zu identifizieren und es gilt Schritt h). Wenn aber eine zusätzliche Erkennung von Personen innerhalb des abgesicherten Bereiches erfolgt, dann gelten die Trennungsabstände dieses Dokuments nicht für diese zusätzlichen Erkennungseinrichtungen und es wird mit Schritt i) fortgefahren.
- h) Für jede mögliche Annäherung (Hinübergreifen, Hindurchgreifen, Herumgreifen oder Daruntergreifen) von der Schutzeinrichtung an das/die SRMCD werden die Erreichbarkeitsabstände ermittelt. Dann wird der größte (den größten Schutz bietende) Erreichbarkeitsabstand gewählt, der ein Umgehen verhindert.
- i) Es wird ermittelt, ob die Sicherheitsabstände und Erreichbarkeitsabstände für die jeweilige Anwendung praktisch umsetzbar sind. Sofern sie praktisch umsetzbar sind, ist der Vorgang abgeschlossen; anderenfalls ist eine Änderung der Konstruktion erforderlich. Wenn diese Änderung nur die jeweilige Schutzeinrichtung betrifft, muss der Vorgang beginnend mit Schritt e) wiederholt werden. Wenn die Änderung in der Verwendung einer anderen Schutzeinrichtung oder in der Änderung der Maschinenkonstruktion besteht (einschließlich weiterer trennender oder nicht trennender Schutzeinrichtungen), muss der Vorgang beginnend mit Schritt a) wiederholt werden.

ANMERKUNG 4 Eine Neugestaltung der Maschine oder der Schutzeinrichtung kann zu einer Risikominderungsmaßnahme führen, die nicht die Anwendung dieses Dokuments erfordert.



^a Dies betrifft die Funktion zum Erkennen von Personen innerhalb des abgesicherten Bereiches, unabhängig davon, ob diese Funktion von derselben Einrichtung bereitgestellt wird, die die Annäherungsreaktion bereitstellt, oder von einer anderen nichttrennenden Schutzeinrichtung, die die Erkennungsfunktion bereitstellt. Siehe Abschnitt 1, letzter Absatz.

Bild 1 — Methodik

4.2 Statische und dynamische Trennungsabstände

Für Maschinen müssen zwei verschiedene Szenarien betrachtet werden:

- a) **Statischer Trennungsabstand:** Der Trennungsabstand wird bis zur maximalen Begrenzung des Gefährdungsbereiches festgelegt, unabhängig von der aktuellen Position des Ausgangspunktes/der Ausgangspunkte der Gefährdung(en) innerhalb der physischen Grenzen der Maschine oder der Position der Maschine selbst.
- b) **Dynamischer Trennungsabstand:** Der Trennungsabstand wird bis zur Begrenzung des Gefährdungsbereiches bestimmt, die der/die Ausgangspunkt(e) der Gefährdung entsprechend seiner/ihrer aktuellen Position und der Änderung dieser Position während der Reaktionszeit des Gesamtsystems T zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung erreichen kann/können.

Abschnitt 5 beschreibt die Berechnung des statischen Trennungsabstandes, z. B. für die ordnungsgemäße Anordnung einer AOPD (Sicherheitslichtschranke) in gewisser Entfernung zum Stempel einer mechanischen Presse. Allerdings kann dieser statische Ansatz wegen seiner Orientierung am ungünstigsten möglichen Fall zu großen Sicherheitsabständen führen, oder er kann wegen der Art der Gefährdungen, die von der vorgesehenen Schutzvorrichtung abzudecken sind, nicht anwendbar sein (z. B. der Zusammenstoß einer mobilen Arbeitsbühne mit einer Person).

Abschnitt 6 beschreibt die Berechnung des dynamischen Trennungsabstandes, z. B. für die ordnungsgemäße Größenbestimmung des Schutzfeldes einer AOPDDR-2D (Sicherheitslaserscanner) oder einer AOPDDR-3D (3-D-Sicherheitssensor) oder einer VBPD zur Überwachung eines abgesicherten Bereiches. Als Voraussetzung für die Berechnung des dynamischen Trennungsabstandes müssen die Position der Gefährdung und die Reaktionszeit des Gesamtsystems entsprechend der aktuellen Geschwindigkeit und des Abbremsvermögens (Verzögerungszeit) der Gefährdung bekannt sein.

4.3 Bezugsebenen

Die in diesem Dokument festgelegten Parameter gelten für typische Annäherungen von Personen am Arbeitsplatz. Bei einigen Anwendungen müssen Personen in der Nähe von Maschinen die Höhenlage verändern, um die von ihnen erwarteten Aufgaben zu erfüllen (Auf- oder Absteigen). Des Weiteren kann die Maschinenkonstruktion die Möglichkeit vorsehen, dass Personen bei Zugang zum Gefährdungsbereich oder beim Zugriff auf ein SRMCD die Höhenlage verändern müssen. In diesen Fällen muss die Ebene, die die Person für den Zugang nutzt, bei der Ermittlung des entsprechenden Erreichbarkeitsabstands berücksichtigt werden.

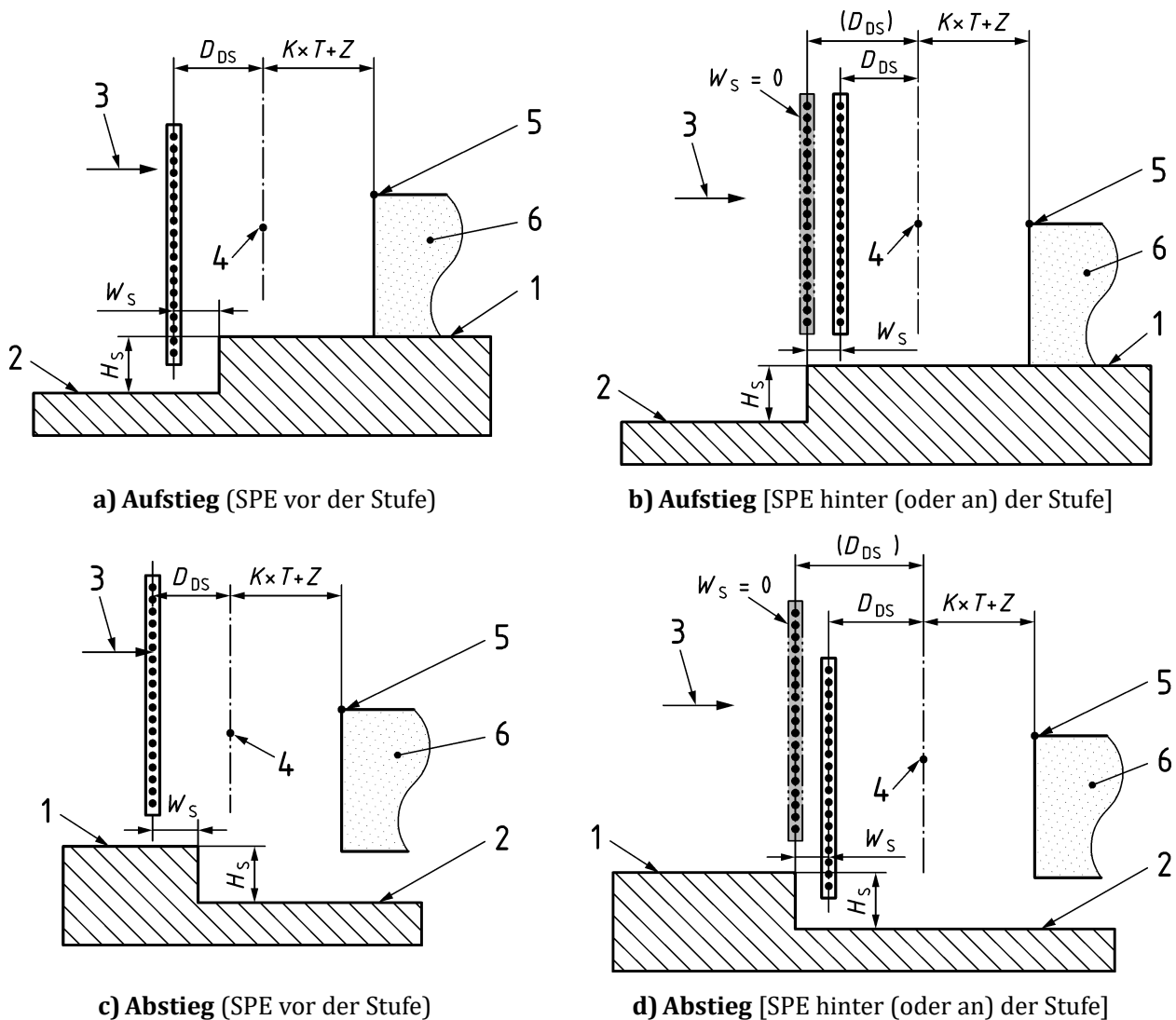
Liegt eine Höhenänderung vor (z. B. Stufe, Arbeitsbühne, Maschinengestell), muss die Bezugsebene nach Tabelle 1 und Bild 2 ermittelt werden.

Bei Anwendung von Tabelle 1 und Bild 2 muss die Richtung der Annäherung an den Gefährdungsbereich oder das SRMCD berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Die Situation, in der eine Person auf die höher gelegene Ebene steigt und dort verbleibt, wird in den in Tabelle 1 beschriebenen Szenarien nicht betrachtet (siehe 4.4).

Tabelle 1 — Bestimmung der Bezugsebene mit erhöhten Oberflächen beim Annähern an einen Gefährdungsbereich oder an ein SRMCD

Annäherungsrichtung	Anordnung der SPE relativ zur Stufe	Stufenhöhe H_S	Stufenbreite zwischen Stufenkante und Schutzfeld W_S	
			< 50 mm ^a	≥ 50 mm ^a
Aufstieg	davor [siehe Bild 2 a)]	≥ 1 000 mm	A	A
		< 1 000 mm	A	A
	daran oder dahinter [siehe Bild 2 b)]	≥ 1 000 mm ^b	B	B
		< 1 000 mm ^b	A	C
Abstieg	davor [siehe Bild 2 c)]	≥ 500 mm ^c	D	D
		< 500 mm ^c	E	E
	daran oder dahinter [siehe Bild 2 d)]	≥ 500 mm ^c	D	F
		< 500 mm ^c	E	G
Szenario	Zugangsmöglichkeit		Bezugsebene	
A	unerkannter Zugang zur höher liegenden Ebene nicht möglich		tiefer liegende Ebene	
B	Zugang zur höher liegenden Ebene nicht möglich		tiefer liegende Ebene	
C	unerkannter Zugang zur höher liegenden Ebene möglich		höher liegende Ebene	
D	unerkannter Zugang zur tiefer liegenden Ebene nicht möglich ^d		höher liegende Ebene	
E	unerkannter Zugang zur tiefer liegenden Ebene nicht möglich		höher liegende Ebene	
F	unerkannter Zugang zur tiefer liegenden Ebene möglich ^d		tiefer liegende Ebene	
G	unerkannter Zugang zur tiefer liegenden Ebene möglich		tiefer liegende Ebene	
^a Der Wert von 50 mm wurde anhand von P5/Fersenbreite nach DIN 33402-2:2020-12, Tabelle 60, hergeleitet. ^b Der Wert von 1 000 mm wurde aus ISO 13857:2019, Tabelle 1 (Fußnote a), und Tabelle 2 (Fußnote b), übernommen. ^c Der Wert von 500 mm stellt das Sturzrisiko dar; der Wert wurde aus ISO 14122-2:2016, 4.2.3, übernommen. ^d Siehe ISO 14122-2 für weitere Informationen zu anderen Mitteln zur Berücksichtigung weiterer Gefährdungen durch Stürzen.				



Legende

- 1 höher liegende Ebene
- 2 tiefer liegende Ebene
- 3 Annäherungsrichtung
- 4 nächstgelegener Punkt bei Annäherung an ein SRMCD
- 5 nächstgelegener Punkt bei Annäherung an einen Gefährdungsbereich
- 6 Gefährdungsbereich

- H_S Stufenhöhe
- W_S Stufenbreite zwischen Stufenkante und Schutzfeld
- D_{DS} Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung
- K Annäherungsgeschwindigkeit
- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- Z anwendungsabhängiger zusätzlicher Erreichbarkeitsabstandszuschlag

Bild 2 — Darstellung von höher liegenden Ebenen zur Bestimmung der Bezugsebene beim Annähern an einen Gefährdungsbereich oder an ein SRMCD

4.4 Annahmen

Bei der Herleitung des Erreichbarkeitsabstands wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- Personen, die in (einen) Gefährdungsbereich(e) eindringen, stecken nicht den Kopf in diesen Bereich hinein oder strecken nicht ein Bein über oder unter die Schutzeinrichtung, um so den betrachteten Bereich (Gefährdungsbereich oder SRMCD) zu erreichen;
- in den Gleichungen zur Bestimmung des Erreichbarkeitsabstands wurden die anthropometrischen Daten des 5. bis 95. Perzentils von Personen verwendet, die 14 Jahre oder älter sind;
- speziell für Kinder ausgelegte Daten wurden in diesem Dokument nicht verwendet. Bis spezielle Daten zu den Annäherungsgeschwindigkeiten von Kindern vorliegen, sollte der Konstrukteur unter der Berücksichtigung, dass Kinder schneller sein können und dass ein Kind von der Schutzeinrichtung später erkannt werden kann, die Abstände berechnen;
- für die Bestimmung von D_{DS} für die Anwendung wird der größte zu erwartende Wert von d_e verwendet;
- die Positionen der Schutzeinrichtungen im Verhältnis zu dem/den Gefährdungsbereich(en) und zum SRMCD bleiben unverändert;
- es sollte beachtet werden, dass die Möglichkeit besteht, dass der Gefährdungsbereich seine Position im Verhältnis zur Schutzeinrichtung oder zur Bezugsebene in der Zeit vom Auslösen der Schutzeinrichtung oder der Bezugsebene bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung verändert (z. B. industriell eingesetzter ortsbeweglicher Roboter);
- Erreichbarkeitsabstände werden ausgehend von der Fläche gemessen, die den maßgebenden Körperteil begrenzt;
- Personen können Körperteile um Öffnungen legen oder durch Öffnungen stecken, die zwischen den Schutzeinrichtungen und anderen schützenden Konstruktionen entstehen (z. B. Befestigungs-/Tragstrukturen, Maschinengestell), um zu versuchen, den jeweiligen Bereich (Gefährdungsbereich oder SRMCD) zu erreichen;
- die Bezugsebene ist eine Ebene, auf der Personen üblicherweise stehen würden, es handelt sich dabei aber nicht unbedingt um den Fußboden (z. B. eine ortsfeste Arbeitsbühne oder ein ortsfester Zugang);
- es besteht geringfügiger Kontakt mit der Bezugsebene (z. B. wird Klettern nicht eingeschlossen);
- es werden keine Hilfsmittel (z. B. Stühle, tragbare Leitern) verwendet, um von einer Bezugsebene auf eine andere zu gelangen;
- es ist nicht möglich, durch Steigen oder Klettern auf das Gehäuse einer Schutzeinrichtung, einschließlich der damit verbundenen Befestigungsstrukturen, Zugang zu dem ermittelten Bereich zu erhalten;
- es werden keine Hilfsmittel verwendet (wie Stangen oder Werkzeuge), um den naturgemäßen Erreichbarkeitsabstand der oberen Gliedmaßen, mit denen der ermittelte Bereich erreicht werden kann oder die mit dem Bereich in Berührung kommen können, zu erweitern.

4.5 Spezifische Anforderungen an eine BWS hinsichtlich des Ganzkörperzugangs

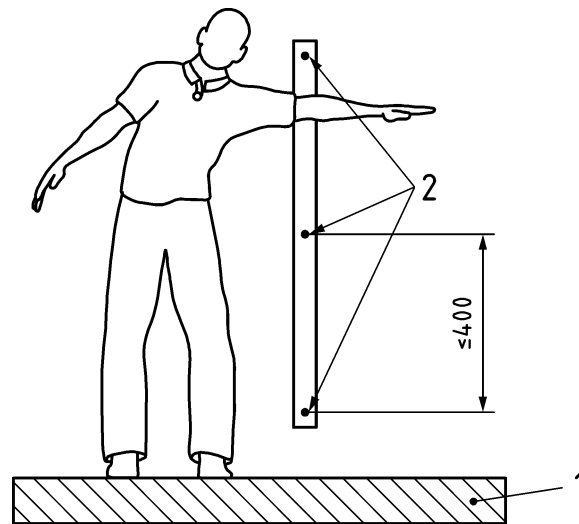
4.5.1 Allgemeines

Wenn eine BWS nur zum Erkennen des Ganzkörperzugangs bei orthogonaler Annäherung verwendet wird, muss die Höhe der Unterkante des Schutzfeldes (z. B. Strahl) zur Bezugsebene, H_{DB} , um den Zugang unterhalb des Schutzfeldes zu verhindern, ≤ 200 mm betragen. In industriellen Umgebungen ist eine maximale Höhe von 300 mm für die Unterkante des Schutzfeldes zulässig, sofern die Ergebnisse der Risikobeurteilung anzeigen, dass dies ausreicht. Siehe Anhang C.

4.5.2 Zusätzliche Anforderungen an vertikal zur Bezugsebene montierte Schutzfelder

- a) Die Höhe der Oberkante des Schutzfeldes, H_{DT} , muss ≥ 900 mm betragen, um das Übersteigen des Schutzfeldes zu verhindern. Das gilt nicht bei Verwendung eines Einzelstrahls (siehe Anhang C) und wenn das Schutzfeld parallel zur Annäherungsrichtung verläuft (siehe 9.2);
- b) der Abstand zwischen den Strahlen der BWS muss ≤ 400 mm sein. Siehe Bild 3.

Maße in Millimeter



Legende

- 1 Bezugsebene
- 2 BWS-Strahlen

Bild 3 — Beispiel für ein System mit mehreren Strahlen für den Ganzkörperzugang

In Ausnahmefällen (siehe 8.3.5) darf zwischen den Strahlen ein Abstand von 500 mm angewendet werden.

4.5.3 Zusätzliche Anforderungen an Einrichtungen mit Einzelstrahl

Einrichtungen mit Einzelstrahl, die parallel zur Bezugsebene angeordnet sind, dürfen nur für Öffnungen mit einer Höhe von ≤ 500 mm verwendet werden und müssen in einer Höhe von 200 mm angeordnet werden. Siehe Anhang C.

4.6 Erreichbarkeitsabstand zum SRMCD

Das Konzept des Erreichbarkeitsabstands wurde zuvor nur auf Abstände für Körperteile angewendet, die in einen Gefährdungsbereich eindringen. Dieses Dokument erweitert dieses Konzept und schließt den Zugriff auf ein SRMCD von innerhalb eines abgesicherten Bereichs ein. Dieses Konzept muss auf die Anordnung jedes SRMCD angewendet werden, dessen Aktivierung zu einem unmittelbaren Anstieg des Risikos führen kann.

Für die Anwendung auf ein SRMCD wird der Punkt, der in den entsprechenden Teilen dieses Dokuments als die nächstgelegene Gefährdung festgelegt ist (z. B. Ort, Maße), durch das SRMCD, mit dem ein Kontakt zu verhindern ist, ersetzt.

Wenn die Betätigung eines SRMCD Personenschäden herbeiführen kann, muss das SRMCD in ausreichendem Abstand ausgerichtet und angeordnet werden, um seine Betätigung durch eine Person von innerhalb des abgesicherten Bereiches aus zu verhindern.

Bei einem SRMCD, das zusammen mit schützenden Konstruktionen (z. B. trennenden Schutzeinrichtungen) verwendet wird, müssen zusätzlich zu den Anforderungen dieses Dokuments die Anforderungen nach ISO 13857 erfüllt sein.

4.7 Annäherung in Richtung des Schutzfeldes der SPE

Die Annäherungsrichtung der Person oder eines Körperteils der Person muss wie folgt sein:

- a) orthogonal (rechtwinklig oder normal) zum Schutzfeld (siehe Abschnitt 8); oder
- b) parallel zum Schutzfeld (siehe Abschnitt 9).

Ferner sind Anforderungen an Anordnungen festgelegt, bei denen

- eine Annäherung unter beliebigem Winkel (zwischen orthogonal und parallel) zu berücksichtigen ist (siehe Abschnitt 7),
- die Berücksichtigung einer möglichen Umgehung des Schutzfeldes erforderlich ist (siehe 8.2 und 8.4),
- der Weg vom Schutzfeld zum Gefährdungsbereich durch Hindernisse eingeschränkt ist (indirekte Annäherung) (siehe 8.3.6).

ANMERKUNG 1 Diese Situationen treten auch in Kombination auf.

ANMERKUNG 2 Dieses Dokument ist nicht dafür vorgesehen, Maßnahmen festzulegen, mit denen das Erreichen eines Gefährdungsbereiches durch Hinüberklettern verhindert wird.

Bei der Verwendung von AOPDDR oder VBPD mit zweidimensionalem Schutzbereich muss die Berechnung des Trennungsabstandes in Abhängigkeit von der Annäherungsrichtung nach Abschnitt 8 oder Abschnitt 9 erfolgen.

4.8 Geschwindigkeits- und Abstandsregelung (SSC)

SSC darf verwendet werden, um die geforderte Risikominderung zu erreichen, indem der dynamische Trennungsabstand dadurch eingehalten wird, dass die Geschwindigkeit oder der Bewegungsablauf der potentiell gefahrbringende Bewegungen der Maschine oder ihrer Teile entsprechend angepasst wird. Die Änderung der Geschwindigkeit oder des Bewegungsablaufs der gefahrbringende Bewegungen der Maschine oder ihrer Teile kann einen Halt umfassen.

Der Schutz durch die SSC muss die Anforderungen von 6.1, 6.2 und die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Alle Körperteile, die in dem abgesicherten Bereich vorhanden sind und die erkannt werden sollen, müssen erkannt werden.
- Ein Versagen beim Aufspüren aller Körperteile, die im abgesicherten Bereich erkannt werden sollen, muss zu einem sofortigen Befehl führen, mit dem die vorgesehene Risikominderung innerhalb des Wirkungsbereiches erreicht wird.
- Eine Nichteinhaltung des Trennungsabstandes zu einer Person oder deren Körperteilen im abgesicherten Bereich muss zu einem sofortigen Befehl führen, mit dem die vorgesehene Risikominderung innerhalb des Wirkungsbereiches erreicht wird.

Der dynamische Trennungsabstand muss nach 6.3 berechnet werden. Wenn die SPE die Annäherungsgeschwindigkeit einer Person oder von Körperteilen misst, darf der gemessene Wert in die Berechnung einbezogen werden. Anderenfalls muss die Annäherungsgeschwindigkeit nach 5.3.1 angewendet werden.

Die Leistung des SRP/CS oder des SCS bei der Messung der Annäherungsgeschwindigkeit muss derart sein, dass sie die Leistung des SRP/CS oder des SCS, das/die die SSC-Funktion ausführt, nicht mindert. Die Unsicherheit bei der Messung von Position und Geschwindigkeit der gefahrbringenden Maschinenteile oder der Maschine selbst sowie die Unsicherheit bei der Messung von Position und Geschwindigkeit von Körperteilen müssen im zusätzlichen Entfernungsfaktor Z enthalten sein. Falls die Messunsicherheit bekannt ist, muss sie als Z_M nach 5.6 angegeben werden. Falls die Messunsicherheit unbekannt ist, müssen drei Stichprobenstandardabweichungen zum Mittelwert der Messungen hinzugefügt werden. Siehe Abschnitt B.5 für zusätzliche Informationen.

5 Trennungsabstand

5.1 Allgemeines

Die Schutzeinrichtung muss sich im Trennungsabstand zu den Gefährdungen oder zum Gefährdungsbereich im Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung befinden, um Personen zu schützen, wenn sie über, durch oder unter die Schutzeinrichtung greifen. Siehe auch Anhang A für Informationen zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung.

Zu den Schutzeinrichtungen, die einen Trennungsabstand erfordern, gehören:

- a) SPE (siehe Abschnitt 7, Abschnitt 8 und Abschnitt 9);
- b) Schalmatten und Schaltplatten (siehe Abschnitt 9);
- c) Zweihandschaltungen (siehe Abschnitt 10);
- d) einfach betätigte Steuerungseinrichtungen (siehe Abschnitt 11);
- e) verriegelte trennende Schutzeinrichtungen (siehe Abschnitt 12).

