

Sachgebiet Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation

3D-Schutzraum: Anordnung der BWS

Bestimmung des Sicherheitsabstands in Anlehnung an DIN EN ISO 13855

Stand: 03.04.2020

Diese „Fachbereich AKTUELL“ dient der Information von Herstellern und Betreibern potenziell gefährlicher Maschinen, die durch Schutzeinrichtungen mit dreidimensionalem Schutzraum z. B. Kamerasystemen abgesichert werden.

DIN EN ISO 13855 „Sicherheit von Maschinen - Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen“ [1] regelt die einzuhaltenden Sicherheitsabstände zwischen Schutzeinrichtung und Gefahrenstelle. In der Norm sind berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS) mit eindimensionalem (Lichtschranken) oder zweidimensionalem Schutzfeld (mehrere Lichtschranken, Lichtvorhänge, Laserscanner) berücksichtigt.



Bild 1: Eine über dem Roboter installierte BWS (blau) überwacht einen zylindrischen Schutzraum (rot) mit aufgesetztem Kegel

In einem gemeinsamen Projekt von FB HM und IFA wurde ein typischer Montagearbeitsprozess mit Hilfe virtueller Realität simuliert und mit Testpersonen untersucht. Die zeitlich getrennte Kollaboration eines Bedieners 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 dreidimensionalen Schutzräumen. In einer Projekterweiterung wurde die Unterkriechbarkeit dreidimensionaler Schutzräume überprüft.

Inhalt

1	Sicherheitsabstände bei dreidimensionalen Schutzräumen	1
2	Beispiel für die Adaption der Regeln aus DIN EN ISO 13855 für einen 3D-Schutzraum	2
3	Gestaltungsempfehlungen für 3D-Schutzräume und ihre Markierung.....	5
4	Bodenabstand des Schutzraumes	6
5	Untersuchungen durch das IFA	6
6	Zusammenfassung und Anwendungsgrenzen.....	8

1 Sicherheitsabstände bei dreidimensionalen Schutzräumen

Die Methoden zur Ermittlung des erforderlichen Sicherheitsabstands gemäß DIN EN ISO 13855 lassen sich grundsätzlich auch auf 3D-Schutzräume anwenden, bedürfen jedoch teilweise einer Anpassung oder Erweiterung. Im Anhang AA der technischen Spezifikation IEC/TS 61496-4-3 [2] ist ein zusätzlicher Zuschlag zum Sicherheitsabstand vorgeschlagen, der berücksichtigt, dass ein zu erkennendes Objekt bereits vollständig in den Schutzraum eingedrungen sein soll, um sicher erkannt zu werden.

In der praktischen Anwendung sind im Detail einige Besonderheiten zu beachten. Z. B. bezieht sich die Annäherungsrichtung nicht auf die Ausrichtung des Schutzraumes, sondern auf die dem Bediener zugewandte Grenzfläche. Weiterhin ist bei einer optimal an die Gefahrenstelle

angepasste Gestaltung des Schutzraumes kein Umgreifen oder Hinübergreifen mehr möglich.

Die angenommene typische Schreitgeschwindigkeit von 1600 mm/s wird in der Untersuchung auch für 3D-Schutzräume bestätigt.

Daher können die Sicherheitsabstände bei dreidimensionalen Schutzräumen (3D) prinzipiell nach den gleichen Methoden wie für zweidimensionale Schutzräume (2D) ermittelt werden. Für stereobasierte 3D-Systeme gelten zusätzlich die in Anhang AA der IEC/TS 61496-4-3 beschriebenen Aspekte.

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

Üblicherweise werden Abstände zu Gefahrstellen beim Einsatz von berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) nach der Norm DIN EN ISO 13855 berechnet. Diese Norm „kennt“ jedoch keine BWS mit dreidimensionalen Schutzräumen wie z. B. neuartige Kamerasysteme als Schutzeinrichtungen [3]. Daher wird nachfolgend anhand eines Beispiels mit einem Industrieroboter dargestellt, wie die Regeln der DIN EN ISO 13855 für einen 3D-Schutzraum verwendet werden können.

