

# WHITEPAPER

## BERÜHRUNGSLOS WIRKENDE SCHUTZEINRICHTUNGEN (BWS) FÜR SICHERE MASCHINEN

OPTOELEKTRONISCHE SCHUTZEINRICHTUNGEN, 2013-03

### AUTOREN

#### **Otto Görnemann**

Manager Machine Safety & Regulations  
bei der SICK AG in Waldkirch/Deutschland

#### **Hans-Jörg Stubenrauch**

Manager Safety Marketing & Documentation  
bei der SICK AG in Waldkirch/Deutschland

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Maßnahmen und die Produkte für die Realisierung der Anforderungen an die Sicherheit von Maschinen sind im Laufe der Jahre vielfältig geworden. Ziel ist eine immer bessere Integration der funktionalen Sicherheit in Maschinen und Anlagen zum Schutz von Mensch und Maschine. Verschiedenste Technologien zur Realisierung von Schutzmaßnahmen stehen inzwischen zur Verfügung.

Mit diesem Artikel werden die berührunglos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) und speziell die optoelektronischen Schutzeinrichtungen näher beleuchtet. Hintergrundinformationen zu den aktuellen optischen Technologien, typische Applikationen, Hinweise zum Einsatz, zu beachtende Einflussfaktoren und zusätzliche Funktionen werden vorgestellt.

Inhaltsverzeichnis

**Einleitung**.....3

**Welche Vorteile bieten berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen?**.....3

**Vor welchen Gefährdungen schützen berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen nicht?**.....3

**Technologien für berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen** .....3

**Optoelektronische Schutzeinrichtungen**.....4

Sicherheits-Lichtvorhänge und -Lichtschranken (AOPD) ..... 4

Sicherheits-Laserscanner (AOPDDR) ..... 5

Kamerabasierte Schutzeinrichtungen (VBPD) ..... 6

**Detektionsvermögen (Auflösung) optoelektronischer Schutzeinrichtungen**.....7

**Wichtige Einflussfaktoren für eine zuverlässige Schutzwirkung von BWS**.....8

Mindestabstand und Nachlaufzeit..... 8

Vermeidung der Umspiegelung von AOPD..... 9

Vermeidung der gegenseitigen Beeinflussung von AOPD ..... 9

**Automatische Materialdurchfahrt mit BWS** .....10

Zeitlich begrenzte Überbrückung (Muting) .....10

Sicherheits-Lichtvorhänge mit Entry-Exit-Funktion .....11

Sicherheits-Laserscanner mit Schutzfeldumschaltung.....12

**Zusätzliche Funktionen von BWS**.....13

Ausblendung (Blanking).....13

Taktbetrieb.....14

**Fazit** .....15

## Einleitung

Die Maßnahmen und die Produkte für die Realisierung der Anforderungen an die Sicherheit von Maschinen sind im Laufe der Jahre vielfältig geworden. Ziel ist eine immer bessere Integration der funktionalen Sicherheit in Maschinen und Anlagen zum Schutz von Mensch und Maschine. Verschiedenste Technologien zur Realisierung von Schutzmaßnahmen stehen inzwischen zur Verfügung.

Bei berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) beruht die Schutzwirkung – im Gegensatz zu den „trennenden Schutzeinrichtungen“ – nicht auf der physischen Trennung des Gefährdeten von der Gefährdung. Die Schutzwirkung wird durch eine zeitliche Trennung erreicht. Solange sich eine Person in einem definierten Bereich befindet, finden dort keine Gefahr bringenden Maschinenfunktionen statt. Wenn solche Funktionen bereits stattfinden, müssen diese angehalten werden. Dieses Anhalten benötigt eine gewisse Zeit, die sogenannte Nachlaufzeit. Die BWS muss die Annäherung der Person an diesen Gefahrenbereich rechtzeitig erkennen und je nach Applikation auch die Anwesenheit der Person im Gefahrenbereich. Die internationale Norm EN 61496-1 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an BWS, unabhängig von deren Technologie oder Funktionsprinzip.

