

3D-Schutzraum: Anordnung der BWS

Bestimmung des Trennungsabstands in Anlehnung an DIN EN ISO 13855

Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation, Stand: 08.01.2026

Diese Fachbereich AKTUELL dient der Information von Herstellern und Betreibern von Maschinen, bei denen gefährbringende Bewegungen durch berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS) mit dreidimensionalem Schutzraum, z. B. Kamerasysteme oder 3D-Laserscanner, abgesichert werden.

Die DIN EN ISO 13855 regelt die Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf die Annäherung des menschlichen Körpers und insbesondere die erforderlichen Trennungsabstände zwischen Schutzeinrichtung und Gefährdungsbereich. In der Norm sind BWS mit eindimensionalem oder zweidimensionalem Schutzfeld (Lichtschranken, Lichtvorhänge, 2D-Laserscanner) berücksichtigt und deren Anordnung wird eindeutig beschrieben.

3D-Systeme mit volumetrischer Erfassung werden in der aktuellen Ausgabe der DIN EN ISO 13855:2025-10 [2] erwähnt, besondere Aspekte zur Anordnung von Schutzräumen werden jedoch nicht spezifiziert.

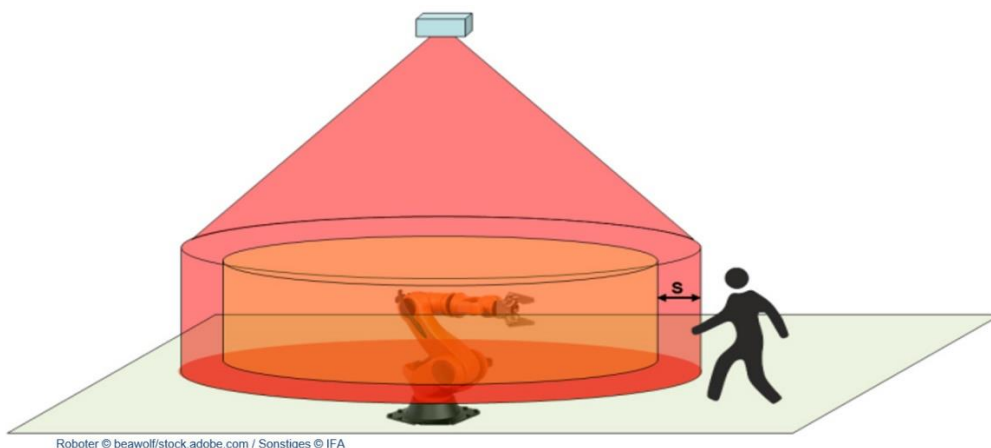


Abbildung 1 – Eine über dem Roboter installierte 3D-BWS (blau) überwacht einen zylindrischen Schutzraum (rot) mit aufgesetztem Kegel

In einem gemeinsamen Projekt des FBHM und des IFA wurde ein typischer Montagearbeitsprozess mit Hilfe virtueller Realität simuliert und mit Testpersonen untersucht. Die zeitlich getrennte Kollaboration einer Bedienperson mit einem Drehtisch und einem Roboter wurde dabei durch eine 3D-BWS abgesichert. Die Untersuchungsergebnisse geben Hinweise auf die praktische Anwendung der DIN EN ISO 13855 bei 3D-Schutzräumen. In einer Projekterweiterung wurde die Umgehbarkeit von Schutzräumen überprüft.

Inhaltsverzeichnis

1	Trennungsabstände bei dreidimensionalen Schutzräumen	2
2	Beispiel für die Angleichung der Regeln aus DIN EN ISO 13855 für einen 3D-Schutzraum.....	3
2.1	Trennungsabstand S	4
2.2	Erreichbarkeitsabstand durch ein Schutzfeld D_{DT}	6
2.3	Anwendung auf das Beispiel	6
2.4	Kugelförmiger Schutzraum	7
2.5	Kegelförmiger / pyramidenförmiger Schutzraum	7
2.6	Empfehlungen	8
3	Gestaltungsempfehlungen für 3D-Schutzräume und ihre Markierung	8
4	Bodenabstand von Schutzfeldern und Schutzräumen	9
5	Untersuchungen durch das IFA	9
5.1	Projekt IFA 5116	9
5.2	Projekt IFA 5125	10
6	Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen	11

1 Trennungsabstände bei dreidimensionalen Schutzräumen

Die Methoden zur Ermittlung des erforderlichen Trennungsabstands zwischen der Position einer BWS und dem Gefährdungsbereich lassen sich gemäß DIN EN ISO 13855 grundsätzlich auch auf 3D-Schutzräume anwenden, bedürfen jedoch teilweise einer Anpassung oder Erweiterung.

Zusätzliche Zuschläge zum Trennungsabstand sind jeweils in den Anhängen AA der DIN EN IEC 61496-3 [3] und der DIN IEC/TS 61496-4-3 [5] sowie in Abschnitt 5.6 der DIN EN ISO 13855:2025-10 [2] beschrieben. Eine Ausnahme bildet in [2] der **Zuschlag d** , der berücksichtigt, dass ein zu erkennendes Objekt bzw. ein menschliches Körperteil technisch bedingt teilweise oder vollständig in den Schutzraum eingedrungen sein muss, um sicher erkannt zu werden.

In der praktischen Anwendung sind im Detail einige Besonderheiten zu beachten. Zum Beispiel bezieht sich die Annäherungsrichtung nicht auf die Ausrichtung des Schutzraums, sondern auf die zur Bedienperson orientierte Grenzfläche. Gemäß DIN EN ISO 13855:2025-10, Abschnitt 7, muss die Annäherungsrichtung der Person die Grenzfläche einer 3D-BWS berücksichtigen, die den Schutzraum am Erfassungspunkt begrenzt. Weiterhin ist bei einer optimal an die Form und Position des Gefährdungsbereichs angepassten Gestaltung des Schutzraums kein Herum-, Hinüber- bzw. Untergreifen mehr möglich.