ANMERKUNG Die Variablen, die in diesem Dokument zur Bestimmung des Trennungsabstandes von Schutzeinrichtungen verwendet wurden, sind verändert worden, um eine Verwechslung mit anderen Internationalen Normen, in denen die gleichen Variablen zur Darstellung anderer Parameter verwendet werden, zu vermeiden. Siehe Anhang E.

5.2 Trennungsabstand S

Der Trennungsabstand muss nach Gleichung (1) berechnet werden.

$$S = (K \times T) + D_{DS} + Z \tag{1}$$

Dabei ist

- S der Trennungsabstand, in Millimeter (mm);
- K ein Parameter, in Millimeter je Sekunde (mm/s), abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen (siehe 5.3);
- T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, in Sekunden (s) (siehe 5.4);
- D_{DS} der Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung, in Millimeter (mm) (siehe 5.5);
- Z ein anwendungsabhängiger Entfernungszuschlag, in Millimeter (mm) (siehe 5.6).

5.3 Annäherungsgeschwindigkeit K

5.3.1 Annäherungsgeschwindigkeit des menschlichen Körpers

Der Faktor K bezeichnet die Geschwindigkeitskonstante, welche die Bewegungen der Hände und des Körpers einer Person bzw. von Personen, die sich einem Gefährdungsbereich nähert bzw. nähern, umfasst.

Dieses Dokument betrachtet die folgenden Faktoren für die Bestimmung von K :

- Hand- und Armbewegung;
- Verdrehen des Körpers oder der Schultern oder Beugen in der Taille;
- Gehen.

Die Geschwindigkeitskonstante von 2 000 mm/s definiert den Wert der Geschwindigkeit der Hand, die gewöhnlich als die der horizontalen Bewegung der oberen Gliedmaßen angesehen wird (Hand und Arm, ausgestreckt). Bei Annäherungen an den Gefährdungsbereich, bei denen diese Hand- und Armbewegungen beteiligt sind, muss ein Wert von $K = 2\,000$ mm/s angewendet werden.

Die Geschwindigkeitskonstante von 1 600 mm/s legt den Wert der Gehgeschwindigkeit fest. Bei Annäherungen an den Gefährdungsbereich, bei denen eine Gehbewegung erforderlich ist, muss ein Wert von $K = 1\,600$ mm/s angewendet werden.

Diese Werte decken keine anderen Körperbewegungen, Maschinenbewegungen oder Kombinationen dieser Bewegungen ab, die die tatsächliche Annäherungsgeschwindigkeit beeinflussen können. Diese Bewegungen müssen bei der Bestimmung der Geschwindigkeitskonstante für eine bestimmte Anwendung berücksichtigt werden.

5.3.2 Annäherungsgeschwindigkeit von ortsveränderlichen Maschinen

Wenn sich die Gefährdung selbst aus der Ortsveränderbarkeit der Maschine ergibt, muss die kombinierte Annäherungsgeschwindigkeit der ortsveränderlichen Maschine und der Person(en) berücksichtigt werden, falls es vernünftigerweise vorhersehbar ist, dass sich eine Person der Maschine in dem Moment nähert, in dem die Maschine sich auch der Person nähert.

ANMERKUNG Wenn zum Vermeiden eines Zusammenpralls ein rechtzeitiges Erkennen der Annäherung der Person vorausgesetzt wird, verhindern auch größere Abmessungen des Schutzfeldes, die sich aus der Berücksichtigung der kombinierten Annäherungsgeschwindigkeit ergeben, nicht den Zusammenprall, wenn die Person den Kreuzungspunkt fast zur selben Zeit erreicht wie die Maschine.

Die sich daraus ergebende Annäherungsgeschwindigkeit muss als vektorielle Subtraktion (Geschwindigkeitswert und Bewegungsrichtung) aus den Annäherungsgeschwindigkeiten von Mensch und Maschine ermittelt werden.

5.4 Reaktionszeit des Gesamtsystems T

Die Reaktionszeit des Gesamtsystems T , die zur Bestimmung des Trennungsabstandes einer Schutzeinrichtung verwendet wird, muss entweder durch Berechnung oder durch Messung (T_m) ermittelt werden.

Die Reaktionszeit des Gesamtsystems T , in der die Maschine die vorgesehene Risikominderung erreicht, umfasst Zeitabschnitte, die je nach Maschinentyp, angewendeten Schutzeinrichtungen und den Elementen der SRP/CS oder SCS, die an der Sicherheitsfunktion beteiligt sind, veränderlich sind. Siehe Gleichung (2) und Bild 4.

Wenn die Reaktionszeit des Gesamtsystems berechnet wird, muss sie die Summe der folgenden Faktoren sein, wie durch Gleichung (2) dargestellt:

$$T \geq t_{\text{SRP/CS}} + t_{\text{ME}} + t_{\text{F}} \quad (2)$$

Dabei ist

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, die bei der Berechnung verwendet wird, um den Trennungsabstand zu ermitteln;

$t_{\text{SRP/CS}}$ die Reaktionszeit der SRP/CS oder SCS;

t_{ME} die Reaktionszeit der Maschine;

t_{F} die Zeit in Bezug auf einen Toleranzfaktor für die Maschine, sofern notwendig.

$t_{\text{SRP/CS}}$ wird durch die Addition der Annahmen für den ungünstigsten Fall durch den Hersteller der Schutzeinrichtung und der zugehörigen Teile der SRP/CS oder SCS ermittelt.

t_{ME} wird vom Maschinenhersteller während der Konstruktion abgeschätzt und enthält Unsicherheiten.

t_{F} ist ein Wert, der üblicherweise auf Grundlage von T_{m} bestimmt wird, und der durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird. Bei der Bestimmung von t_{F} sollten Faktoren wie die Masse des Werkzeugs, die Temperatur und die Alterung von Bauteilen sowie das Szenario des ungünstigsten Falls (z. B. Höchstgeschwindigkeit eines beweglichen Teils) berücksichtigt werden.

Die Reaktionszeit des Gesamtsystems T kann als die Summe dieser Faktoren ermittelt und darf durch Gleichung (3) dargestellt werden:

$$T \geq t_{\text{I}} + t_{\text{L}} + t_{\text{O}} + t_{\text{D}} + t_{\text{R}} + t_{\text{M}} + t_{\text{F}} \quad (3)$$

Dabei ist

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, die bei der Berechnung verwendet wird, um den Trennungsabstand zu ermitteln;

t_{I} die Reaktionszeit des Eingangs (z. B. Sensor, Schutzeinrichtung);

t_{L} die Reaktionszeit der SRP/CS- oder SCS-Logik;

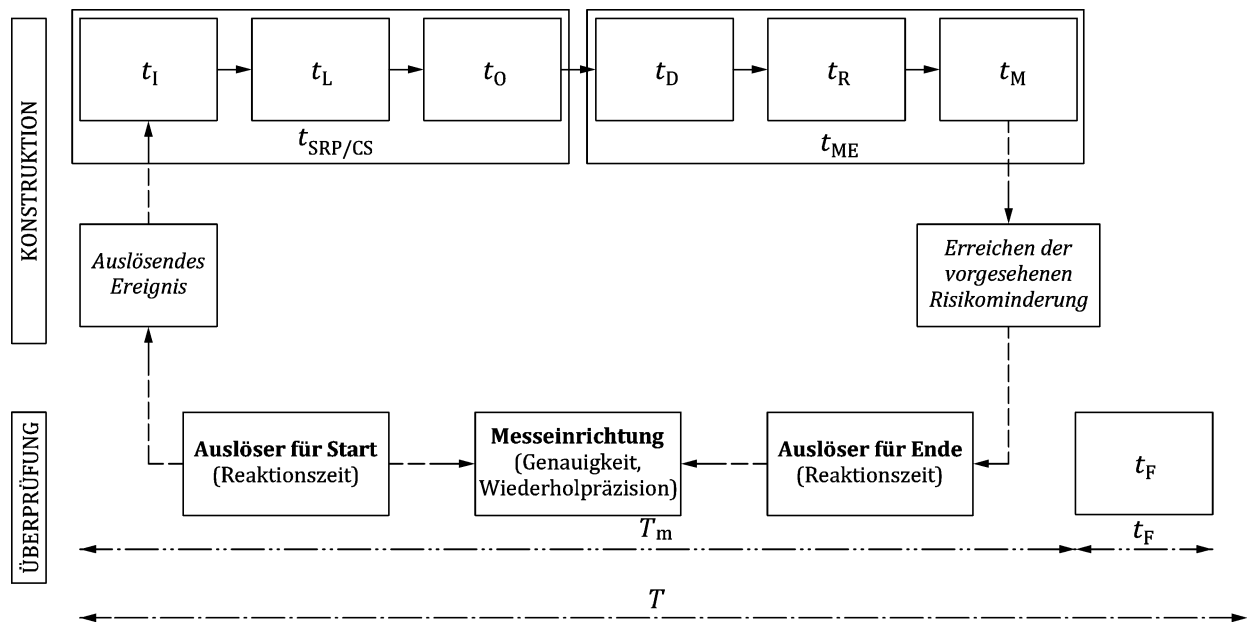
t_{O} die Reaktionszeit des SRP/CS- oder SCS-Ausgangs;

t_{D} die Reaktionszeit in Bezug auf die Abführung der Quellenenergie;

t_{R} die Reaktionszeit in Bezug auf die mechanische Reaktion;

t_{M} die Reaktionszeit in Bezug auf die mechanische Trägheit;

t_{F} die Zeit in Bezug auf einen Toleranzfaktor für die Maschine, sofern notwendig.



Legende

- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- T_m Reaktionszeit des Gesamtsystems, ermittelt durch Messung
- Für $t_1, t_L, t_0, t_D, t_R, t_M, t_F$ siehe Legende zu Gleichung (3).

Bild 4 — Faktoren von T und Messgrundsatz

ANMERKUNG 1 Jeder Block innerhalb von $t_{SRP/CS}$ und t_{ME} fügt eine Zeitverzögerung von der Einleitung einer Sicherheitsfunktion (Erkennen einer potentiellen Gefährdungssituation durch den Sensor) bis zum endgültigen Erreichen der vorgesehenen Risikominderung hinzu.

ANMERKUNG 2 Nicht alle Elemente von t_{ME} können die Reaktionszeit des Gesamtsystems in allen Sicherheitsfunktionen soweit beeinflussen, dass die vorgesehene Risikominderung erzielt wird. Diejenigen Elemente, die nicht die Reaktionszeit des Gesamtsystems beeinflussen, sind in T nicht enthalten.

Wenn eingebettete Sicherheitsfunktionen verhindern, dass die zeitliche Grenze überschritten wird, um die angegebene Risikominderung zu erreichen, dürfen die Werte t_{ME} und t_F in Gleichung (2) durch t_{SF} ersetzt werden, wie in Gleichung (4) dargestellt.

$$T \geq t_{SRP/CS} + t_{SF} \quad (4)$$

Dabei ist

- T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, die bei der Berechnung verwendet wird, um den Trennungsabstand zu ermitteln;
- $t_{SRP/CS}$ die Reaktionszeit der SRP/CS oder SCS;
- t_{SF} die Zeitverzögerung von der Einleitung einer Sicherheitsfunktion.

Wenn die Bestimmung von $t_{SRP/CS}$ und t_{ME} nicht möglich ist, muss die Reaktionszeit des Gesamtsystems T durch Messung ermittelt werden. Der Wert T_m ist die Zeit, die sich aus der Messung der Anwendung ergibt. Abweichungen aufgrund von Messfehlern müssen basierend auf der Auswertung mehrerer Messungen mit geeigneten statistischen Verfahren berücksichtigt werden. Die in der Berechnung verwendete Reaktionszeit des Gesamtsystems muss größer als oder gleich der Summe von T_m und t_F sein, wie in Gleichung (5) angegeben.

$$T \geq T_m + t_F \quad (5)$$

Dabei ist

T_m die Reaktionszeit des Gesamtsystems, ermittelt durch Messung;

t_F die Zeit in Bezug auf einen Toleranzfaktor für die Maschine, sofern notwendig.

ANMERKUNG 3 Die Messung der Zeit, die erforderlich ist, um die vorgesehene Risikominderung zu erreichen, kann auch zur Verifizierung und Validierung des Trennungsabstandes genutzt werden.

ANMERKUNG 4 Wenn ein Gerät zur Messung der Anhaltezeit verwendet wird, um den Wert von T_m zu messen, und die Start- und Endauslöser umfassen nicht alle im Logikpfad verwendeten Geräte, kann die gemessene Zeit kürzer und daher weniger genau sein.

Zur Bestimmung von T_m müssen die Auslöser für Start und Ende so nah wie möglich an dem auslösenden Ereignis des Eingangs (An- oder Abwesenheit einer Person bzw. von Personen) bzw. an dem Zeitpunkt liegen, an dem die vorgesehene Risikominderung erreicht ist. Eine manuelle Betätigung des Start- und Endauslösers kann größere Variablen darstellen.

Die Bestimmung der Zeitfaktoren der Reaktionszeit des Gesamtsystems bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung ist in Anhang F enthalten.

5.5 Zuschläge zum Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung D_{DS}

5.5.1 Allgemeines

Zuschläge zum Erreichbarkeitsabstand sind davon abhängig, wie Schutzeinrichtungen angewendet werden. Schutzeinrichtungen lassen eine gewisse Annäherung an den Gefährdungsbereich zu, bevor sie eine Sicherheitsfunktion auslösen; siehe 5.5.2. Unter Umständen kann deren Anwendung sogar erlauben, sich dem Gefährdungsbereich um die Schutzeinrichtung herum zu nähern, ohne dass eine Person erkannt wird; siehe 5.5.3.

5.5.2 Erreichbarkeitsabstand in Anwendungen, die eine Sicherheitsfunktion auslösen

Für die folgenden Schutzeinrichtungen müssen die zugehörigen Erreichbarkeitsabstände Abschnitt 7 bis Abschnitt 12 entsprechen:

- SPE einschließlich BWS sowie Schaltmatten und Schaltplatten;
- Zweihandschaltungen und einfach betätigte Steuerungseinrichtungen; und
- verriegelte trennende Schutzeinrichtungen.

ANMERKUNG SPE erkennt die Anwesenheit einer Person oder von Körperteilen im Schutzfeld erst dann, wenn diese in einem gewissen Maße in das Schutzfeld eingedrungen ist/sind. Bei der Verwendung von Zweihandschaltungen, einfach betätigten Steuerungseinrichtungen oder verriegelten trennenden Schutzeinrichtungen ist es einer Person möglich, in den Gefährdungsbereich hineinzugreifen, bevor eine Sicherheitsfunktion ausgelöst wird. Dieses Maß gibt der Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung D_{DS} an.

5.5.3 Erreichbarkeitsabstand in Anwendungen, in denen Gefährdungsbereiche durch Umgehen der Schutzeinrichtung erreicht werden können

Zusätzlich zum Trennungsabstand, der sich aus den Berechnungen der Reaktionszeit des Gesamtsystems ergibt [siehe Gleichung (1)], muss sich die Gefährdung außerhalb des Erreichbarkeitsabstands einer Person

befinden. Situationen, in denen (eine) Person(en) eine Gefährdung erreichen kann/können, die verhindert werden müssen, umfassen:

- verriegelte trennende Schutzeinrichtungen, über die (eine) Person(en) hinübergreifen, hindurchgreifen oder darunter entlanggreifen kann/können;
- Herumgreifen um das mechanische Gehäuse einer SPE; oder
- das Schutzfeld einer SPE ist mit einer schützenden Konstruktion kombiniert, die es einer Person ermöglicht, hinüberzugreifen, ohne dass dies erkannt wird. Siehe auch 8.2.3 und 8.4.4.

Der Erreichbarkeitsabstand einer Person in solchen Situationen muss nach ISO 13857 bestimmt werden.

Bei der Bestimmung des Trennungsabstandes in Zusammenhang mit einer Schutzeinrichtung entsprechend den Festlegungen dieses Dokuments müssen Parameter ermittelt und ausgewertet werden, die den Erreichbarkeitsabstand beeinflussen. Die zutreffenden Parameter müssen berücksichtigt werden, um die Größe, den Ort oder die Ausrichtung jeder Schutzeinrichtung oder jedes Schutzfeldes zu bestimmen, damit die vorgesehene Risikominderung erreicht wird. Um den Trennungsabstand zu ermitteln, müssen die Höchstwerte nach Gleichung (1) und ISO 13857 angewendet werden.

5.6 Zusätzliche Entfernungsfaktoren

Je nach Anwendungsfall, Maschine und Schutzeinrichtung kann ein zusätzlicher Entfernungsfaktor Z notwendig sein. Bei der Bestimmung des zusätzlichen Entfernungsfaktors bzw. der zusätzlichen Entfernungsfaktoren müssen die Gebrauchsanweisungen des Herstellers befolgt werden.

ANMERKUNG Der Hersteller kann der Hersteller der Schutzeinrichtung oder der Maschine sein, oder er kann der Integrator der Anwendung oder des Systems sein.

Die dabei zu berücksichtigenden zusätzlichen Entfernungsfaktoren sind unter anderem:

- Z_G = Ergänzung für allgemeine Gerätemessfehler, z. B.:
 - Z_M = Ergänzung für Positionsunsicherheit der Maschine, ergibt sich aus der Genauigkeit des Maschinenpositions-Messsystems;
 - Z_P = Ergänzung für Positionsunsicherheit der Person, ergibt sich aus der Genauigkeit der SPE.
- Z_R = Ergänzung für reflexionsbedingte Messfehler. Diese Ergänzung kann notwendig sein, wenn sich in der Nähe einer SPE ein Rückstrahler befindet.
- Z_F = Ergänzung für fehlenden Bodenabstand einer sich bewegenden Maschine (z. B. eines Fahrzeugs). Diese Ergänzung kann notwendig sein, da eine Person im Allgemeinen von einer SPE oberhalb des Fußes erkannt wird und der Bremsvorgang der Maschine die Länge des Fußes vor dem Erkennungspunkt nicht berücksichtigen kann. Der Fuß einer Person kann dadurch verletzt werden, wenn die Maschine keinen Bodenabstand besitzt.
- Z_B = Ergänzung für abnehmendes Bremsmoment einer sich bewegenden Maschine (z. B. eines Fahrzeugs) entsprechend den Gebrauchsanweisungen des Herstellers.

Durch das Hinzufügen sämtlicher zutreffender zusätzlicher Entfernungsfaktoren zu Gleichung (1) wird die Gleichung für die Berechnung des Trennungsabstandes zu Gleichung (6):

$$S = (K \times T) + D_{DS} + (Z_G + Z_R + Z_F + Z_B + \dots) \quad (6)$$

Dabei ist/sind

S	der Trennungsabstand, in Millimeter (mm);
K	ein Parameter, in Millimeter je Sekunde (mm/s), abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen (siehe 5.3);
T	die Reaktionszeit des Gesamtsystems, in Sekunden (s) (siehe 5.4);
D_{DS}	der Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung, in Millimeter (mm) (siehe 5.5);
Z_G, Z_R, Z_F, Z_B	die zusätzlichen Entfernungsfaktoren, wie oben beschrieben.

6 Dynamischer Trennungsabstand

6.1 Allgemeines

Der dynamische Trennungsabstand wird an der Grenze des Gefährdungsbereiches bestimmt, die von einer Gefährdung, einem Gefährdungspunkt, von Teilen der Maschine, von denen die Gefährdung ausgeht, oder von der Maschine selbst in Abhängigkeit von ihrer gegebenen Position und der Änderung dieser Position während der Reaktionszeit des Gesamtsystems T erreicht werden kann, um die vorgesehene Risikominderung zu erzielen. Die Reaktionszeit des Gesamtsystems T entspricht der in 5.4 für den statischen Trennungsabstand angegebenen, mit der Ergänzung des Abtastintervalls der Steuerung t_S , wie in Gleichung (7) dargestellt:

$$T = t_I + t_L + t_O + t_D + t_R + t_M + t_F + t_S \quad (7)$$

Dabei ist/sind

$t_I, t_L, t_O, t_D, t_R, t_M$ und t_F in der Legende von Gleichung (3) angegeben;

t_S das Abtastintervall der Steuerung, das notwendig ist, um zu beachten, dass die Erkennung gleich zu Beginn der folgenden Abtastung erfolgen kann.

Die Position der Gefährdung zu dem Zeitpunkt, an dem die Schutzeinrichtung aktiviert wird, und deren Anhalteweg entsprechend ihrer aktuellen Geschwindigkeit und Verzögerung müssen bei der entsprechenden Berechnung berücksichtigt werden.

6.2 Dynamischer Trennungsabstand bei Annäherung einer Person aus unbekannter Richtung

Wenn die Annäherungsrichtung der Person nicht bekannt ist, muss die zusätzliche Positionsänderung der Gefährdung S_M während der Reaktionszeit des Gesamtsystems T zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung bei der Berechnung des dynamischen Trennungsabstandes berücksichtigt werden. Deshalb ergibt sich die Gleichung für den Trennungsabstand S zu einer dynamischen Gefährdung zu Gleichung (8):

$$S = (K \times T) + S_M + D_{DS} + Z \quad (8)$$

Dabei ist

K die Annäherungsgeschwindigkeit (siehe 5.3);

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, wie nach Gleichung (7) berechnet;

S_M die Änderung der Position der Gefährdung (die von der Maschine zurückgelegte Entfernung, bis die vorgesehene Risikominderung erreicht ist);

D_{DS} (ein) Erreichbarkeitsabstandszuschlag/-zuschläge, wie nach 5.5 bestimmt;

Z (ein) anwendungsabhängige(r) zusätzliche(r) Entfernungsfaktor(en), wie nach 5.6 bestimmt.

Sind Beschleunigung und Verzögerung bekannt und konstant, muss S_M mit Gleichung (9) berechnet werden:

$$S_M = v_0 \times T - (d/2) \times t_M^2 + (a/2) \times t_{SRP/CS}^2 \quad (9)$$

Dabei ist

S_M die Veränderung der Position der Gefährdung (die von der Maschine zurückgelegte Strecke, bis die beabsichtigte Risikominderung erreicht ist);

v_0 die Anfangsgeschwindigkeit der Maschine, in mm/s;

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, wie nach Gleichung (7) berechnet;

d die bekannte mögliche Verzögerung (Bremsvermögen) der Maschine, in mm/s²;

t_M die Zeit in Bezug auf die mechanische Trägheit;

a die bekannte mögliche Beschleunigung der Maschine, in mm/s²;

$t_{SRP/CS}$ die Reaktionszeit des SRP/CS oder SCS.

Bei Betrachtung der möglichen Beschleunigung sollte die durch die Maschine erreichbare Höchstgeschwindigkeit v_{max} berücksichtigt werden.

Wenn die Beschleunigung a nicht bekannt ist, kann sie aus der vom System gemessenen Geschwindigkeitsdifferenz berechnet werden, womit Gleichung (9) zu Gleichung (10) reduziert werden kann wobei a durch

$\left(\frac{v_{max}-v_0}{t_{SRP/CS}}\right)$ ersetzt werden kann:

$$S_M = v_0 \times T - (d/2) \times t_M^2 + ((v_{max} - v_0)/2) \times t_{SRP/CS} \quad (10)$$

oder falls eine unendliche Beschleunigung angewendet werden kann, gilt Gleichung (11):

$$S_M = v_{max} \times T - (d/2) \times t_M^2 \quad (11)$$

Dabei ist v_{max} die Höchstgeschwindigkeit der Maschine.

Wenn die Verzögerung d nicht bekannt ist, muss 0 mm/s² in allen Fällen verwendet werden.

ANMERKUNG Beide Reduzierungen können gleichzeitig erfolgen, wenn sowohl a als auch d unbekannt sind.

Alternativ kann die Veränderung der Position der Gefahr S_M in Übereinstimmung mit einer Typ-C-Norm angegeben werden oder, da die Verzögerung d von verschiedenen Faktoren abhängig sein kann, kann S_M durch Messung ermittelt werden. Wird S_M durch Messung ermittelt, muss dies nach Anhang D erfolgen. Eine weitere Anwendungstoleranz muss hinzugefügt werden, und diese Toleranz darf nicht kleiner sein als 10 % des gemessenen Wertes. Der berechnete Wert von S_M muss validiert werden.