## Welche Vorteile bieten berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen?

Wenn ein Bediener häufiger oder regelmäßig in eine Maschine eingreifen muss und dabei einer Gefahr ausgesetzt ist, ist der Einsatz von BWS anstatt (mechanischer) trennender Schutzeinrichtungen (Abdeckungen, Schutzzäune etc.) vorteilhaft durch:

- Reduzierung der Zugriffszeit (Bediener muss nicht auf das Öffnen der Schutzeinrichtung warten)
- Steigerung der Produktivität (Zeitersparnis beim Beschicken der Maschine)
- Verbesserung der Ergonomie des Arbeitsplatzes (Bediener muss nicht eine trennende Schutzeinrichtung betätigen)

Darüber hinaus werden Bediener und andere Personen gleichermaßen geschützt.

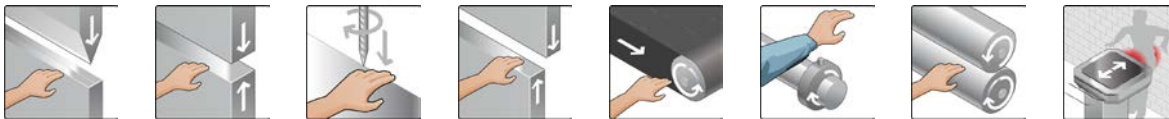


Bild 1: Typische Gefährdungen, bei denen berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen eingesetzt werden können.

## Vor welchen Gefährdungen schützen berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen nicht?

Da berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen keine physische Barriere darstellen, sind sie nicht in der Lage, Personen vor Emissionen wie herausgeschleuderten Maschinenteilen, Werkstücken oder Spänen, ionisierender Strahlung, Hitze (thermischer Strahlung), Lärm, verspritztem Kühl- und Schmiermittel etc. zu schützen (Bild 2). Der Einsatz von BWS ist ebenfalls nicht möglich an Maschinen mit langen Nachlaufzeiten, die nicht realisierbare Mindestabstände erfordern. In solchen Fällen müssen trennende Schutzeinrichtungen angewendet werden.



Bild 2: Gefährdungen, bei denen berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen nicht eingesetzt werden können.

## Technologien für berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen können die Detektion von Personen durch verschiedene Prinzipien realisieren: optisch, kapazitiv, durch Ultraschall, Mikrowellen und passive Infrarotfassung. Aufgrund der ungenügenden Schärfe haben sich kapazitive Systeme und Ultraschallsysteme als unzureichend erwiesen. Die passive Infrarotfassung bietet keine zufriedenstellende Unterscheidungssicherheit und Mikrowellensysteme sind zurzeit nicht ausreichend erprobt. Optoelektronische Schutzeinrichtungen haben sich seit vielen Jahren und in großer Stückzahl in der Praxis bewährt (Bild 3).

## Optoelektronische Schutzeinrichtungen

Die verbreitetsten berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen sind optoelektronische Einrichtungen wie

Sicherheits-Lichtvorhänge und -Lichtschranken (AOPD: active opto-electronic protective device)



Sicherheits-Laserscanner (AOPDDR: active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection)



Kamerabasierte Schutz-einrichtungen (VBPD: vision based protective device)



Bild 3: Beispiele für optoelektronische Schutzeinrichtungen.

Optoelektronische Schutzeinrichtungen können für zahlreiche Sicherheitsanwendungen eingesetzt werden (Bild 4).

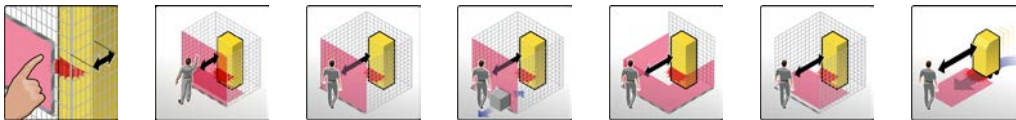


Bild 4: Typische Sicherheitsanwendungen für optoelektronische Schutzeinrichtungen.