Die in der Norm festgelegte Schrittgeschwindigkeit von 1600 mm/s wird auch für 3D-Schutzräume angenommen.

Die Trennungsabstände können bei dreidimensionalen Schutzräumen (3D) prinzipiell nach denselben Methoden ermittelt werden wie bei zweidimensionalen Schutzfelder (2D).

Für Lidar-Systeme (3D-AOPDDR) sind die Anforderungen der DIN EN IEC 61496-3 zu beachten. Im Anhang AA der vierten Edition, Ausgabestand 2025 [4], sind wichtige Änderungen der DIN EN ISO 13855:2025-10 bereits berücksichtigt. Dies betrifft insbesondere anwendungsabhängige Zuschläge, die in der Grundformel für den Trennungsabstand berücksichtigt werden müssen. Dieser Aspekt wird in Kapitel 2.1 näher erläutert. Für stereobasierte 3D-Systeme gelten zusätzlich die in Anhang AA der DIN IEC/TS 61496-4-3 beschriebenen Aspekte.

Im Gegensatz zum Ausgabestand 2010 der DIN EN ISO 13855 [1] berücksichtigen die oben genannten Normen auch ein Detektionsvermögen im Bereich von 40 mm bis 55 mm. Dies ist insbesondere für 3D-Schutzeinrichtungen von Bedeutung.

2 Beispiel für die Angleichung der Regeln aus DIN EN ISO 13855 für einen 3D-Schutzraum

Üblicherweise werden Abstände zu Gefahrstellen beim Einsatz von BWS gemäß DIN EN ISO 13855 bestimmt. Die Norm gibt jedoch keine konkreten Anleitungen zur Anordnung von 3D-Schutzräumen, wie beim Einsatz von z. B. Kamerasystemen oder 3D-Laserscannern als BWS. Daher wird nachfolgend anhand eines Beispiels mit einem Industrieroboter dargestellt, wie die Regeln der Norm für einen 3D-Schutzraum angewendet werden können.

Durch eine über dem Roboter angebrachte 3D-BWS wird ein 3D-Schutzraum mit zylindrischer Form überwacht (siehe Abbildung 1). Zwischen dem Gefährdungsbereich (orange) und der Bedienperson ist ein **Trennungsabstand S** einzuhalten.

Der zylindrische Schutzraum sollte sich nicht bis zum Boden ausdehnen, da dieser nicht als „Hindernis“ erkannt werden soll. Messtoleranzen einer 3D-BWS in der Positionsmessung führen dazu, dass immer ein bestimmter Abstand zur Umgebung eingehalten werden muss, um eine ausreichende Verfügbarkeit zu erreichen.

Wenn die Höhe H_{DB} des Schutzfeldes über der Bezugsebene größer ist als 200 mm, besteht grundsätzlich das Risiko eines unerkannten Zugangs unterhalb des Schutzfeldes. Bei der Risikobeurteilung ist dieses zu beachten (siehe Kapitel 4).

Der Radius des Zylinders mit dem Roboter im Zentrum entspricht dem Radius des ebenfalls als zylindrisch angenommenen Gefährdungsbereichs, der vom Roboter erreicht werden kann (in Abbildung 1 orange dargestellt). Der **Trennungsabstand S** ist zu addieren.

Der von der oberen Begrenzungsfläche des Zylinders bis zur 3D-BWS aufgespannte Kegel muss dem Schutzraum zugeschlagen werden, da ein Eindringen ausgedehnter Objekte in diesen Bereich als Schutzraumverletzung gewertet werden muss. Im verdeckten Erfassungsbereich unter diesen Objekten wäre ansonsten keine Detektion im konfigurierten Schutzraum möglich.

Der zylindrische Schutzraum mit Kegel als Referenzgeometrie wurde in Anlehnung an die Gestaltungsempfehlungen ausgewählt (siehe Kapitel 3). Hierdurch können die Vorteile des an die Form des Gefährdungsbereichs angepassten 3D-Schutzraumes abgebildet werden.

Diese Geometrie wird in Kapitel 2.4 und 2.5 mit einem kugelförmigen und einem kegelförmigen Schutzraum verglichen.

2.1 Trennungsabstand S

Die nachfolgenden Ausführungen berücksichtigen die in der DIN EN ISO 13855:2025-10 neu verwendeten Begriffe und Formeln. Für die Berechnung des Trennungsabstands S, bisher Mindestabstand genannt, stellt die Tabelle 1 die Grundformel (17) und die Formel (AA.4) für Kamerasysteme bei orthogonaler Annäherung an ein Schutzfeld gegenüber.