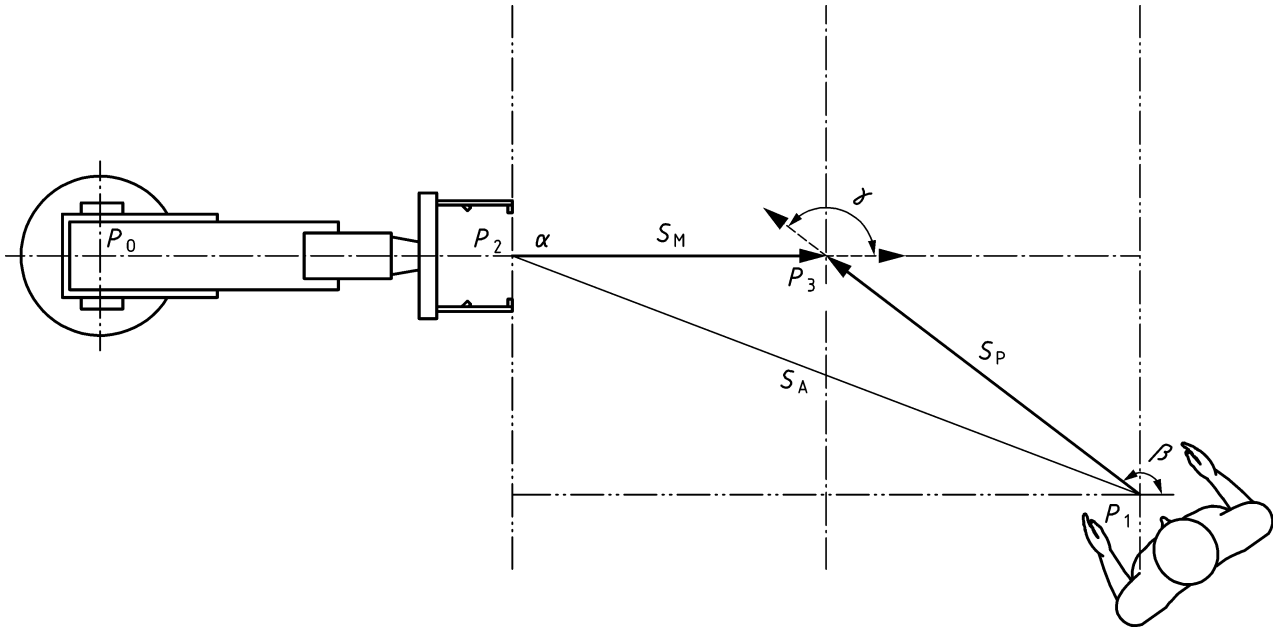
6.3 Dynamischer Trennungsabstand bei Annäherung einer Person aus bekannter Richtung

Wenn die Richtung, aus der sich eine Person annähert, bekannt ist, darf der dynamische Trennungsabstand nach Gleichung (12) berechnet werden (siehe Bild 5):

$$S = S_A + D_{DS} + Z \quad (12)$$

mit

$$S_A = \sqrt{S_P^2 - 2S_M \times S_P \times \cos(\gamma)}$$



Legende

- S_A Trennungsabstand bei dynamischer Annäherung
- S_M Änderung der Position der Gefährdung (von der Maschine zurückgelegte Entfernung von T_0 bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung bei T_1) aufgrund ihrer Anfangsgeschwindigkeit v_0 , der Verzögerung (Bremsvermögen) d und der Reaktionszeit des Gesamtsystems T nach Gleichung (7)
- S_P Änderung der Position der Person (von der Person zurückgelegte Entfernung von T_0 bis zum Kontakt bei T_1 und bis die vorgesehene Risikominderung erreicht ist) unter der Annahme einer konstanten (Höchst-)Geschwindigkeit der Person ($S_P = K \times T$)
- T_0 Zeit, bei der die Sicherheitsfunktion bei Position P_1 ausgelöst wird
- T_1 Zeit, bei der die vorgesehene Risikominderung erreicht ist; somit gilt $T = T_1 - T_0$, wobei T die Reaktionszeit des Gesamtsystems ist
- P_0 Koordinatenursprung
- P_1 Position der Person, wenn die Sicherheitsfunktion bei der Zeit T_0 ausgelöst wird
- P_2 Position der Maschinengefährdung, wenn die Sicherheitsfunktion bei der Zeit T_0 ausgelöst wird
- P_3 Position der Maschinengefährdung, wenn die vorgesehene Risikominderung erreicht ist (wenn die gefahrbringende Funktion beendet ist, z. B. wenn der Kontakt zwischen Roboter und Person zu keinem Schaden mehr führt)
- α Annäherungswinkel der Gefährdung (zur x-Achse als Bezugsachse; zur Vereinfachung wird $\alpha = 0^\circ$ angesetzt)
- β Annäherungswinkel der Person (zur x-Achse als Bezugsachse)
- γ Winkel zwischen der Bewegung der Gefährdung und der Bewegung der Person

ANMERKUNG 1 Der Winkel γ kann mit einer geeigneten nichttrennenden Schutzeinrichtung in der Maschinensteuerung durch Erkennen der Bewegungsrichtung der Gefährdung und Erkennen der Annäherungsrichtung der Person bestimmt werden.

Bild 5 — Annäherungsrichtung

Das Abtastintervall der Steuerung t_S zwischen den Messungen der Bewegungswinkel der Gefährdung α und der Person β darf 0,1 s nicht überschreiten. Anderenfalls gelten Gleichung (8) bis Gleichung (11) nach 6.2.

ANMERKUNG 2 Wenn das Abtastintervall der Steuerung t_s nicht ausreichend kurz ist, dann führt die erwartete Änderung oder Schwankung der Winkel zu einer unzulässigen Reduktion des dynamischen Trennungsabstandes, die ausschließlich auf die Zeit zurückzuführen ist ($K \times T$).

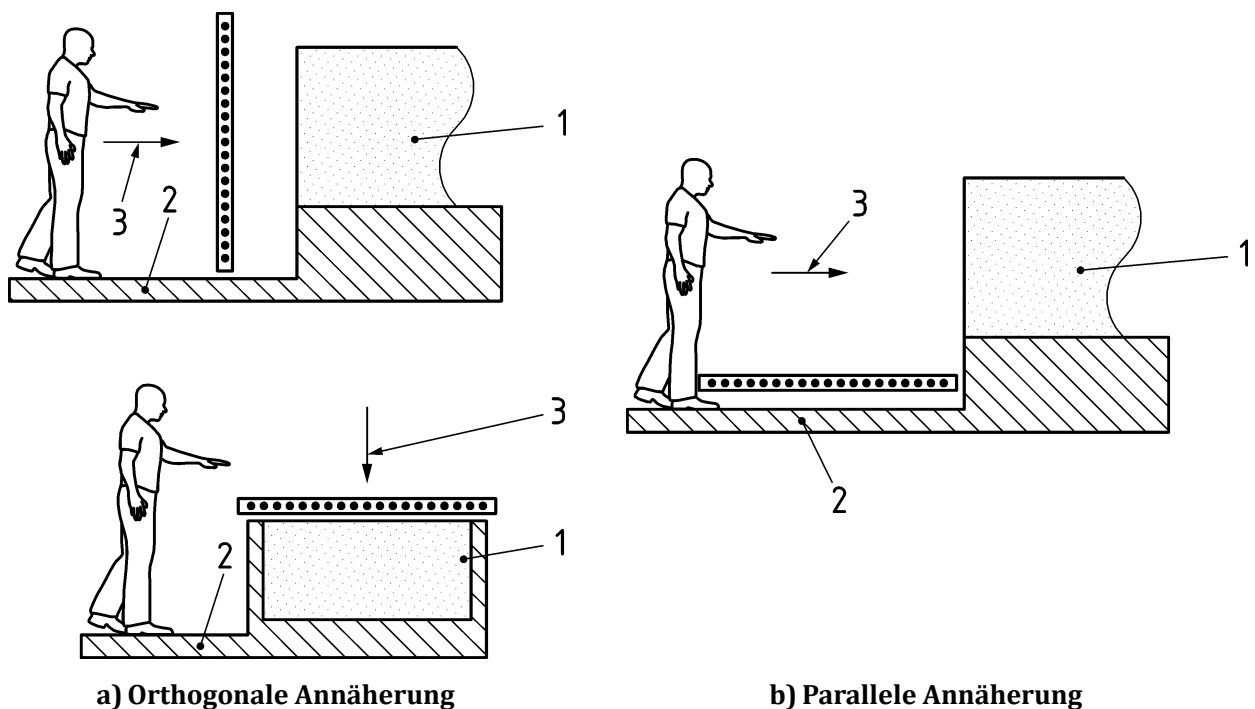
ANMERKUNG 3 Das maximale Abtastintervall t_s berücksichtigt, dass die Bewegungen von Personen unvorhersehbar sind.

Für ein besseres Verständnis ist das Beispiel in zwei Dimensionen dargestellt. Die Berechnungsgrundsätze gelten gleichfalls in drei Dimensionen, wobei in jedem Fall eine kontinuierliche Berechnung über ein Steuergerät erfolgt.

7 Betrachtung der Annäherungsrichtung an ein Schutzfeld

Dieses Dokument betrachtet zwei verschiedene Annäherungen an ein Schutzfeld:

- orthogonale Annäherung an ein Schutzfeld [siehe Bild 6 a) und Abschnitt 8];
- parallele Annäherung an ein Schutzfeld [siehe Bild 6 b) und Abschnitt 9].



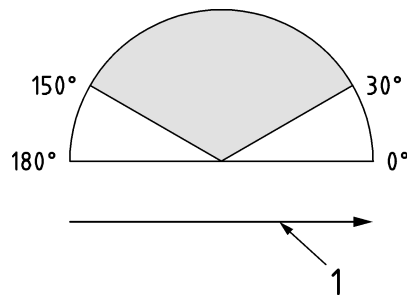
Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- 3 Annäherungsrichtung

Bild 6 — Typische Annäherungsrichtungen an ein Schutzfeld

Wenn das Schutzfeld so aufgebaut ist, dass es in einem Winkel von $30^\circ < \theta < 150^\circ$ zur Annäherungsrichtung liegt, so muss die Annäherung als orthogonal angesehen werden [siehe Abschnitt 8 und Bild 6 a) und Bild 8 a)]. Wenn das Schutzfeld so aufgebaut ist, dass es in einem Winkel von $30^\circ \geq \theta$ oder $\theta \geq 150^\circ$ (bis 180°) zur Annäherungsrichtung liegt, so muss die Annäherung als parallel angesehen werden [siehe Abschnitt 9 und Bild 6 b) und Bild 8 b)].

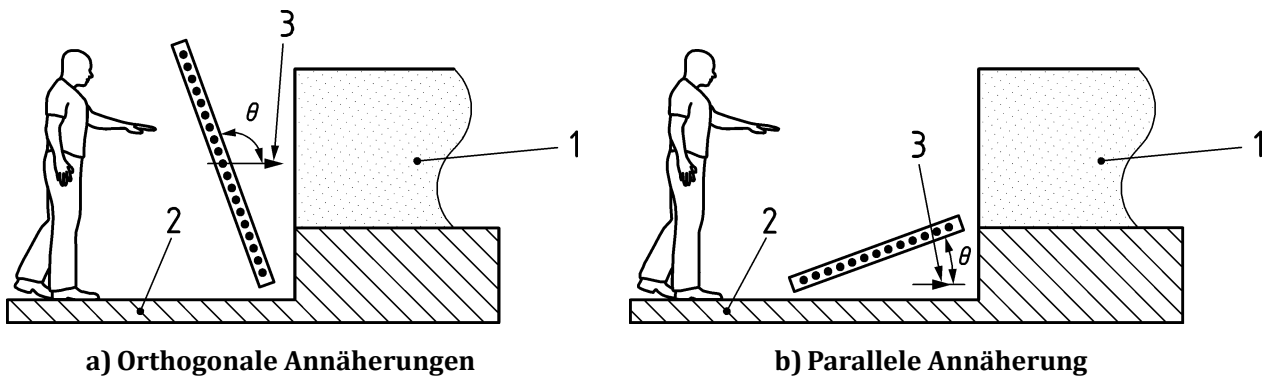
Für unterschiedliche Winkel zur Annäherungsrichtung siehe Bild 7.



Legende

1 Annäherungsrichtung

Bild 7 — Unterschiedliche Winkel zur Annäherungsrichtung



a) Orthogonale Annäherungen

b) Parallele Annäherung

Legende

1 Gefährdungsbereich
2 Bezugsebene

3 Annäherungsrichtung
 θ Winkel des Schutzfeldes im Verhältnis zur Annäherungsrichtung

Bild 8 — Zur Annäherungsrichtung abgewinkeltes Schutzfeld

Bei SPE, die die Anwesenheit von Personen mithilfe der volumetrischen Erfassung feststellen, muss die Annäherungsrichtung die Ebene berücksichtigen, die das Volumen am Erfassungspunkt begrenzt.

8 Orthogonale Annäherung an ein Schutzfeld

8.1 Bestimmung des Erreichbarkeitsabstands bei orthogonaler Annäherung an ein Schutzfeld

Bei der Bestimmung des Erreichbarkeitsabstands D_{DS} bei orthogonaler Annäherung an ein Schutzfeld entsprechend den Festlegungen dieses Dokuments müssen die zutreffenden Parameter ermittelt und ausgewertet werden. Diese Parameter müssen berücksichtigt werden, und es muss eine endgültige Entscheidung über die Größe, das effektive Detektionsvermögen d_e und/oder die Lage der einzelnen Schutzfelder getroffen werden, um das Risiko auf einen annehmbaren Wert zu begrenzen. Daher müssen bei der Bestimmung des Erreichbarkeitsabstands D_{DS} bei orthogonaler Annäherung an ein Schutzfeld alle infrage kommenden Bedenken in Zusammenhang mit der Anwendung überprüft werden:

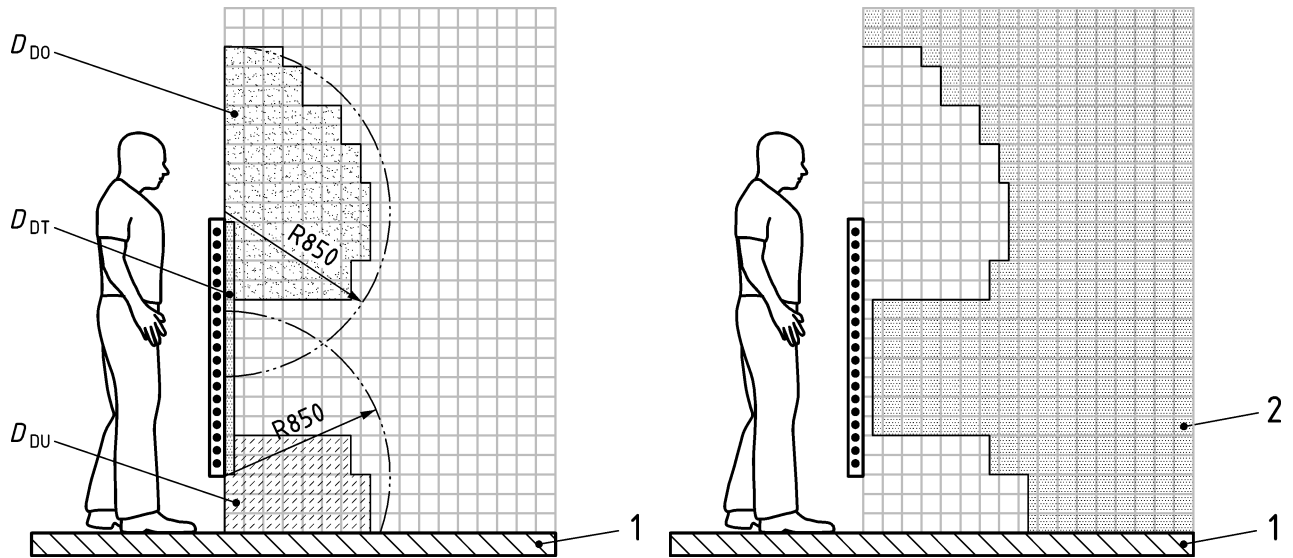
- Hinübergreifen über das Schutzfeld, woraus sich D_{DO} ergibt (siehe 8.2);
- Hindurchgreifen durch das Schutzfeld, woraus sich D_{DT} ergibt (siehe 8.3);
- Hindurchgreifen unter dem Schutzfeld, woraus sich D_{DU} ergibt (siehe 8.4).

Für den Erreichbarkeitsabstand muss der größte Wert nach Gleichung (13) verwendet werden (siehe Bild 9).

$$D_{DS} = \max(D_{DO}, D_{DT}, D_{DU}) \quad (13)$$

Um den unerkannten Zugang zum Gefährdungsbereich zu verhindern, muss zwischen dem Gefährdungsbereich und dem nächstgelegenen Strahl ein Trennungsabstand S vorhanden sein. Um den unerkannten Zugang zu einem SRMCD zu verhindern, muss zwischen dem SRMCD und dem nächstgelegenen Strahl ein Erreichbarkeitsabstand D_{DS} vorhanden sein.

Maße in Millimeter



Legende

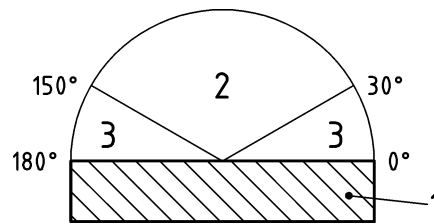
- 1 Bezugsebene
- 2 Stelle außerhalb des Erreichbarkeitsabstands
- D_{DO} Erreichbarkeitsabstand über ein vertikales Schutzfeld
- D_{DT} Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld
- D_{DU} Erreichbarkeitsabstand unter einem vertikalen Schutzfeld

Bild 9 — Betrachtung aller Erreichbarkeitsabstandszuschläge bei orthogonaler Annäherung an ein vertikales Schutzfeld (gilt sowohl für Schutzeinrichtungen als auch für ein SRMCD)

Bild 9 zeigt ein Beispiel für ein Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen d_e , das einen Zugang zur Gefährdung mit den Fingern ermöglicht.

Ein Schutzfeld muss als vertikal betrachtet werden, wenn der Winkel zur Bezugsebene größer als 30° und kleiner als 150° ist. Anderenfalls muss das Schutzfeld als horizontal bewertet werden. Siehe Bild 10.

ANMERKUNG In diesem Dokument wird von einer horizontalen Bezugsebene ausgegangen.



Legende

- 1 Bezugsebene
- 2 vertikal
- 3 horizontal

Bild 10 — Winkel des Schutzfeldes im Verhältnis zur Bezugsebene

8.2 Hinübergreifen über ein vertikales Schutzfeld

8.2.1 Allgemeines

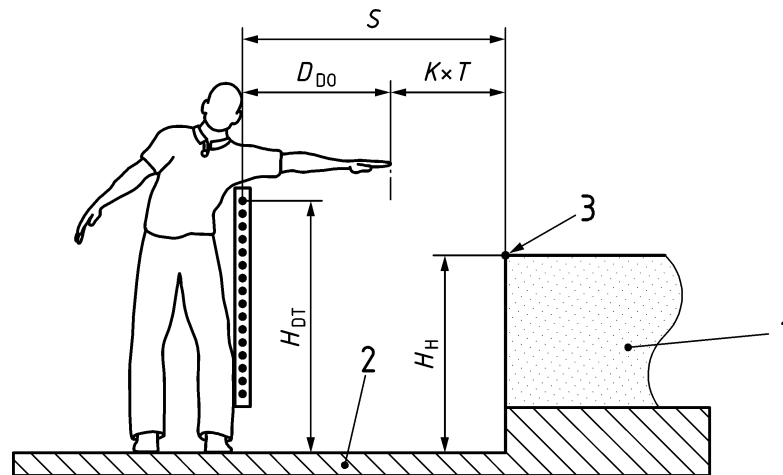
Um den unentdeckten Zugang über ein vertikales Schutzfeld durch

- Hineingreifen in einen abgesicherten Bereich in Richtung eines Gefährdungsbereiches oder
- Herausgreifen aus einem abgesicherten Bereich in Richtung eines SRMCD

zu verhindern, muss der Trennungsabstand den Erreichbarkeitsabstand D_{D0} (siehe Bild 11) entsprechend diesem Unterabschnitt enthalten.

ANMERKUNG Das kann auch durch trennende Schutzeinrichtungen oder andere Schutzmaßnahmen erreicht werden.

Das effektive Detektionsvermögen d_e kann die Höhe des wirksamen Schutzfeldes ändern, die den Erreichbarkeitsabstand über ein vertikales Schutzfeld D_{D0} beeinflusst.



Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- 3 nächstgelegener Punkt
- S Trennungsabstand
- K Annäherungsgeschwindigkeit
- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- H_H Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene
- H_{DT} Höhe der Oberkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene
- D_{D0} Erreichbarkeitsabstand über ein vertikales Schutzfeld

Bild 11 — Hinübergreifen über ein vertikales Schutzfeld

8.2.2 Vertikale Schutzfelder ohne schützende Zusatzkonstruktionen

Es ist ein Abstand D_{D0} erforderlich, um den unerkannten Zugang durch das Hinübergreifen über ein vertikales Schutzfeld zu verhindern. Siehe Gleichung (14).

Für D_{D0} müssen die in Tabelle 2 aufgeführten Werte angewendet werden. Der in Tabelle 2 für D_{D0} angegebene Wert entspricht dem Abstand, in Millimeter, den sich ein Körperteil (üblicherweise eine Hand) vor der Betätigung der BWS in folgende Richtung bewegen kann:

- in Richtung des Gefährdungsbereiches; oder
- in Richtung des SRMCD.

In Bild 11 ist das Hinübergreifen über ein vertikales Schutzfeld ohne schützende Zusatzkonstruktion dargestellt.

Wenn die Höhe eines BWS-Erfassungsbereichs bereits feststeht, dürfen die Werte von Tabelle 2 verwendet werden, um den Trennungsabstand S abzuleiten. Wenn der Trennungsabstand bereits feststeht, dürfen die Werte von Tabelle 2 auch dazu verwendet werden, die erforderliche Höhe des BWS-Erfassungsbereichs abzuleiten.

$$S = (K \times T) + D_{D0} + Z \quad (14)$$

Dabei ist $K = 2\,000$ mm/s.

Wird K durch 2 000 ersetzt, dann ergibt sich Gleichung (14) zu Gleichung (15):

$$S = (2\,000 \times T) + D_{D0} + Z \quad (15)$$

Gleichung (15) gilt für alle Trennungsabstände S bis einschließlich 500 mm. Der Mindestwert von S darf nicht kleiner sein als 100 mm. Zuerst wird S unter Anwendung von Gleichung (15) berechnet.

Wenn der Wert von S 500 mm überschreitet, darf Gleichung (14) mit einer Annäherungsgeschwindigkeit von $K = 1\,600$ mm/s verwendet werden, so dass sich Gleichung (16) ergibt. Der Wert von S darf nicht kleiner sein als 500 mm.

$$S = (1\,600 \times T) + D_{DO} + Z \quad (16)$$

Tabelle 2 — Hinübergreifen über das vertikale Schutzfeld einer BWS

Maße in Millimeter

Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene H_H	Höhe der Oberkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene H_{DT}											
	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600
	Erreichbarkeitsabstand über ein vertikales Schutzfeld hinweg D_{DO}											
2 600 ^a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2 400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2 200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2 000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1 800	1 100	1 100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1 600	1 150	1 150	1 100	1 000	900	850	750	450	0	0	0	0
1 400	1 200	1 200	1 100	1 000	900	850	650	0	0	0	0	0
1 200	1 200	1 200	1 100	1 000	850	800	0	0	0	0	0	0
1 000	1 200	1 150	1 050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1 150	1 050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1 050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANMERKUNG 1 Eine BWS, bei der die Oberkante des Schutzfeldes unter 900 mm liegt, wurde nicht aufgenommen, da sie keinen ausreichenden Schutz gegen das Umgehen oder Hinübersteigen bietet.

ANMERKUNG 2 Die meisten in dieser Tabelle angegebenen Werte sind im Verhältnis zu den in ISO 13857:2019, Tabelle 1 und Tabelle 2, festgelegten Werten niedriger, da sich die Körperteile beim Hinübergreifen nicht selbst auf Schutzeinrichtungen abstützen können.

^a Eine Annäherung an den Gefährdungsbereich oder an das SRMCD durch Hinübergreifen ist nicht möglich.