### Sicherheits-Lichtvorhänge und -Lichtschranken (AOPD)

AOPD sind Schutzeinrichtungen, die mittels optoelektronischer Sende- und Empfangselemente in einem vorgegebenen zweidimensionalen Bereich Personen detektieren. Eine Reihe paralleler Lichtstrahlen (in der Regel Infrarotlicht), die vom Sender zum Empfänger gesendet werden, bauen ein Schutzfeld auf, das den Gefahrenbereich absichert. Die Detektion erfolgt durch die vollständige Unterbrechung eines oder mehrerer Strahlen durch ein lichtundurchlässiges Objekt. Dabei signalisiert der Empfänger die Strahlunterbrechung durch einen Signalwechsel (Aus-Zustand) an seinen Schaltausgängen (OSSDs). Die Signale der OSSDs werden verwendet, um den Gefahr bringenden Maschinenzustand anzuhalten. Die internationale Norm IEC 61496-2 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an AOPD.

Typische AOPD sind Einstrahl- und Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranken sowie Sicherheits-Lichtvorhänge. Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranken werden die AOPD genannt, deren Detektionsvermögen mehr als 40 mm beträgt. Sie werden zur Absicherung von Zugängen zu Gefahrenbereichen angewendet (Bild 5). AOPD mit einem Detektionsvermögen von 40 mm oder weniger werden Sicherheits-Lichtgitter oder Sicherheits-Lichtvorhänge genannt und dienen der unmittelbaren Absicherung von Gefahrstellen (Bild 6).



Bild 5: Zugangsabsicherung mit einer Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschranke.

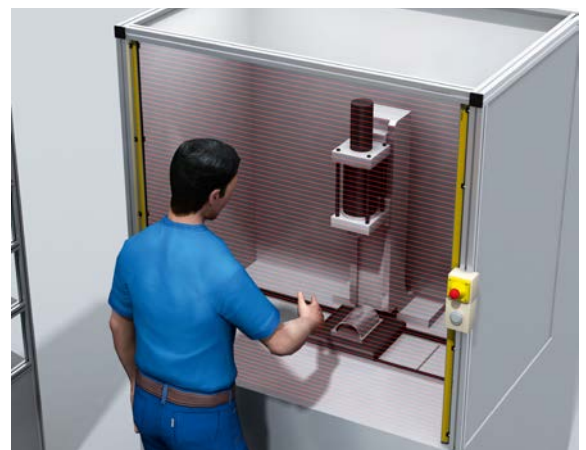


Bild 6: Gefahrstellenabsicherung mit einem Sicherheits-Lichtvorhang.

Bei Mehrstrahl-Sicherheits-Lichtschränken sowie Sicherheits-Lichtvorhängen sind in der Regel nicht alle Lichtstrahlen zum gleichen Zeitpunkt aktiviert, sondern werden in schneller Folge nacheinander ein- und ausgeschaltet. Dies erhöht die Störfestigkeit gegenüber anderen Lichtquellen und somit die Zuverlässigkeit. Bei modernen AOPD synchronisieren sich Sender und Empfänger automatisch auf optischem Weg (Bild 7).

Durch die Verwendung von Mikroprozessoren können die Strahlen einzeln ausgewertet werden. Dadurch können neben der reinen Schutzfunktion auch zusätzliche Funktionen der BWS realisiert werden (siehe „Zusätzliche Funktionen von BWS“ auf Seite 13).