Tabelle 1 - Formeln und Elemente zur Berechnung des Trennungsabstands

Grundformel (17) aus DIN EN ISO 13855:2025-10 für „Hindurchgreifen“ angepasst $S = (K \times T) + D_{DT} + Z$	Formel (AA.4) aus DIN IEC/TS 61496-4-3 [entsprechend DIN EN ISO 13855:2010-10] $S_o = (K \times T) + C_{tz} + d$ $[S = (K \times T) + C]$
<u>Neue Begriffe und Formelzeichen gemäß DIN EN ISO 13855:2025-10:</u> S Trennungsabstand, d. h. berechneter Mindestabstand zwischen der Position der BWS und dem Gefährdungsbereich D_{DS} Erreichbarkeitsabstand im Zusammenhang mit der BWS $(D_{DS} = \max(D_{DO}, D_{DT}, D_{DU}))$ D_{DO} Erreichbarkeitsabstand über ein Schutzfeld (Hinübergreifen) D_{DT} Erreichbarkeitsabstand durch ein Schutzfeld (Hindurchgreifen) D_{DU} Erreichbarkeitsabstand unter einem Schutzfeld (Untergreifen) Z anwendungsabhängiger zusätzlicher Entfernungsfaktor, unter anderem bestehend aus: Z_G Ergänzung für allgemeine Gerätemessfehler, z. B.: Z_P Positionsunsicherheit der Person, abhängig von der Messgenauigkeit der BWS Z_M Positionsunsicherheit der Maschine, abhängig von der Messgenauigkeit des Maschinenpositions-Messsystems Z_R reflexionsbedingte Messfehler, wenn sich in der Nähe der BWS ein Rückstrahler befindet Z_F Ergänzung für fehlenden Bodenabstand einer sich bewegendes Maschine, z. B. eines Fahrzeugs Z_B Ergänzung für abnehmendes Bremsmoment einer sich bewegendes Maschine, z. B. eines Fahrzeugs d_e effektives Detektionsvermögen: Grenze des Parameters der Sensorfunktion, die durch den Hersteller oder Integrator der BWS festgelegt wird.	<u>Bekannte Begriffe und Formelzeichen gemäß DIN EN ISO 13855:2010-10:</u> S Mindestabstand, d. h. berechneter Abstand zwischen der BWS und dem Gefährdungsbereich K Annäherungsgeschwindigkeit des Körpers oder von Körperteilen T Reaktionszeit des Gesamtsystems d Detektionsvermögen: Fähigkeit, die spezifizierten Probekörper im angegebenen Schutzfeld zu erkennen. Die Abmessungen des Probekörpers entsprechen maßgeblich der minimal erkennbaren Objektgröße. C_{tz} gerätespezifischer Zuschlag für die Positionsunsicherheit in der Lokalisierung von menschlichen Körperteilen (vom Hersteller anzugeben gemäß DIN IEC/TS 61496-4-3) <u>Abgelöste Begriffe und Formelzeichen:</u> C Eindringabstand in den Gefährdungsbereich C_{RO} Eindringabstand beim Hinübergreifen C_{RT} Eindringabstand beim Hindurchgreifen

Anwendungsabhängige Zuschläge, Gerätemessfehler und Positionsunsicherheiten wurden in der DIN EN ISO 13855:2010-10 nicht beschrieben und müssen bei der Angleichung auf Schutzräume in Abhängigkeit der Applikation und der verwendeten 3D-Technologie berücksichtigt werden:

$$Z = Z_G + Z_R + Z_F + Z_B + d \quad | \quad Z_G = Z_P + Z_M$$

Im Vergleich der alten und neuen Formelzeichen entspricht **C** = **D_{DT}** und **(C_{tz} + d)** = **Z**.

Die Zuschläge **Z_P + d** bzw. **C_{tz} + d** tragen in der jeweiligen Formel der Tatsache Rechnung, dass menschliche Körperteile mit ausreichender Wahrscheinlichkeit erkannt werden müssen und im ungünstigsten Fall nur dann sicher erkannt werden, wenn sie teilweise oder vollständig in den Schutzraum eingedrungen sind.

Zu Gunsten der Übersicht und unter Berücksichtigung der Relevanz in diesem Dokument werden in den Berechnungsbeispielen nur die Zuschläge für **Z_P** und **d** angewendet.

Anmerkungen:

Das effektive Detektionsvermögen d_e wird oft durch die minimale erkennbare Objektgröße d und je nach Technologie zusätzlich durch zum Beispiel die Form und Reflektivität des Objektes bestimmt.

Ein besseres Detektionsvermögen bedeutet, dass ein kleineres Objekt erkannt werden kann.

Der Lieferant kann mehrere Werte für die minimale erkennbare Objektgröße angeben, beispielsweise reichweitenabhängige.

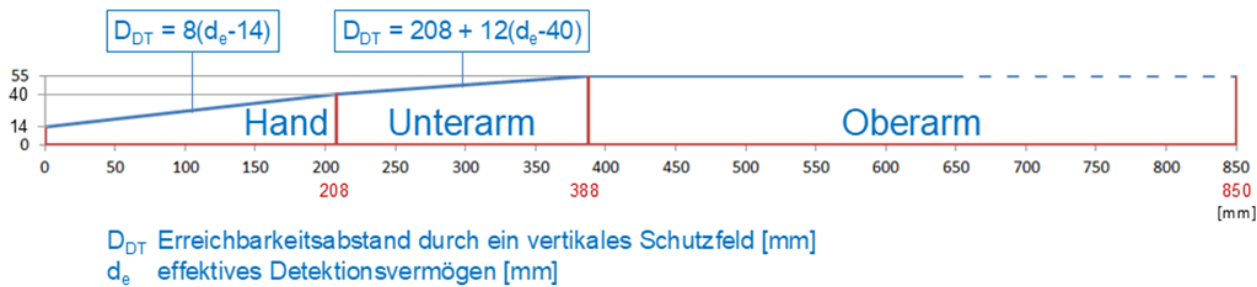


Abbildung 2 – Erreichbarkeitsabstand D_{DT} und Detektionsvermögen d_e .

Zusammenhang nach DIN EN ISO 13855:2025-10, Bild G.3

Da der Anteil $K \times T$ unabhängig von der Schutzraumgeometrie ist, wird dieser Beitrag im Folgenden nicht berücksichtigt. S bezeichnet den Trennungsabstand inkl. der oben beschriebenen Zuschläge.

In der DIN EN ISO 13855:2025-10 gibt es je nach Annäherungsrichtung, orthogonal oder parallel zum Schutzfeld, zwei verschiedene Berechnungsverfahren für S .

Für einen 3D-Schutzraum kann der kleinere der beiden Werte für den Trennungsabstand S angewendet werden.

Anmerkungen:

Da sich der beschriebene zylindrische Schutzraum sowohl in der Annäherungsrichtung zum Gefährdungsbereich als auch orthogonal dazu (entspricht hier der tangentialen Grenzebene des Schutzraums) ausdehnt, sind auf den ersten Blick beide in DIN EN ISO 13855:2025-10 beschriebenen Verfahren anwendbar (siehe Abschnitt 8 „Orthogonale Annäherung an ein Schutzfeld“ und Abschnitt 9 „Parallele Annäherung an ein Schutzfeld“).

