



▶ 3D-BWS und dynamische Sicherheitsabstände

Fachveranstaltung Maschinensicherheit, Nümbrecht
Daniel Hoberg

PILZ
THE SPIRIT OF SAFETY

▶ Agenda

- ▶ Unternehmen Pilz
- ▶ **Teil 1:** Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen
- ▶ **Praxis-Beispiel:** Absicherung einer Stanztiegel Presse
- ▶ **Teil 2:** Dynamischer Sicherheitsabstand
- ▶ **Praxis-Beispiel:** Mensch-Roboter-Kollaboration
- ▶ **Neue Technologie:** Radar

► Unser Auftrag

**Wir
automatisieren.**

Sicher.

► Produktportfolio



Sensorik



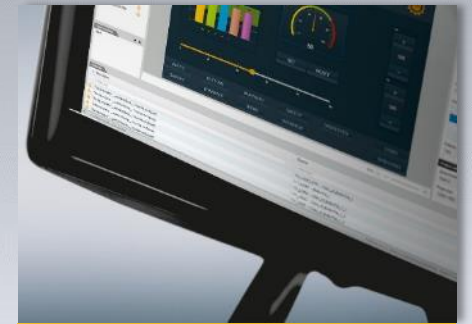
Steuerungen



Antriebstechnik



Bedienen und
Beobachten



Software

► Beratung, Engineering und Schulungen

Dienstleistungen rund um den Maschinenlebenszyklus

International einheitlich mit höchster Qualität unter Berücksichtigung nationaler Anforderungen

Maßgeschneiderte Lösungen

Produktneutrale Seminare zur Maschinensicherheit sowie produktspezifische Schulungen

Maschinensicherheit
Maschinensicherheit entlang des Lebenszyklus

- Risikobeurteilung
- Sicherheitskonzept
- Sicherheitsdesign
- Systemintegration
- Validierung

Sichere Maschinen in jeder Phase

Internationale Konformitätsbewertung
Konformität mit internationalen Normen und Richtlinien

- CE-Kennzeichnung
- USA
- NR-12

Weltweit vorgabekonforme Maschinen

Sicherheit am Arbeitsplatz
Absolute Sicherheit beim Betrieb von Maschinen

- Sicherheitsanalyse des Maschinenparks
- Lockout Tagout-System
- Inspektion von Schutzeinrichtungen

Maximal mögliche Sicherheit für Mensch und Maschine

Schulungen
Internationales Qualifizierungsprogramm und zertifizierte Schulungen

Mehr Erfolg durch berufliche Weiterentwicklung

► Unternehmenskennzahlen



1948 als
Glasbläserei
gegründet



Hauptsitz
Ostfildern



400 Mio. €
Umsatz



42
Tochter-
gesellschaften

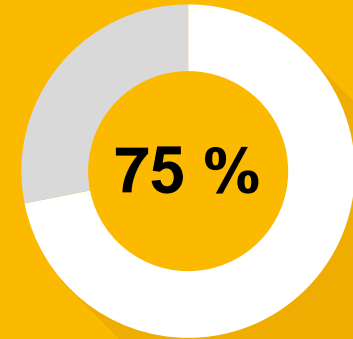


Mitarbeiter
> 2400



F+E-Quote
21 %

Export



75 %

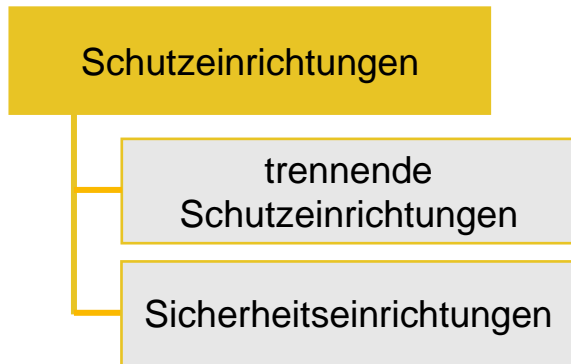


► Teil 1

Teil 1: Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

► Schutzvorrichtungen

Übersicht



Schutzeinrichtungen sind dazu da, Personen vor Gefahren zu schützen, die nicht entfernt oder konstruktiv verhindert werden können.

Es gibt zwei Arten von Schutzeinrichtungen, trennende und nicht trennende Schutzeinrichtungen.

Trennende Schutzeinrichtungen werden definiert als:

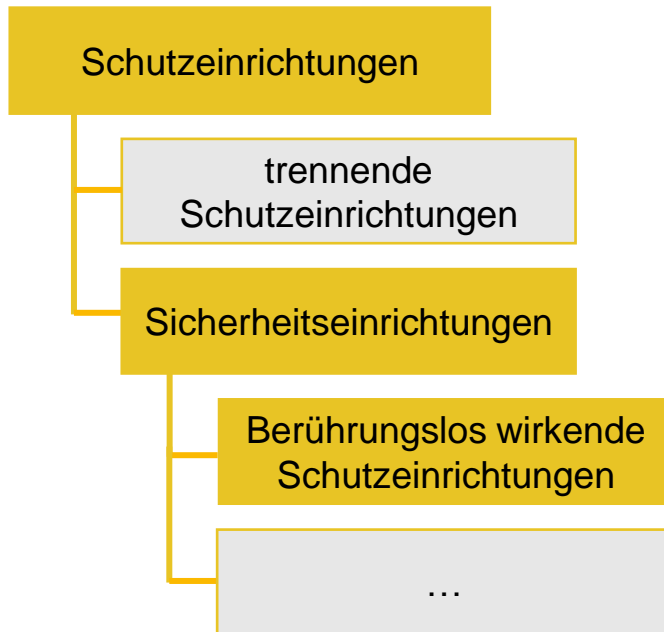
- “ein Maschinenteil, das Schutz mittels einer physischen Barriere bietet.” EN ISO 12100

Sicherheitseinrichtungen werden definiert als:

- “Schutzeinrichtung, die keine trennende Schutzeinrichtung ist” EN ISO 12100

► Schutzvorrichtungen

Sicherheitseinrichtungen – Auflistung



- **Lichtvorhänge**
- **Sicherheitsscanner (2D)**
- **3D Sicherheitssensoren**
- Verriegelungseinrichtungen
- Schalmatten
- Zweihandsteuerungen
- Not-Halt
- Sicherheitsschaltleisten

► Schutzvorrichtungen

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

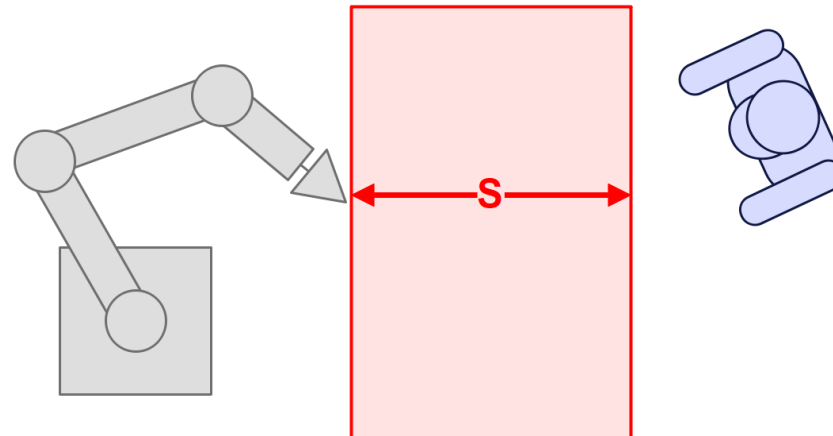
Reduzierung des
Risikos einer
Verletzung



Ermittlung des
notwendigen
Sicherheitsabstands



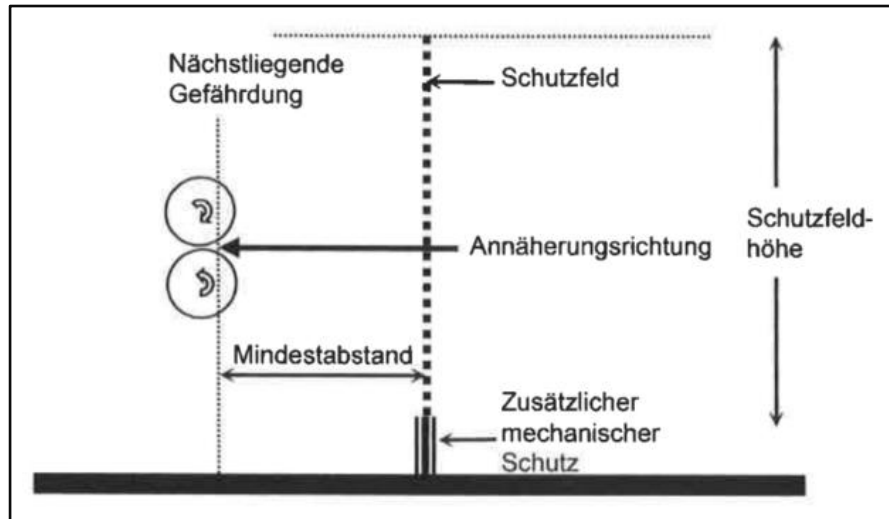
Überwachung der
Einhaltung des
Sicherheitsabstandes
(durch BWS)