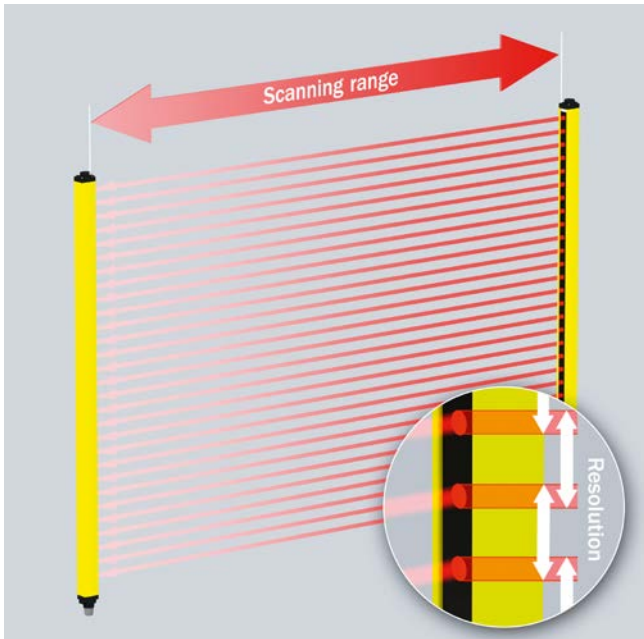


Bild 7: Typischer Aufbau eines Sicherheits-Lichtvorhangs mit Sender und Empfänger.

## Sicherheits-Laserscanner (AOPDDR)

AOPDDR sind Schutzeinrichtungen, die durch optoelektronische Sende- und Empfangselemente die Reflexion der von der Schutzeinrichtung erzeugten optischen Strahlung detektieren. Diese Reflexion wird durch ein Objekt in einem vorgegebenen zwei-dimensionalen Bereich erzeugt. Durch einen Signalwechsel (Aus-Zustand) an seinen Schaltausgängen (OSSDs) wird die Detektion signalisiert. Die Signale der OSSDs werden verwendet, um den Gefahr bringenden Maschinenzustand anzuhalten.

Sicherheits-Laserscanner werden überwiegend für die stationäre und mobile Gefahrenbereichsabsicherung eingesetzt.

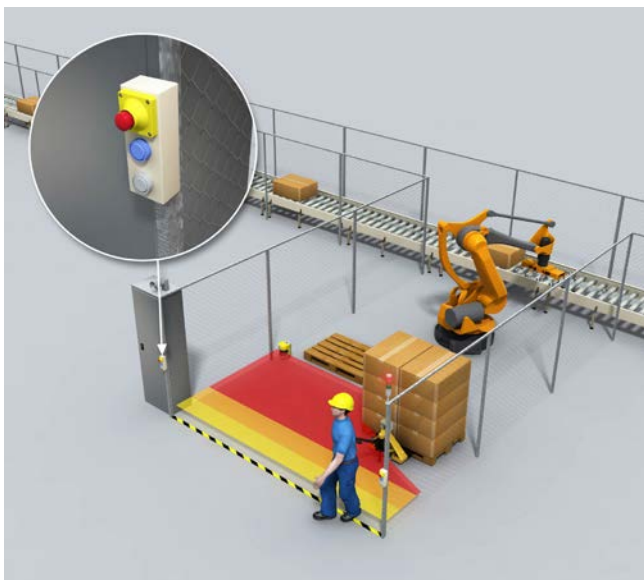


Bild 8: Stationäre Gefahrenbereichsabsicherung mit einem Sicherheits-Laserscanner.

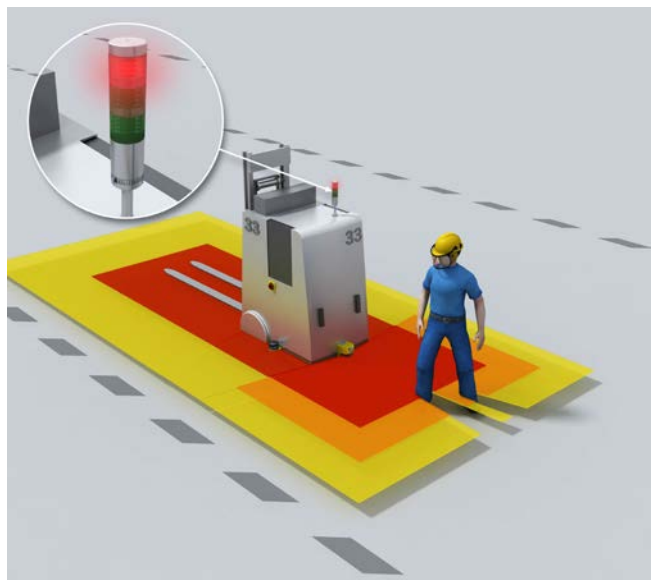


Bild 9: Mobile Gefahrenbereichsabsicherung mit einem Sicherheits-Laserscanner.