Gemäß dem Ablaufdiagramm in Bild 1 der DIN EN ISO 13855:2025-10 ist beim Einsatz von BWS grundsätzlich ein mögliches Umgehen zu berücksichtigen. Abschnitt 8.2 der Norm enthält detaillierte Ausführungen zur Verhinderung des Hinübergreifens über ein vertikales Schutzfeld.

Beim Hinübergreifen über ein horizontales Schutzfeld muss abhängig von H_D bei ausgestrecktem Arm und gebeugtem Oberkörper mit einem Zuschlag von $D_{DS} = 1200$ mm gerechnet werden.

In Anlehnung an Tabelle 2 der Norm empfiehlt es sich daher, eine möglichst große Höhe H_{DT} der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils einzurichten.

Dann kann unabhängig von der Höhe H_H des Gefährdungsbereiches über dem Boden immer sichergestellt werden, dass der Zuschlag D_{DO} (Erreichbarkeitsabstand beim Hinübergreifen über das Schutzfeld) gemäß Tabelle 2 kleiner ist als D_{DT} und sich aus der Betrachtung des Hinübergreifens keine Erhöhung des Trennungsabstands ergeben würde.

Anforderungen zum Verhindern des Unterkriechens eines Schutzfeldes werden in den Abschnitten 4.5 und 9.2 für den Ganzkörperzugang spezifiziert. Zur Minderung des Risikos durch Untergreifen eines Schutzfeldes wird der Erreichbarkeitsabstand D_{DU} in den Abschnitten 8.4.2 und 8.4.3 spezifiziert.

2.2 Erreichbarkeitsabstand durch ein Schutzfeld D_{DT}

Die Abbildung 2 dient als Basis für die Berechnung des *Erreichbarkeitsabstands* D_{DT} im Fall des Hindurchgreifens durch ein vertikales Schutzfeld. D_{DT} geht direkt in den Wert des *Trennungsabstands* S ein.

Die beispielhaft gewählten Geometrien wurden für drei typische Detektionsvermögen analysiert. Die Ergebnisse werden zusammengefasst in Tabelle 2 dargestellt.

a) Effektives Detektionsvermögen $d_e = 55 \text{ mm}$

Für $d_e = 55 \text{ mm}$ ist typischerweise eine Erkennung des Oberarms ab dem Ellenbogen möglich. Dieses Detektionsvermögen wird in der DIN EN ISO 13855:2025-10 in Abschnitt 8.3.3 im Bereich von $40 \text{ mm} < d_e \leq 55 \text{ mm}$ betrachtet. Mit der Formel

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

ergibt sich ein Zuschlag für den Unterarm inklusive der ausgestreckten Hand von $D_{DT} = 388 \text{ mm}$.

b) Effektives Detektionsvermögen $d_e = 70 \text{ mm}$

Für $d_e = 70 \text{ mm}$ kann ein Arm nicht sicher erkannt werden. Somit muss nach DIN EN ISO 13855:2025-10, Abschnitt 8.3.4 im Bereich von $55 \text{ mm} < d_e \leq 120 \text{ mm}$ ein Zuschlag von $D_{DT} = 850 \text{ mm}$ berücksichtigt werden.

c) Effektives Detektionsvermögen $d_e = 200 \text{ mm}$

Der Wert 200 mm ist in der DIN EN IEC 61496-3 und DIN IEC/TS 61496-4-3 als maximaler Durchmesser eines Probekörpers für die sichere Körpererkennung festgelegt. Demnach ist auch hier der Armzuschlag mit $D_{DT} = 850 \text{ mm}$ anzunehmen.

2.3 Anwendung auf das Beispiel

Für das Beispiel des in Abbildung 1 dargestellten zylindrischen Schutzraums ergibt die Anwendung der DIN EN ISO 13855:2025-10 folgende Ergebnisse für die drei betrachteten Detektionsvermögen.

Für die Berechnungsbeispiele wurden die folgenden typischen Annahmen getroffen:

- Der **Zuschlag d** für die minimal erkennbare Objektgröße entspricht dem jeweils betrachteten effektiven Detektionsvermögen d_e .
- $K = 1600 \text{ mm/s}$ (Schrittgeschwindigkeit); $T = 0,3 \text{ s}$; $Z_P = 50 \text{ mm}$

a) Für $d_e = 55 \text{ mm}$

ergibt $D_{DT} = 388 \text{ mm}$ (Unterarm mit ausgestreckter Hand).

Die Kontrolle, ob $D_{DO} > D_{DT}$ ist, führt nach der oben beschriebenen Vorgehensweise zu dem Schluss, dass ab einer Höhe H_{DT} der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils von 2200 mm D_{DO} maximal einen Wert von 250 mm annimmt und sich dann keine Erhöhung ergibt.

Somit ist im gewählten Beispiel

$$S = (K \times T) + D_{DT} + Z_P + d_e = 973 \text{ mm}$$

b) Für $d_e = 70 \text{ mm}$

ergibt $D_{DT} = 850 \text{ mm}$ (ausgestreckter Arm). Somit ist im gewählten Beispiel

$$S = (K \times T) + D_{DT} + Z_P + d_e = 1450 \text{ mm}$$

Ab einer Höhe H_{DT} der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils von 1400 mm ergibt sich keine Erhöhung durch mögliches Hinübergreifen.

c) Für $d_e = 200 \text{ mm}$

ergibt $D_{DT} = 850 \text{ mm}$ (ausgestreckter Arm). Somit ist im gewählten Beispiel

$$S = (K \times T) + D_{DT} + Z_P + d_e = 1580 \text{ mm}$$

Ab einer *Höhe* H_{DT} der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils von 1400 mm ergibt sich auch in diesem Fall keine Erhöhung durch mögliches Hinübergreifen.

Ein deutlicher Unterschied im *Trennungsabstand* S ergibt sich erst beim Übergang von $d_e = 70$ mm auf $d_e = 55$ mm. Dann muss anstatt des ausgestreckten Arms nur der Unterarm inklusive ausgestreckter Hand als Erreichbarkeitsabstand D_{DT} berücksichtigt werden.