Durch eine über dem Roboter angebrachte BWS (Kamera) wird ein dreidimensionaler Schutzraum mit zylindrischer Form überwacht (siehe Bild 1). Zwischen dem Gefährdungsbereich (orange) und dem Bediener ist ein **Mindestabstand S** einzuhalten.

Der zylindrische Schutzraum kann sich nicht bis zum Boden erstrecken, da dieser ja nicht als „Hindernis“ erkannt werden soll. Ungenauigkeiten in der Abstandsmessung führen dazu, dass immer ein gewisser Mindestabstand zur Umgebung eingehalten werden muss, um eine ausreichende Verfügbarkeit zu erreichen. Nach derzeitigem Stand der Norm ist aber zu gewährleisten, dass eine sichere Objektdetektion mindestens ab einer Höhe von 300 mm über dem Boden gegeben ist. Ist dies nicht gegeben, so ist in der Risiko-beurteilung die Möglichkeit des Unterkriechens zu berücksichtigen (siehe Kapitel 4).

Der Radius des Zylinders mit dem Roboter im Zentrum entspricht dem Radius des ebenfalls als zylindrisch angenommenen Gefährdungs-

bereichs, der vom Roboter erreicht werden kann (in Bild 1 orange dargestellt). Der Mindestabstand S ist hinzuzurechnen.

Der von der oberen Begrenzungsfläche des Zylinders bis zur BWS (Kamera) aufgespannte Kegel muss dem Schutzraum zugeschlagen werden, da ein Eindringen ausgedehnter Objekte in diesen Bereich als Schutzraumverletzung gewertet werden muss. **Im verdeckten Sichtbereich unter diesen** Objekten wäre ansonsten keine Detektion im „echten“ Schutzraum mehr möglich.

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

Diese Geometrie wird im Anschluss mit einem kugelförmigen und einem kegelförmigen Schutzraum verglichen.

2.1 Mindestabstand S

Die Tabelle 1 stellt die Grundformel für die Berechnung des Mindestabstandes nach DIN EN ISO 13855 sowie die abgeleitete Formel der zukünftigen technischen Spezifikation zu Kamerasystemen gegenüber.

Grundformel DIN EN ISO 13855	abgeleitete Formel 3D Schutzraum
$S = (K \times T) + C$	$S_a = (K \times T) + C + C_{tz} + d$
K Annäherungsgeschwindigkeit des Menschen T Nachlaufzeit des gesamten Systems in sec. C Eindringabstand in mm C _{tz} : gerätespezifischer Zuschlag für die Ungenauigkeiten in der Lokalisierung von Objekten (dieser muss vom Hersteller angegeben werden) d Zuschlag, welcher der Größe der Objektauflösung d entspricht.	

Tabelle 1: Formel zur Berechnung des Mindestabstandes

Die Zuschläge $S_a = C_{tz} + d$ in der abgeleiteten Formel tragen der Tatsache Rechnung, dass im ungünstigsten Fall nur Objekte sicher erkannt werden können, die vollständig in den Schutzraum eingedrungen sind. Beide Zuschläge sind in der DIN EN ISO 13855 bisher nicht verankert und müssen bei der Adaption auf dreidimensionale Schutzräume sinnvollerweise berücksichtigt werden.