Der Sicherheits-Laserscanner ist ein optischer Sensor, der die Umgebung mit infraroten Laserstrahlen zweidimensional abtastet und dadurch einen Gefahrenbereich an einer Maschine oder einem Fahrzeug überwacht. Er arbeitet nach dem Prinzip der Lichtlaufzeitmessung (Bild 10 und 11). Dabei sendet der Scanner sehr kurze Lichtimpulse aus (S). Gleichzeitig läuft eine „elektronische Stoppuhr“ mit. Trifft das Licht auf ein Objekt, so wird es reflektiert und vom Scanner empfangen (R). Aus der Differenz zwischen Sende- und Empfangszeitpunkt ( $\Delta t$ ) errechnet der Scanner die Entfernung zum Objekt. Ein gleichmäßig rotierender Spiegel (M) im Scanner lenkt die Lichtimpulse ab, sodass ein Kreisabschnitt überstrichen wird. Aus der gemessenen Entfernung und dem jeweiligen Drehwinkel des Spiegels bestimmt der Scanner die genaue Position des Objekts. Der Bereich, in dem eine Objektdetektion zur Auslösung führt (Schutzfeld), kann vom Anwender programmiert werden. Moderne Geräte erlauben die gleichzeitige Überwachung mehrerer Bereiche oder die Umschaltung dieser Bereiche während des Betriebs. Dies kann z. B. zur Anpassung des Überwachungsbereichs an die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs oder zur abgestuften Reaktion (Warnfeld – Schutzfeld) genutzt werden, um unnötige Betriebsunterbrechungen zu vermeiden.

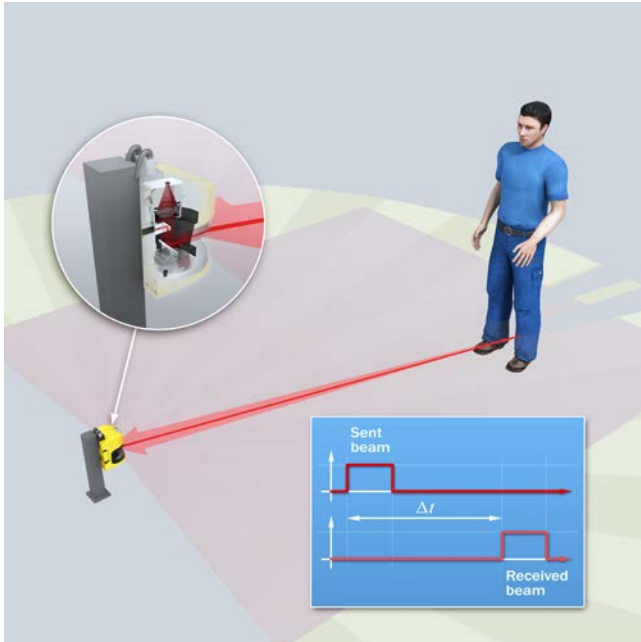


Bild 10: Der Sicherheits-Laserscanner bildet ein Schutzfeld. Das Objekt wird durch Reflexion und Laufzeitmessung des gesendeten Laserstrahls detektiert.