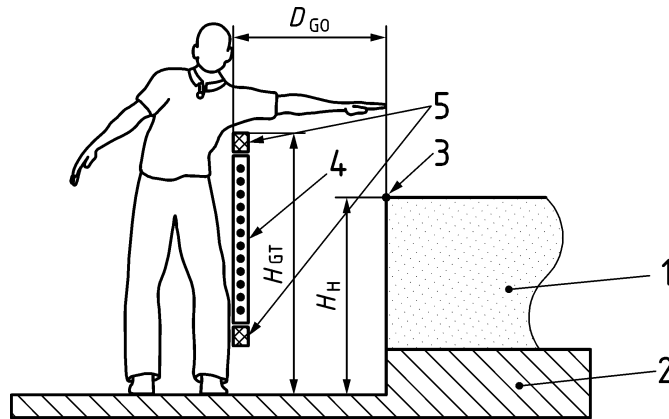
Bei der Bestimmung der Werte nach Tabelle 2 darf nicht interpoliert werden. Wenn die bekannten Werte von H_H , H_{DT} oder D_{DO} zwischen zwei Werten von Tabelle 2 liegen, muss der größere Wert verwendet werden.

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist Tabelle 2 anzuwenden. Anstatt die Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene H_H zu messen, wird die Höhe des SRMCD über der Bezugsebene verwendet.

In allen Fällen gilt Gleichung (13) nach 8.1.

8.2.3 Vertikale Schutzfelder mit schützenden Zusatzkonstruktionen

Wenn über einem vertikalen Schutzfeld eine schützende Konstruktion angebracht ist, kann es möglich sein, dass sich eine Person beim Hinübergreifen über das Schutzfeld auf der schützenden Konstruktion abstützt (siehe Bild 12). Kann ein Zugang durch das Hinübergreifen über die schützende Konstruktion erreicht werden, darf der Trennungsabstand S nicht kleiner sein als der Erreichbarkeitsabstand über eine schützende Konstruktion D_{GO} , bestimmt nach ISO 13857:2019, 4.2.2, Tabelle 2.



Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- 3 nächstgelegener Punkt
- 4 BWS
- 5 schützende Konstruktion

- H_H Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene
- H_{GT} Höhe der Oberkante der schützenden Konstruktion über der Bezugsebene
- D_{GO} Erreichbarkeitsabstand über eine schützende Konstruktion

Bild 12 — Beispiel für das Hinübergreifen über das vertikale Schutzfeld einer BWS in Verbindung mit einer schützenden Konstruktion

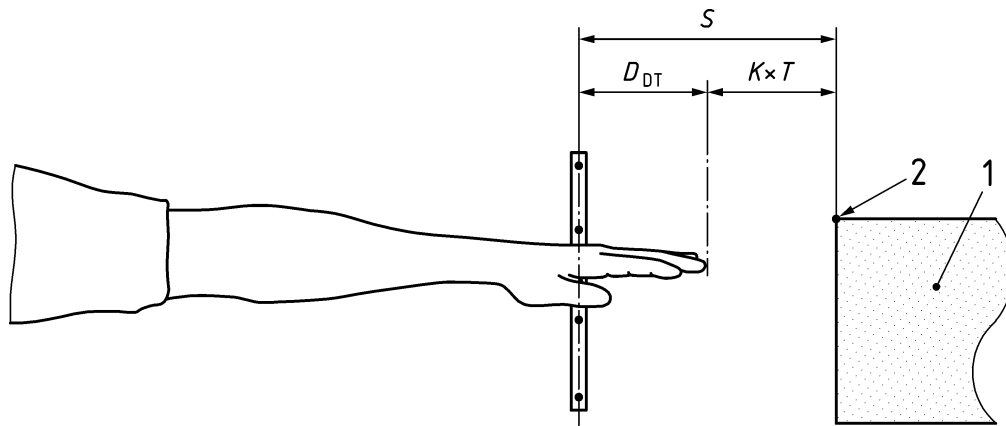
Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist ISO 13857:2019, Tabelle 2, anzuwenden. Anstatt die Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene H_H zu messen, wird die Höhe des SRMCD über der Bezugsebene verwendet.

8.3 Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld

8.3.1 Allgemeines

Wenn das effektive Detektionsvermögen veränderbar ist (von Hand oder automatisch), muss der größte zu erwartende Wert von d_e verwendet werden und der Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld D_{DT} entsprechend angepasst werden.

Das effektive Detektionsvermögen d_e hat einen Einfluss darauf, inwieweit der menschliche Körper durch ein Schutzfeld hindurchreichen kann, ohne die BWS auszulösen (siehe Bild 13).



Legende

1 Gefährdungsbereich	K Annäherungsgeschwindigkeit
2 nächstgelegener Punkt	T Reaktionszeit des Gesamtsystems
S Trennungsabstand	D_{DT} Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld
z anwendungsabhängiger zusätzlicher Abstandsfaktor nach 5.6	

Bild 13 — Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld

8.3.2 Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $d_e \leq 40$ mm

Der Trennungsabstand S , in Millimeter, zwischen dem Schutzfeld und dem Gefährdungsbereich muss nach Gleichung (17) berechnet werden.

$$S = (K \times T) + D_{DT} + Z \quad (17)$$

Dabei ist

K die Annäherungsgeschwindigkeit 2 000 mm/s;

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems nach Gleichung (7);

D_{DT} der Erreichbarkeitsabstand durch einen vertikalen Erfassungsbereich, bestimmt nach Gleichung (18);

$$D_{DT} = 8 (d_e - 14); \quad (18)$$

aber nicht weniger als null.

Dabei ist

d_e das effektive Detektionsvermögen;

Z ein anwendungsabhängiger zusätzlicher Abstandsfaktor, der nach 5.6 bestimmt wird.

Wird K durch 2 000 und D_{DT} durch Gleichung (18) ersetzt, wird Gleichung (17) zu Gleichung (19):

$$S = (2\,000 \times T) + 8 (d_e - 14) + Z \quad (19)$$

Gleichung (19) gilt für alle Trennungsabstände S bis 500 mm. Der Mindestwert von S muss 100 mm betragen.

Wenn der mit Gleichung (19) berechnete Wert von S 500 mm überschreitet, darf Gleichung (17) mit einer Annäherungsgeschwindigkeit $K = 1\,600$ mm/s und D_{DT} nach Gleichung (18) angewendet werden, wodurch sich Gleichung (20) ergibt. In diesem Fall muss der Mindestwert von S 500 mm betragen.

$$S = (1\,600 \times T) + 8(d_e - 14) + Z \quad (20)$$

Wenn vorhersehbar ist, dass die BWS in nicht industriellen Anwendungen eingesetzt wird, muss der Trennungsabstand S nach Gleichung (19) berechnet und um mindestens 75 mm erhöht werden. In diesen Fällen ist Gleichung (20) nicht anwendbar.

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle einer SRMCD nach 4.6 ist Gleichung (18) anzuwenden.

8.3.3 Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $40\text{ mm} < d_e \leq 55\text{ mm}$

Der Trennungsabstand S , in Millimeter, zwischen dem Schutzfeld und dem Gefährdungsbereich muss nach Gleichung (17) berechnet werden, wie in 8.3.2 angegeben.

Dabei ist

K die Annäherungsgeschwindigkeit 2 000 mm/s;

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems nach Gleichung (7);

D_{DT} der Erreichbarkeitsabstand durch einen vertikalen Erfassungsbereich, bestimmt nach Gleichung (21);

$$D_{DT} = 208 + 12(d_e - 40) \quad (21)$$

Dabei ist

d_e das effektive Detektionsvermögen.

ANMERKUNG Der Wert 208 mm ergibt sich aus der Anwendung von Gleichung (18) in 8.3.2 für den Teil des effektiven Detektionsvermögens d_e zwischen 14 mm und 40 mm.

Gleichung (17) wird zu Gleichung (22):

$$S = (2\,000 \times T) + 12d_e - 272 + Z \quad (22)$$

Wenn der nach Gleichung (22) berechnete Wert von S 500 mm überschreitet, darf Gleichung (17) mit einer Annäherungsgeschwindigkeit $K = 1\,600$ mm/s und D_{DT} nach Gleichung (21) verwendet werden, wodurch sich Gleichung (23) ergibt. In diesem Fall muss der Mindestwert von S 500 mm betragen.

$$S = (1\,600 \times T) + 12d_e - 272 + Z \quad (23)$$

Wenn vorhersehbar ist, dass die BWS in nicht-industriellen Anwendungen eingesetzt wird, muss der Trennungsabstand S nach Gleichung (22) berechnet und um mindestens 75 mm erhöht werden. In diesen Fällen ist Gleichung (23) nicht anwendbar.

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist Gleichung (21) anzuwenden.

8.3.4 Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $55\text{ mm} < d_e \leq 120\text{ mm}$

Eine BWS mit einem effektiven Detektionsvermögen im Durchmesser von $55\text{ mm} < d_e \leq 120\text{ mm}$ erkennt nicht immer das Eindringen der Hände und darf deshalb nur verwendet werden, wenn die Risikobeurteilung ergibt, dass das Eindringen der Hände nicht erfasst zu werden braucht.

Der Trennungsabstand S zum Schutzfeld muss nach 8.3.2, Gleichung (17), mit einer Annäherungsgeschwindigkeit $K = 1\,600$ mm/s und $D_{DT} = 850$ mm berechnet werden, wodurch sich Gleichung (24) ergibt:

$$S = (1\,600 \times T) + 850 + Z \quad (24)$$

ANMERKUNG 850 mm wird als Standard-Armlänge angesehen.

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 gilt der Erreichbarkeitsabstand von 850 mm.

8.3.5 Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $d_e > 120$ mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen

Einrichtungen mit mehreren Einzelstrahlen oder Anordnungen von Einzelstrahlen können ein undefiniertes effektives Detektionsvermögen oder ein effektives Detektionsvermögen d_e von mehr als 120 mm aufweisen. Solche Einrichtungen oder Anordnungen können verwendet werden, um den Ganzkörperzugang zu erkennen, sind aber nicht für das Erkennen von oberen und unteren Gliedmaßen oder kleinen Körperteilen (z. B. Hand oder Finger) geeignet.

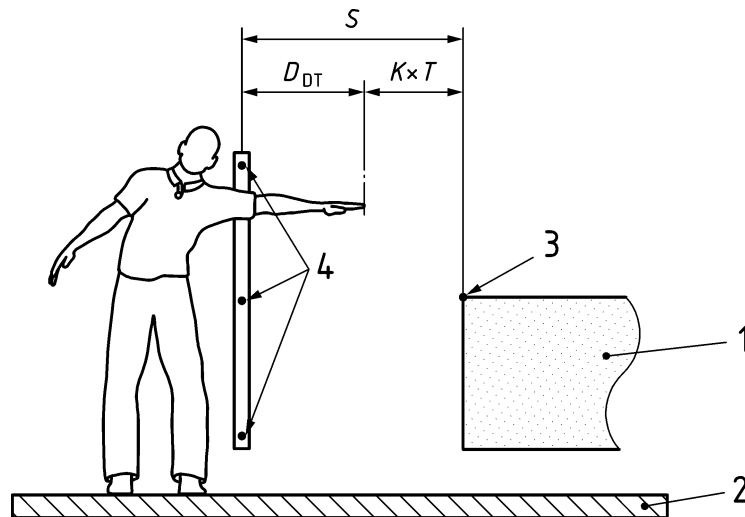
Falls nur die Erkennung des Ganzkörperzugangs erforderlich ist, müssen solche Einrichtungen oder Anordnungen im Trennungsabstand nach Gleichung (24) angeordnet werden. Siehe Bild 14.

Bei Verwendung von Einrichtungen mit mehreren Einzelstrahlen oder von Anordnungen von Einzelstrahlen müssen Verfahren berücksichtigt werden, durch die solche Einrichtungen umgangen werden können. Zum Beispiel:

- Hindurchkriechen unter dem niedrigsten Strahl;
- Hinübergreifen über den obersten Strahl;
- Hindurchgreifen zwischen zwei Strahlen;
- Ganzkörperzugang durch Hindurchsteigen zwischen zwei Strahlen.

Wenn der Zugang zum Gefährdungsbereich einen Aufstieg von mehr als 300 mm von der unteren Ebene erfordert ($H_S > 300$ mm) und die höher gelegene Ebene eine Stufenbreite von nicht mehr als 50 mm aufweist, dann dürfen zwei Einzelstrahlen in einem Abstand von höchstens 500 mm verwendet werden. In einem solchen Fall muss die niedrigste Strahlhöhe 200 mm über der höher liegenden Ebene liegen, und der höchste Einzelstrahl darf nicht weniger als 900 mm über der tiefer liegenden Ebene liegen.

Weitere Anforderungen sind in Anhang C enthalten.



Legende

- | | |
|-------------------------|---|
| 1 Gefährdungsbereich | S Trennungsabstand |
| 2 Bezugsebene | K Annäherungsgeschwindigkeit |
| 3 nächstgelegener Punkt | T Reaktionszeit des Gesamtsystems |
| 4 BWS-Strahlen | D_{DT} Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld |

Bild 14 — Hindurchgreifen durch ein vertikales Schutzfeld mit einem effektiven Detektionsvermögen von $d_e > 120$ mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 gilt der Erreichbarkeitsabstand von 850 mm.

8.3.6 Indirekte Annäherung — Durch Hindernisse eingeschränkter Weg

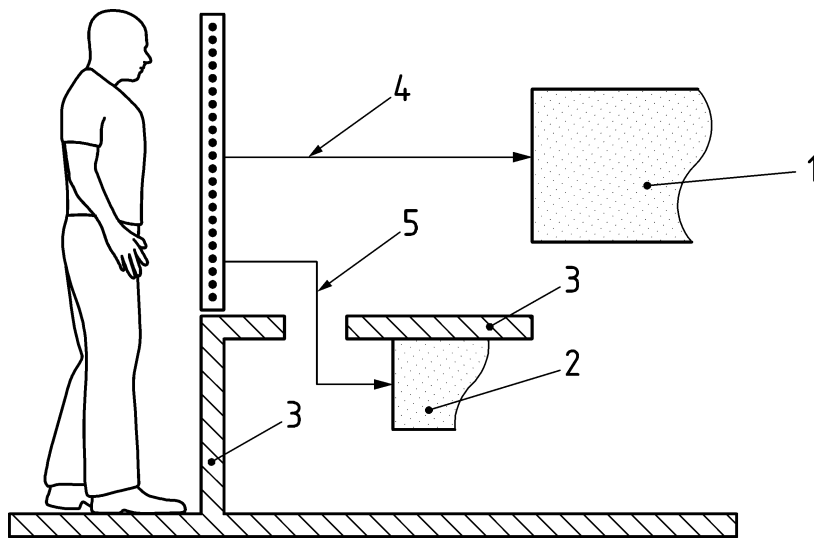
Wenn der Zugang mit den oberen Gliedmaßen durch Hindernisse, die dauerhaft angebracht sind, behindert wird, kann der Trennungsabstand der kürzeste Weg um diese Hindernisse herum sein (indirekte Annäherung siehe Bild 15). In diesem Fall unterscheidet sich die Annäherungsgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit bei einer direkten Annäherung und darf daher auf 1 600 mm/s verringert werden.

Für S muss der jeweils größere Wert, der sich aus dem Vergleich aller Trennungsabstände ergibt, angewendet werden.

Hindernisse können als Ergebnis des funktionellen Aufbaus der Maschine vorhanden sein, dürfen jedoch nicht mit dem alleinigen Zweck der Verringerung der Annäherungsgeschwindigkeit der oberen Gliedmaßen eingesetzt werden.

ANMERKUNG 1 Hindernisse sind Teile der Maschine wie beispielsweise Gehäuse, Abdeckungen, abweisende Schutzeinrichtungen oder Zusatzeinrichtungen, die die direkte Annäherung zum Gefährdungsbereich verhindern.

ANMERKUNG 2 Die Verwendung einer geringeren Annäherungsgeschwindigkeit kann bei bestimmten selten ausgeführten Tätigkeiten zulässig sein, wenn ausschließlich eine indirekte Annäherung möglich ist. Beispielsweise haben Untersuchungen ergeben, dass für zwei Hindernisse mit einem Abstand von 1 m oder weniger und einer Mindesthöhe von 500 mm ein Reduktionsfaktor von 0,8 angewendet werden kann (siehe Literaturhinweis [28]).



Legende

- 1 Gefährdungsbereich 1
- 2 Gefährdungsbereich 2
- 3 Hindernis
- 4 direkte Annäherung
- 5 indirekte Annäherung

Bild 15 — Beispiel für eine direkte und indirekte Annäherung

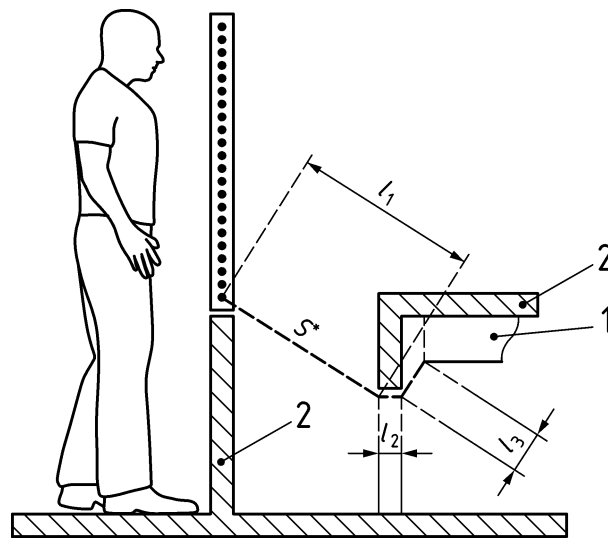
Bei indirekter Annäherung ist die tatsächlich zurückgelegte Strecke bei Annäherung S^* der kürzeste Weg von der BWS zum Gefährdungsbereich um das/die Hindernis(se) herum und muss nach Gleichung (25) berechnet werden, siehe Bild 16.

$$S^* = l_1 + l_2 \dots + l_n \quad (25)$$

Dabei ist/sind

l_1, l_2, \dots, l_n die kürzesten Einzelstrecken jedes Abschnitts des Wegs um die Hindernisse herum;

$S^* \geq S$ mit S berechnet nach den zutreffenden Unterabschnitten 8.3.1 bis 8.3.5.



Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Hindernis
- l_1, l_2, l_3 kürzeste Strecke um Hindernisse herum
- S^* bei Annäherung tatsächlich zurückgelegte Strecke

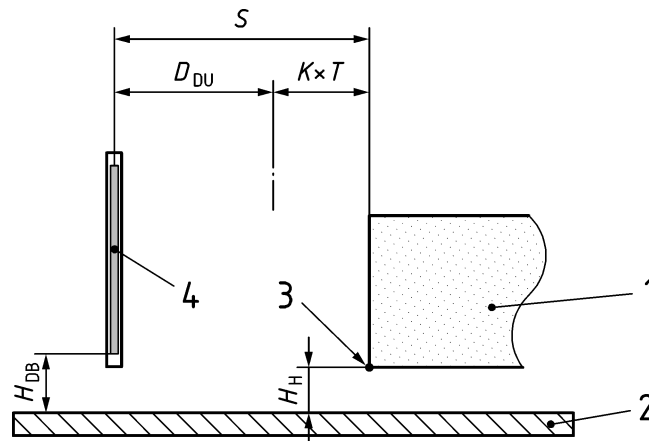
Bild 16 — Darstellung der Berechnung der tatsächlich zurückgelegten Strecke

8.4 Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld

8.4.1 Allgemeines

Es wird angenommen, dass mithilfe der folgenden Werte ein unerkannter Zugang zu den Gefährdungsbereichen bei orthogonaler Annäherung unter einem Schutzfeld hindurch verhindert wird.

Die maximale Höhe der Unterkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene H_{DB} darf 300 mm nicht überschreiten. Dieser Abschnitt bezieht sich somit nur auf Anwendungen, für die $H_{DB} \leq 300$ mm gilt. Siehe Bild 17.



Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- 3 nächstgelegener Punkt
- 4 Schutzfeld
- S Trennungsabstand
- K Annäherungsgeschwindigkeit
- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- H_H Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene
- H_{DB} Höhe der Unterkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene
- D_{DU} Erreichbarkeitsabstand unter einem vertikalen Schutzfeld

Bild 17 — Hindurchgreifen unter einem Schutzfeld bei orthogonaler Annäherung

8.4.2 Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld bei $(d_e + H_{DB}) \leq 40$ mm

Der Trennungsabstand S , in Millimeter, zwischen dem Schutzfeld und dem Gefährdungsbereich muss nach Gleichung (26) berechnet werden:

$$S = (K \times T) + D_{DU} + Z \quad (26)$$

Dabei ist $K = 1\,600$ mm/s

K die Annäherungsgeschwindigkeit 1 600 mm/s;

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, berechnet nach Gleichung (7);

und der Erreichbarkeitsabstand unter einem vertikalen Erfassungsbereich, D_{DU} , wird zu Formel (27):

$$D_{DU} = 8 (d_e + H_{DB} - 14) \quad (27)$$

aber nicht weniger als 0 mm.

Dabei ist

d_e das effektive Detektionsvermögen;

H_{DB} die Höhe der Unterkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene;

Z ein anwendungsabhängiger zusätzlicher Abstandsfaktor, der nach 5.6 bestimmt wird.

Wird K durch 1 600 und D_{DU} durch $8(d_e + H_{DB} - 14)$ ersetzt, ergibt sich Gleichung (26) zu Gleichung (28):

$$S = (1\,600 \times T) + 8(d_e + H_{DB} - 14) + Z \quad (28)$$

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist Gleichung (27) anzuwenden.

8.4.3 Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld, dessen Unterkante sich in einer Höhe über der Bezugsebene von $40\text{ mm} < d_e + H_{DB}$ und $H_{DB} \leq 300\text{ mm}$ befindet

Es muss Tabelle 3 angewendet werden, um die Erreichbarkeitsabstand unter einem vertikalen Schutzfeld D_{DU} zu bestimmen, wenn das effektive Detektionsvermögen d_e zuzüglich der Höhe der Unterkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene H_{DB} größer ist als 40 mm und H_{DB} kleiner als oder gleich 300 mm ist.

ANMERKUNG Falls die Bezugsebene oberhalb der Gefährdung liegt, wie beispielsweise wenn die Bezugsebene eine höhenverstellbare Arbeitsbühne ist oder wenn sich der Gefährdungsbereich in einer Grube befindet, kann die Bezugsebene als eine physische schützende Konstruktion angesehen werden.

Tabelle 3 — Horizontale Projektion des Erreichbarkeitsabstands D_{DU} beim Zugang mit den oberen Gliedmaßen unter einem vertikalen Schutzfeld mit $40\text{ mm} < d_e + H_{DB}$ und $H_{DB} \leq 300\text{ mm}$ hindurch

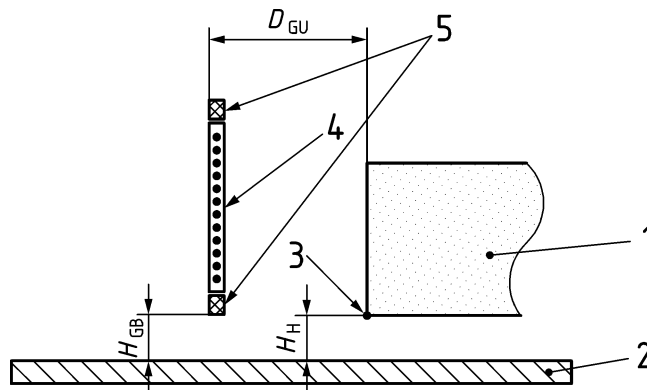
Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene H_H mm	Horizontale Projektion des Erreichbarkeitsabstands unter einem vertikalen Schutzfeld D_{DU} mm
0	850
300	850
500	800
700	700
900	450
1 100	0

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist Tabelle 3 anzuwenden. Anstatt die Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene H_H zu messen, wird die Höhe des SRMCD über der Bezugsebene verwendet.

8.4.4 Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld mit schützenden Zusatzkonstruktionen

Wenn sich dem Gefährdungsbereich durch Hindurchgreifen unter der schützenden Konstruktion annähert werden kann, darf der Trennungsabstand S nicht kleiner sein als die horizontale Projektion des Erreichbarkeitsabstands zum Gefährdungsbereich D_{GU} und dieser nicht kleiner sein als die Werte nach ISO 13857:2019, Tabelle 4, wenn $H_{GB} \leq 120\text{ mm}$, und als die Werte nach Tabelle 4 dieses Dokuments, wenn $120\text{ mm} < H_{GB} \leq 180\text{ mm}$ (siehe Bild 18).