► Schutzvorrichtungen

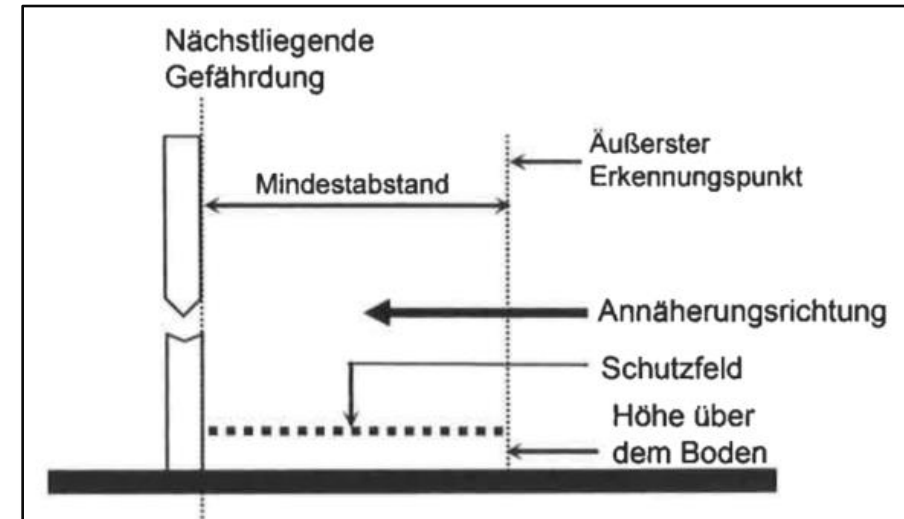
Absicherungsarten nach IEC 62046 (Anwendung von Schutzeinrichtungen zur Anwesenheitserkennung von Personen)

Annäherungsreaktion



- Sicherheitsabstand nach ISO 13855
- Nachlaufzeitbetrachtung
- Relative Annäherungsgeschwindigkeiten
- Umgehen / Umgreifen verhindern
- Ergänzende Schutzmaßnahmen
 - Barrieren
 - Wiederanlaufsperrung
 - Anwesenheitsüberwachung

Anwesenheitsüberwachung



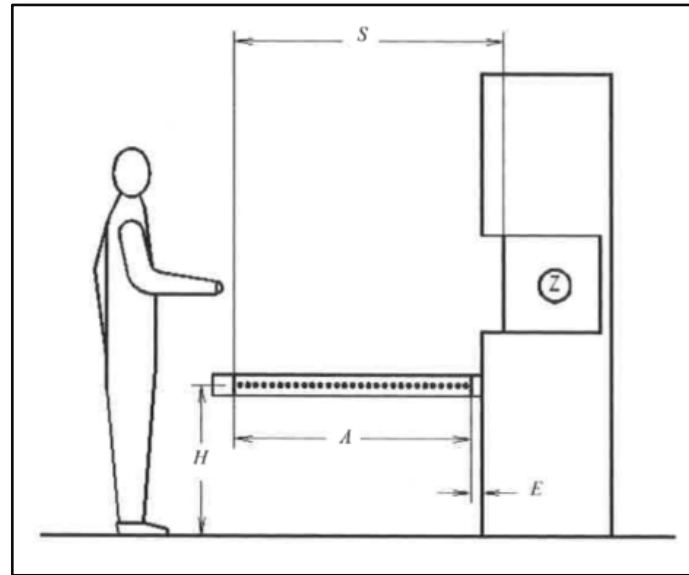
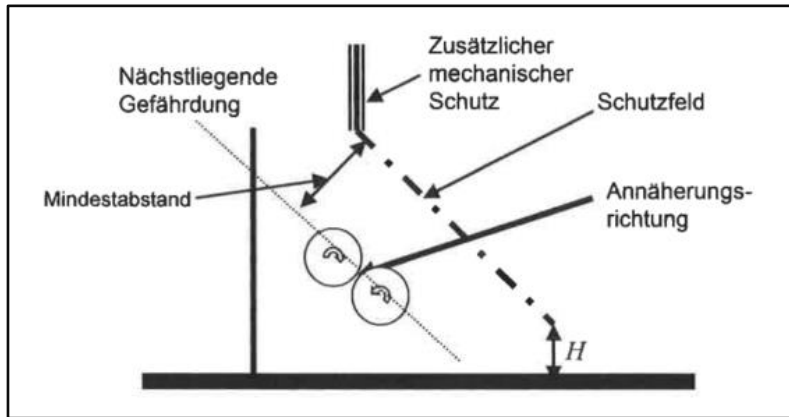
- Sicherer Zustand, solange Person in Schutzfeld
- Evtl. wiederkehrende Prüfung
- Umgehen verhindern
- Ergänzende Schutzmaßnahmen
 - Angeschrägte Oberflächen
 - Keine vorstehenden Teile
- Meist **Kombination** aus **Annäherungsreaktion** und **Anwesenheitsüberwachung**

[Quelle: IEC 62046]

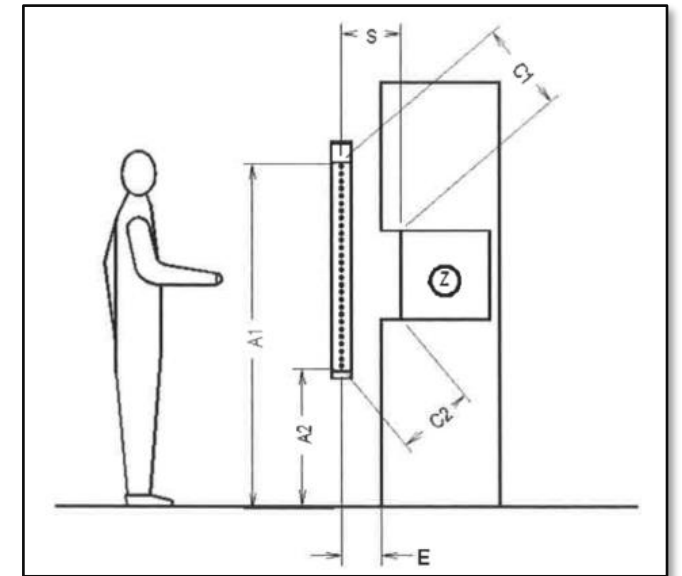
► Schutzvorrichtungen

Absicherungsarten nach IEC 62046

- Beispiele für die Kombination von **Annäherungsreaktion** und **Anwesenheitsüberwachung**:



S = Mindestabstand



[Quelle: IEC 62046]

► Praxis-Beispiel

Stanztiegel

[Link: Drossert ST7 1160 x 1680 mm Diecutter – YouTube](#)

[Link: ML2000 ceasing and die cutting machine - YouTube](#)



[Quelle: Pilz]

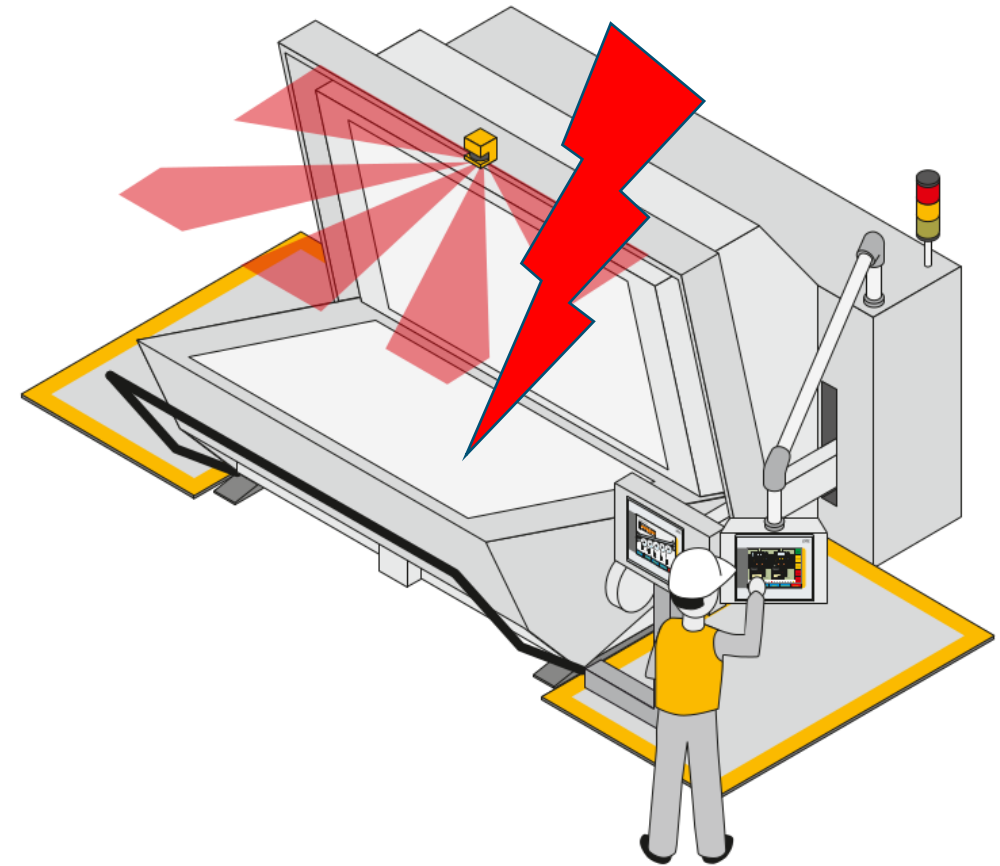


[Quelle: Pilz]