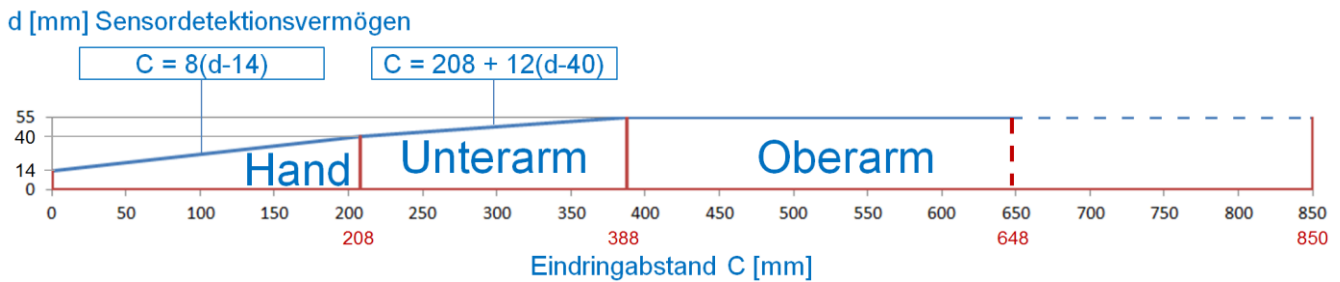


Bild 2: Illustration des Zusammenhangs von Sensordetektionsvermögen d und Eindringabstand C gemäß DIN EN ISO 13855

Da der „ $K \times T$ “-Anteil unabhängig von der Schutzraumgeometrie ist, wird dieser Beitrag im Folgenden nicht diskutiert. S_0 bezeichnet den Mindestabstand ergänzt um die oben beschriebenen Zuschläge.

In der Norm DIN EN ISO 13855 gibt es je nach Annäherungsrichtung (orthogonal oder parallel zum Schutzfeld) zwei verschiedene Berechnungsverfahren für S .

Für einen dreidimensionalen Schutzraum kann der kleinere der beiden Werte für den Mindestabstand S ausgewählt werden.

Anmerkung:

Da der beschriebene zylindrische Schutzraum sich sowohl in der Annäherungsrichtung auf die Gefahrenstelle zu, als auch orthogonal dazu (entspricht hier der tangentialen Grenzebene des Schutzraumes) ausdehnt, sind auf den ersten Blick beide in DIN EN ISO 13855 beschriebenen Verfahren (Abschnitt 6.2 „Schutzfeld orthogonal zur Annäherungsrichtung“ und Abschnitt 6.3 „Schutzfeld parallel zur Annäherungsrichtung“) anwendbar. Im Beispiel der zylindrischen Geometrie kann bei der Betrachtung der parallelen Annäherung die bei der Berechnung nach Formel (7) aus DIN EN ISO 13855 angenommene Höhe über der Bezugsebene H so optimiert werden, dass der resultierende Sicherheitsabstand S minimal wird. Dabei sind etwaige von der Norm ($H \leq 1000$ mm) oder durch die Messungenauigkeit ($H \geq 300$ mm) vorgegebene Begrenzungen zu beachten.

Gemäß dem Ablaufdiagramm in Bild 1 der DIN EN ISO 13855 ist beim Einsatz von BWS generell ein mögliches Umgehen zu berücksichtigen. Die detaillierten Ausführungen im Abschnitt 6.5 der Norm berücksichtigen allerdings nur das Verhindern des Hinüberreichens über ein senkrecht Schutzfeld.

Es empfiehlt sich daher, in Anlehnung an Tabelle 1 der Norm eine möglichst große Höhe der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils einzurichten.

Dann kann unabhängig von der Höhe des Gefährdungsbereiches über dem Boden immer garantiert werden, dass der Zuschlag C_{RO} (Eindringabstand in den Gefährdungsbereich beim Hinüberreichen über das Schutzfeld) gemäß Tabelle 1 Abschnitt 6.5.2 der DIN EN ISO 13855 kleiner als C ist und sich aus der Betrachtung des Hinüberreichens keine Erhöhung des Sicherheitsabstands ergeben würde.