ANMERKUNG In Übereinstimmung mit ISO 13857:2019, Tabelle 7, Anmerkung, ermöglichen schlitzförmige Öffnungen mit $e > 180\text{ mm}$ den Ganzkörperzugang. In 8.4.3 dieses Dokuments ist H_{GB} gleichbedeutend mit diesem Wert e .



Legende

- | | |
|---------------------------|--|
| 1 Gefährdungsbereich | H_H Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene |
| 2 Bezugsebene | H_{GB} Höhe der Unterkante der schützenden Konstruktion über der Bezugsebene |
| 3 nächstgelegener Punkt | D_{GU} Erreichbarkeitsabstand unter einer schützenden Konstruktion |
| 4 BWS | |
| 5 schützende Konstruktion | |

Bild 18 — Hindurchgreifen unter einem vertikalen Schutzfeld mit einer schützenden Zusatzkonstruktion

Tabelle 4 — Horizontale Projektion des Erreichbarkeitsabstands D_{GU} beim Zugang mit den unteren Gliedmaßen unter einer schützenden Konstruktion mit $120 \text{ mm} < H_{GB} \leq 180 \text{ mm}$ hindurch

Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene H_H mm	Horizontale Projektion des Erreichbarkeitsabstands unter einer schützenden Konstruktion D_{GU} mm
0	900
200	900
400	900
600	900
800	800
1 000	600
1 200	0

Bei der Ermittlung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 gelten die Werte nach ISO 13857:2019, Tabelle 4, wenn $H_{GB} \leq 120 \text{ mm}$. Wenn $120 \text{ mm} < H_{GB} \leq 180 \text{ mm}$, gelten die Werte nach Tabelle 4 dieses Dokuments. Anstatt die Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene H_H zu messen, wird die Höhe des SRMCD über der Bezugsebene verwendet.

8.5 Anwendungen mit Einzelstrahlen

Wenn nur ein Einzelstrahl verwendet wird, um die Annäherung einer Person festzustellen, muss der Trennungsabstand S , in Millimeter, zwischen dem Schutzfeld und dem Gefährdungsbereich nach Gleichung (1) berechnet werden, wie in 5.2 angegeben.

Unter Anwendung von Gleichung (1) mit einer Annäherungsgeschwindigkeit $K = 1\,600$ mm/s und $D_{DS} = 1\,200$ mm ergibt sich der Trennungsabstand S aus Gleichung (29):

$$S = (1\,600 \times T) + 1\,200 + Z \quad (29)$$

ANMERKUNG 1 Wenn ein Einzelstrahl verwendet wird, ist die resultierende Annäherung stets orthogonal. Siehe Anhang C.

ANMERKUNG 2 Der Wert von 1 200 mm für D_{DS} berücksichtigt alle möglichen Annäherungen des menschlichen Körpers (Greifen über, durch oder unter den Einzelstrahl).

Der Einzelstrahl muss in Übereinstimmung mit Anhang C positioniert sein.

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist der Erreichbarkeitsabstand von 1 200 mm anzuwenden.

8.6 Wiederingangsetzen von Maschinen durch aktive optoelektronische Schutzeinrichtungen (AOPD) mit Steuerungsfunktion

Wenn AOPD für das Wiederingangsetzen einer Maschine verwendet werden:

- muss das effektive Detektionsvermögen $d_e \leq 30$ mm sein;
- muss Gleichung (19) (siehe 8.3.2) angewendet werden;
- muss der Trennungsabstand $S > 150$ mm sein.

Wenn das effektive Detektionsvermögen $d_e \leq 14$ mm ist:

- muss Gleichung (19) (siehe 8.3.2) angewendet werden;
- muss der Trennungsabstand $S > 100$ mm sein.

ANMERKUNG 1 In ISO 12100:2010, 6.3.2.5.3, und IEC 62046:2018, 5.8, sind Bedingungen für die Verwendung einer AOPD für das Ingangsetzen einer Maschine angegeben.

ANMERKUNG 2 Zusätzliche Anforderungen an AOPD sind in IEC 61496-1 angegeben.

ANMERKUNG 3 AOPD mit einem effektiven Detektionsvermögen im Durchmesser von $d_e > 30$ mm können möglicherweise das Handgelenk oder den Unterarm nicht erkennen, nachdem die Hand erkannt wurde. Ein unerwartetes Wiederingangsetzen kann auftreten.

9 Parallele Annäherung an ein Schutzfeld

9.1 Allgemeines

Wenn das effektive Detektionsvermögen d_e veränderbar ist (von Hand oder automatisch), muss der größte zu erwartende Wert von d_e für die Berechnung des Trennungsabstandes verwendet werden, oder es muss sichergestellt werden, dass der damit zusammenhängende Erreichbarkeitsabstand D_{DS} , der sich aus jeder Änderung ergibt, entsprechend addiert wird.

Schutzfelder bei paralleler Annäherung werden mit SPE umgesetzt, einschließlich:

- AOPD;
- AOPDDR;

- VBPD;
- Schalmatten und Schalmplatten.

Bei einer BWS ist der Körperteil bzw. sind die Körperteile, der/die im Schutzfeld erkannt werden kann/können, abhängig vom effektiven Detektionsvermögen d_e . Dieses effektive Detektionsvermögen wird durch die konstruktive Gestaltung der BWS festgelegt oder kann in der BWS einstellbar sein (z. B. Umschalten eines Schutzfeldes, Ausblenden eines Schutzfeldes).

Wenn ein Schutzfeld zur parallelen Annäherung eingesetzt wird, müssen die in 9.2 bis 9.4 behandelten Parameter ermittelt und ausgewertet werden.

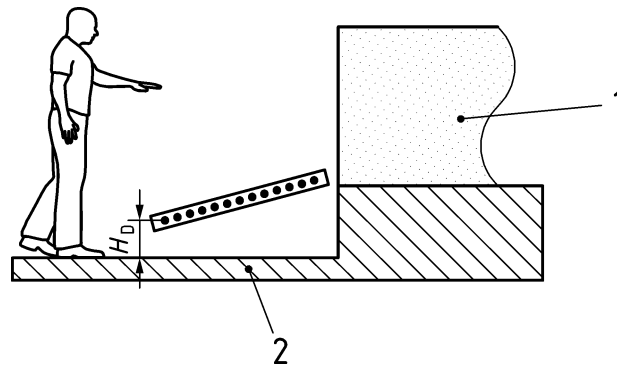
9.2 Höhe eines Schutzfeldes bei paralleler Annäherung

Bei einer Schutzeinrichtung, bei der die Annäherungsrichtung parallel zum Schutzfeld ist, darf die Höhe des Schutzfeldes über der Bezugsebene H_D nicht größer sein als 1 000 mm. Wenn aber die Höhe des Schutzfeldes über der Bezugsebene H_D größer als 200 mm ist, besteht die Möglichkeit eines unbeabsichtigten unerkannten Zugangs unterhalb des Schutzfeldes. Das ist bei der Risikobeurteilung zu berücksichtigen, und es sind, wenn erforderlich, zusätzliche Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Die niedrigste zulässige Höhe des Schutzfeldes über der Bezugsebene H_D steht in direktem Zusammenhang mit dem effektiven Detektionsvermögen d_e der BWS. Eine Gleichung zur Bestimmung der niedrigsten zulässigen Höhe eines (horizontalen) Schutzfeldes über der Bezugsebene H_D darf mit Gleichung (30) dargestellt werden. Siehe auch Bild 19 und Bild 20.

$$H_D \geq 15 \times (d_e - 50), \text{ aber weder kleiner als null noch größer als 1 000 mm} \quad (30)$$

Wenn eine Annäherung unter einem Winkel als parallele Annäherung betrachtet wird [siehe Abschnitt 7 und Bild 7 und Bild 8 b)], dann muss Gleichung (30), die die Größen H_D und d_e miteinander verknüpft, für die Kante des Schutzfeldes angewendet werden, die am weitesten vom Gefährdungsbereich entfernt ist (siehe Bild 19).

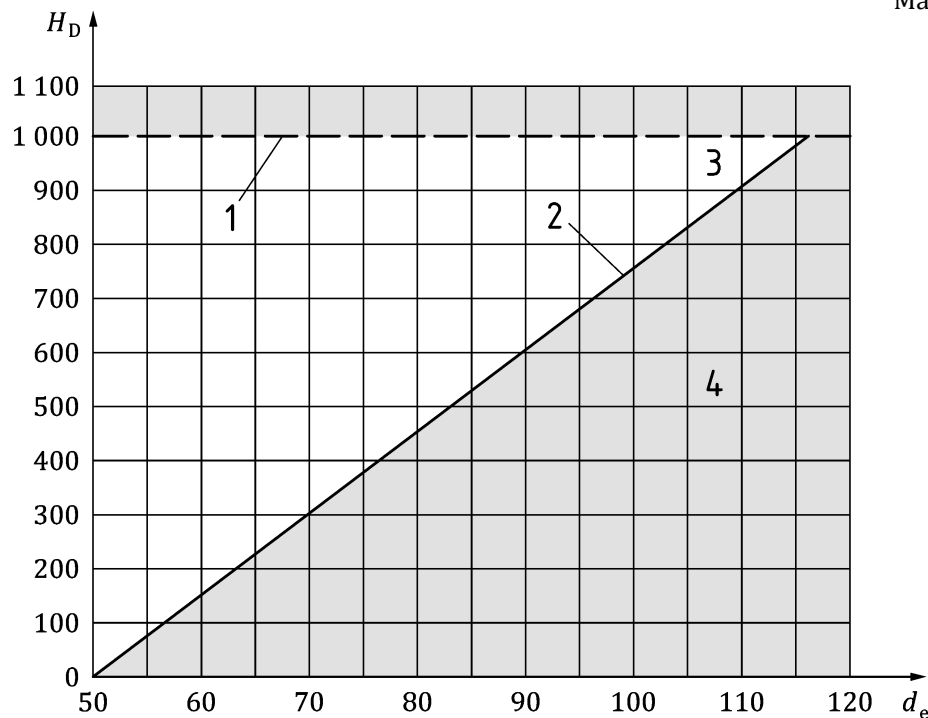


Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- H_D Höhe des horizontalen Schutzfeldes über der Bezugsebene

Bild 19 — Höhe des Schutzfeldes (niedrigster Strahl)

Maße in Millimeter



Legende

- 1 größte Höhe
- 2 kleinste Höhe
- 3 zulässig
- 4 nicht zulässig

H_D Höhe des horizontalen Schutzfeldes über der Bezugsebene

d_e effektives Detektionsvermögen

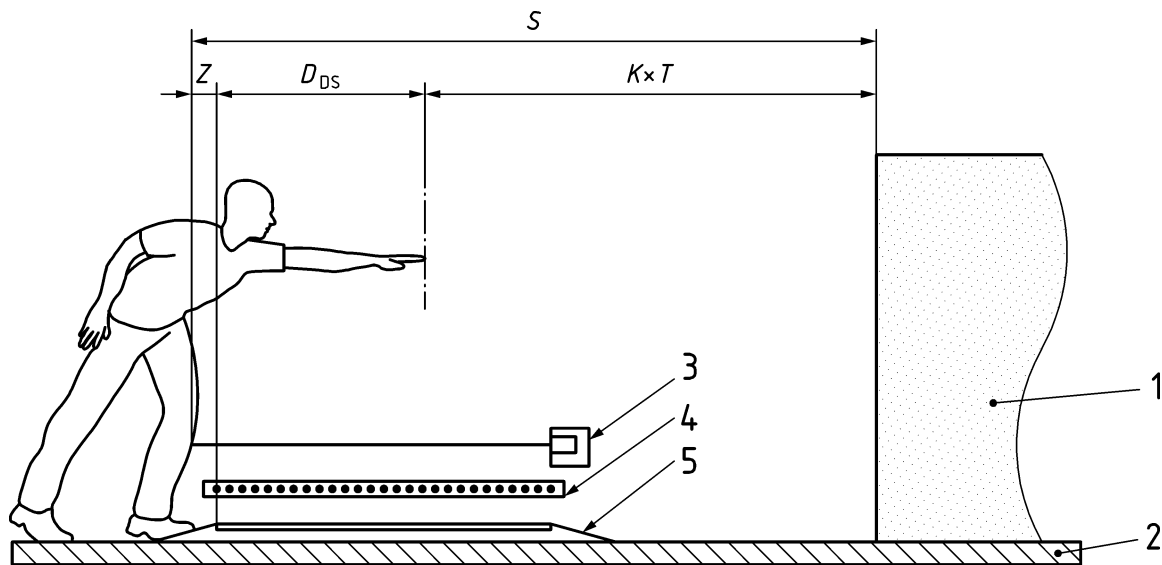
Bild 20 — Zulässige Höhe des horizontalen Schutzfeldes über der Bezugsebene H_D

9.3 Trennungsabstand eines Schutzfeldes bei paralleler Annäherung

Wenn die Annäherungsrichtung als parallel zum Schutzfeld nach Abschnitt 7 angenommen wird, dann muss der Trennungsabstand S , in Millimeter, zu der am weitesten vom Gefährdungsbereich entfernten Kante des Schutzfeldes nach Gleichung (1) berechnet werden, wie in 5.2 angegeben, siehe Bild 21.

Unter Anwendung von Gleichung (1), mit einer Annäherungsgeschwindigkeit $K = 1\,600$ mm/s und $D_{DS} = 1\,200$ mm, ergibt sich der Trennungsabstand S aus Gleichung (31):

$$S = (1\,600 \times T) + 1\,200 + Z \quad (31)$$



Legende

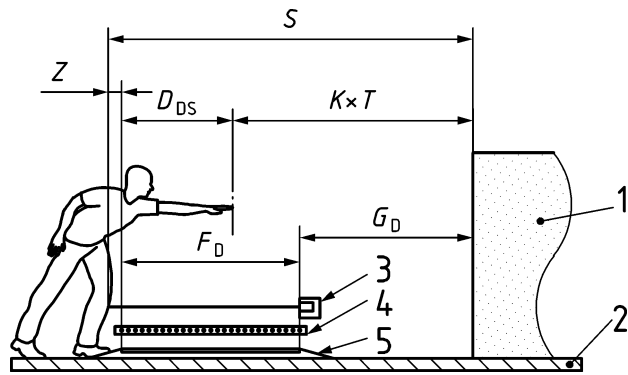
- 1 Gefährdungsbereich
 - 2 Bezugsebene
 - 3 AOPDDR
 - 4 AOPD
 - 5 Schuttmatten/Schaltplatten
 - S Trennungsabstand
 - K Annäherungsgeschwindigkeit
 - T Reaktionszeit des Gesamtsystems
 - D_{DS} Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung
 - Z anwendungsabhängiger zusätzlicher Entfernungsfaktor nach 5.6
- ANMERKUNG S und Z sind nur für den für die AOPDDR (Laserscanner) zutreffenden Mindestabstand dargestellt.

Bild 21 — Trennungsabstand bei paralleler Annäherung

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist der Erreichbarkeitsabstand von 1 200 mm anzuwenden.

9.4 Tiefe eines Schutzfeldes bei paralleler Annäherung

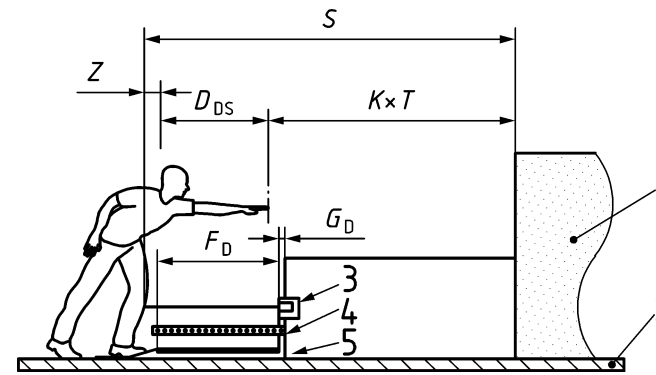
Die Mindestdiefe des horizontalen Schutzfeldes F_D muss eine Person daran hindern, unerkannt über das Schutzfeld zu steigen. Ist hinter dem Schutzfeld eine Auftrittfläche mit einer Tiefe größer als oder gleich 70 mm vorhanden, muss die Mindestdiefe des horizontalen Schutzfeldes F_D größer als oder gleich 1 200 mm sein, um eine Person daran zu hindern, unerkannt darüber zu steigen und hindurchzugehen [siehe Bild 22 a)]. Wenn zusätzliche Schutzmaßnahmen (z. B. schützende Konstruktionen, physische Hindernisse oder andere feststehende Elemente) verwendet werden, um diese Situation zu verhindern, und eine Person im Schutzfeld erkannt wird, muss die Mindestdiefe des horizontalen Schutzfeldes F_D größer als oder gleich 900 mm sein [siehe Bild 22 b)].



$$G_D \geq 70 \text{ mm}$$

$$F_D \geq 1\,200 \text{ mm}$$

a) Person kann unerkannt über das Schutzfeld steigen



$$G_D < 70 \text{ mm}$$

$$F_D \geq 900 \text{ mm}$$

b) Person kann nicht unerkannt über das Schutzfeld steigen (in diesem Beispiel liegt S näher als F_D)

Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Gefährdungsbereich | S Trennungsabstand |
| 2 Bezugsebene | K Annäherungsgeschwindigkeit |
| 3 AOPDDR | T Reaktionszeit des Gesamtsystems |
| 4 AOPD | Z anwendungsabhängiger zusätzlicher Entfernungsfaktor |
| 5 Schaltmatte/Schaltplatte | D_{DS} Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung |
| G_D Abstand zwischen dem Schutzfeld und dem nächstgelegenen Hindernis | F_D Tiefe des horizontalen Schutzfeldes |

ANMERKUNG Die Mindesttiefe eines horizontalen Schutzfeldes F_D bei paralleler Annäherung betrifft eine andere Entfernung als den Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung $D_{DS} = 1\,200 \text{ mm}$ nach 9.3.

Bild 22 — Mindesttiefe des Schutzfeldes

10 Zweihandschaltungen

10.1 Zweihandschaltungen, die Eindringen nicht verhindern

Der Trennungsabstand S zwischen dem nächstgelegenen Stellteil und dem Gefährdungsbereich muss nach Gleichung (32) berechnet werden:

$$S = (K \times T) + D_{DS} \quad (32)$$

Dabei ist

$$K = 1\,600 \text{ mm/s};$$

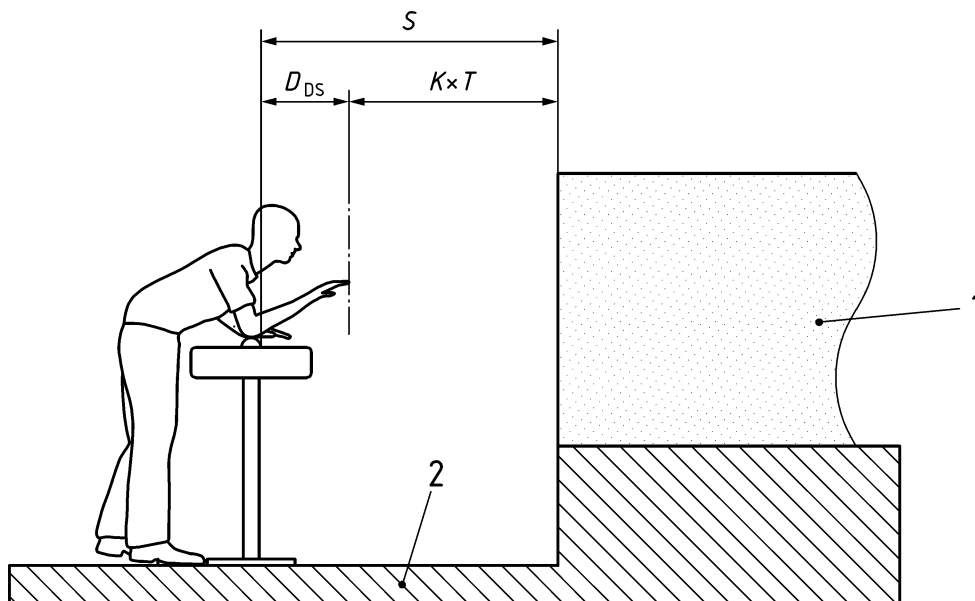
$$D_{DS} = 550 \text{ mm}.$$

Wird die Annäherungsgeschwindigkeit K durch 1 600 mm/s und der Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung D_{DS} durch 550 mm ersetzt, ergibt sich Gleichung (32) zu Gleichung (33):

$$S = (1\,600 \times T) + 550 \quad (33)$$

ANMERKUNG Siehe auch ISO 13851 für Anforderungen an die Konstruktion von Zweihandschaltungen.

Siehe Bild 23 und Anhang G.



Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- S Trennungsabstand
- K Annäherungsgeschwindigkeit
- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- D_{DS} Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung

Bild 23 — Trennungsabstand für Zweihandschaltungen (ohne Abdeckung)

10.2 Zweihandschaltungen, die Eindringen verhindern

Wenn das Risiko des Eindringens der Hände oder von Handteilen in den Gefährdungsbereich während der Betätigung des Stellteils ausgeschlossen ist, wie z. B. durch eine angemessene Abdeckung, die Auslegung des Stellteils oder die Ausrichtung des Steuerstandes, darf D_{DS} gleich null sein, mit einem zulässigen Mindest-Trennungsabstand von 100 mm.

ANMERKUNG ISO 13851 gibt Hinweise, wie durch Anbringen von Abdeckungen verhindert werden kann, dass die bestimmungsgemäße Bedienung einer Zweihandschaltung umgangen wird. Die dort beschriebenen Maßnahmen sind jedoch nicht bei jeder Anwendung angemessen, um das Eindringen der Hände oder von Handteilen in den Gefährdungsbereich zu verhindern.

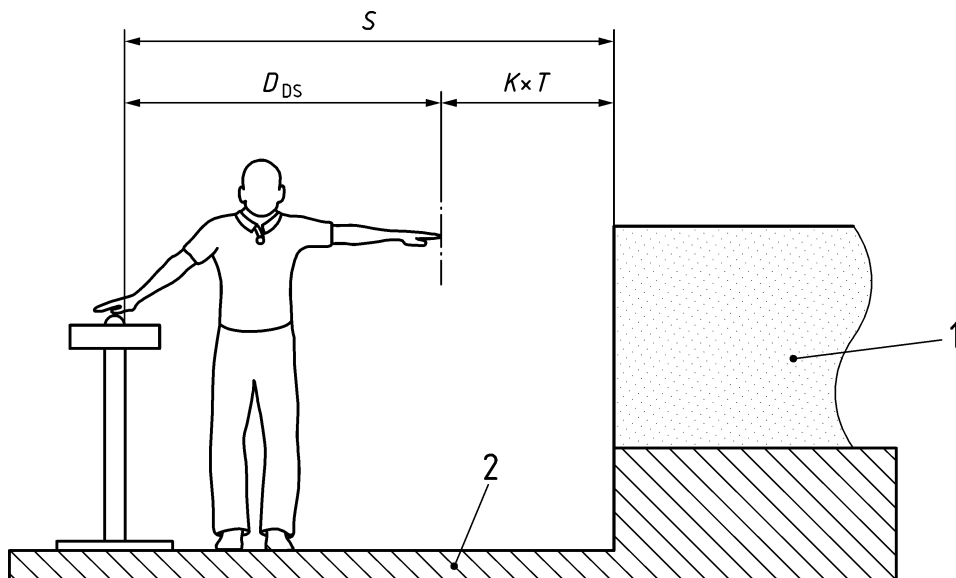
11 Einfach betätigte Steuerungseinrichtungen

11.1 Einfach handbetätigte Steuerungseinrichtungen

Der Trennungsabstand S zwischen Stellteil und Gefährdungsbereich muss nach Gleichung (32) berechnet werden, wie in 10.1 angegeben. Siehe auch Bild 24.