► Praxis-Beispiel

Stanztiegel-Absicherung mit 2D BWS

- Seitliche Absicherung: durch Schaltmatten
 - Problematisch: Übergreifen
- Frontale Absicherung: durch Bügel
 - Problematisch: Übergreifen
- Absicherung Tiegel-Tisch: von oben durch eine Fläche des 2D Laserscanners
 - **Kritisch: Personen auf dem Tisch können nicht erkannt werden**

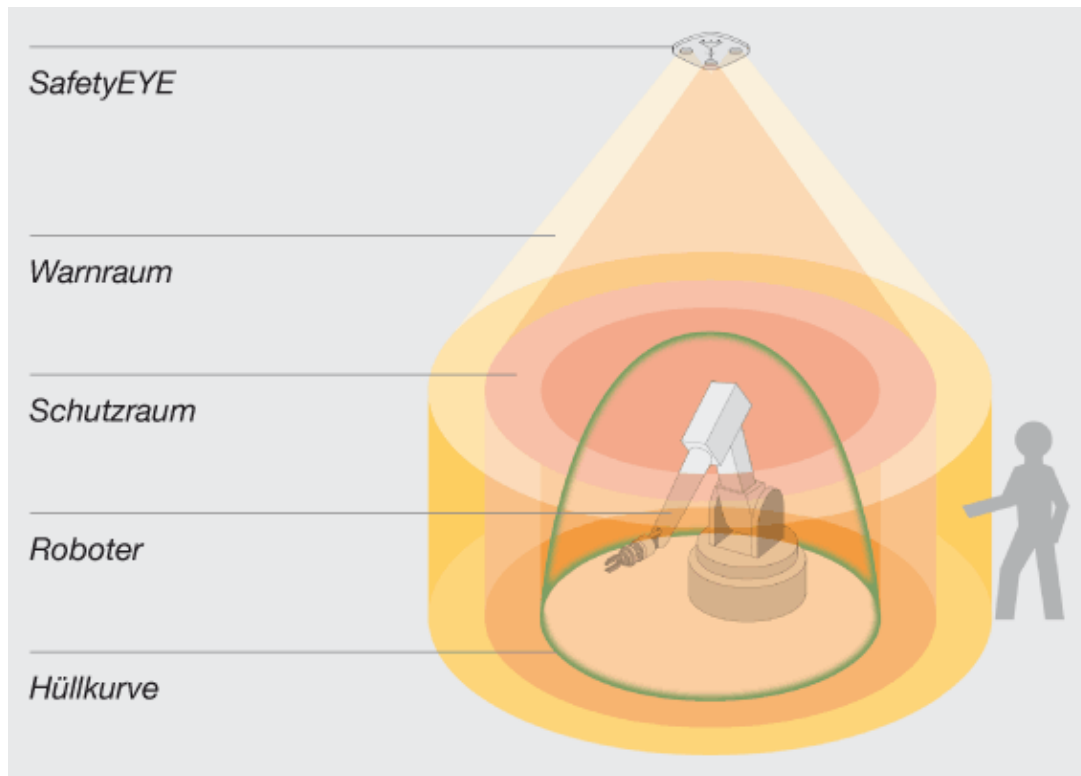


[Quelle: Pilz]

► 3D BWS – SafetyEYE

Funktionsprinzip

Das sichere Kamerasystem SafetyEYE zur dreidimensionalen Raumüberwachung schützt Mensch und Maschine vor gefahrbringenden Arbeitsprozessen.



- Die Sensoreinheit wird über dem zu überwachenden Raum installiert.
- Objekte oder Personen, die in den Warn- oder Schutzraum eintreten, werden durch Algorithmen der Bildverarbeitung detektiert.

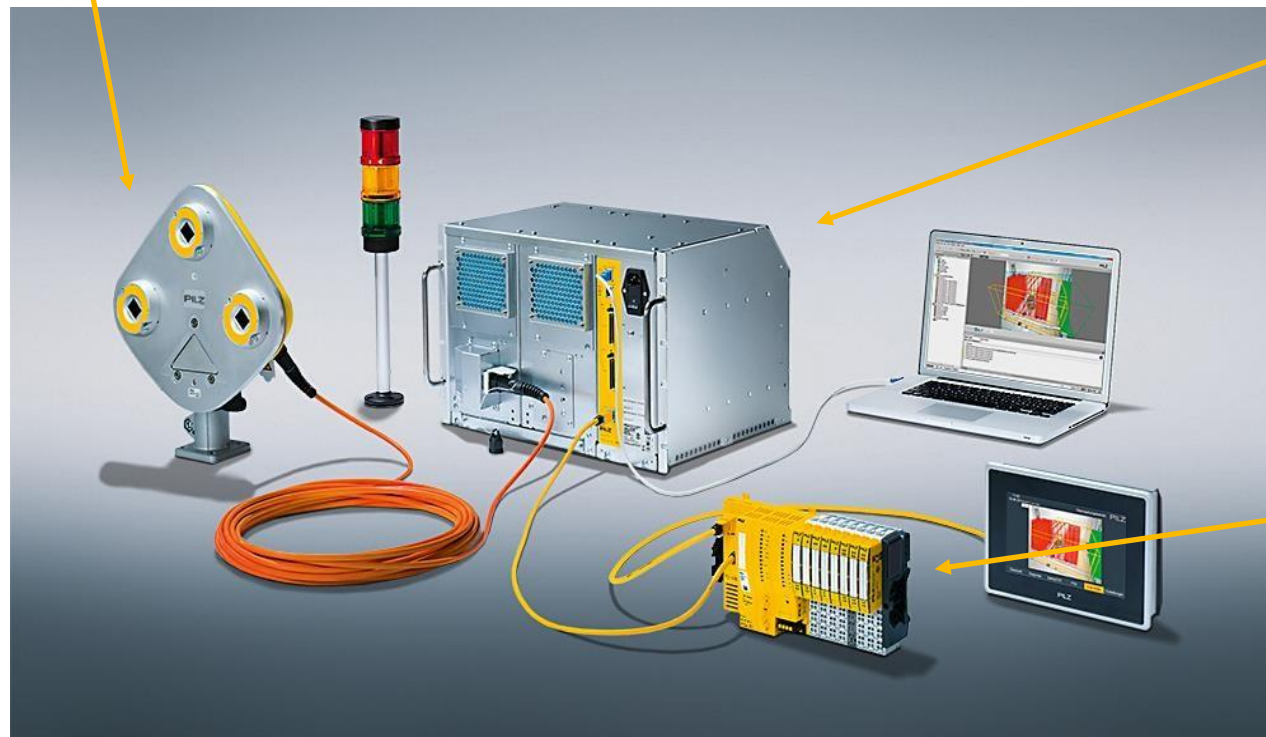
[Quelle: Pilz]

► 3D BWS – SafetyEYE

Systemaufbau

Sensoreinheit PSEN seSU

- Erzeugt Bilddaten mit Hilfe von 3 hochdynamischen Bildsensoren.



Auswerteeinheit PSEN seAU

- Berechnet ein 3D-Bild aus den einzelnen Bilddaten und überprüft die vorkonfigurierten Warn-/Schutzräume.