2.2 Eindringabstand C

Das Bild 2 dient als Basis für die Berechnung des **Eindringabstands C** nach DIN EN ISO 13855. Dieser geht direkt in den Wert des Mindestabstands S ein. Abhängig vom Sensordetektionsvermögen d wird bis $d = 55$ mm mit einer minimalen Armlänge von 648 mm gerechnet, darüber mit der maximalen Armlänge von 850 mm und einem Wert für $d = 70$ mm.

Die gewählten Beispielgeometrien wurden für folgende drei typische Auflösungen d analysiert (siehe Tabelle 2):

a.) Auflösung $d = 55$ mm

Bei einer Auflösung von $d = 55$ mm ist typischerweise eine Erkennung des Oberarms ab dem Ellenbogen möglich. Diese Auflösung wird aus Vereinfachungsgründen in der DIN EN ISO 13855 bisher nicht betrachtet, ist aber unter den Normungsexperten für Kamerasysteme abgestimmt und soll in Zukunft in die DIN EN ISO 13855 übertragen werden. Mit der Formel

$$C = 208 + 12 (d - 40)$$

ergibt sich ein Zuschlag für einen Unterarm (bei dem als Minimalwert angesetzten Oberarmdurchmesser von 55 mm) inklusive ausgetreckter Hand von **C = 388 mm**.

b.) Auflösung d = 70 mm

Bei einer Auflösung von d = 70 mm kann ein Arm nicht sicher erkannt werden und somit muss nach DIN EN ISO 13855 **C = 850 mm** als Zuschlag berücksichtigt werden.

c.) Auflösung d = 200 mm

Der Wert 200 mm ist in der IEC/TS 61496-4-3 für Kamerasysteme als Durchmesser eines kugelförmigen Probekörpers für die sichere Körpererkennung (Rumpf) festgelegt. Auch hier ist demnach der Armzuschlag **von C = 850 mm** anzunehmen.

typische Auflösungen	Eindringabstand C	Mindestabstand 3D Schutzraum S ₀
a.) d = 55 mm	388 mm	973 mm
b.) d = 70 mm	850 mm	1450 mm
c.) d = 200 mm	850 mm	1580 mm

Angenommene Werte für die Berechnungsbeispiele:
 K = 1600 mm/s (Schreitgeschwindigkeit)
 T = 0,3 s
 ➔ „K x T“-Anteil = 480 mm.
 C_{tz} = 50 mm

Tabelle 2: Ergebnisse für typische Auflösungen nach Kapitel 2.2 und 2.3

2.3 Anwendung auf das Beispiel

Für das Beispiel des in Bild 1 dargestellten zylindrischen Schutzraumes ergibt die Anwendung der oben genannten Adaptionen der DIN EN ISO 13855 folgendes Ergebnis für die drei betrachteten Auflösungen:

a.) Bei Auflösung d = 55 mm:

ergibt **C = 388 mm** (Unterarm mit ausgestreckter Hand).

Die Kontrolle, ob C_{RO} > C ist, führt nach der oben beschriebenen Vorgehensweise zu dem Schluss, dass ab einer Höhe der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils von 2200 mm C_{RO} maximal einen Wert von 250 mm annimmt und sich dann keine Erhöhung ergibt. Somit ist im gewählten Beispiel

S₀ = (K x T) + C + C_{tz} + d = 973 mm.

b.) Bei Auflösung d = 70 mm:

ergibt **C = 850 mm** (ausgestreckter Arm). Somit ist im gewählten Beispiel

S₀ = (K x T) + C + C_{tz} + d = 1450 mm.

Ab einer Höhe der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils von 1400 mm ergibt sich keine Erhöhung durch mögliches Hinüberreichen.

c.) Bei Auflösung d = 200 mm:

ergibt **C = 850 mm** (ausgestreckter Arm) Somit ist im gewählten Beispiel

S₀ = (K x T) + C + C_{tz} + d = 1580 mm.

Ab einer Höhe der Oberkante des zylindrischen Schutzraumanteils von 1400 mm ergibt sich auch in diesem Fall keine Erhöhung durch mögliches Hinüberreichen.