Wird die Annäherungsgeschwindigkeit K durch 1 600 mm/s und der Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung D_{DS} durch 2 200 mm ersetzt, wird aus Gleichung (32) Gleichung (34):

$$S = (1\,600 \times T) + 2\,200 \quad (34)$$



Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- S Trennungsabstand
- K Annäherungsgeschwindigkeit
- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- D_{DS} Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung

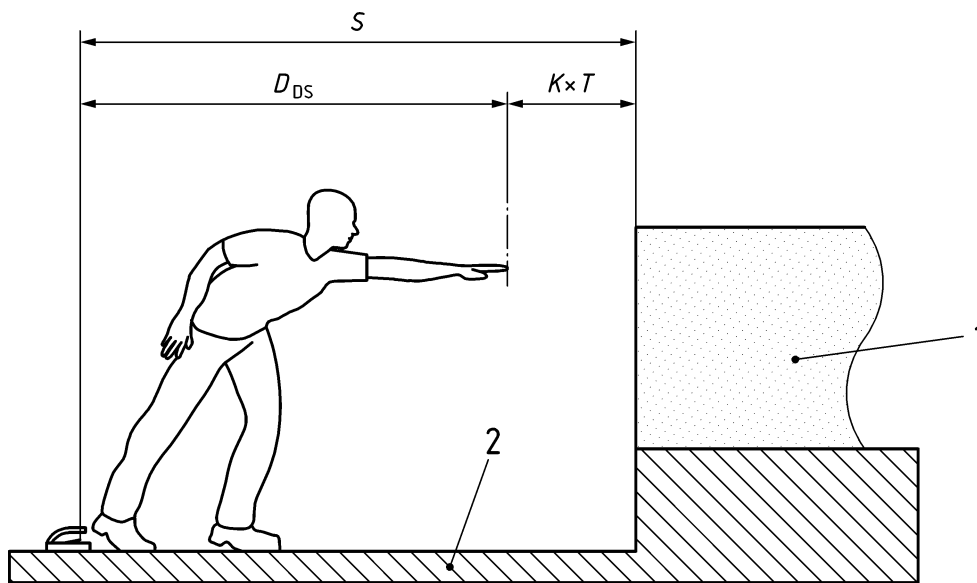
Bild 24 — Trennungsabstand für einfach handbetätigte Steuerungseinrichtungen

11.2 Einfach fußbetätigte Steuerungseinrichtungen

Der Trennungsabstand S zwischen Stellteil und Gefährdungsbereich muss nach Gleichung (32) berechnet werden, wie in 10.1 angegeben. Siehe auch Bild 25.

Wird in Gleichung (32) die Annäherungsgeschwindigkeit K durch 1 600 mm/s und der Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung D_{DS} durch 2 500 mm ersetzt, ergibt sich Gleichung (35):

$$S = (1\,600 \times T) + 2\,500 \quad (35)$$



Legende

- 1 Gefährdungsbereich
- 2 Bezugsebene
- S Trennungsabstand
- K Annäherungsgeschwindigkeit
- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- D_{DS} Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung

Bild 25 — Trennungsabstand für einfach fußbetätigte Steuerungseinrichtungen

12 Verriegelte trennende Schutzeinrichtungen

12.1 Allgemeines

Es kann möglich sein, eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung teilweise zu öffnen, und so einen Zugang durch die schützende Konstruktion zu ermöglichen, bevor die Aktivierung der Verriegelungseinrichtung die Sicherheitsfunktion auslöst.

ANMERKUNG Zu den Beispielen zählen verriegelte trennende Schutzeinrichtungen, die entweder geradlinig oder drehend öffnen (siehe Bild 26) und bei denen das Stellteil der Verriegelungseinrichtung

- sicher befestigt ist und der Wegeanteil des Stellteils vor dem Auslösen einer Sicherheitsfunktion von Folgendem abhängig ist:
- der Konstruktion der Verriegelungseinrichtung (z. B. Wegstrecke(Hysterese), wie vom Hersteller festgelegt); und

- veränderlichen Merkmalen (z. B. Ort des Stellteils, verstellbarer Betätigungswinkel);
- mit einem flexiblen Befestigungsmittel (Kette, Kabel) versehen ist, das die Gesamtöffnungsweite e vor dem Auslösen einer Sicherheitsfunktion vergrößert.

Bei der Bestimmung einer zulässigen Stelle für ein SRMCD nach 4.6 ist die Leitlinie dieses Abschnitts ebenfalls anwendbar.

12.2 Verriegelungseinrichtungen ohne Zuhaltung

12.2.1 Allgemeines

Um sicherzustellen, dass beim Öffnen einer verriegelten trennenden Schutzeinrichtung ohne Zuhaltung der Gefährdungsbereich nicht erreicht werden kann, bevor die vorgesehene Risikominderung erreicht wurde, muss der Trennungsabstand S bestimmt werden.

Der Trennungsabstand von der am nächsten zum Gefährdungsbereich liegenden Kante der Öffnung der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung ohne Zuhaltung muss nach Gleichung (36) berechnet werden.

$$S = (K \times T) + D_{GT} \quad (36)$$

Dabei ist

$$K = 1\,600 \text{ mm/s};$$

D_{GT} der Erreichbarkeitsabstand durch die schützende Konstruktion nach ISO 13857:2019, wie nachstehend beschrieben.

Wird die Annäherungsgeschwindigkeit K durch 1 600 mm/s ersetzt, ergibt sich Gleichung (36) zu Gleichung (37):

$$S = (1\,600 \times T) + D_{GT} \quad (37)$$

ANMERKUNG 1 Es wurde nur eine Annäherungsgeschwindigkeit von 1 600 mm/s berücksichtigt, da in einem solchen Fall die Annäherungsbewegung nicht durch eine unfreiwillige Bewegung (Reaktion) der Person entsteht, sondern durch einen bewussten Zugriff. Es wird davon ausgegangen, dass eine Person mit einem derartigen Zugang auch das Zusammenreffen mit Teilen der Schutzeinrichtung oder der Maschine verhindert und eine geeignete Öffnungsweite abwartet, bevor sie hineingreift.

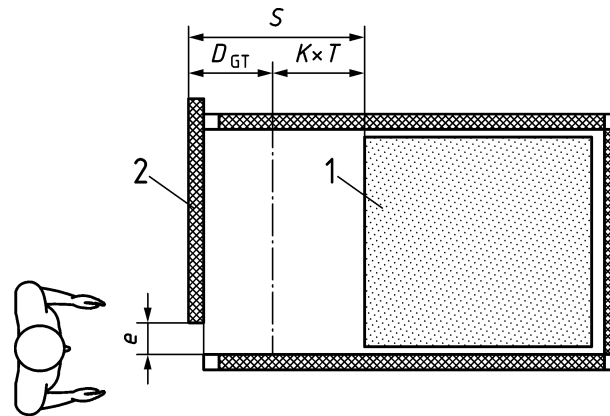
Bei der Bestimmung des Erreichbarkeitsabstands D_{GT} durch eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung muss die resultierende Weite und Form der Öffnung vor der Aktivierung der Verriegelungseinrichtung betrachtet werden. Siehe Bild 26.

ANMERKUNG 2 Üblicherweise ist die resultierende Öffnung ein Schlitz, der zwischen der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung und dem zugehörigen Gestell entsteht; es können aber auch andere Formen von Öffnungen entstehen (siehe Bild E.1).

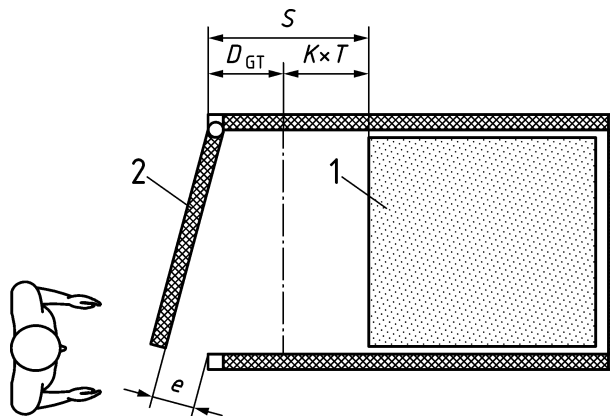
Es muss ISO 13857:2019, Tabelle 4, angewendet werden, um den Erreichbarkeitsabstand D_{GT} durch die verriegelte trennende Schutzeinrichtung zu bestimmen, die auf der Öffnungsweite e beruht, sofern nicht eine Risikobeurteilung und eine Bewertung der Anwendung andere Werte rechtfertigen.

ANMERKUNG 3 Beispiele sind:

- die Nähe einer Person zur Öffnung (z. B. wenn die Person gezwungen ist, beim Öffnen der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung (einen) Schritt(e) zurückzutreten);
- der Annäherungswinkel der Person, die sich der Öffnung nähert.



a) Verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit geradliniger Bewegung



b) Verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit drehender Bewegung

Legende

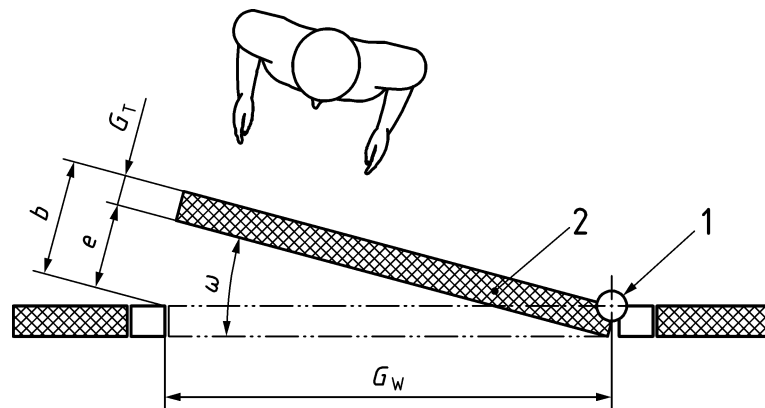
- 1 Gefährdungsbereich
- 2 verriegelte trennende Schutzeinrichtung
- S Trennungsabstand
- K Annäherungsgeschwindigkeit
- T Reaktionszeit des Gesamtsystems
- D_{GT} Erreichbarkeitsabstand durch die schützende Konstruktion
- e Maß der Öffnung in der schützenden Konstruktion (schlitzförmig)

Bild 26 — Beispiel für verriegelte trennende Schutzeinrichtungen

12.2.2 Berechnung der Öffnungsweite e für eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit einer Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter

Wenn eine Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter in Verbindung mit einer verriegelten trennenden Schutzeinrichtung mit drehendem Bewegungsverlauf verwendet wird, muss die Öffnungsweite e berechnet werden (siehe Bild 27). Die Öffnungsweite e hängt von Folgendem ab:

- dem Betätigungswinkel der Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter ω ;
- der Breite der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung G_W ;
- der Dicke der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung G_T .



Legende

- 1 Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter
- 2 verriegelte trennende Schutzeinrichtung
- ω Betätigungswinkel der Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter
- b Summe aus der Öffnungsweite und der Dicke der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung
- G_W Breite der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung
- G_T Dicke der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung
- e Maß der Öffnung in der schützenden Konstruktion (schlitzförmig)

Bild 27 — Variablen für die Bestimmung der Öffnungsweite (e) für eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter

Die Öffnungsweite e zwischen dem Maschinengestell und der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung mit einer Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter wird nach Gleichung (38) berechnet.

$$e = b - G_T \quad (38)$$

Dabei ist

$$b = G_W \times \sin(\omega) \quad (39)$$

Wird b durch $G_W \times \sin(\omega)$ ersetzt, ergibt sich Gleichung (38) zu Gleichung (40):

$$e = (G_W \times \sin(\omega)) - G_T \quad (40)$$

Tabelle 5 zeigt die Werte für b basierend auf üblichen Betätigungswinkeln von Verriegelungseinrichtungen mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter ω und üblichen Breiten einer verriegelten trennenden Schutzeinrichtung G_W . Die Dicke der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung G_T muss berücksichtigt werden, um die Öffnungsweite e der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung vor dem Auslösen der Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter zu bestimmen.

Tabelle 5 — Beispielberechnung von b für übliche Betätigungswinkel einer Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter ω

Breite der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung G_W mm	Betätigungswinkel einer Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter ω						
	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
	Summe aus der Öffnungsweite und der Dicke der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung $b = G_W \times \sin(\omega)$ mm						
100	5,2	7,0	8,7	10,5	12,2	13,9	15,6
200	10,5	14,0	17,4	20,9	24,4	27,8	31,3
300	15,7	20,9	26,1	31,4	36,6	41,8	46,9
400	20,9	27,9	34,9	41,8	48,7	55,7	62,6
500	26,2	34,9	43,6	52,3	60,9	69,6	78,2
600	31,4	41,9	52,3	62,7	73,1	83,5	93,9
700	36,6	48,8	61,0	73,2	85,3	97,4	109,5
800	41,9	55,8	69,7	83,6	97,5	111,3	125,1 ^a
900	47,1	62,8	78,4	94,1	109,7	125,3 ^a	140,8 ^a
1 000	52,3	69,8	87,2	104,5	121,9 ^a	139,2 ^a	156,4 ^a
1 100	57,6	76,7	95,9	115,0	134,1 ^a	153,1 ^a	172,1 ^a
1 200	62,8	83,7	104,6	125,4 ^a	146,2 ^a	167,0 ^a	187,7 ^b
1 300	68,0	90,7	113,3	135,9 ^a	158,4 ^a	180,9 ^b	203,4 ^b
1 400	73,3	97,7	122,0 ^a	146,3 ^a	170,6 ^a	194,8 ^b	219,0 ^b
1 500	78,5	104,6	130,7 ^a	156,8 ^a	182,8 ^b	208,8 ^b	234,7 ^b

^a Beträgt die resultierende Öffnungsweite $e > 120$ mm, ist der Zugang für andere Körperteile möglich. Siehe ISO 13857.
^b Beträgt die resultierende Öffnungsweite $e > 180$ mm, ist der Ganzkörperzugang möglich.

12.3 Verriegelungseinrichtungen mit Zuhaltung

Wenn die Verzögerung der Freigabezeit t_{DY} der Zuhaltungseinrichtung weniger beträgt als die Reaktionszeit des Gesamtsystems T , muss durch den Trennungsabstand S sichergestellt sein, dass Personen nicht in den Gefährdungsbereich gelangen können, bevor die vorgesehene Risikominderung erreicht ist. Der Trennungsabstand S muss nach Gleichung (41) berechnet werden:

$$S = K \times (T - t_{DY}) + D_{GT} \quad (41)$$

Dabei ist

K 1 600 mm/s;

T die Reaktionszeit des Gesamtsystems;

t_{DY} die Verzögerung der Freigabezeit der Zuhaltungseinrichtung;

D_{GT} der Erreichbarkeitsabstand durch die schützende Konstruktion nach ISO 13857:2019, wie in 12.2 beschrieben.

Anhang A (informativ)

Erreichen der vorgesehenen Risikominderung

Die Anwendung einer Schutzeinrichtung ist ein Schritt im Gesamtprozess der Risikominderung, wie in ISO 12100 beschrieben. Jede verwendete Schutzeinrichtung dient einem oder mehreren Zwecken zur Risikominderung.

ANMERKUNG 1 Siehe ISO 12100:2010, 5.6.2, für weitere Einzelheiten zur angemessenen Risikominderung.

Bei der Berechnung des Trennungsabstandes S einer Schutzeinrichtung entsprechend den Festlegungen dieses Dokuments stellt die Dauer bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung einen entscheidenden Parameter dar. Dieser Zeitpunkt ist, wenn die gefahrbringende Maschinenfunktion (üblicherweise eine Bewegung) in einer solchen Weise verändert worden ist, dass die vorgesehene Risikominderung erreicht ist. Dieses Konzept wird in der Industrie und in Normen unterschiedlich bezeichnet; einige dieser Bezeichnungen sind:

- sicherer Zustand;
- sichere Bedingung;
- Beendigung der gefahrbringenden Maschinenfunktion;
- Ende der gefahrbringenden Maschinenfunktion.

Dieses Dokument enthält Informationen für die ordnungsgemäße Anwendung einer Schutzeinrichtung basierend auf der Reaktionszeit des Gesamtsystems T . Die Zuverlässigkeit dieses entscheidenden Zeitparameters ist notwendig für eine ordnungsgemäße Anwendung von Schutzeinrichtungen nach diesem Dokument. Wenn die vorgesehene Risikominderung erreicht wird, bevor die Maschine zu einem vollständigen Halt kommt, es jedoch nicht möglich ist zu bestimmen, wann dieser Moment eintritt, so muss die Zeit berücksichtigt werden, bis die Maschine einen vollständigen Halt erreicht hat. Hierbei können viele Faktoren anwendbar sein und zurzeit stehen Anleitungen nur eingeschränkt zur Verfügung. In a) bis f) sind einige Beispiele angegeben, die berücksichtigt werden können; diese Verweisungen sind jedoch in einer gegebenen Anwendung nicht immer relevant:

- a) die auf den menschlichen Körper ausgeübte Kraft;
- b) die Körperteile, die betroffen sein können;
- c) die Form des Maschinenteils (z. B. scharfe Kanten, spitze Teile);
- d) die Werkstoffeigenschaften (z. B. Weichgummi, verformbar);
- e) die Geschwindigkeit der Bewegung;
- f) das Risiko von Gefährdungen durch Quetschen.

ANMERKUNG 2 Einige Informationen über reduzierte Energiemengen (z. B. Kräfte, Geschwindigkeiten, kinetische Energie) können IRSST R-956 [30] entnommen werden.

ANMERKUNG 3 In ISO 13854 sind Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen zu finden.

Falls ein Trennungsabstand nach den Festlegungen dieses Dokuments berechnet wird, sollte der Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit des Gesamtsystems T und dem Moment, in dem die vorgesehene Risikominderung erreicht ist, berücksichtigt werden.

derung erreicht wird, bevor die Maschine zu einem vollständigen Halt kommt, deutlich gemacht werden. Ein solcher Zusammenhang kann beispielsweise wie folgt definiert sein:

- Im Fall von Gefährdungen durch Quetschen kann die vorgesehene Risikominderung 2 mm vor derjenigen Stelle erreicht werden, an der die Maschine zu einem vollständigen Halt kommt, es sei denn, es besteht ein Quetschrisiko für den Kopf.

Das heißt, dass die durch diese 2 mm repräsentierte Zeit zur Verringerung der Reaktionszeit des Gesamtsystems T verwendet werden darf.

ANMERKUNG 4 Anders als beim Kopf kann ein Zusammendrücken von 2 mm bei Körperteilen als ungefährlich angesehen werden.

Anhang B (informativ)

Messung und Berechnung der Leistungsfähigkeit des Systems zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung

B.1 Allgemeines

Es sollten Anleitungen oder Leitlinien zu bestimmten Verfahrensweisen hinsichtlich der Messung und Berechnung der Zeit oder des Nachlaufs bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung bereitgestellt werden.

B.2 Prüfbedingungen der Maschine

Das Signal, mit dem die Auslösung der Schutzeinrichtung simuliert wird (d. h. Aktivieren der Sicherheitsfunktion), sollte der Maschine zu dem/der Bewegungszeitpunkt/-position/-phase gegeben werden, aus dem/der sich die längste Reaktionszeit des Systems oder der längste Nachlauf ergibt. Für einige Risikominderungsmaßnahmen ist es notwendig, den gesamten Nachlaufweg nach Aktivierung der Sicherheitsfunktion zu bestimmen. Siehe 5.4 und Anhang A für weitere Informationen über die Zeit bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung.

Die Zeit oder der Nachlauf bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung sollten für die ungünstigste (längste) denkbare Zeit oder den ungünstigsten (längsten) denkbaren Nachlauf einer Maschine bei maximaler Leistungsfähigkeit unter normalen Betriebsbedingungen gemessen werden. Verschiedene anwendungsspezifische Faktoren können die denkbar ungünstigste Situation beeinflussen; dazu zählen unter anderem:

- Masse des Werkzeugs;
- Temperatur;
- Ventilschaltzeiten;
- Alterung von Bauteilen;
- Betriebsdrehzahl.

Zu den Bedingungen, die das denkbar ungünstigste Szenario ergeben, zählen unter anderem:

- wenn die Maschine bei höchstmöglicher Drehzahl läuft;
- wenn die Maschine maximal ausgefahren ist (Ausfahren des Momentarmes);
- wenn die Kurbel eines exzentrisch angetriebenen gefahrbringenden Maschinenteiles im 90° Winkel steht.

Die Maschine sollte unter den Bedingungen geprüft werden, die die normalen Betriebsbedingungen weitestgehend wirklichkeitsgetreu wiedergeben. Um während aller Maschinenzyklen die vorgesehene Risikominderung zu erreichen, kann es notwendig sein, die Maschine unter Bedingungen zu prüfen, die die Maschinenleistung beim ersten Anlaufen der Maschine und nach mehreren Maschinenzyklen nachbilden.

Die Prüfung der Maschinenleistung unter den Bedingungen des ersten Anlaufens sollte bei üblichen Betriebsbedingungen erfolgen. Um die Maschinenleistung bei normalisierten internen Bedingungen zu reproduzieren, können mehrere Zyklen der Maschine erforderlich sein. Die Prüfergebnisse können durch die Temperatur von Verschleißflächen, Schmiermittel, Hydraulikflüssigkeit und Bremsbelag-/Kupplungsverschleiß beeinflusst werden. Die beiden Datensätze sollten nach Abschnitt B.3 bewertet werden. Der größte resultierende Wert sollte für die endgültige Berechnung des Trennungsabstandes S verwendet werden.

B.3 Prüfintervall und Messverfahren

Die Zeit zwischen den Prüfungen sollte der üblichen Zeit für einen Produktionszyklus entsprechen, es sei denn, es kann nachgewiesen werden, dass kürzere Zeiten die Leistungsmessung nicht nachteilig beeinflussen.

Die Messungen sollten mit einem Gerät zur Messung des Nachlaufs durchgeführt werden, das gegebenenfalls nach den Anleitungen des Herstellers kalibriert wurde. Eine Messung reicht nicht aus. Es sind mindestens zehn Messungen unter jeder Prüfbedingung erforderlich. Zusätzlich zu der Angabe des berechneten Trennungsabstandes S und der Identifizierung der Maschine, an der die Messungen durchgeführt wurden, sollte das Messverfahren auch eine Liste der Annahmen enthalten, die der Bestimmung des Szenarios für den ungünstigsten Fall zu Grunde lagen, sowie Angaben darüber, wie die vorgesehene Risikominderung festgelegt wurde. Ein angemessen abgefasster Messbericht sollte folgende Angaben enthalten:

- a) die Identifizierung der Maschine;
- b) verwendete Schutzeinrichtung(en) und Schnittstelle(n);
- c) verwendete Messgeräte;
- d) Verifizierung der Messgeräte (einschließlich gegebenenfalls Kalibrierung);
- e) Identifizierung der Person/des Unternehmens, die/das die Messungen durchgeführt hat;
- f) Datum der Messungen;
- g) angewendetes Messverfahren;
- h) den Messungen und Berechnungen zugrunde liegende Annahmen;
- i) zusätzliche Angaben zur Maschine oder zu den Messbedingungen;
- j) berechnete Reaktionszeit des Gesamtsystems T ;
- k) berechneter Trennungsabstand S , Angabe der in den Gleichungen verwendeten Werte.

Die vorstehend aufgeführten Informationen sollten in die Dokumentation des berechneten Trennungsabstandes S aufgenommen werden.

B.4 Fehlerzustände

Für die Berechnung des Trennungsabstandes S nach diesem Dokument darf die maximale Leistung unter üblichen Betriebsbedingungen der beweglichen Ausrüstung im Gefährdungsbereich angewendet werden. Es besteht die Möglichkeit, dass die Geschwindigkeit der beweglichen Ausrüstung unter Fehlerzustände nicht berücksichtigt zu werden braucht, wenn dies bei der Risikobewertung ermittelt wurde.

Nähert sich eine Person einer Gefährdungssituation, müssen für deren Entstehung zwei voneinander unabhängige Ereignisse gleichzeitig eintreten: Zum einen streckt die Person den Arm in Richtung des Gefährdungsbereiches und gleichzeitig versagt die bewegliche Ausrüstung hinsichtlich Geschwindigkeit oder Ausdehnung, was zusammen unwahrscheinlich ist.

Die Geschwindigkeitsberechnung kann selbst unter Fehlerzustände notwendig sein, wenn Personen im Falle eines Fehlers getroffen werden können, z. B. bei der Auslegung eines eingeschränkten Arbeitsweges oder einer eingeschränkten Bewegung der Maschinenachse. Unter diesen Umständen ist eine Person anwesend, die sich jedoch nicht annähert, und ein einziger Fehler kann zu einer Gefährdungssituation führen. Derartige Erwägungen werden in diesem Dokument nicht behandelt, können aber Gegenstand von Typ-C-Normen sein.