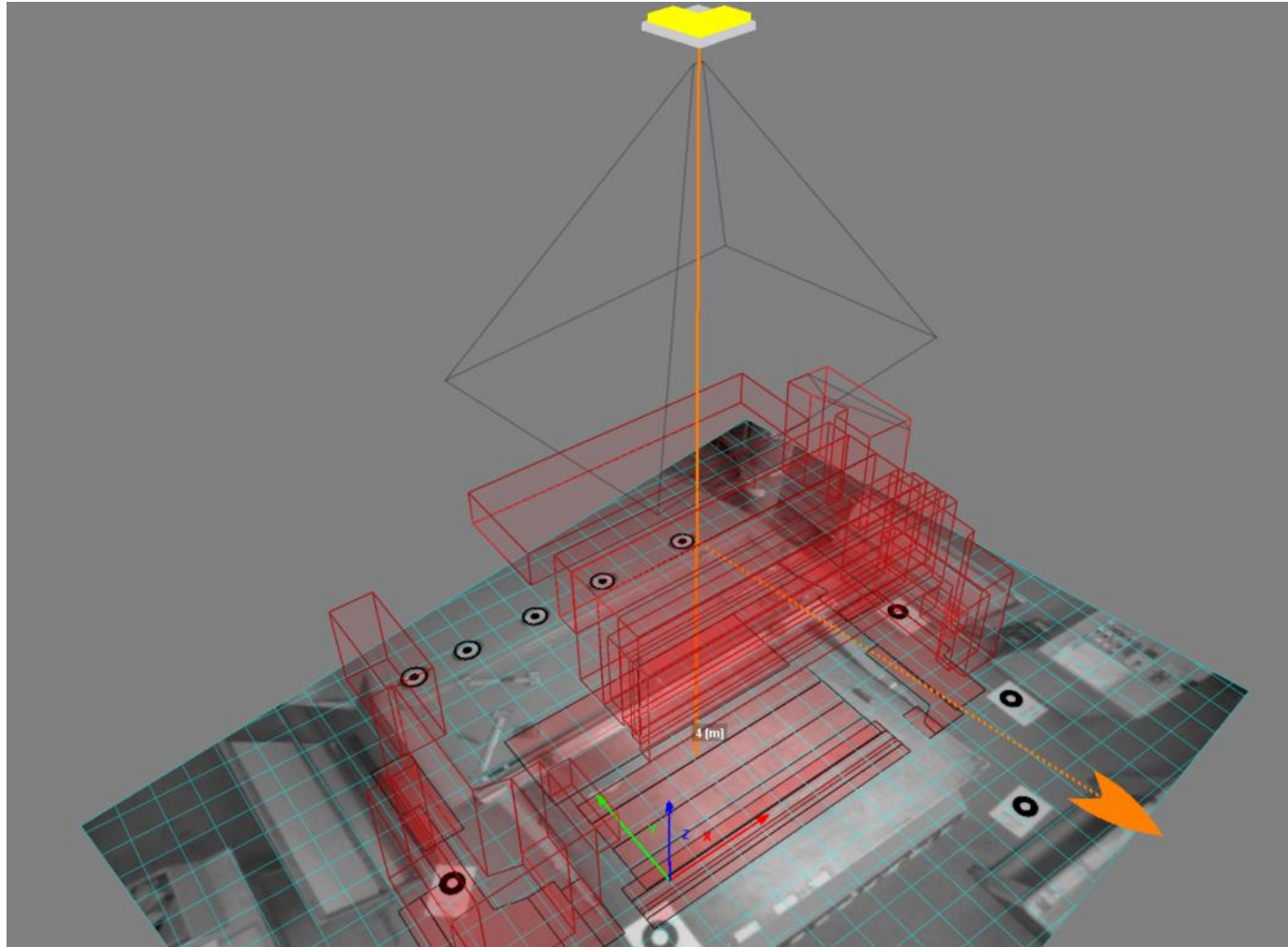
Sicherheitssteuerung PSS

- Prüft die Ergebnisse der Auswerteeinheit und steuert OSSDs und Signalleuchte.

[Quelle: Pilz]

► Umsetzung der Stanztiegel-Absicherung mit 3D BWS

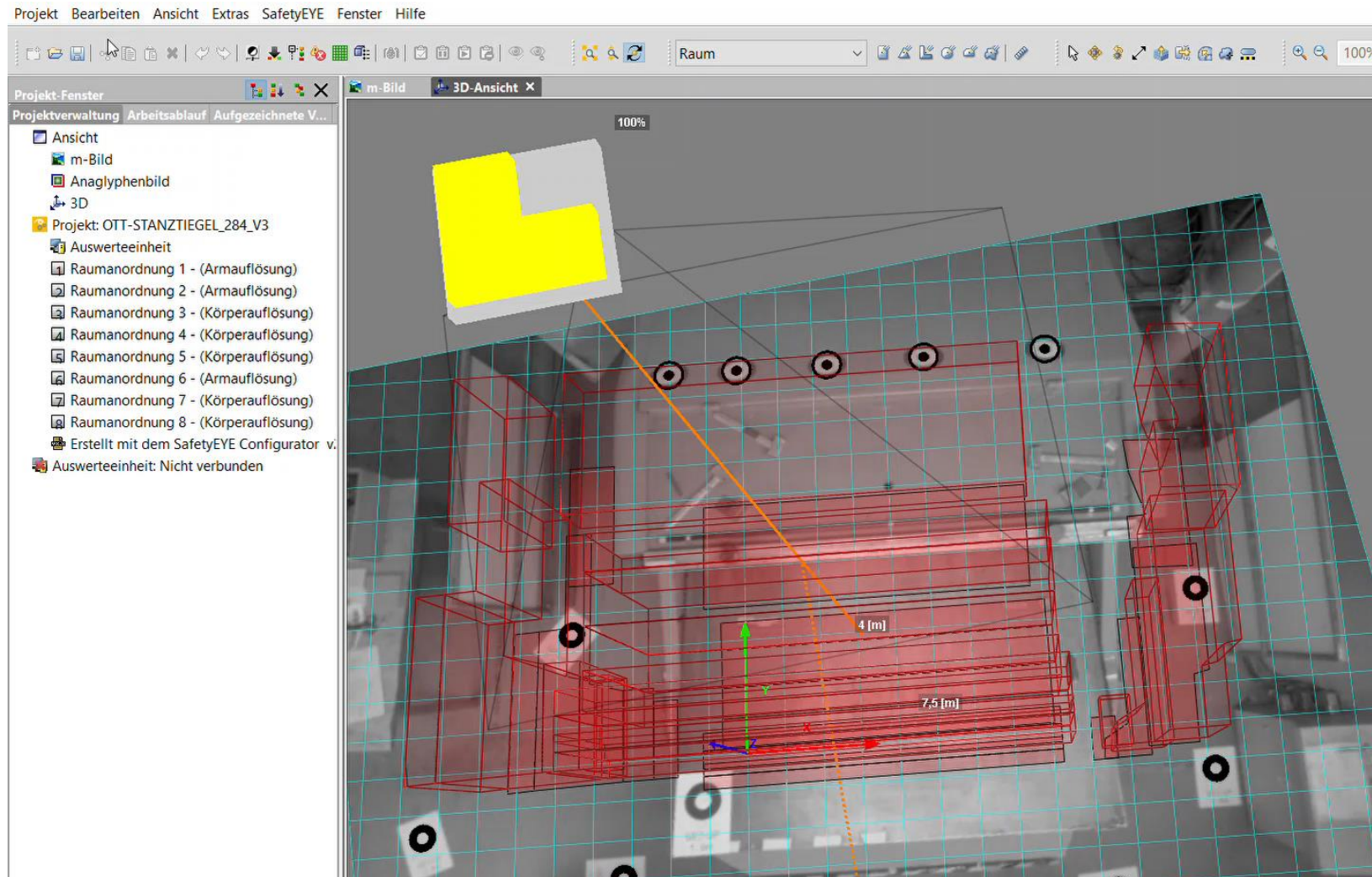
Screenshot des Konfigurations-Tools



[Quelle: Pilz]

► Umsetzung der Stanztiegel-Absicherung mit 3D BWS

Video des Konfigurations-Tools

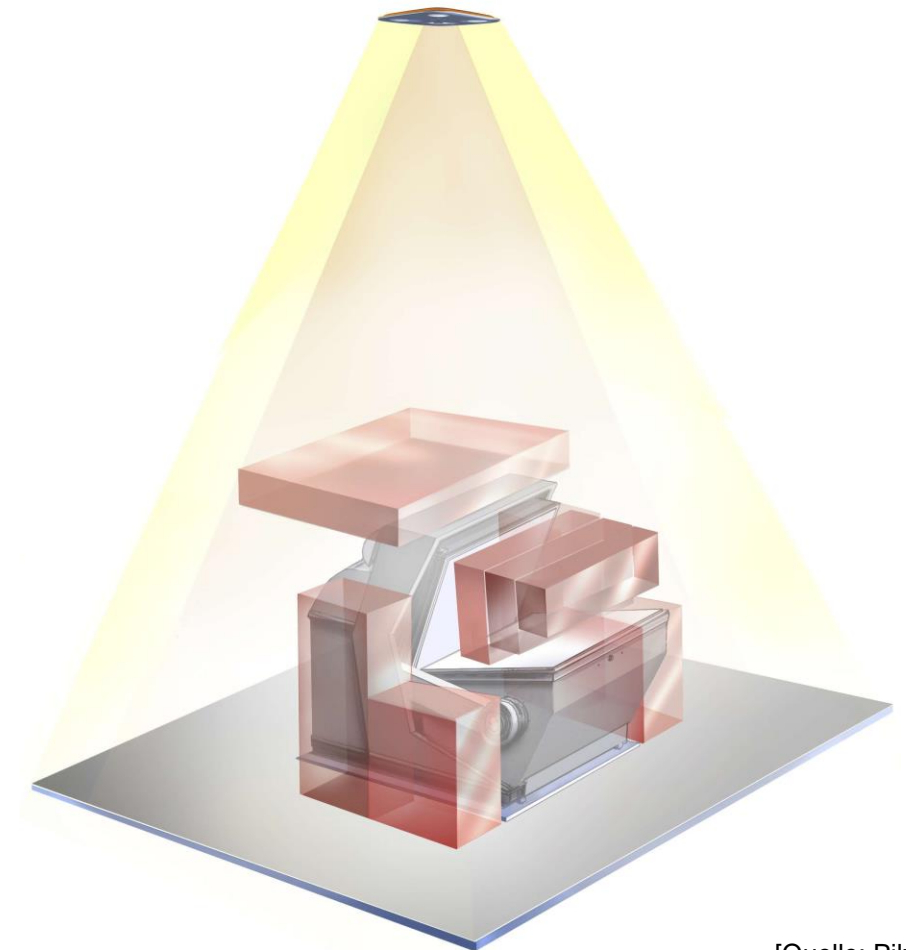


[Quelle: Pilz]

► Praxis-Beispiel

Stanztiegel-Absicherung mit 3D BWS

- Die nicht zuvor nicht abgesicherten Bereiche des Tisches können nun abgesichert werden.
- Die Dynamik der Applikation kann berücksichtigt werden.
- Die seitliche Absicherung kann besser umgesetzt werden.
- Die Sicherheitsabstände sind durch Detektionsvermögen „Arm“ hinreichend klein.