Ein deutlicher Unterschied im Mindestabstand S ergibt sich erst beim Übergang von d = 70 mm auf d = 55 mm, da dann statt des ausgestreckten Arms nur der Unterarm inklusive ausgestreckter Hand als Eindringabstand C berücksichtigt werden muss.

Zwischen d = 200 mm und d = 70 mm ist der Unterschied minimal, da in beiden Fällen der ausgestreckte Arm unterstellt wird.

2.4 Kugelförmiger Schutzraum

Ein kugelförmiger Schutzraum mit aufgesetztem Kegel ist bei gegebenem Mindestabstand S für punkt- oder kugelförmige Gefahrstellen derjenige Schutzraum mit minimalem Volumen. Gegenüber dem zylindrischen Schutzraum ist der gewonnene Freiraum im Bein- und Kopfbereich in der Praxis aber kaum relevant. Wegen der oben angesprochenen Messungenauigkeit muss sowieso ein Mindestabstand zum Boden von typischerweise 200 bis 300 mm eingehalten werden. Das ungewollte Verletzen des Schutzraums mit der Fußspitze ist daher in 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 z. B. eines Kamerasystems mit festen Öffnungswinkeln der Optik am besten wider.

DIN EN ISO 13855 schlägt in Abschnitt 6.4 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 der Gefahrenstelle angebrachten BWS mit dreidimensionalem Schutzraum, die senkrecht nach

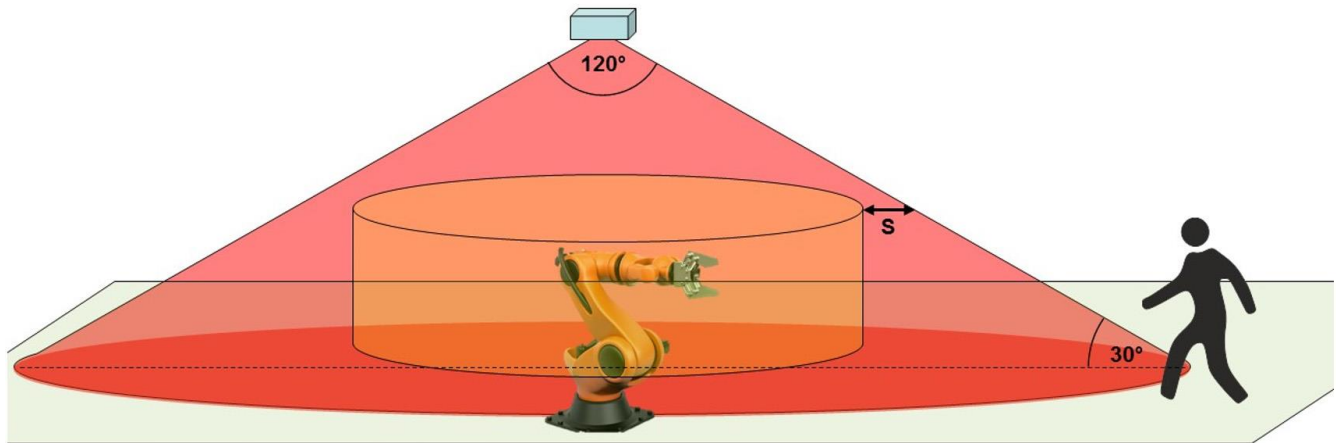


Bild 3: Illustration von Kameraöffnungswinkel und Winkel zwischen Schutzfeld und Annäherungsrichtung im Grenzfall 30°

unten „guckt“, entspricht der Grenzfall 30° einem Öffnungswinkel der Optik von 120°, siehe Bild 3. Vorteile gegenüber einer Zylindergeometrie sind daher üblicherweise nicht zu erwarten.