B.5 Berechnung der Reaktionszeit des Gesamtsystems T bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung

Ein statistisches Verfahren, um 99,7 % aller Werte einer normal verteilten Grundgesamtheit abzudecken, ist die Berechnung des Mittelwertes ± 3 Stichprobenstandardabweichungen. Es sollte der größte Messwert oder der Mittelwert plus drei Stichprobenstandardabweichungen verwendet werden, je nachdem, welcher Wert größer ist. Siehe Abschnitt B.6 für ein Beispiel. Es sollte nicht ausschließlich der Mittelwert verwendet werden, da die Maschine in 50 % der Fälle eine längere Reaktionszeit des Gesamtsystems aufweisen würde.

Die Praxis, Ausreißer in den Messungen zu entfernen, wird nicht empfohlen, es sei denn, es kann sicher davon ausgegangen werden, dass der Ausreißer auf einen Fehler bei der Messung zurückzuführen ist.

B.6 Beispiel für die Auswertung einer Messung — Berechnung der Stichprobenstandardabweichung

Die Messungen der Reaktionszeiten des Systems erfolgten für eine Maschine beim Kaltstart und erneut nach dem Warmlaufen der Maschine (siehe Tabelle B.1). Bei jeder Bedingung wurden 10 Messungen der Reaktionszeit des Systems durchgeführt. Die folgenden Schritte zeigen, wie die Reaktionszeit des Systems berechnet wird.

Tabelle B.1 — Gemessene Reaktionszeiten des Systems

Messung	Reaktionszeit des Systems	
	Kaltstart der Maschine	Warmgelaufene Maschine
1	0,561	0,663
2	0,553	0,654
3	0,612	0,655
4	0,544	0,651
5	0,553	0,727
6	0,571	0,656
7	0,567	0,678
8	0,583	0,665
9	0,656	0,683
10	0,554	0,714

Schritt 1: Berechnen der Reaktionszeit des Systems unter Kaltstartbedingungen der Maschine

Der Mittelwert plus drei Stichprobenstandardabweichungen, d. h. 0,679 s, ist größer als der größte gemessene Wert der Zeit, d. h. 0,656 s, weshalb die berechnete Reaktionszeit des Systems unter Kaltstartbedingungen der Maschine 0,679 s beträgt.

Schritt 2: Berechnen der Reaktionszeit des Systems für eine Maschine unter üblichen Betriebsbedingungen

Der Mittelwert plus drei Stichprobenstandardabweichungen, d. h. 0,754 s, ist größer als der größte gemessene Wert der Zeit, d. h. 0,727 s, weshalb die berechnete Reaktionszeit des Systems unter üblichen Betriebsbedingungen 0,754 s beträgt.

Schritt 3: Vergleichen der gemessenen Reaktionszeiten des Systems

Die größte festgestellte Reaktionszeit des Systems unter üblichen Betriebsbedingungen, d. h. 0,754 s, ist größer als die größte festgestellte Reaktionszeit des Systems unter Kaltstartbedingungen, d. h. 0,679 s, weshalb der Wert von 0,754 s für die Berechnung des Trennungsabstandes verwendet werden sollte. Siehe Tabelle B.2.

Tabelle B.2 — Vergleich von Werten der Reaktionszeit des Systems

Ergebnisse der Berechnung		
Variable	s	
	Kaltstart der Maschine	Warmgelaufene Maschine
Mittelwert (\bar{x})	0,575	0,675
Stichprobenstandardabweichung (s_x)	0,034 4	0,026 5
$\bar{x} + 3 s_x$	0,679	0,754
höchster gemessener Wert	0,656	0,727
höchster festgestellter Wert	0,679	0,754
zur Berechnung des Trennungsabstandes verwendeter Wert	0,754	

Anhang C (normativ)

Einrichtungen mit mehreren Einzelstrahlen oder Anordnungen von Einzelstrahlen mit einem effektiven Detektionsvermögen $d_e > 120$ mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen — Anzahl der Strahlen und deren Höhe über der Bezugsebene ohne Höhenänderung

Für Einrichtungen mit mehreren Einzelstrahlen oder Anordnungen von Einzelstrahlen mit einem effektiven Detektionsvermögen d_e von mehr als 120 mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen, die dafür vorgesehen sind, ohne Höhenänderung den Ganzkörperzugang zu erkennen (siehe 4.3), müssen die in Tabelle C.1 oder Tabelle C.2 angegebenen Höhen angewendet werden. Tabelle C.2 darf nur in industriellen Umgebungen und nur in dem Maße angewendet werden, wie es die Risikobeurteilung erlaubt.

ANMERKUNG Diese Höhen haben sich als bester Kompromiss zwischen einer angemessenen Risikominderung und der praktikabelsten Lösung in der Anwendung herausgestellt. Nicht alle Anwendungen ermöglichen die Verwendung von Einrichtungen mit mehreren Einzelstrahlen oder Anordnungen von Einzelstrahlen mit einem effektiven Detektionsvermögen von $d_e > 120$ mm oder einem undefinierten effektiven Detektionsvermögen. Um den Zugang zum Gefährdungsbereich oder zum SRMCD zu verhindern, können weitere Schutzmaßnahmen erforderlich sein.

Tabelle C.1 — Höhen über der und parallel zur Bezugsebene

Anzahl der Strahlen	Höhen über der und parallel zur Bezugsebene, sofern nicht anders angegeben				Gilt nur für Öffnungen mit den folgenden Maßen	
	mm				mm	
	Strahl 1	Strahl 2	Strahl 3	Strahl 4	Höhe h	Breite w
4	200	500	800	1 100	uneingeschränkt	uneingeschränkt
3	200	600	1 000	—	uneingeschränkt	uneingeschränkt
2	200	400	—	—	≤ 600	uneingeschränkt
1	200	—	—	—	≤ 500	> 300
	vertikaler Strahl, $w/2$				> 500	≤ 300
	$\varnothing/2$	—	—	—	$240 \leq \varnothing \leq 500$ für runde Öffnungen	

Tabelle C.2 — Alternative Höhen über der Bezugsebene für industrielle Anwendungen, wenn diese durch eine Risikobeurteilung erlaubt sind

Anzahl der Strahlen	Höhen über der und parallel zur Bezugsebene				Gilt nur für Öffnungen mit den folgenden Maßen	
	mm				mm	
	Strahl 1	Strahl 2	Strahl 3	Strahl 4	Höhe h	Breite w
4	300	600	900	1 200	uneingeschränkt	uneingeschränkt
3	300	700	1 100	—	uneingeschränkt	uneingeschränkt

Tabelle C.2 (fortgesetzt)

Anzahl der Strahlen	Höhen über der und parallel zur Bezugsebene				Gilt nur für Öffnungen mit den folgenden Maßen	
	mm				mm	
	Strahl 1	Strahl 2	Strahl 3	Strahl 4	Höhe h	Breite w
2	200	400	—	—	≤ 600	uneingeschränkt
1	200	—	—	—	≤ 500	> 300
	vertikaler Strahl, $w/2$	—	—	—	> 500	≤ 300
	$\varnothing/2$				240 $\leq \varnothing \leq 500$ für runde Öffnungen	

Die Höhen für 2, 3 und 4 Strahlen in Tabelle C.1 und Tabelle C.2 gelten für Strahlen:

- die parallel zur Bezugsebene angeordnet sind;
- die alle in derselben Ebene liegen; und
- bei denen eine orthogonale Annäherung nach Abschnitt 7 an die resultierende Ebene erfolgt.

Anhang D (normativ)

Lieferanteninformationen hinsichtlich Zeit und Weg bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung

Wenn eine Maschine über eine Sicherheitsfunktion verfügt, die die Anhaltezeit oder den Anhalteweg begrenzt und einen Halt einleitet, bevor die festgelegte Grenze überschritten wird, dann sind die Angaben nach diesem Anhang nicht erforderlich.

ANMERKUNG 1 Hinsichtlich der Parametrierung von Grenzwerten siehe ISO 13849-1:2023, 5.2.2.7 und 6.3.

Werden Informationen über die Zeit und den Weg bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung bereitgestellt, muss die folgende Metrik für die Angabe der genormten Daten verwendet werden. Diese Informationen werden benötigt, um den Trennungsabstand zu berechnen, wenn Schutzeinrichtungen nach diesem Dokument verwendet werden. Damit diese Angaben nützlich und hilfreich sind, müssen Werte für verschiedene Stufen bis hin zu maximalen Bedingungen angegeben werden, um die tatsächlichen Betriebsbedingungen vorherzusagen.

Die Prüfungen müssen den dokumentierten Prüfbedingungen hinsichtlich der Reaktionszeit des Gesamtsystems entsprechen (siehe Anhang B) und müssen Folgendes umfassen:

- a) die Maschine muss vor der Prüfung aufgewärmt werden;
- b) die Maschine muss entsprechend den Anforderungen des Lieferanten aufgestellt werden;
- c) die Umgebungsbedingungen (z. B. Leistung, Temperatur) müssen erfüllt sein;
- d) es muss ein ordnungsgemäßes Prüfverfahren ausgearbeitet werden;
- e) das Messverfahren muss beschrieben werden.

Der Lieferant muss die Verschlechterung der Maschinenleistung zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung infolge des üblichen Gebrauchs vorhersagen und muss Empfehlungen darüber geben, wann die Maschine überholt werden sollte.

Die empfohlenen Daten betreffen Folgendes:

- die Zeit bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung muss ab dem Auslösen einer Sicherheitsfunktion bis zu dem Zeitpunkt, an dem alle gefahrbringenden Bedingungen ein annehmbares Risiko erreicht haben, bestimmt werden;
- falls validierte Werte aus Simulationen verfügbar sind, dürfen diese Werte unter Verwendung von Simulation erhalten werden.

ANMERKUNG 2 Diese Werte schwanken in Abhängigkeit von additiven Verzögerungen aufgrund der Steuerungsmerkmale und der Konfiguration (z. B. kabellose Hängebedienungstafeln).

Der Anhalteweg muss als die Gesamtstrecke, die nach dem Auslösen eines Not-Halts zurückgelegt wird, bestimmt werden. Der Weg muss in Längen- oder Winkeleinheiten angegeben werden, je nachdem, was zutrifft.

Für die Stopp-Kategorie 0 nach IEC 60204-1 reichen die Messverfahren unter Höchstbedingungen aus (z. B. Höchstgeschwindigkeit, Höchstlast und maximale Verschiebung, soweit zutreffend). Besitzt die Maschine eine Stopp-Kategorie 1 nach IEC 60204-1, müssen zusätzliche Daten oder Korrekturfaktoren vorhanden sein. Für

DIN EN ISO 13855:2025-10
EN ISO 13855:2024 (D)

die Stopp-Kategorie 1 müssen die Anhaltezeit und der Anhalteweg in Abhängigkeit von anwendungsspezifischen Faktoren (z. B. Geschwindigkeit, Nutzlast, Erweiterung) bei 100 % des Höchstwertes angegeben werden.

Eine Beschreibung, wie die Anhaltezeit oder der Anhalteweg bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung für eine bestimmte Anwendung, Maschine und/oder bestimmte Werkzeuge oder Lasten gemessen wird, ist vom Hersteller bereitzustellen.

Anhang E
(informativ)

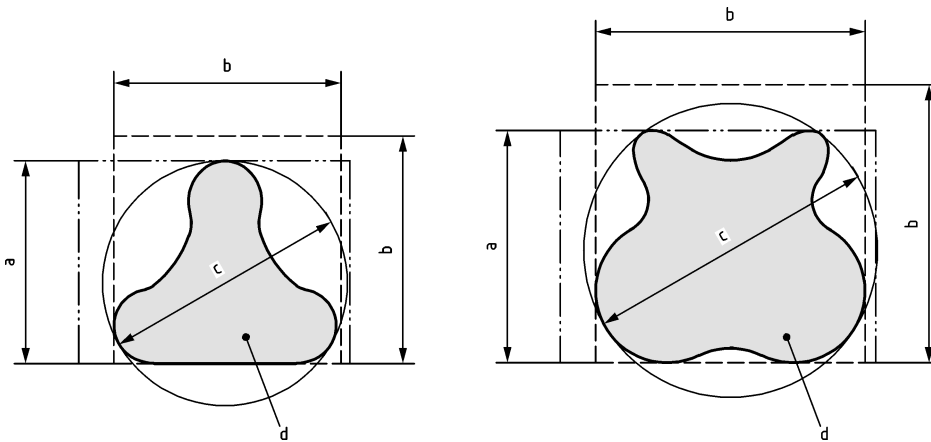
**Erläuterung der Variablen zur Bestimmung des Trennungsabstandes für
Schutzeinrichtungen**

E.1 Variablen in Abschnitt 4

Tabelle E.1 — Variablen in Abschnitt 4

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
H_S	Stufenhöhe	mm	—	2	1	—	—	—	—	—
W_S	Stufenbreite zwischen Stufenkante und Schutzfeld	mm	—	2	1	—	—	—	—	—
D_{DS}	Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung	mm	1, 6, 8, 13, 32	2, 21, 22, 23, 24, 25	—	C	—	C	—	—
e	Öffnung in einer schützenden Konstruktion	mm	38, F.2	26, 27	—	—	e	—	—	—
G_D	Abstand zwischen dem Schutzfeld und dem nächstgelegenen Hindernis	mm	—	22	—	X	—	E	—	—
d_e	effektives Detektionsvermögen	mm	18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 30	14, 20, G.2, G.3	3	d	—	d	d	d

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.



- a Schlitzförmige Öffnung.
- b Quadratische Öffnung.
- c Runde Öffnung.
- d Unregelmäßig geformte Öffnung.

Bild E.1 — Öffnungen mit unregelmäßiger Form

E.2 Variablen in Abschnitt 5

Tabelle E.2 — Variablen in Abschnitt 5

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
S	Trennungsabstand	mm	1, 6, 8, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37	5, 11, 13, 14, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26	2	S	—	S	—	S
K	Annäherungsgeschwindigkeit	mm/s	1, 6, 8, 14, 17, 25, 26, 32, 36	2, 11, 13, 14, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26	—	K	—	—	K	K
T	Reaktionszeit des Gesamtsystems	s	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37	2, 4, 11, 13, 14, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26	—	T	—	T	—	T

Tabelle E.2 (fortgesetzt)

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
$t_{SRP/CS}$	Reaktionszeit des SRP/CS oder SCS	s	2, 4, 9, 10	4	—	—	—	—	—	—
t_I	Reaktionszeit des Eingangs	s	3, 7, F.1	4	—	t_1	—	—	—	—
t_L	Reaktionszeit der SRP/CS- oder SCS-Logik	s	3, 7, F.3	4	—	t_2	—	—	—	—
t_O	Reaktionszeit des SRP/CS- oder SCS-Ausgangs	s	3, 7	4	—	t_2	—	—	—	—
t_{ME}	Reaktionszeit der Maschine	s	2	4	—	t_2	—	—	—	—
t_D	Reaktionszeit in Bezug auf die Abführung der Quellenenergie	s	3, 7	4	—	—	—	—	—	—
t_R	Reaktionszeit in Bezug auf die mechanische Reaktion	s	3, 7	4	—	—	—	—	—	—
t_M	Reaktionszeit in Bezug auf die mechanische Trägheit	s	3, 7, 9	4	—	t_2	—	—	—	—
t_F	Zeit in Zusammenhang mit einem Toleranzfaktor für die Maschine	s	2, 3, 5, 7	4	—	—	—	—	—	—
T_m	Reaktionszeit des Gesamtsystems, ermittelt durch Messung	s	5	4	—	—	—	—	—	—
t_{SF}	Zeitverzögerung von der Einleitung einer Sicherheitsfunktion	s	4	—	—	—	—	—	—	—
Z	anwendungsabhängiger zusätzlicher Entfernungsfaktor	mm	1, 8, 14, 15, 16, 17, 19 bis 24, 26 bis 29, 31 bis 37, 41	2, 21, 22	—	—	—	—	—	—
Z_G	Ergänzung für allgemeine Gerätemessfehler	mm	6	—	—	—	—	—	—	C_{TZ}
Z_M	Ergänzung für Positionsunsicherheit der Maschine	mm	—	—	—	—	—	—	—	—
Z_P	Ergänzung für Positionsunsicherheit der Person	mm	—	—	—	—	—	—	—	—
Z_R	Ergänzung für reflexionsbedingte Messfehler	mm	6	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle E.2 (fortgesetzt)

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
Z_F	Ergänzung für fehlende Bodenfreiheit der beweglichen Maschine	mm	6	—	—	—	—	—	—	—
Z_B	Ergänzung für abnehmendes Bremsmoment der beweglichen Maschine	mm	6	—	—	—	—	—	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

E.3 Variablen in Abschnitt 6

Tabelle E.3 — Variablen in Abschnitt 6

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
t_S	Abtastintervall der Steuerung	s	7	—	—	—	—	—	—	—
v_0	Anfangsgeschwindigkeit der Maschine	mm/s	9, 10	—	—	—	—	—	—	—
v_{\max}	Höchstgeschwindigkeit der Maschine	mm/s	10, 11	—	—	—	—	—	—	—
a	Bekannte mögliche Beschleunigung der Maschine	mm/s ²	9	—	—	—	—	—	—	—
d	Bekannte mögliche Verzögerung (Bremsvermögen) der Maschine	mm/s ²	9, 10, 11	—	—	—	—	—	—	—
S_A	Trennungsabstand bei dynamischer Annäherung	mm	—	5	—	—	—	—	—	—

Tabelle E.3 (fortgesetzt)

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
S_M	Änderung der Position der Gefährdung (von der Maschine zurückgelegte Entfernung, bis die vorgesehene Risikominderung erreicht ist)	mm	12	5	—	—	—	—	—	—
S_P	Änderung der Position der Person (von der Person zurückgelegte Entfernung, bis die vorgesehene Risikominderung erreicht ist)	mm	12	5	—	—	—	—	—	—
T_0	Zeit, bei der die Sicherheitsfunktion bei Position P_1 ausgelöst wird	s	—	5	—	—	—	—	—	—
T_1	Zeit, bei der die vorgesehene Risikominderung erreicht ist	s	—	5	—	—	—	—	—	—
P_0	Koordinatenursprung	—	—	5	—	—	—	—	—	—
P_1	Position der Person, wenn die Sicherheitsfunktion bei der Zeit T_0 ausgelöst wird	—	—	5	—	—	—	—	—	—
P_2	Position der Maschinengefährdung, wenn die Sicherheitsfunktion bei der Zeit T_0 ausgelöst wird	—	—	5	—	—	—	—	—	—
P_3	Position der Maschinengefährdung, wenn die vorgesehene Risikominderung bei der Zeit T_1 erreicht wird	—	—	5	—	—	—	—	—	—
α	Annäherungswinkel der Gefährdung	Grad	—	5	—	—	—	—	—	—
β	Annäherungswinkel der Person	Grad	—	5	—	—	—	—	—	—
γ	Winkel zwischen der Bewegung der Gefährdung und der Bewegung der Person	Grad	—	5	—	—	—	—	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

E.4 Variablen in Abschnitt 7

Tabelle E.4 — Variablen in Abschnitt 7

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
θ	Winkel des Schutzfeldes im Verhältnis zur Annäherungsrichtung	Grad	—	8	—	—	—	—	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

E.5 Variablen in Abschnitt 8

Tabelle E.5 — Variablen in Abschnitt 8

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
D_{DO}	Erreichbarkeitsabstand über ein vertikales Schutzfeld	mm	13, 14, 15, 16	9, 11	2	C_{RO}	—	—	—	—
D_{GO}	Erreichbarkeitsabstand über eine schützende Konstruktion	mm	—	12	—	—	s_h	—	—	—
D_{DT}	Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld	mm	—	9, 13, 14, 15, G.2, G.3	—	C_{RT}	—	—	—	—
D_{DU}	Erreichbarkeitsabstand unter einem vertikalen Schutzfeld	mm	—	9, 26, 27	3	—	—	—	—	—
D_{GU}	Erreichbarkeitsabstand unter einer schützenden Konstruktion	mm	—	19	4	—	s_r	—	—	—
H_{DT}	Höhe der Oberkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene	mm	—	11	2	b	—	A1	—	b
H_{GT}	Höhe der Oberkante der schützenden Konstruktion über der Bezugsebene	mm	—	12	—	—	h_{ps} b	—	—	—

Tabelle E.5 (fortgesetzt)

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
H_{DB}	Höhe der Unterkante des Schutzfeldes über der Bezugsebene	mm	27, 28	18	3	—	—	A2	—	a
H_{GB}	Höhe der Unterkante der schützenden Konstruktion über der Bezugsebene	mm	—	19	4	—	h	—	—	—
H_H	Höhe des Gefährdungsbereiches über der Bezugsebene	mm	—	11, 12, 18, 19	2, 3, 4	A	h h_h a	B1 B2	—	—
l_1, l_2, l_3	kürzeste Strecke um Hindernisse herum	mm	25	16	—	l_1, l_2, l_3	—	—	—	—
S_1	Abstand von l_1 , projiziert auf eine waagerechte Ebene	mm	—	16	—	S_1	—	—	—	—
S_2	Abstand von l_2 , projiziert auf eine waagerechte Ebene	mm	—	16	—	S_2	—	—	—	—
S_3	Abstand von l_3 , projiziert auf eine waagerechte Ebene	mm	—	16	—	S_3	—	—	—	—
S^*	bei Annäherung tatsächlich zurückgelegte Strecke	mm	25	16	—	S^*	—	—	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

E.6 Variablen in Abschnitt 9

Tabelle E.6 — Variablen in Abschnitt 9

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
H_D	Höhe des horizontalen Schutzfeldes über der Bezugsebene	mm	30	19, 20	—	H	—	H	—	H
F_D	Tiefe des horizontalen Schutzfeldes	mm	—	22	—	—	—	A	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

E.7 Variablen in Abschnitt 12

Tabelle E.7 — Variablen in Abschnitt 12

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
D_{GT}	Erreichbarkeitsabstand durch die schützende Konstruktion (z. B. verriegelte trennende Schutzeinrichtung)	mm	36, 37	26	—	—	s_r	—	—	—
ω	Betätigungswinkel der Verriegelungseinrichtung mit durch Kurvenscheibe betätigtem Positionsschalter	Grad	39, 40	27	5	—	—	—	—	—
G_T	Dicke der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung	mm	38, 40	27	—	—	—	—	—	—
G_W	Breite der verriegelten trennenden Schutzeinrichtung	mm	39, 40	27	5	—	—	—	—	—
t_{DY}	Verzögerung der Freigabezeit der Zuhaltungseinrichtung	s	41							

E.8 Variablen in Anhang B

Tabelle E.8 — Variablen in Anhang B

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
s_x	Stichprobenstandardabweichung	—	—	—	B.2	—	—	—	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

E.9 Variablen in Anhang F

Tabelle E.9 — Variablen in Anhang F

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
t_3	Öffnungszeit in Zusammenhang mit kraftbetätigten trennenden Schutzeinrichtungen	s	F.2	—	—	t_3	—	—	—	—
v_G	Geschwindigkeit der Öffnungsbewegung der kraftbetätigten trennenden Schutzeinrichtung	mm/s	F.2	—	—	v	—	—	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

E.10 Variablen in Anhang G

Tabelle E.10 — Variablen in Anhang G

Variable	Parameter	In diesem Dokument verwendet				In anderen Verweisungen verwendet				
		Einheiten	Bezugsgleichung(en)	Bezugsbild(er)	Bezugstabelle(n)	ISO 13855:2010 ^a	ISO 13857:2019	IEC 62046:2018	IEC 61496-2:2020	IEC 61496-3:2018
H	Höhe über der Bezugsebene	mm	G.1	G.1	—	—	—	—	—	—

^a Wird bei Veröffentlichung dieser Ausgabe zurückgezogen.

Anhang F (normativ)

Zeitfaktoren der Reaktionszeit des Gesamtsystems bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung

F.1 Allgemeines

Die Reaktionszeit des Gesamtsystems T ist das Zeitintervall zwischen dem Auslösen der Eingangsfunktion am SRP/CS oder SCS und dem Erreichen der vorgesehenen Risikominderung. Siehe 5.4, Gleichung (1), und Anhang A.