[Quelle: Pilz]

► Gegenüberstellung 2D / 3D BWS

2D BWS

PRO

- + Geringe Kosten
- + Detektionsvermögen
- + Geringe Sicherheitsabstände
- + Einfache Installation
- + Nachvollziehbare Schutzraumgeometrie

CONTRA

- Einsatzbereich eingeschränkt/vorgegeben
- Absicherung komplexer Gefahrenbereiche
- Absicherung dynamischer Applikationen

3D BWS

PRO

- + Dreidimensionale Schutzzonen
- + Sensor über der Applikation positionierbar
- + Gute Kombination von Absicherungsarten

CONTRA

- Hohe Kosten (aktuell) → Zukunft: Radar
- Detektionsvermögen limitiert
- Komplexität der 3D Schutzzonen
- Reaktionszeit hoch (aktuell)

► Teil 2

Teil 2: Dynamischer Sicherheitsabstand (in 3D)

► Schutzvorrichtungen

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

Reduzierung des Risikos einer Verletzung



Ermittlung des notwendigen Sicherheitsabstands



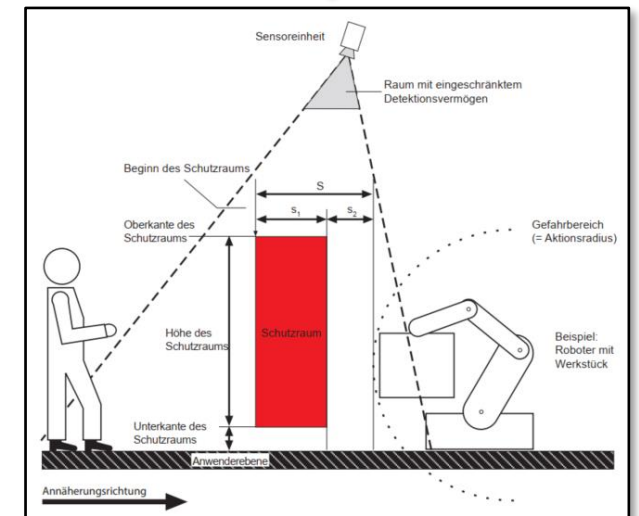
Überwachung der Einhaltung des Sicherheitsabstandes (durch BWS)



- Die Einhaltung des Sicherheitsabstandes wird über Schutzfelder realisiert.
- Schutzfelder sind nur eine **Repräsentation des Sicherheitsabstandes**.
- Dies ist bei bestimmten Applikationen eine Einschränkung.
- Schutzfelder sind meist statisch.
- Dynamik nur über die Umschaltung von statischen Schutzfeldern.

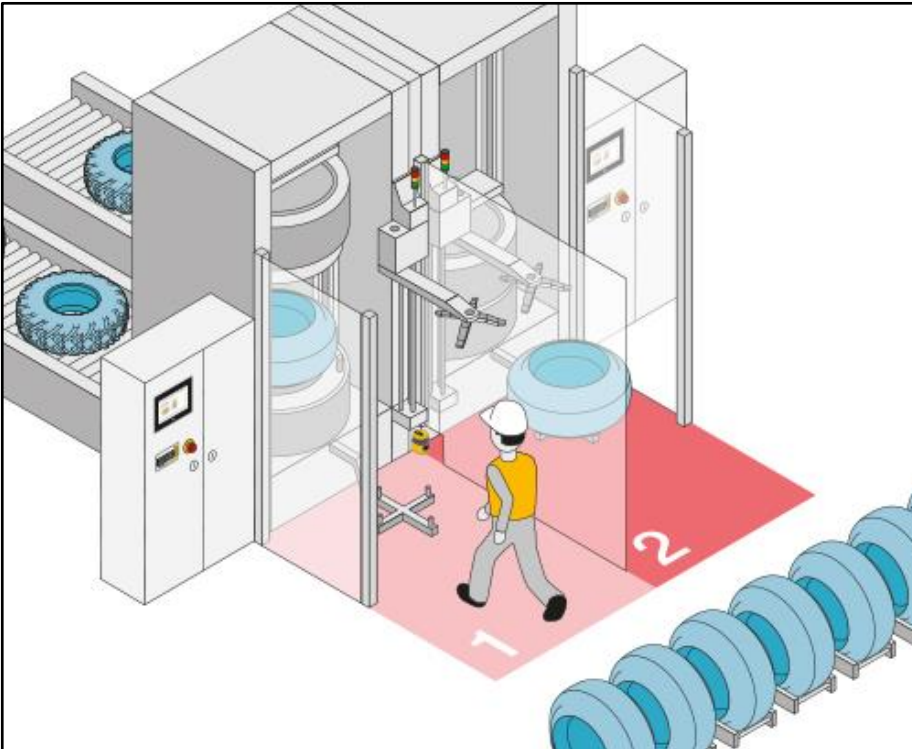


$$S = (K \cdot T) + C$$



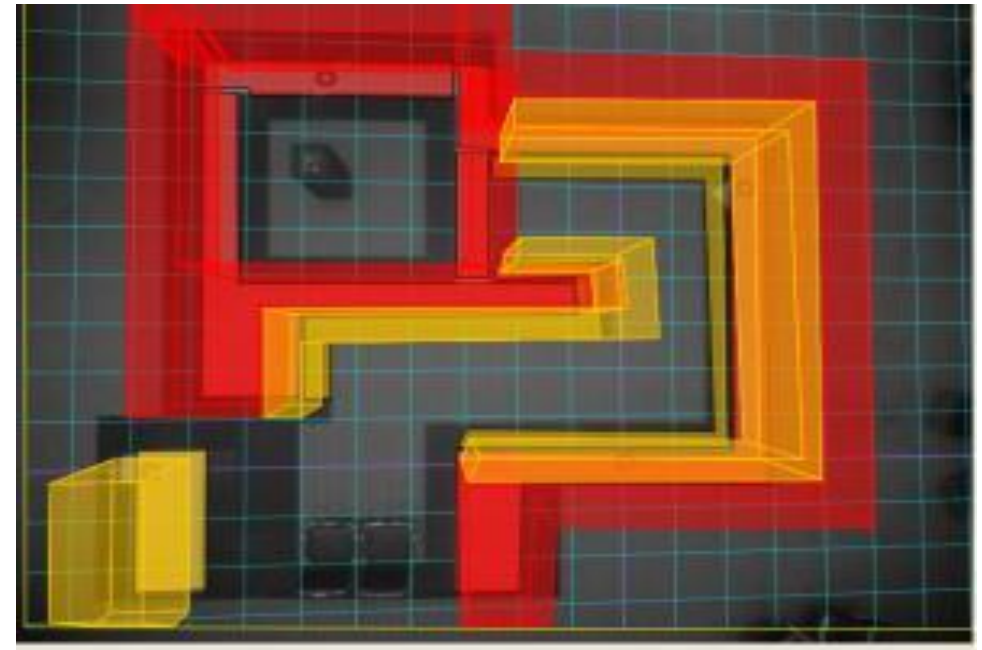
► Herausforderung 3D Schutzraum

- Zweidimensionale Schutzfelder sind meist gut beherrschbar.



[Quelle: Pilz]

- Dreidimensionale Schutzräume benötigen eine gute Tool-Unterstützung.
- 3D Schutzräume können bei dynamischen Setups schnell sehr komplex werden.
- Anforderungen werden in IEC/TS 61496-4-3 beschrieben



[Quelle: Pilz]

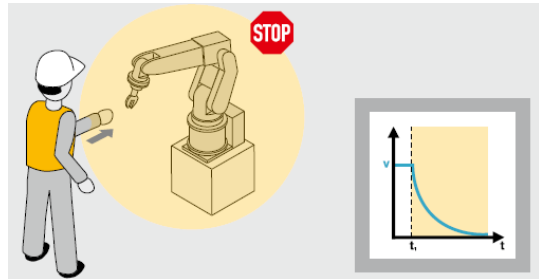
► Praxis-Beispiel: Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

Methoden nach ISO/TS 15066

- **ISO/TS 15066** beschreibt **vier Methoden**, um das Zusammenwirken von Mensch und Roboter sicher zu gewährleisten:

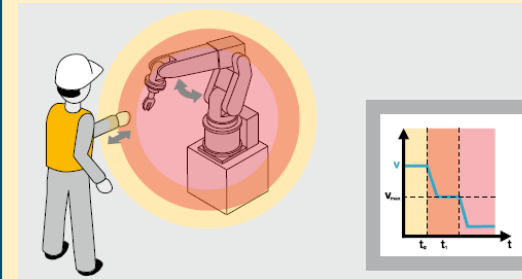
Method 1:

Sicherheitsgerichteter Halt



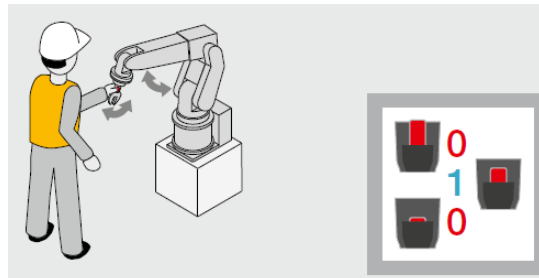
Method 3:

Geschwindigkeits- und Abstandsregulierung



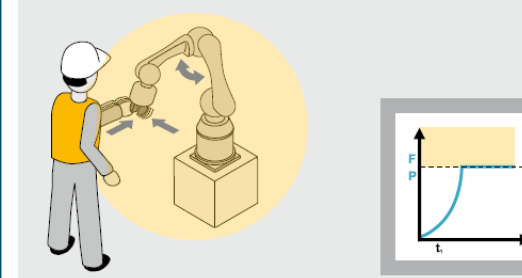
Method 2:

Handführung



Method 4:

Kraft- und Leistungsreduzierung



[Quelle: Pilz]

► Praxis-Beispiel: Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

Sicherheitsabstand statisch vs. dynamisch

Methode 3: Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung

- Allgemeine Gleichung des Sicherheitsabstands
(EN ISO 13855)

$$S = (K \times T) + C$$

S = der Mindestabstand (mm)

K = Parameter für die Annäherungsgeschwindigkeit des Menschen (mm/s)

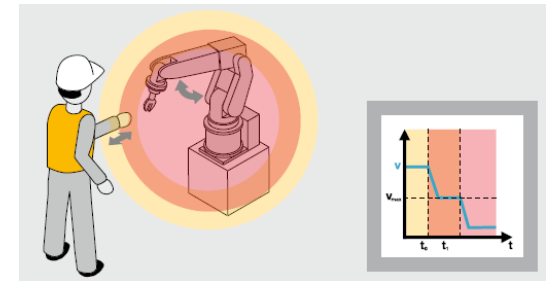
T = der Nachlauf des gesamten Systems (s)

C = der Eindringabstand (mm)

- Gleichung des Sicherheitsabstands bei MRK (berücksichtigt Dynamik)
(ISO/TS 15066)

$$s_p(t_0) = s_h + s_r + s_s + C + z_d + z_r$$

- Beinhaltet zusätzlich folgende Parameter
 - Position und Geschwindigkeit des Menschen (s_h)
 - Reaktionszeit und Anhalteweg des Roboters (s_r, s_s)
 - Positionsunsicherheit des Menschen und des Roboters (z_d, z_r)



► Praxis-Beispiel: Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

Sicherheitsabstand mit Dynamik aus ISO/TS 15066

The protective separation distance, S_p , can be described by Formula (1):

$$S_p(t_0) = S_h + S_r + S_s + C + Z_d + Z_r \quad (1)$$

where

$S_p(t_0)$ is the protective separation distance at time t_0 ;

t_0 is the present or current time;

S_h is the contribution to the protective separation distance attributable to the operator's change in location;

S_r is the contribution to the protective separation distance attributable to the robot system's reaction time;

S_s is the contribution to the protective separation distance due to the robot system's stopping distance;

C is the intrusion distance, as defined in ISO 13855; this is the distance that a part of the body can intrude into the sensing field before it is detected;

Z_d is the position uncertainty of the operator in the collaborative workspace, as measured by the presence sensing device resulting from the sensing system measurement tolerance;

Z_r is the position uncertainty of the robot system, resulting from the accuracy of the robot position measurement system.

[Quelle: ISO/TS 15066]

Dynamischer Abstand der Person zur Gefahrenquelle (Roboter)

$$S_h = \int_{t_0}^{t_0 + T_r + T_s} v_h(t) dt$$

$$S_r = \int_{t_0}^{t_0 + T_r} v_r(t) dt$$

$$S_s = \int_{t_0 + T_r}^{t_0 + T_r + T_s} v_s(t) dt$$

Vollständige Betrachtung der Dynamik!

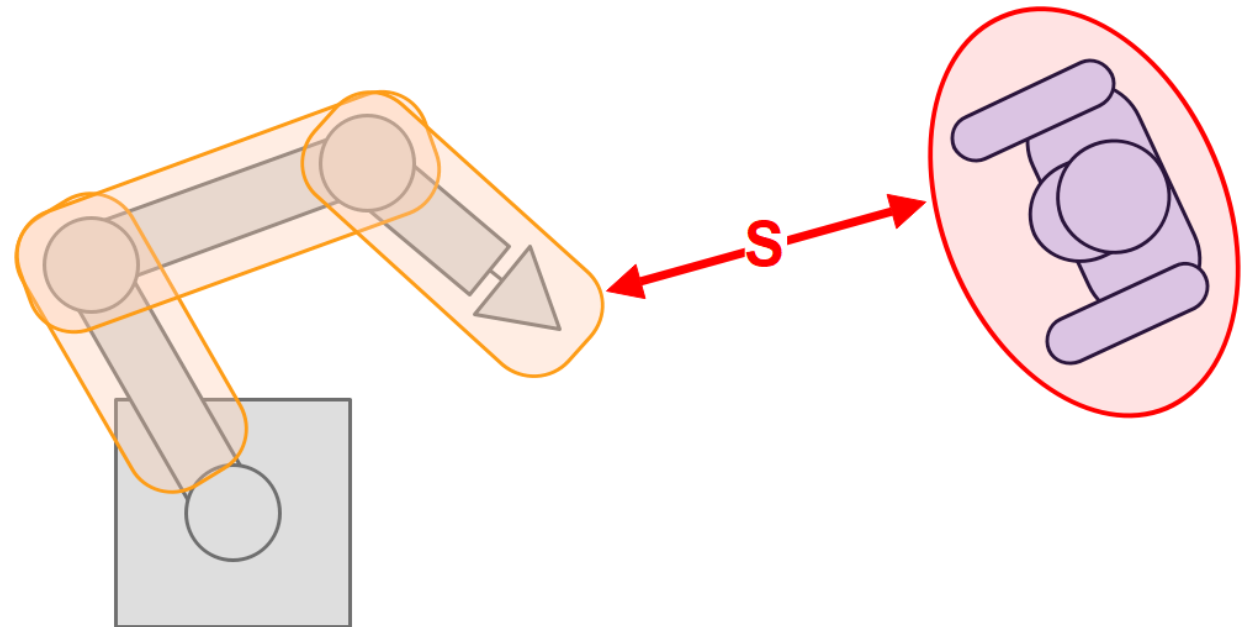
▶ **Dynamischer Sicherheitsabstand**

Vereinfachung des dynamischen Sicherheitsabstands in ISO 13855

- ▶ Entwicklung der ISO 13855: ein Dynamischer Sicherheitsabstand nun in Zukunft betrachtet.
- ▶ Es werden konkrete, auf zwei Dimensionen vereinfachte Handlungsanweisung zur Berechnung dynamischer Sicherheitsabstände gegeben.
- ▶ Eine Erweiterung der Prinzipien auf 3D ist möglich.
- ▶ Bewegungsrichtungen und Geschwindigkeiten werden berücksichtigt.
- ▶ **Achtung:** unterschiedliche Bezeichner zu ISO/TS 15066.

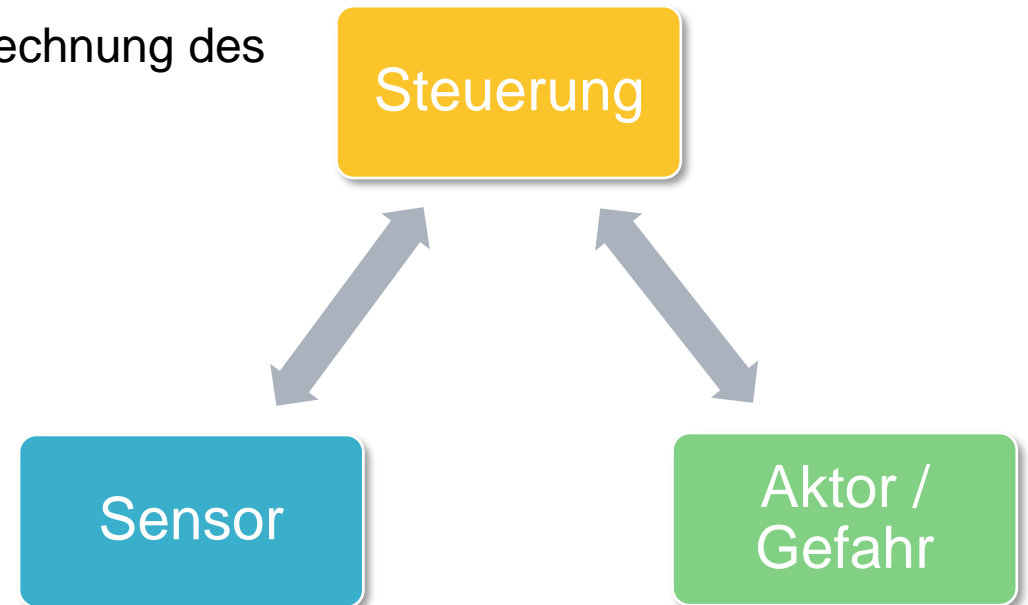
▶ Vorteile für die Anwendung

- ▶ Keine Einrichtung von Schutzfeldern erforderlich.
- ▶ Sicherheitsabstand wird kontinuierlich dynamisch überwacht.
- ▶ Die aktuelle Position der Gefährdung und der Personen wird mit einbezogen.
- ▶ Optional auch die Bewegungsrichtung und die Geschwindigkeit.
- ▶ **Deutlich reduzierter Sicherheitsabstand.**



► Aufgaben in der Applikation

- Einrichtungsprozess für Applikationen, speziell bei mehreren Sensoren (Registrierung).
- Positionsbestimmung durch den Sensor.
 - Gefahrenstelle muss dem Sensor bekannt sein (Modellierung).
- Abstandsberechnung in Safety Controller oder Roboter-Steuerung.
 - Arithmetische Rechenoperationen in Controllern zur Berechnung des Sicherheitsabstands (Transformationen).
 - Ein gemeinsames Koordinatensystem ist erforderlich.
- Generische Anbindung an Aktoren ist erstrebenswert.