Zwischen $d_e = 70$ mm und $d_e = 200$ mm ist der Unterschied gering, da in beiden Fällen der ausgestreckte Arm angenommen wird.

Tabelle 2 - Ergebnisse für typische Detektionsvermögen nach Kapitel 2.2 und 2.3

Detektionsvermögen d_e	Erreichbarkeitsabstand D_{DT}	Trennungsabstand S
a) 55 mm	388 mm	973 mm
b) 70 mm	850 mm	1450 mm
c) 200 mm	850 mm	1580 mm

2.4 Kugelförmiger Schutzraum

Ein kugelförmiger Schutzraum mit aufgesetztem Kegel stellt bei gegebenem *Trennungsabstand* S für punkt- oder kugelförmige Gefahrstellen den Schutzraum mit dem geringsten Volumen dar. Gegenüber dem zylindrischen Schutzraum ist der gewonnene Freiraum im Bein- und Kopfbereich in der Praxis aber kaum relevant. Aufgrund der oben angesprochenen Messtoleranzen muss ohnehin ein Abstand H_{DB} von maximal 200 mm bzw. 300 mm zum Boden eingehalten werden, abhängig vom Ergebnis der Risikobeurteilung (siehe Kapitel 4). Das ungewollte Verletzen des Schutzraums mit der Fußspitze ist bei beiden Geometrien unwahrscheinlich. Deutliche Unterschiede sind nur in sehr speziellen Anwendungsfällen denkbar.

2.5 Kegelförmiger / pyramidenförmiger Schutzraum

Ein kegelförmiger oder pyramidenförmiger Schutzraum spiegelt die optischen Abbildungsmöglichkeiten einer 3D-BWS mit festem Öffnungswinkel am besten wider.

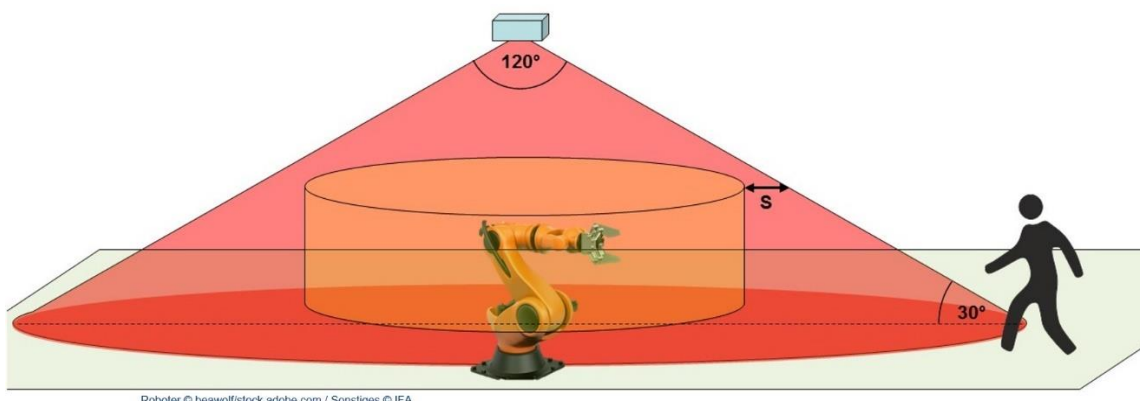


Abbildung 3 – Darstellung von Öffnungswinkel der 3D-BWS und Winkel zwischen Schutzraum und Annäherungsrichtung im Grenzfall 30°

DIN EN ISO 13855:2025-10 sieht in Abschnitt 7 bei „schräger“ Annäherungsrichtung in Bezug auf das Schutzfeld vor, dass ab einem Winkel von mehr als 30° von orthogonaler Annäherung auszugehen ist. Bezogen auf eine oberhalb des Gefährdungsbereichs angebrachten 3D-BWS, die senkrecht nach unten ausgerichtet ist, entspricht der Grenzfall 30° einem Öffnungswinkel von 120° (siehe Abbildung 3). Vorteile gegenüber einer Zylindergeometrie sind üblicherweise nicht zu erwarten.

Anmerkung:

3D-BWS mit einem Öffnungswinkel von mehr als 120° sind derzeit eher unrealistisch. Da bei der Kegelgeometrie davon auszugehen ist, dass ein eindringender Körper zuerst am Bein detektiert wird, macht eine Betrachtung bei einem Detektionsvermögen von $d_e = 55$ mm (Erkennung des Armes) keinen Sinn. Für $d_e = 70$ mm und $d_e = 200$ mm ist wie beim zylindrischen Schutzraum der vorgestreckte Arm zu unterstellen und es ergeben sich keine anderen Trennungsabstände. In der betrieblichen Praxis wird die „voreilende“ Detektion im Beinbereich vermutlich zu vermehrten ungewollten Schutzfeldverletzungen (und damit zu einem Manipulationsanreiz) oder zum Einhalten eines größeren Abstands führen.

2.6 Empfehlungen

Zusammenfassend lassen sich aus den obigen Betrachtungen folgende Empfehlungen ableiten:

1. Die Zylindergeometrie mit aufgesetztem Kegel ist ein guter Mittelweg zwischen einfach zu konfigurierender Geometrie und guter Anpassung an die Form des Gefährdungsbereichs. S kann mit wenig Aufwand berechnet werden. Kugel oder Kegel bringen keine Vorteile, die den erhöhten Aufwand bei der Berechnung von S rechtfertigen, außer eine solche Konfiguration wird durch ein komfortables Werkzeug, wie beispielsweise eine Konfigurationssoftware, unterstützt.
2. Die Höhe H_{DT} der Zylinderoberkante über dem Boden sollte mindestens 2400 mm betragen für $d_e > 55$ mm, ansonsten sind 1400 mm ausreichend. So führt die Möglichkeit des Hinübergreifens unabhängig von der Höhe H_H des Gefährdungsbereichs zu keiner Erhöhung von S .
3. Eine deutliche Verringerung von S ergibt sich für $d_e \leq 55$ mm, während ein Detektionsvermögen von 70 mm gegenüber 200 mm kaum einen Vorteil bringt.
4. Der *Trennungsabstand* S inklusive aller Zuschläge ist wie folgt zu berechnen:

$$S = (K \times T) + D_{DT} + Z \quad | \quad Z = Z_G + Z_R + Z_F + Z_B + d$$

3 Gestaltungsempfehlungen für 3D-Schutzräume und ihre Markierung

Die Untersuchung des Fachbereichs Holz und Metall und des IFA hat gezeigt, dass große individuelle Unterschiede beim Umgang mit Gefährdungsbereichen bestehen: Vorsichtige Bedienpersonen neigen dazu, Schutzraumverletzungen zu vermeiden, indem sie einen zusätzlichen Abstand zur Schutzraumgrenze einhalten. Andere Bedienpersonen optimieren Wege und Abläufe und nehmen dabei auch Schutzraumverletzungen in Kauf, wenn die Produktivität darunter nicht zu sehr leidet. Hier gilt es, die Vorteile der 3D-Technologie durch flexible Anpassung an Arbeitsbedingungen und ergonomische Gestaltung auszunutzen. Dazu gehört eine möglichst gute Anpassung des Schutzraumes an die Form des Gefährdungsbereichs und das Vermeiden von „Ecken und Kanten“, die in den intuitiven Laufweg oder Arbeitsbereich hereinragen. Die dreidimensionale Gestaltungsmöglichkeit erlaubt hier durch die flexible Gestaltung der Form des Schutzraumes eine Minimierung der Schutzraumgröße im Hinblick auf den Gefährdungsbereich. Dadurch werden Arbeitsabläufe wenig beeinträchtigt und der Manipulationsanreiz minimiert.

Die IFA-Untersuchung liefert auch Hinweise, dass Markierungen von Schutzräumen wenn möglich auch in der Höhe erfolgen sollten, um Schutzraumverletzungen zu vermeiden. Bodenmarkierungen reichen zur Orientierung unter Umständen nicht aus. In der Untersuchung hat sich zur Vermeidung von Schutzraumverletzungen ebenfalls eine Kombination von Bodenmarkierung plus Warnraum als effektiv gezeigt (siehe Kapitel 5).

4 Bodenabstand von Schutzfeldern und Schutzräumen

Der Normenstand DIN EN ISO 13855:2010-10 ließ in Abschnitt 6.2.2 eine maximale Höhe des Schutzfeldes von 300 mm über der Bezugsebene (Boden) zu.

Die DIN EN ISO 13855:2025-10 sieht für die maximale Höhe von Schutzfeldern über der Bezugsebene Folgendes zusätzlich vor:

Wenn eine BWS ausschließlich zum Erkennen des Ganzkörperzugangs verwendet wird, darf die Höhe des Schutzfeldes H_{DB} maximal 200 mm betragen. In industriellen Umgebungen ist die Möglichkeit des Unterkriechens grundsätzlich zu berücksichtigen und eine maximale *Höhe* H_{DB} von 300 mm ist nur dann zulässig, wenn die Ergebnisse der Risikobeurteilung aufzeigen, dass diese ausreicht.

In einem Feldversuch mit 43 Schülerprobandinnen und -probanden im Alter von mindestens 14 Jahren wurde die Möglichkeit, Schutzfeldern zu umgehen, näher untersucht. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt eindeutig, dass auch bei unsichtbaren Schutzfeldern eine Höhe von 300 mm auf einer Länge von 2000 mm leicht unterkrochen, also umgangen, werden kann (siehe Kapitel 5).

5 Untersuchungen durch das IFA

5.1 Projekt IFA 5116

Das Projekt IFA 5116 „Schutzeinrichtungen mit 3D-Schutzräumen an Maschinen: Überprüfung von Sicherheitsabständen mit VR-Methoden“ wurde vom Fachausschuss MHHW (heute Teil des Fachbereich Holz und Metall) initiiert und beschäftigt sich mit der Ermittlung von Sicherheitsabständen für 3D-BWS: Sind die bisherigen für zweidimensionale Schutzfelder geltenden normativen Regeln übertragbar? Wie wirkt sich die fehlende Sichtbarkeit des Schutzraumes aus?

Eine einführende Recherche ergab, dass die normativ unterstellte Greif- und Schrittgeschwindigkeit (für normale, nicht reflexartige Bewegungen) teilweise auf sehr lange zurückliegenden empirischen Untersuchungen hauptsächlich an Einlegearbeitsplätzen, z. B. Pressen, basieren. Letzte normative Ergänzungen betrafen Regelungen zum Hinübergreifen oder zu Hindernissen im Weg. In der Normung von 3D-BWS wird der Unterarm als Kegelstumpf modelliert.

Das Projekt wurde im SUTAVE-Labor [6] des IFA in gemischter Realität durchgeführt. Die Methodik bietet folgende Vorteile: Es treten keine realen Gefährdungen auf, die Bewegungsverfolgung mit automatischer Datenerfassung ist möglich, Szenenwechsel sind einfach umsetzbar und die BWS-Eigenschaften sind einstellbar. Die Szene bildete einen Kooperationsarbeitsplatz ab, an dem die Testpersonen an einem realen Drehtisch mit einem virtuell dargestellten Roboter eine Muster- Wiedererkennungsaufgabe und eine Montageaufgabe ausführten.

In der Untersuchung wurden zwei Schutzraumgeometrien (Kugel und Quader) sowie drei Markierungsformen (ohne Markierung, Bodenmarkierung, Warnraum) vorgegeben. Erhoben wurden Bewegungsdaten (Schutzraumverletzungen, Laufwege, Bewegungs- und Arbeitsgeschwindigkeit), Qualitätsmaße (Muster-Wiedererkennung und Reproduktion) und Beanspruchung (Fragebögen). 20 Testpersonen durchliefen je zwei Durchgänge (beide Geometrien) à 20 Arbeitszyklen.