Anmerkung:

Kamerasysteme 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 $d = 55\text{ mm}$ Auflösung (Erkennung des Armes) keinen Sinn. Bei $d = 70\text{ mm}$ und $d = 200\text{ mm}$ ist aber wie beim zylindrischen Schutzraum der vorgestreckte Arm zu unterstellen und es ergeben sich daher keine anderen Mindestabstände. In der betrieblichen Praxis wird die „voreilende“ Detektion im Beinbereich aber 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 Gefahrenkontur. S_0 kann mit wenig Aufwand berechnet werden. Kugel oder Kegel bringen keine Vorteile, die den erhöhten Aufwand bei der Berechnung von S_0 rechtfertigen (außer eine solche Konfiguration wird z. B. durch ein Werkzeug wie eine Konfigurationssoftware unterstützt).
2. Die Höhe der Zylinderoberkante über dem Boden sollte mindestens 2400 mm betragen für $d < 70\text{ mm}$, ansonsten 1400 mm. So führt die Möglichkeit des Hinüberreichens unabhängig von der Höhe des Gefährdungsbereiches zu keiner Erhöhung von S .

3. Eine Auflösung von $d = 55\text{ mm}$ bringt eine deutliche Verringerung von S , während eine Auflösung von 70 mm gegenüber 200 mm kaum einen Gewinn bringt.
4. Der Mindestabstand S_0 inklusive aller Zuschläge ist wie folgt zu berechnen:

$$S_0 = K \times T + C + C_{tz} + d$$

3 Gestaltungsempfehlungen für 3D-Schutzräume und ihre Markierung

Die Untersuchung von FB HM und IFA hat gezeigt, dass hohe individuelle Unterschiede beim Umgang mit Gefährdungsbereichen bestehen: Vorsichtige Bediener neigen dazu, Schutzraumverletzungen zu vermeiden, indem sie einen zusätzlichen Abstand zur Schutzraumgrenze einhalten. Andere Bediener 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 Gefahrenkontur 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 Schutzraumoberfläche eine Minimierung des Schutzraums im Hinblick auf den wirklich „gefährlichen“ Bereich. Dadurch wird die Arbeit möglichst wenig beeinträchtigt und der Manipulationsanreiz minimiert.

Aus der IFA-Untersuchung gibt es auch Hinweise, dass Markierungen von Schutzräumen wenn möglich auch in der Höhe erfolgen sollten, um Schutzraumverletzungen zu vermeiden. Bodenmarkierungen reichen u. U. zur Orientierung 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 des Schutzraumes

Der derzeitige Normenstand (DIN EN ISO 13855, Abschnitt 6.2.2) lässt eine maximale Höhe des Schutzfeldes von $H = 300$ mm über der Bezugsebene (Boden) zu. Ist dies nicht gegeben, so ist in der Risikobeurteilung die Möglichkeit des Unterkriechens zu berücksichtigen. Im Rahmen der oben genannten Untersuchungen stellte sich somit auch die Frage: Ist auch bei 3D-Schutzfeldern die Maximalhöhe von $H = 300$ mm anwendbar?

Insbesondere die Fragen

- Kann H für neuartige 3D-BWS mit einer Schutzraumlänge ≥ 200 mm gegebenenfalls angehoben werden?
- Welche Unterkriech-Geschwindigkeit kann dabei angenommen werden?

wurden in einem Feldversuch mit 43 Schülerprobanden im Alter von mindestens 14 Jahren näher untersucht. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte eindeutig, dass auch bei optischen Schutzräumen, deren Grenzen nicht sichtbar sind, Höhen von 300 mm auf eine Schutzraumlänge von 2000 mm leicht unterkrochen d. h. umgangen werden können (siehe Kapitel 5). Es stellte sich somit für weitere Betrachtungen und Normentwürfe für sämtliche BWS die Frage, inwieweit die geforderten maximalen Schutzraum- und Schutzfeldhöhen verändert werden müssen.