▶ **Ausblick**

Entwicklung dynamischer Sicherheitsabstände

- ▶ EN ISO 13855 wird in der kommenden Überarbeitung dynamische Sicherheitsabstände abdecken.
- ▶ Applikationen der Intralogistik und MRK profitieren hauptsächlich von dynamischen Sicherheitsabständen.
- ▶ Erster (2D) Sensor mit Ausgabe einer sicheren Positionsinformation ist am Markt.
- ▶ Es sind noch viele Aufgaben zu lösen, um eine durchgängige Applikationslösung zu erstellen.

- ▶ Neue Sensortechnologie: **Radar**
- ▶ Radar bietet die Möglichkeiten der 3D Überwachung und der dynamischen Sicherheitsabstände.

► Radar

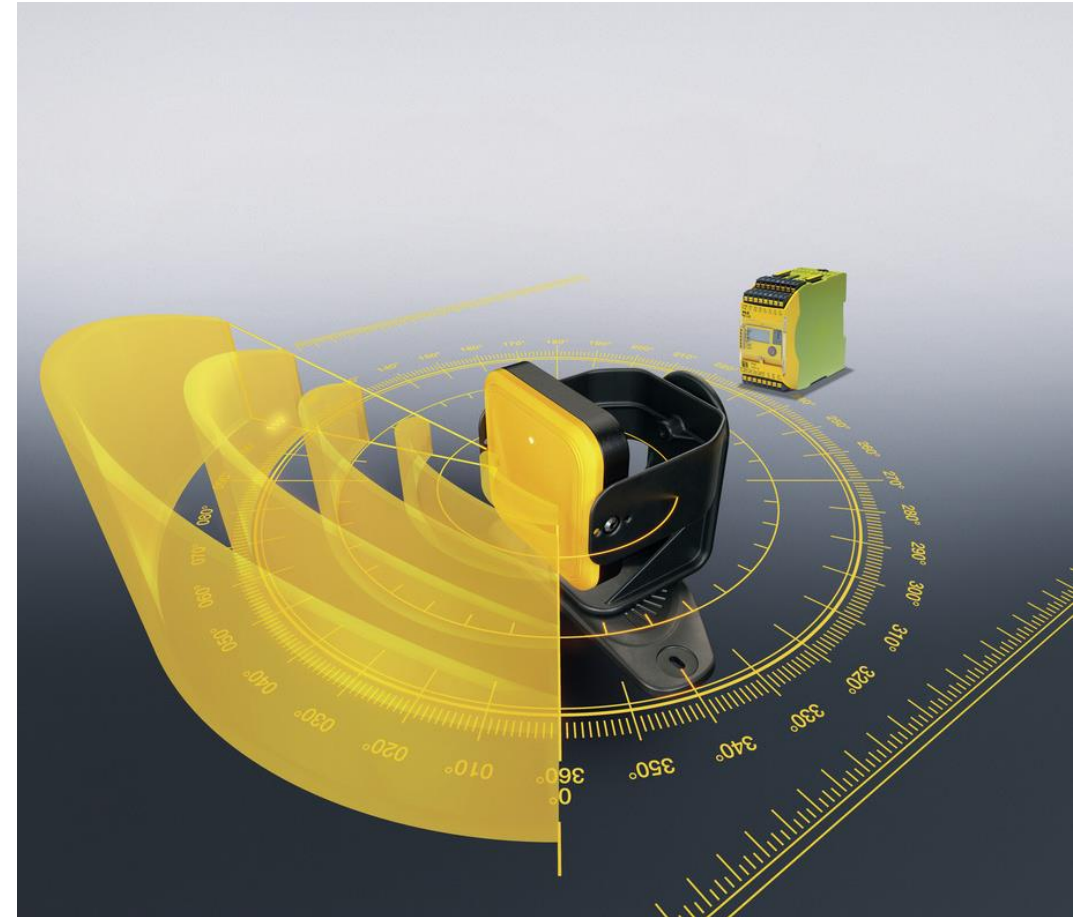
Warum wird die Radartechnologie in der Industrie immer beliebter?

- Radartechnik gewinnt in industriellen Anwendungen an Bedeutung:
 - Kompakte Größe: Alle Komponenten auf einer Leiterplatte oder sogar in einem Chip.
 - Kostengünstig im Vergleich zu anderen Technologien wie Lidar, TOF-Kameras, Stereo-Kameras.
 - Robust gegen Umwelteinflüsse wie Staub, Regen, Licht.
 - Empfindlich auf Metall und Wasser.
 - Option für 3D-Absicherung und dynamische Sicherheitsabstände.



TI mm wave radar

[Quelle: Texas Instruments]



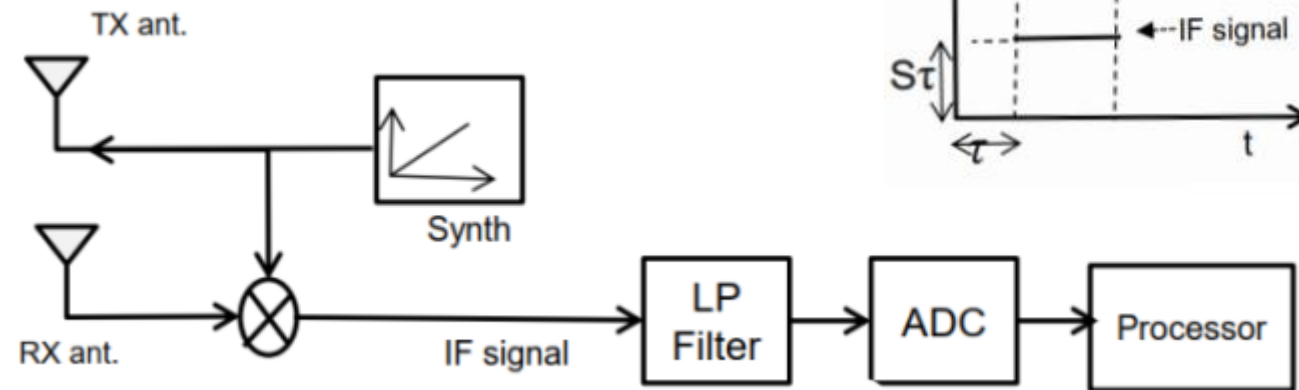
[Quelle: Pilz]

► Radar

Übersicht Funktionsprinzip FMCW Radar

- Verwendetes Radarprinzip: FMCW = frequenzmoduliertes Dauerstrichradar.
- Übertragung eines frequenzmodulierten Signals durch Sendeantennen (TX-Chirp).
- Empfang des reflektierten Signals von Objekten durch die Empfangsantennen (RX-Chirp).
- Das Mischen beider Signale führt zu einer Zwischenfrequenz → ZF-Mischsignal (engl. IF-Signal).
- Die Frequenz des ZF-Mischsignals ist proportional zur Entfernung des Objekts.
- Entfernungsmessung:

$$r = \frac{c}{2} \Delta t = \frac{c}{2} \frac{\Delta f}{df/dt}$$

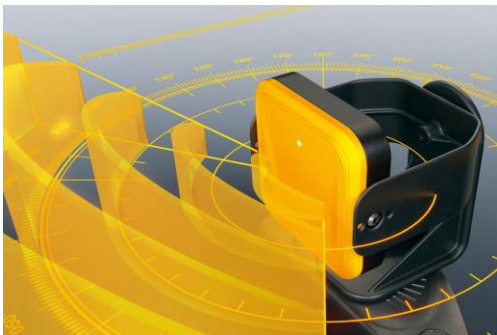


[Quelle: Texas Instruments]

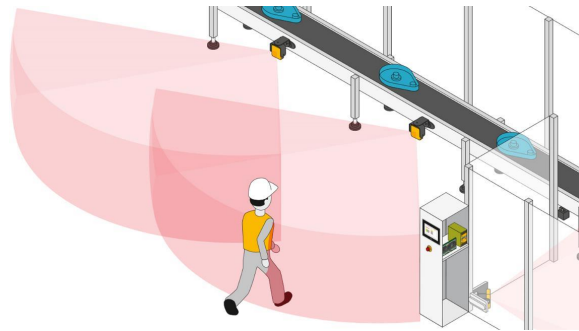
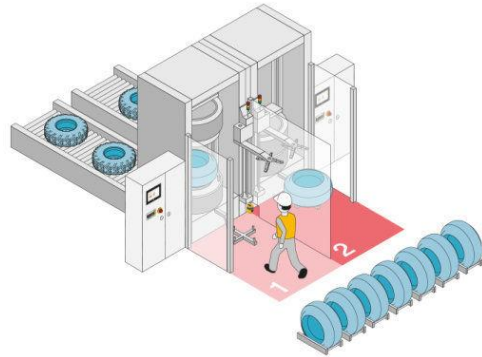
► Radar