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen die grundsätzliche Eignung der gemischten Realität als Methode. Die ermittelte Beanspruchung bei der Aufgabenbearbeitung zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Markierungsformen. Auch die maximale Schrittgeschwindigkeit pro Zyklus unterscheidet sich nicht signifikant. Die normativ angenommene Schrittgeschwindigkeit von 1600 mm/s wird bestätigt. Ähnliches gilt für die Geschwindigkeit der Hände, die als Orientierung für anzunehmende Greifgeschwindigkeit (2000 mm/s) dient.

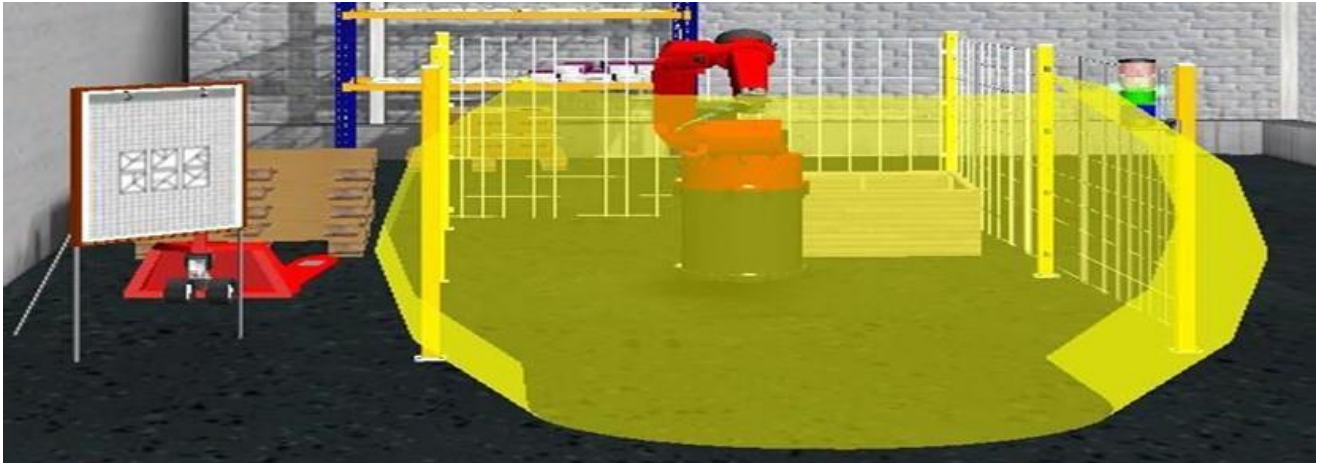


Abbildung 4 – Versuchsaufbau in virtueller Realität ohne die realen Arbeitsmittel (z. B. Drehtisch, Montagerahmen, Materialablage). Der transparent dargestellte Schutzraum war für die Testpersonen nicht sichtbar.

Bei den Schutzraumgeometrien provoziert die Kugel gegenüber dem Quader deutlich weniger Schutzraumverletzungen. Dies kann auf den geringeren Rauminhalt und die fehlenden „Ecken und Kanten“ zurückgeführt werden. Bei der Markierungsform „Warnraum“ gab es weniger Schutzraumverletzungen gegenüber den Varianten „ohne Markierung“ und „Bodenmarkierung“. Das spricht für die Wirksamkeit eines vorgelagerten Warnraums.

Beim Quader trat ohne Markierung oder mit Warnraum eine Häufung von Schutzraumverletzungen an den Kanten auf. Mit Bodenmarkierung wurde der Schutzraum eher gleichmäßig an der Front verletzt. Dieses Ergebnis legt die Vermutung nahe, dass die Testpersonen den Schutzraum nur fehlerhaft von der Bodenmarkierung aus in die Höhe interpolieren konnten.

Generell zeigt sich eine hohe interindividuelle Varianz bei der Anzahl der Schutzraumverletzungen, was für eine individuell stark unterschiedliche Risikobereitschaft spricht. Weitere Informationen finden sich in der Pilotstudie „Gestaltungsanforderungen an dreidimensionale Schutzräume für Fertigungszellen mit Mensch-Roboter-Interaktion“ [7] und sind auf der Internetseite des Projektes IFA 5116 verlinkt (<http://www.dguv.de/ifa>, Webcode d105325).

5.2 Projekt IFA 5125

Die Ergänzung des Projektes IFA 5116 durch das Projekt IFA 5125 „Schutzeinrichtungen mit 3D-Schutzräumen an Maschinen: Überprüfung der Unterkriechbarkeit“ erfolgte in einer Vorstudie mit zehn erwachsenen IFA-Mitarbeitenden und einer Feldstudie mit 43 Schülerprobandinnen und -probanden. Im Anwendungsbereich der DIN EN ISO 13855 werden Personen genannt, die 14 Jahre oder älter sind.

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich daher hinsichtlich der Körpermaße auf den ungünstigsten Anwendungsfall, der von der Norm abgedeckt wird.

Das vermessene Kollektiv der 43 Testpersonen in der Hauptuntersuchung ist hinsichtlich Körperhöhe und Taillenumfang repräsentativ für die betrachtete Altersgruppe.

Fast alle Teilnehmenden (41 von 43) waren in der Lage, $H_{DB} = 300$ mm zu unterkriechen. Auch $H_{DB} = 250$ mm stellte für die Mehrzahl (30 von 41) kein Hindernis dar. Erst die Absenkung auf $H_{DB} = 200$ mm führte dazu, dass nur noch ein Proband erfolgreich war.

Die Länge des Schutzfeldes (die Länge der zu unterkriechenden Strecke) hat einen deutlich schwächeren Einfluss auf die Unterkriechbarkeit als die Höhe. Auf 2000 mm Länge des Schutzfeldes kommt es zwar zu häufigeren und längeren Schutzfeldverletzungen als auf 200 mm, jedoch zeigen die Anfangspositionen der Schutzfeldverletzungen in Kriechrichtung keine erkennbaren Regelmäßigkeiten. Es gibt keine Anzeichen für eine „kritische Länge“ des Schutzfeldes, nach der die Schutzfeldverletzungen signifikant ansteigen.