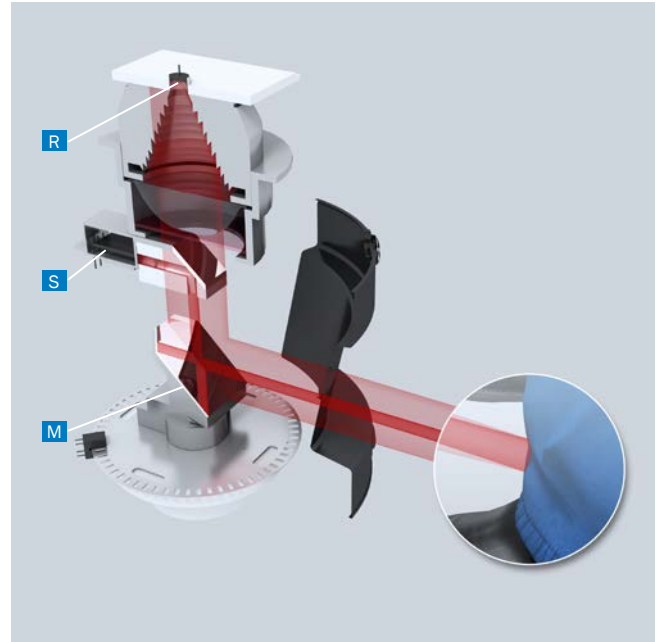


Bild 11: Prinzipieller Aufbau eines Laserscanners.

Sicherheits-Laserscanner arbeiten mit präzise in bestimmte Richtungen einzeln abgestrahlten Lichtimpulsen, überstreichen also nicht kontinuierlich den zu überwachenden Bereich. Durch diese Arbeitsweise werden Auflösungen (Detektionsvermögen) zwischen 30 mm und 150 mm erreicht. Durch das aktive Tastprinzip benötigen Sicherheits-Laserscanner weder externe Empfänger noch Reflektoren. Sicherheits-Laserscanner müssen auch Objekte mit einem extrem niedrigen Rückstrahlvermögen sicher detektieren können (z. B. schwarze Arbeitskleidung). Die internationale Norm IEC 61496-3 beinhaltet die sicherheitstechnischen Anforderungen an AOPDDR.

### Kamerabasierte Schutzeinrichtungen (VBPD)

VBPD sind kamerabasierte Schutzeinrichtungen und verwenden Technologien der Bilderfassung und Bildverarbeitung zur sicherheitstechnischen Detektion von Personen (Bild 12). Als Lichtquellen werden zurzeit spezielle Lichtsender verwendet. VBPD, die das vorhandene Umgebungslicht verwenden, sind ebenfalls möglich.

Zur Personendetektion können verschiedene Prinzipien verwendet werden, u. a.:

- Unterbrechung des von einem Retroreflektor zurückgestrahlten Lichts
- Laufzeitmessung des vom Objekt reflektierten Lichts
- Größe und Entfernungsmessung eines Objekts
- Überwachung der Änderungen von Hintergrundmustern
- Erkennung von Personen anhand menschlicher Merkmale

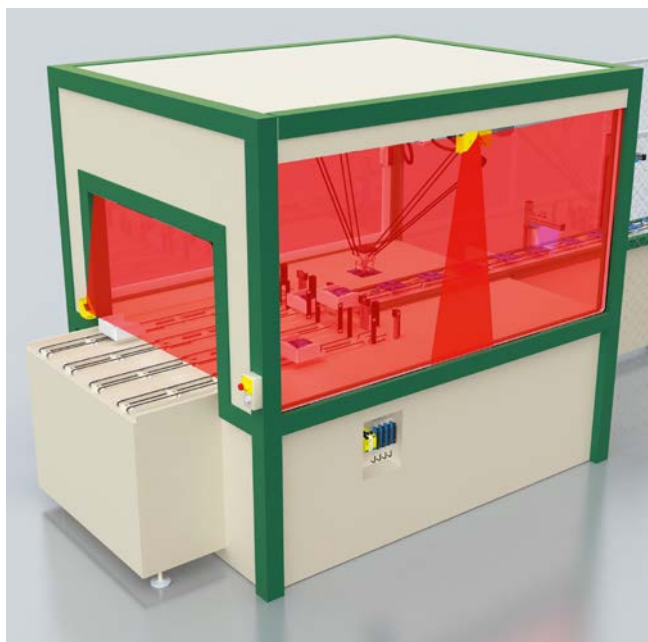


Bild 12: Einsatz von sicheren Kamerasystemen zur Gefahrstellenabsicherung an einem Handlingroboter in der Solarzellenproduktion.