Detektionsprinzip – Unterschiede zum Laserscanner

Gerät



Applikation



Detektion



Auflösung

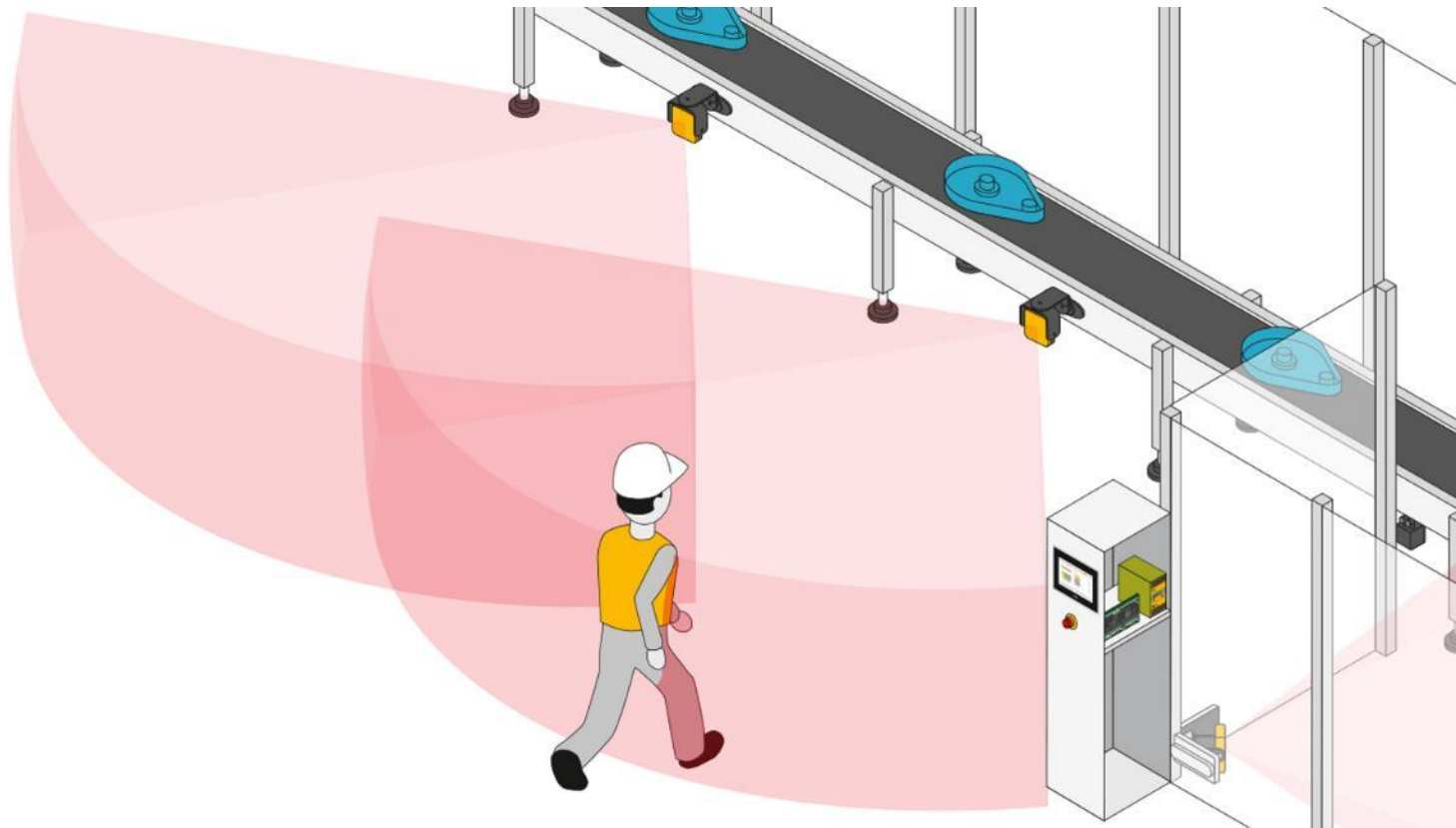
- Detektion: Bein
- Personen können nicht "schweben"
- Installation nahe Boden

- Detektion: Körper
- 3D Überwachung
- Verschiedene Installationshöhen

[Quelle: Pilz]

► Radar

Applikation – Gefahrenbereichsüberwachung

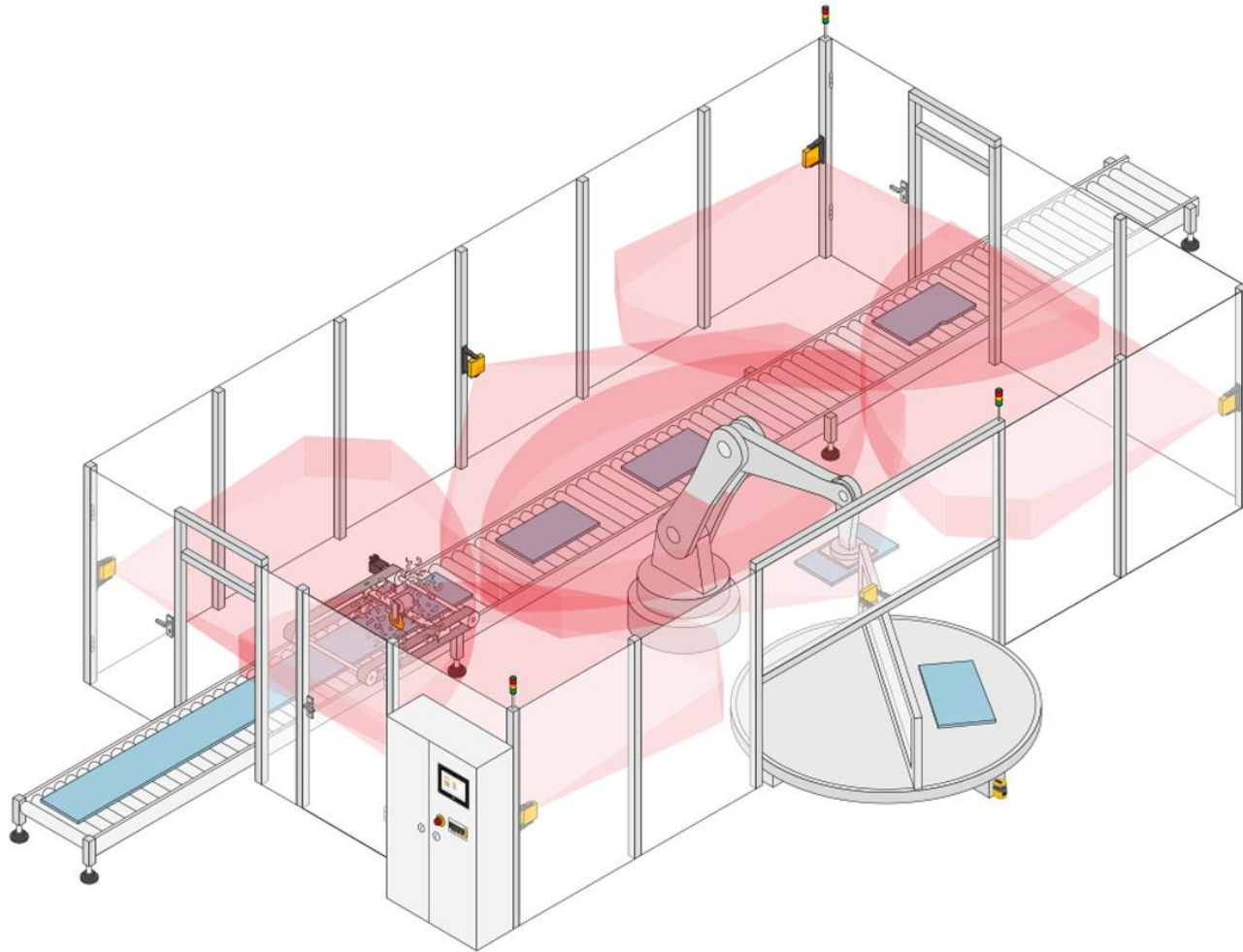


[Quelle: Pilz]

Zu den sicherheitsrelevanten Funktionen, die von einem Sicherheitsradarsystem abgedeckt werden, gehören die Zugangsabsicherung von Gefahrenbereichen (Annäherungsreaktion) und der Hintertretschutz (Anwesenheitsüberwachung). Während beispielsweise die **Zugangsabsicherung** die Maschine in einen sicheren Zustand bringt, sobald eine Person den Bereich betritt, verhindert der **Hintertretschutz**, dass die Maschine automatisch wieder anläuft, wenn sich noch jemand im Gefahrenbereich befindet, z. B. in einer Wartungssituation.

► Radar

Applikation – Sichere Holzbearbeitung



[Quelle: Pilz]

Bei der Holzbearbeitung, auch beim Sägen, ist der Einsatz optoelektronischer Sensoren aufgrund von Staub und Spänen oft nicht möglich. In diesem Fall stellt eine sichere Schutzzoneüberwachung mit Radarsensoren die optimale Lösung dar, um Personen innerhalb des Gefahrenbereichs zu erkennen. Durch die individuelle Gestaltung der Schutzzonen können verschiedene Anwendungen einfach abgesichert werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

PILZ

THE SPIRIT OF SAFETY

Daniel Hoberg

Pilz GmbH & Co. KG, Felix-Wankel-Straße 2, 73760 Ostfildern, Germany

+49-711-3409-567, d.hoberg@pilz.de, <https://www.pilz.com>

www.pilz.com



© Pilz GmbH & Co. KG 2021

PILZ
THE SPIRIT OF

Wir
automatisieren.
Sicher.

PILZ
THE SPIRIT OF

Wir
automatisieren.
Sicher.

PILZ

THE SPIRIT OF SAFETY

PILZ