Die Kriechgeschwindigkeit variiert je nach Schutzfeldhöhe von ca. 0,1 bis 0,4 m/s. Bei geringerer Höhe wird tendenziell langsamer gekrochen. Bei $H_{DB} \leq 300$ mm kann aus der Hauptuntersuchung die

Kriechgeschwindigkeit mit ca. 0,4 m/s nach oben und zur sicheren Seite abgeschätzt werden.

In der Vorstudie krochen die erwachsenen Testpersonen auf ungünstigerem Boden langsamer. Ansonsten ergaben sich ähnliche Ergebnisse wie in der Hauptstudie.

Zum Vergleich wurde mit den 10 erwachsenen Teilnehmenden in ähnlicher Weise die seitliche Umgehbarkeit eines unsichtbaren Schutzraums untersucht. Die umgehbaren Abstände zwischen der Begrenzung einer Wand und dem Schutzraum zeigten keine Unterschiede zu den Ergebnissen beim Unterkriechen. Die Umgehungsgeschwindigkeit wird mit maximal 0,6 m/s höher abgeschätzt.

6 Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen

Diese „Fachbereich AKTUELL“ beruht auf dem durch den Fachbereich Holz und Metall, Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV zusammengeführten Erfahrungswissen sowie Erkenntnissen aus dem Unfallgeschehen auf dem Gebiet der Maschinensicherheit und ist in Zusammenarbeit mit dem IFA erarbeitet worden.

Sie soll insbesondere die Hersteller von Maschinen und Anlagen dabei unterstützen, die Anforderungen an die Absicherung von Gefahrstellen mit 3D-BWS umzusetzen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen nach Kapitel 5 sind keine direkte Vorgabe zur Dimensionierung von 3D-Schutzräumen in Bezug auf den Abstand zum Boden.

Gemäß den Anhängen AA von DIN EN IEC 61496-3 und DIN IEC/TS 61496-4-3 können auch systemspezifische Eigenschaften, wie zufällige und systematische Messfehler der jeweiligen 3D-BWS sowie Algorithmen zur Auswertung der Objektposition, berücksichtigt werden.

Die Bestimmungen nach einzelnen Gesetzen und Verordnungen bleiben durch diese „Fachbereich AKTUELL“ unberührt. Die Anforderungen der gesetzlichen Vorschriften gelten uneingeschränkt. Um vollständige Informationen zu erhalten, ist es erforderlich, zutreffende und in Frage kommende Vorschriftentexte einzusehen.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ ersetzt die gleichnamige Ausgabe 04/2020. Aktualisierungen wurden infolge wesentlicher normativer Änderungen sowie redaktioneller Anpassungen erforderlich.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertretern und Vertreterinnen der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, herstellenden und betreibenden Firmen. Weitere „Fachbereich AKTUELL“ oder Informationsblätter des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [8].

Literaturverzeichnis

- [1] [DIN EN ISO 13855:2010-10](#); Sicherheit von Maschinen - Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen; DIN Media GmbH, Berlin
- [2] [DIN EN ISO 13855:2025-10](#); Sicherheit von Maschinen - Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherung des menschlichen Körpers; DIN Media GmbH, Berlin
- [3] [DIN EN IEC 61496-3](#); [VDE 0113-203: 2019-10](#); Sicherheit von Maschinen - Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen - Teil 3: Besondere Anforderungen an aktive optoelektronische diffuse Reflektion nutzende Schutzeinrichtungen (AOPDDR); DIN Media GmbH, Berlin
- [4] [IEC 61496-3:2025-08](#) Safety of machinery - Electro-sensitive protective equipment - Part 3: Particular requirements for active opto-electronic protective devices responsive to diffuse reflection (AOPDDR); IEC, Genf
- [5] [DIN IEC/TS 61496-4-3](#); [VDE V 0113-204-3:2023-12](#); Sicherheit von Maschinen - Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen - Teil 4-3: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, die bildverarbeitende Schutzeinrichtungen (VBPD) verwenden - Zusätzliche Anforderungen bei Verwendung von stereoskopischen Betrachtungsverfahren (VBPDEST); DIN Media GmbH, Berlin
- [6] Safety and Usability through Applications in virtual Environments (SUTAVE)-Labor des IFA.
- [7] Hoyer, G.; Hauke, M.; Lungfiel, A.; Nickel, P.; Huelke, M.; Bömer, T.; Gestaltungsanforderungen an dreidimensionale Schutzräume für Fertigungszellen mit Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Pilotstudie in virtueller Realität - Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme - Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 22.-24. Februar 2012, Kassel - Vortrag. Berichtsband und CD-ROM, S. 643-646, Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA-Press, Dortmund 2012. ISBN: 978-3-936804-12-6
- [8] Internet: www.dguv.de/fb-holzundmetall oder Publikationen oder www.bghm.de Webcode: <626>

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1, 3 – Roboter © beawolf/stock.adobe.com / Sonstiges © IFA
- Abbildung 2, 4 – Institut für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV, 53754 Sankt Augustin

Impressum

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Maschinen, Robotik und
Fertigungsautomation im Fachbereich Holz und
Metall der DGUV:

<https://www.dguv.de/fb-holzundmetall/index.jsp>

Die Fachbereiche der DGUV werden von den
Unfallkassen, den branchenbezogenen
Berufsgenossenschaften sowie dem
Spitzenverband DGUV selbst getragen. Für den
Fachbereich HM ist die BGHM der federführende
Unfallversicherungsträger und damit auf
Bundesebene erster Ansprechpartner in Sachen
Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit für Fragen
zu diesem Gebiet.

An der Erarbeitung dieser Fachbereich AKTUELL
haben mitgewirkt:

- Abteilung Unfallprävention: Digitalisierung –
Technologien des Instituts für Arbeitsschutz der
DGUV (IFA)
- Pilz GmbH & Co. KG, Product Development /
Sensor Technology