Die geplante internationale Normenreihe IEC 61496-4-x wird die sicherheitstechnischen Anforderungen an VBPB beinhalten.

### Detektionsvermögen (Auflösung) optoelektronischer Schutzvorrichtungen

Das Detektionsvermögen wird definiert als die Grenze des Sensorparameters, die ein Ansprechen der berührungslos wirkenden Schutzvorrichtung (BWS) verursacht. Praktisch handelt es sich hierbei um die Größe des kleinsten Objekts, das innerhalb des definierten Überwachungsbereichs (Schutzfeld) von der BWS immer erkannt wird. Das Detektionsvermögen wird vom Hersteller angegeben. Es wird in der Regel aus der Summe von Strahlabstand und effektivem Strahldurchmesser ermittelt. Dadurch ist sichergestellt, dass ein Objekt mit dieser Größe unabhängig von der Position im Schutzfeld immer einen Lichtstrahl vollständig abdeckt und somit erkannt wird. Bei Sicherheits-Laserscannern ist das Detektionsvermögen vom Abstand zum Objekt, vom Winkel zwischen den einzelnen Lichtstrahlen (Pulse) sowie von der Form und Größe des Sendestrahls abhängig.

Die Zuverlässigkeit des Detektionsvermögens wird durch die Typklassifizierung in der Normenreihe IEC 61496 bestimmt. Für AOPDDR ist der Typ 3 und für AOPD sind die Typen 2 und 4 definiert (Bild 13). Dabei spielen Anforderungen an das Verhalten in der Nähe von optischen Störquellen (Sonnenlicht, verschiedene Lampenarten, Geräte gleicher Bauart etc.) und reflektierenden Flächen, bei Fehlaufrichtung im Normalbetrieb und bei diffuser Reflexion bei Sicherheits-Laserscannern eine wichtige Rolle.

	Typ 2	Typ 4	Vorteil Typ 4
Funktionale Sicherheit	Zwischen den Testintervallen ist bei Auftreten eines Fehlers ein Verlust der Schutzfunktion möglich.	Auch bei Auftreten von mehreren Fehlern bleibt die Schutzfunktion erhalten.	Höhere Risikoreduzierung
EMV (elektromagnetische Verträglichkeit)	Grundanforderungen	Erhöhte Anforderungen	Höhere Zuverlässigkeit des Detektionsvermögens
Maximaler Öffnungswinkel der Optik	10°	5°	Höhere Anlagenverfügbarkeit bei schwierigen Umgebungsbedingungen
Mindestabstand a zu reflektierenden Flächen auf eine Distanz D von < 3 m	262 mm	131 mm	
Mindestabstand a zu reflektierenden Flächen auf eine Distanz D von > 3 m			
	= Distanz x tan (10°/2)	= Distanz x tan (5°/2)	
Mehrere Sender der gleichen Bauart in einer Anlage	Keine speziellen Anforderungen (Strahlcodierung wird empfohlen)	Keine Beeinflussung oder OSSD schalten bei Beeinflussung aus	

Bild 13: Hauptunterschiede zwischen AOPD vom Typ 2 und Typ 4 nach IEC 61496. Die Anforderungen an Typ-4-Geräte sind im Vergleich zu Typ 2 höher.

## Wichtige Einflussfaktoren für eine zuverlässige Schutzwirkung von BWS

### Mindestabstand und Nachlaufzeit

Das Anhalten von Gefahr bringenden Maschinenfunktionen geschieht immer mit einer Nachlaufzeit nach Erteilung des Abschaltsignals. In der Nachlaufzeit ist die Zeit des gesamten Systems (der gesamten Steuerkette) enthalten. Diese Zeit bestimmt maßgeblich den einzuhaltenden Mindestabstand der Schutzeinrichtung zum Gefahrenbereich. Die Berechnung des benötigten Mindestabstands erfolgt nach der Norm EN ISO 13855.