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 damaligen Fachausschuss MHHW (heute Teil des Fachbereich Holz und Metall) initiiert und beschäftigt sich mit der Ermittlung von

Sicherheitsabständen für neuartige kamera-basierte BWS mit dreidimensionalem Überwachungsraum: 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 Schreitgeschwindigkeit (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 Hinüberreichen oder zu Hindernissen im Weg. In der Normung von kamerabasierten BWS wird der Unterarm als Kegelstumpf modelliert.

Das Projekt wurde im SUTAVE-Labor [4] des IFA in gemischter Realität durchgeführt. Die Methodik bietet die Vorteile, dass keine realen Gefährdungen auftreten, die Bewegungsverfolgung mit automatischer Datenerfassung möglich ist, Szenenwechsel einfach umsetzbar sind und die BWS-Eigenschaften einstellbar sind. Die Szene bildete einen Kooperationsarbeitsplatz ab, an dem die Probanden an einem realen Drehtisch mit einem virtuell dargestellten Roboter eine Muster-Wiedererkennungsaufgabe und eine Montageaufgabe ausführten.

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

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

Bei den Schutzraumgeometrien provoziert die Kugel gegenüber dem Quader deutlich weniger Schutzraumverletzungen. Dies kann auf den

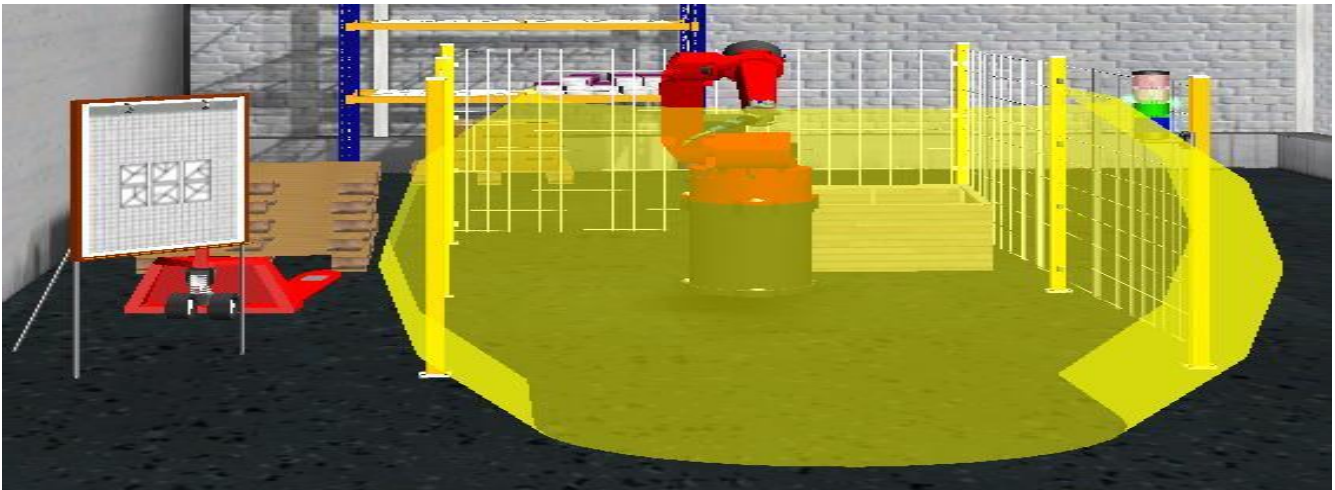


Bild 4: Versuchsaufbau in virtueller Realität ohne die realen Arbeitsmittel (Drehtisch, Montagerahmen, Materialablage, Bedienpult, Laptop). Der hier transparent gezeigte kugelförmige Schutzraum war für die Probanden nicht sichtbar.

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 Probanden 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 [5] 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 10 erwachsenen IFA-Mitarbeitern und einer Feldstudie mit 43 Schülerprobanden. Im Anwendungsbereich der DIN EN ISO 13855 werden Personen genannt, die mindestens 14 Jahre oder älter sind.