T enthält Zeitabschnitte, die je nach Maschinentyp, der/den angewendeten Schutzeinrichtung(en) und den Elementen des SRP/CS oder SCS, die an der/den Sicherheitsfunktion(en) beteiligt sind, variieren. Siehe Bild 4.

F.2 Elemente der Reaktionszeit des Gesamtsystems T

F.2.1 Reaktionszeit des Eingangs t_1

F.2.1.1 Allgemeines

Schutzeinrichtungen weisen eine Verzögerung von dem Zeitpunkt, an dem sie die Anwesenheit oder Abwesenheit (bei Handbedienungen) von Personen feststellen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Ausgang seinen Zustand ändert (von EIN zu AUS), auf. Die Zeit t_1 ist die Summe der Reaktionszeiten aller in Reihe geschalteten Schutzeinrichtungen, wie in Gleichung (F.1) dargestellt:

$$t_1 = (t_{11} + t_{12} + t_{13} + \dots) \quad (\text{F.1})$$

Die maximale Reaktionszeit der Schutzeinrichtung(en), ohne Berücksichtigung der Schnittstellen, wird vom Hersteller angegeben.

F.2.1.2 Öffnungszeit in Zusammenhang mit kraftbetätigten trennenden Schutzeinrichtungen t_3

In einigen Fällen darf T um die Öffnungszeit in Zusammenhang mit kraftbetätigten trennenden Schutzeinrichtungen t_3 verringert werden, die erforderlich ist, um die kraftbetätigte trennende Schutzeinrichtung so weit zu öffnen, dass die Öffnungsweite den Zugang der entsprechenden Körperteile ermöglicht. Die in ISO 13857:2019, Tabelle 4, angegebenen Öffnungsweiten e müssen berücksichtigt werden. Die Berechnung muss mit dem kleinsten Körperteil beginnen, der den Gefährdungsbereich erreichen kann.

Die Öffnungszeit in Zusammenhang mit kraftbetätigten trennenden Schutzeinrichtungen t_3 muss durch Berechnung oder Prüfung ermittelt werden. Wenn der Wert t_3 für kraftbetätigte trennende Schutzeinrichtungen (einschließlich verriegelter Rolltore) berechnet wird, muss Gleichung (F.2) angewendet werden:

$$t_3 = \frac{e}{v_G} \quad (\text{F.2})$$

Dabei ist

e die Öffnungsweite, in mm;

v_G die Geschwindigkeit der Öffnungsbewegung der kraftbetätigten verriegelten trennenden Schutzeinrichtung, in mm/s.

ANMERKUNG Ein zu großer Trennungsabstand kann durch die Verwendung einer verriegelten trennenden Schutzeinrichtung mit Zuhaltung verringert werden (siehe ISO 14119).

F.2.2 Reaktionszeit der SRP/CS- oder SCS-Logik t_L

Die Schnittstelle(n) zwischen der/den Schutzeinrichtung(en) und dem Ausgang des SRP/CS oder SCS weist/weisen ebenfalls eine Verzögerung von dem Zeitpunkt, an dem eine Eingabe empfangen wird, bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich der Zustand des Ausgangs ändert (von EIN zu AUS), auf. Diese Zeit t_L ist die Summe der Reaktionszeiten aller in Reihe geschalteten Schnittstellen, siehe Gleichung (F.3).

$$t_L = (t_{L1} + t_{L2} + t_{L3} + \dots) \quad (\text{F.3})$$

Die maximale Reaktionszeit der Schnittstelle(n), ohne Berücksichtigung der Schutzeinrichtung, wird vom Lieferanten angegeben.

F.2.3 Reaktionszeit des SRP/CS- oder SCS-Ausgangs t_0

Die Reaktionszeit des SRP/CS- oder SCS-Ausgangs t_0 umfasst eine Verzögerung von der Auslösung der Eingänge und der Systemlogik, welche das Signal zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung gibt, bis der Ausgang das Stellteil abschaltet.

F.2.4 Reaktionszeit der Maschine t_{ME}

Die Reaktionszeit der Maschine t_{ME} hängt von der konstruktiven Gestaltung der Maschine wie folgt ab:

- a) Im Fall von Maschinen mit kraftschlüssigem Kupplungsantrieb oder im Fall von Maschinen, die an jedem beliebigen Punkt des Maschinenzyklus angehalten werden können, entspricht die Reaktionszeit der Maschine t_{ME} der Zeit, die erforderlich ist, um einen Halt zu erzielen [siehe Punkt b)]. Falls Wirbelstromkupplungen oder andere elektromagnetische Kupplungen verwendet werden, siehe Punkt c).
- b) Die Reaktionszeit der Maschine t_{ME} ist die Summe von:
 - der Zeit, die benötigt wird, um auszukuppeln,
 - der Zeit, die benötigt wird, um die Bremse anzulegen; und
 - der Zeit, die die Bremse benötigt, um die gefahrbringende Bewegung in einen Zustand zu überführen, in dem die vorgesehene Risikominderung erreicht ist.
- c) Die Reaktionszeit der Maschine t_{ME} bei direkt angetriebenen, motorgetriebenen Maschinen mit Vollspannungsmotoren, Wirbelstrombremsen, Hilfsregelsystemen, Vektorsystemen oder anderen Systemen mit veränderlicher Drehzahl entspricht der Zeit, die benötigt wird, um die vorgesehene Risikominderung zu erreichen, nachdem das Signal an das Motorschutz oder das Antriebssystem gegeben wurde. Die Zeit sollte sowohl nicht geregelte Halte (der Kategorie 0) ohne Bremsung und geregelte Halte (der Kategorie 1 und Kategorie 2) einschließlich dynamischer Bremsung berücksichtigen. Siehe IEC 60204-1 und IEC 61800-5-2.
- d) Die Reaktionszeit der Maschine t_{ME} bei Maschinen, die durch pneumatische oder hydraulische Ventile betätigt bzw. gesteuert werden, muss die Reaktionszeit des Ventils enthalten, die von dem Zeitpunkt, an dem das Ventil abgeschaltet wurde, bis zu dem Zeitpunkt, an dem die vorgesehene Risikominderung erreicht ist, gemessen wird. Die Zeit bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung für Systeme mit Ventilen kann durch hohe oder niedrige Arbeitsdrücke, Auslassbeschränkungen, schwergängige Schieber oder Kolben oder die Leistung der Vorsteuerventile beeinflusst werden.

F.2.5 Zeit in Zusammenhang mit einem Toleranzfaktor t_F für die Maschine

Es werden Leistungsüberwachungssysteme verwendet, um sicherzustellen, dass ein schrittweiser Anstieg der Zeit bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung, der auf die Verschlechterung von Bauteilen zurückzuführen ist, nicht die Zeit überschreitet, die zur Berechnung des Trennungsabstandes der Schutzeinrichtung verwendet wurde. Die Reaktionszeit am Ende eines Maschinenzklus ist üblicherweise eine andere als die Reaktionszeit während des/der gefahrbringenden Abschnitte(s) des Maschinenzklus, und da diese Zeiten wegen solcher Faktoren wie Maschinenträgheit, Werkzeuglast und Energieübertragung auf das Werkstück variieren können, wird ein Faktor t_F angewendet. Wenn ein Leistungsüberwachungssystem entsprechend der einschlägigen Typ-C-Norm angewendet wird, muss der berechnete Faktor t_F zu der Gesamtzeit, die zur Berechnung des Trennungsabstandes verwendet wird, addiert werden.

F.3 Verwendung von Geräten zur Messung der Reaktionszeit des Gesamtsystems

Häufig werden Messgeräte verwendet, um die Reaktionszeit des Gesamtsystems oder in Abschnitt F.2 aufgeführte Elemente zu messen. Bei Verwendung dieser Messgeräte darf t_M vom Ausgang der Steuerung des Stellteils bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung gemessen werden. Ähnlich dürfen $t_0 + t_M$ vom Eingang der Steuerung des Stellteils bis zum Erreichen der vorgesehenen Risikominderung gemessen werden. Die Messgeräte für die Messung der Anhaltezeit können Druckstücke oder Fahnen umfassen, mit denen die Betätigung einer Schutzeinrichtung durch eine Person simuliert wird. Bei Verwendung dieser Art von Messgeräten ist es möglich, die Reaktionszeit des Gesamtsystems T zu messen, vorausgesetzt, es gibt ein automatisches Mittel, um festzustellen, ob die vorgesehene Risikominderung erreicht worden ist. Gemessen wird die tatsächliche Reaktionszeit des Gesamtsystems zum Zeitpunkt der Messung. Die angegebene Reaktionszeit der Schutzeinrichtung kann größer sein als die gemessene Reaktionszeit.

F.4 Anwendung der Reaktionszeit des Gesamtsystems auf verriegelte trennende Schutzeinrichtungen mit Zuhaltung

Wenn eine verriegelte trennende Schutzeinrichtung mit einer Zuhaltung versehen ist, und eine Zeitverzögerung angewendet wird, um die Zuhaltung zu lösen, sollte die Reaktionszeit des Gesamtsystems T verwendet werden, um die Zeitverzögerung beim Lösen der Zuhaltung zu bestimmen.

Anhang G (informativ)

Erläuterungen der in diesem Dokument angewendeten Gleichungen und Werte

G.1 Bezugsebenen

G.1.1 Allgemeines

Siehe 4.3, Tabelle 1, Tabellenfußnoten a bis c.

G.1.2 Wert a — Kleinste Stufenbreite

Eine Oberfläche mit der Breite von 50 mm kann als eine Stufe verwendet werden. Der Wert wurde vom P5-Wert (5. Perzentil) der Fersenbreite nach DIN 33402-2:2020-12, Tabelle 60, abgeleitet und abgerundet, um kleinere Personen zu berücksichtigen.

G.1.3 Wert b — Kleinste Höhe von Hindernissen

Eine Oberfläche, die nicht mehr als 1 000 mm über der Bezugsebene liegt, gilt als eine unzureichende Einschränkung der Bewegung des Körpers, die es somit ermöglicht, über sie hinüberzusteigen oder hinüberzuklettern. Der Wert wurde aus ISO 13857:2019, Tabelle 1, Fußnote a, und Tabelle 2, Fußnote b, übernommen.

G.1.4 Wert c — Höhenunterschied mit Sturzrisiko

Ein Höhenunterschied zwischen den Oberflächen von 500 mm oder mehr birgt ein Sturzrisiko. Der Wert wurde aus ISO 14122-2:2016, 4.23, übernommen.

G.2 Breite des Beins im Verhältnis zur Beinhöhe

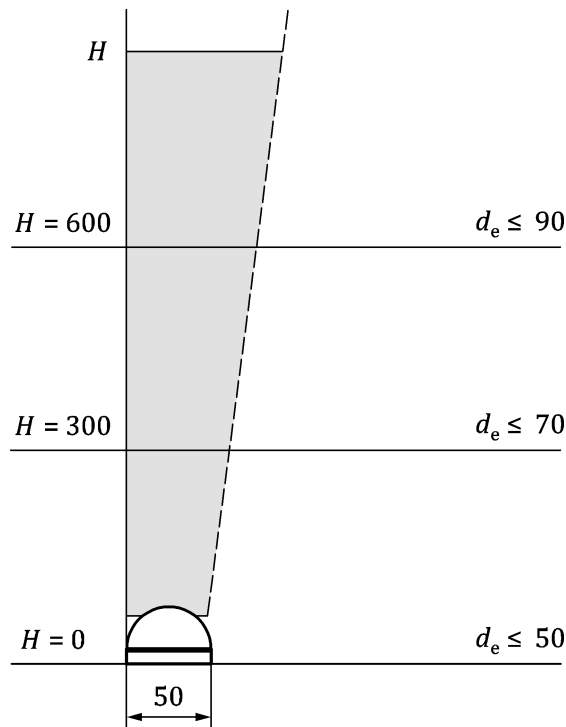
Siehe 9.2.

Die mit der Beinhöhe zunehmende Breite des Beins wird durch Gleichung (G.1) dargestellt:

$$G_D = \left(\frac{H}{15} \right) + 50 \quad (\text{G.1})$$

Dabei steht der addierte Wert von 50 mm für das kleinste Profil des Beins (Ferse des Fußes, siehe Abschnitt G.1).

Bild G.1 veranschaulicht Gleichung (G.1).



Legende

H Höhe über der Bezugsebene

d_e effektives Detektionsvermögen

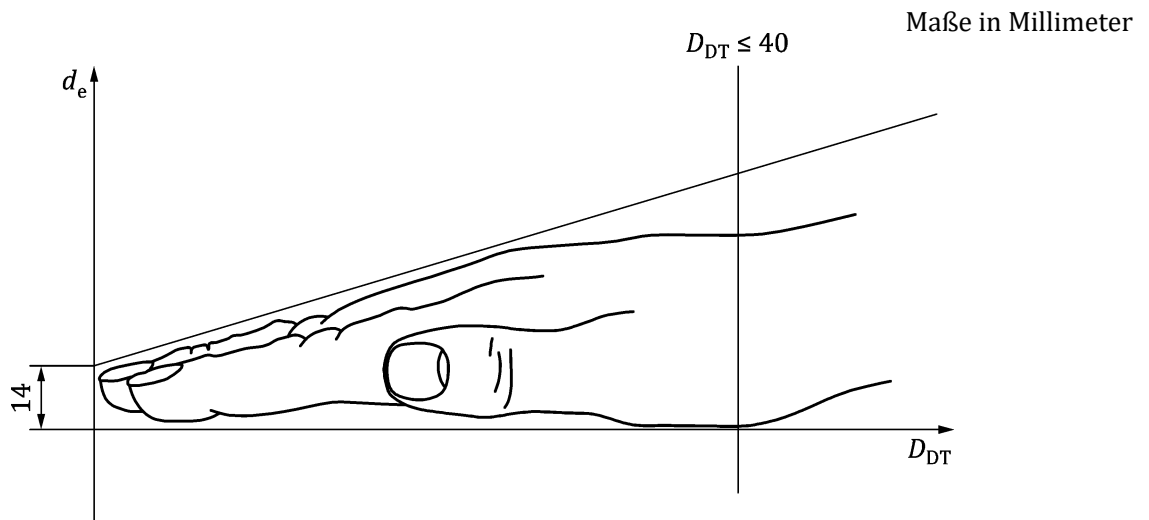
Bild G.1 — Darstellung des Beindurchmessers (Breite) im Verhältnis zur Höhe

G.3 Erreichbarkeitsabstand D_{DT} beim Hindurchgreifen durch vertikale Schutzfelder mit den oberen Gliedmaßen

G.3.1 Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld D_{DT} bei effektivem Detektionsvermögen $d_e \leq 40$ mm

Siehe 8.3.

Gleichung (18), $D_{DT} = 8(d_e - 14)$, ist eine mathematische Darstellung der Handdicke im Verhältnis zur Eindringtiefe, wie in Bild G.2 gezeigt. Bei der Daumenwurzel verringert sich das Dickenverhältnis und deshalb ist die Anwendung der Gleichung auf ein effektives Detektionsvermögen von bis zu 40 mm beschränkt.



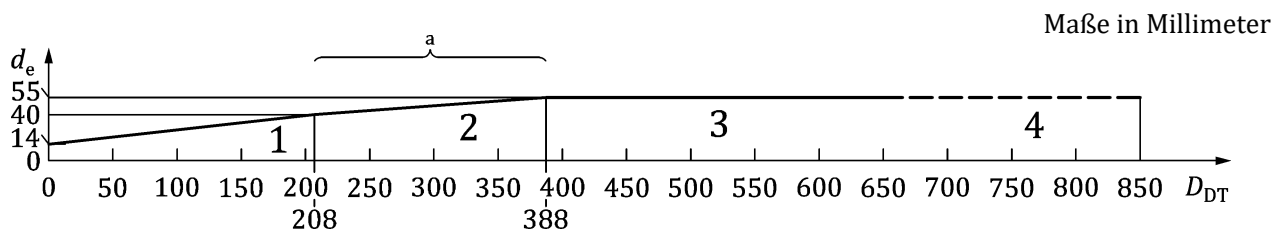
Legende

D_{DT} Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld
 d_e effektives Detektionsvermögen

Bild G.2 — Darstellung der Handdicke im Verhältnis zur Eindringtiefe

G.3.2 Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld D_{DT} bei effektivem Detektionsvermögen von $40 \text{ mm} < d_e \leq 55 \text{ mm}$

Die Gleichung $D_{DT} = 12 (d_e - 40)$ ist eine mathematische Darstellung der zunehmenden Armdicke im Verhältnis zur Eindringtiefe beginnend am Handgelenk, wie im Unterarmbereich in Bild G.3 gezeigt. Da die Gleichung für effektive Detektionsvermögen $d_e > 40 \text{ mm}$ anzuwenden ist, muss der Erreichbarkeitsabstand, der sich aus der Anwendung von Gleichung (18) mit diesem Wert ergibt, $(8 \times [40 - 14]) = 208 \text{ mm}$, zu dem Eindringfaktor addiert werden, der sich aus der Gleichung ergibt, wodurch sich $D_{DT} = 12 (d_e - 40) + 208$ ergibt. Die Armdicke kann sich hinter dem Ellbogen nicht erhöhen und deshalb ist die Anwendung der Gleichung auf ein effektives Detektionsvermögen von bis zu 55 mm beschränkt.



Legende

- 1 Hand
- 2 Unterarm
- 3 Oberarm
- 4 Schulter(-bereich)

^a $D_{DT} = 12(d_e - 40) \text{ mm} + 208 \text{ mm}$.

Bild G.3 — Erreichbarkeitsabstand nach effektivem Detektionsvermögen

G.3.3 Erreichbarkeitsabstand durch ein vertikales Schutzfeld D_{DT} bei effektivem Detektionsvermögen $d_e > 55$ mm

Eine Einrichtung mit einem effektiven Detektionsvermögen d_e über 55 mm gilt als außerstande, den Arm einer Person unter allen vorhersehbaren Umständen verlässlich zu erkennen. Deshalb ist bei solchen Geräten der Erreichbarkeitsabstand gleich der Armlänge, mit einem Wert von 850 mm nach ISO 13857:2019.

G.4 Erreichbarkeitsabstand D_{DS} bei Zweihandschaltungen, die Eindringen nicht verhindern

Siehe 10.1.

Wenn eine Zweihandschaltung die Betätigung mit dem/den Unterarm(en) oder dem/den Ellbogen nach ISO 13851:2019, 7.4, nicht verhindert, wird der Erreichbarkeitsabstand D_{DS} anhand des Abstands vom Ellbogen bis zu den Fingerspitzen bestimmt, der nach ISO 13851:2019, 7.3, mit 550 mm angegeben ist.

G.5 Erreichbarkeitsabstand D_{DS} beim Hinübergreifen über parallele Schutzfelder

Siehe 9.3.

Der Wert $D_{DS} = 1\ 200$ mm stellt den Erreichbarkeitsabstand beim Hinübergreifen über ein Schutzfeld parallel zur Bezugsebene dar, die sich aus Folgendem ergibt:

- a) Beugen des Oberkörpers und Ausstrecken des Arms über ein Schutzfeld, über das nicht hinübergestiegen werden kann; oder
- b) Hinübersteigen über ein Schutzfeld mit ausgestrecktem Arm.

Literaturhinweise

- [1] ISO 7250-3, *Basic human body measurements for technological design — Part 3: Worldwide and regional design ranges for use in product standards*
- [2] ISO 11161, *Safety of machinery — Integrated manufacturing systems — Basic requirements*
- [3] ISO 13849-1:2023, *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design*
- [4] ISO 13849-2, *Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 2: Validation*
- [5] ISO 13851:2019, *Safety of machinery — Two-hand control devices — Principles for design and selection*
- [6] ISO 13854, *Safety of machinery — Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body*
- [7] ISO 13856-1, *Safety of machinery — Pressure-sensitive protective devices — Part 1: General principles for design and testing of pressure-sensitive mats and pressure-sensitive floors*
- [8] ISO 14119, *Safety of machinery — Interlocking devices associated with guards — Principles for design and selection*
- [9] ISO 14120, *Safety of machinery — Guards — General requirements for the design and construction of fixed and movable guards*
- [10] ISO 14122-2:2016, *Safety of machinery — Permanent means of access to machinery — Part 2: Working platforms and walkways*
- [11] ISO/TS 15066, *Robots and robotic devices — Collaborative robots*
- [12] ISO 15534-1, *Ergonomic design for the safety of machinery — Part 1: Principles for determining the dimensions required for openings for whole-body access into machinery*
- [13] ISO 15534-2, *Ergonomic design for the safety of machinery — Part 2: Principles for determining the dimensions required for access openings*
- [14] ISO 15534-3, *Ergonomic design for the safety of machinery — Part 3: Anthropometric data*
- [15] IEC 60204-1, *Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements*
- [16] IEC 61496-1:2020, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 1: General requirements and tests*
- [17] IEC 61496-2:2020, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)*
- [18] IEC 61496-3:2018, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 3: Particular requirements for active opto-electronic protective devices responsive to diffuse reflection (AOPDDR)*
- [19] IEC/TS 61496-4-2, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 4-2: Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD) — Additional requirements when using reference pattern techniques (VBPDPP)*
- [20] IEC/TS 61496-4-3, *Safety of machinery — Electro-sensitive protective equipment — Part 4-3: Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD) — Additional requirements when using stereo vision techniques (VBPDST)*

- [21] IEC 61800-5-2, *Adjustable speed electrical power drive systems — Part 5-2: Safety requirements — Functional*
- [22] IEC 62046:2018, *Safety of machinery — Application of protective equipment to detect the presence of persons*
- [23] IEC 62061:2021, *Safety of machinery — Functional safety of electrical, electronic and programmable control systems for machinery*^{N1}
- [24] EN 12203, *Maschinen zur Herstellung von Schuhen, Leder- und Kunstlederwaren — Schuh- und Lederpressen — Sicherheitsanforderungen*
- [25] EN 12453, *Tore — Nutzungssicherheit kraftbetätigter Tore — Anforderungen und Prüfverfahren*
- [26] ANSI B11.19, *Performance Requirements For Risk Reduction Measures: Safeguarding And Other Means Of Reducing Risk*
- [27] DIN 33402-2, 2020, *Ergonomie — Körpermaße des Menschen — Teil 2: Werte*
- [28] „Reaching over ESPE and indirect approach to hazardous zones“; Forschungsarbeit der Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd, Fachausschuss Maschinenbau Fertigungssysteme und Stahlbau (FA MFS), W.Th. Römheldstr.15; D-55130 Mainz; DOK 612.1:2008 <http://www.bg-metall.de/>
- [29] DGUV FB HM-072 „3D safety zone: positioning of ESPE — Determination of safety distance following DIN EN ISO 13855“, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Sachgebiet „Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation“ im Fachbereich „Holz und Metall“ der DGUV, Glinkastraße 40 10117 Berlin; 2020
- [30] IRSST R-956. „Study of Machine Safety for Reduced-Speed or Reduced-Force Work“; Y. Chinniah, B. Aucourt, R. Bourbonnière, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 505 De Maisonneuve Blvd. West, Montréal, Québec, H3A 3C2, 2017 <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-956.pdf>
- [31] 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 Dezember 2014
- [32] BG/BGIA Risk assessment recommendations according to machinery directive. „Design of workplaces with collaborative robots.“ U 001/ 2009e October 2009 edition, revised February 2011 https://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bg_bgia_empf_u_001e.pdf
- [33] MEWES, D. AND F. MAUSER: „Safeguarding Crushing Points by Limitation of Forces.“ International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2003, 9. (2): 177-191
- [34] SUITA K. YAMADA Y., TSUCHIDA N., IMAI K., IKEDA H., SUGIMOTO N. „A failure-to-safety „Kyozon“ system with simple contact detection and stop capabilities for safe human-autonomous robot coexistence“, Proc. of 1995 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol. 3 (1995) pp. 3089-3096
- [35] YAMADA Y., SUITA K., IKEDA H., SUGIMOTO N., MIURA H., NAKAMURA H.: „Evaluation of pain tolerance based on a biomechanical method for human-robot coexistence“, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. Series C, Vol. 63, No. 612 (1997) pp. 2814-2819

N1 Nationale Fußnote: Der Titel von IEC 62061:2021 lautet *Safety of machinery — Functional safety of safety-related control systems*.

- [36] ISO 12895¹, *Safety of machinery — Identification of whole body access and prevention of derived risks*

1 In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: ISO/DIS 12895.