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

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

Fast alle Probanden (41 von 43) waren in der Lage, $H = 300$ mm zu unterkriechen. Auch $H = 250$ mm stellte für die Mehrzahl (30 von 41) kein Hindernis dar. Erst die Absenkung auf $H = 200$ 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 H . 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 $H \leq 300$ mm kann aus der Hauptuntersuchung die Kriechgeschwindigkeit mit ca. 0,4 m/s nach oben hin (zur sicheren Seite) abgeschätzt werden.

In der Vorstudie wurde langsamer gekrochen (andere Probanden, ungünstiger Boden). Ansonsten ergaben sich ähnliche Ergebnisse wie in der Hauptstudie.

Zum Vergleich wurde mit den 10 erwachsenen Probanden in ähnlicher Weise die seitliche Umgehbarkeit eines unsichtbaren Schutzraums

untersucht. Die umgeharen Abstände zwischen fester Begrenzung (Wand) und der Schutzraumgrenze zeigten keine Unterschiede zu den Ergebnissen beim Unterkriechen. Die Umgehungsgeschwindigkeit wird aber 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 unterstützen die Anforderungen an die Absicherung von Gefahrenstellen mit Kamerasystemen 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 Anhang AA der IEC/TS 61496-4-3 können auch systemspezifische Eigenschaften wie zufällige und systematische Messfehler der jeweiligen 3D-Schutzeinrichtung 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, die in Frage kommenden Vorschriftentexte einzusehen.

Diese „Fachbereich AKTUELL“ ersetzt die gleichnamige Fassung, herausgegeben als DGUV-Information Ausgabe 04/2014. Aktualisierungen wurden infolge redaktioneller Anpassungen erforderlich.

Der Fachbereich Holz und Metall setzt sich unter anderem zusammen aus Vertreterinnen und Vertretern der Unfallversicherungsträger, staatlichen Stellen, Sozialpartnern, herstellenden und betreibenden Firmen.

Weitere Informationsblätter oder „Fachbereich AKTUELL“ des Fachbereichs Holz und Metall stehen im Internet zum Download bereit [6].

Literatur:

- [1] DIN EN ISO 13855:2010-10; Sicherheit von Maschinen - Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen (ISO 13855:2010); Beuth Verlag, Berlin
- [2] DIN IEC/TS 61496-4-3; VDE V 0113-204-3:2016-08; 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 (VBPDST) Beuth Verlag, Berlin
- [3] B. Heinke, T. Bömer; Sehende Überwachungen – Erste geprüfte Kamerasysteme als Schutzeinrichtungen zur Überwachung von Schutzräumen an Maschinen und Anlagen; TÜ Bd. 50 (2009) Nr. 10 – Oktober
- [4] Safety and Usability through Applications in virtual Environments (SUTAVE)-Labor des IFA.
- [5] 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
- [6] Internet: www.dguv.de/fb-holzundmetall oder Publikationen oder www.bghm.de Webcode: <626>

Bildnachweis:

Die in dieser „Fachbereich AKTUELL“ gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Bild 1, 3: Roboter © beawolf/stock.adobe.com / Sonstiges © IFA

Bild 2, 4: Institut für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV, 53754 Sankt Augustin,

Tabellennachweis:

Tabelle 1: Formel zur Berechnung des Mindestabstandes

Tabelle 2: Ergebnisse für typische Auflösungen nach Kapitel 2.2 und 2.3

Herausgeber

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-6132
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet „Maschinen, Robotik und Fertigungsautomation“
im Fachbereich „Holz und Metall“
der DGUV > www.dguv.de Webcode: d544779

An der Erarbeitung dieser „Fachbereich AKTUELL“ FBHM-072 haben mitgewirkt:

- Fachbereich 5 Unfallprävention Digitalisierung – Technologien des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)