Die Mindestabstandsbetrachtung gilt für BWS mit zweidimensionalem Schutzfeld, wie z. B. Lichtvorhänge (AOPD), Laserscanner (AOPDDR) oder zweidimensionale Kamerasysteme.

Die allgemeine Berechnungsformel für den Mindestabstand (Sicherheitsabstand) lautet:

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

Dabei ist ...

- S der Mindestabstand in Millimetern, gemessen von der nächstliegenden Gefahrstelle zum Erkennungspunkt bzw. zur Erkennungslinie oder Erkennungsebene der Schutzeinrichtung,
- K ein Parameter in Millimetern pro Sekunde, abgeleitet von Daten über Annäherungsgeschwindigkeiten des Körpers oder von Körperteilen,
- T die Nachlaufzeit des gesamten Systems in Sekunden,
- C ein zusätzlicher Abstand in Millimetern.

Der zusätzliche Abstand C ist bei einer BWS und rechtwinkliger Annäherung abhängig vom Detektionsvermögen (Bild 14) und bei paralleler Annäherung abhängig von der Höhe des Schutzfelds über der Bezugsebene.

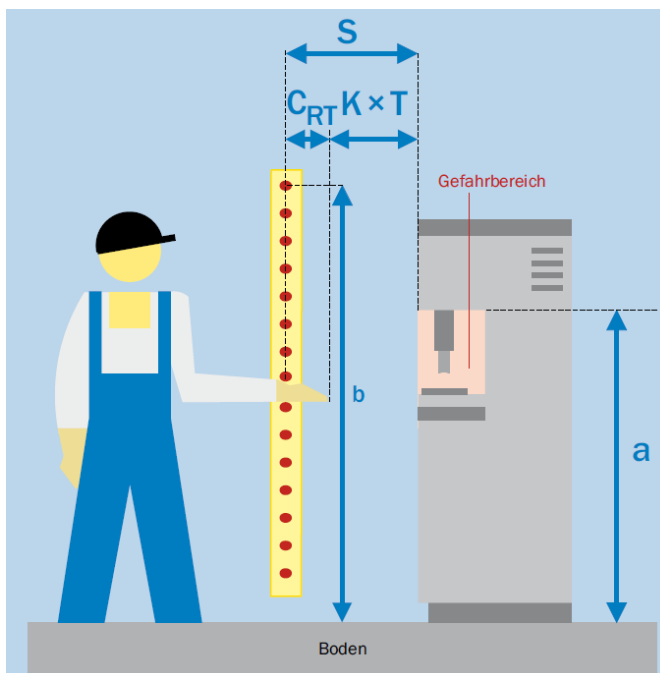


Bild 14: Parameter zur Bestimmung des erforderlichen Mindestabstands bzw. der Schutzfeldhöhe bei rechtwinkliger Annäherung.

Für die Nachlaufzeit T sind folgende Parameter zu berücksichtigen:

- Stoppzeit der Maschine
- Ansprechzeit der sicherheitsbezogenen Steuerung
- Ansprechzeit der Schutzeinrichtung (BWS)
- Zuschläge, abhängig vom Detektionsvermögen der BWS, von der Schutzfeldhöhe und/oder Art der Annäherung



### Vermeidung der Umspiegelung von AOPD

Bei AOPD wird der Lichtstrahl vom Sender fokussiert. Dabei ist der Öffnungswinkel der Optik so weit wie möglich verringert, sodass auch bei kleinen Ausrichtfehlern ein störungsfreier Betrieb gewährleistet ist. Gleiches gilt für den Öffnungswinkel des Empfängers (effektiver Öffnungswinkel gemäß IEC 61496-2). Auch bei kleineren Öffnungswinkeln besteht die Möglichkeit, dass Lichtstrahlen des Senders von reflektierenden Flächen abgelenkt werden und dies zum Nichterkennen eines Objekts führt (Bild 15 und 16). Deshalb müssen alle reflektierenden Flächen und Gegenstände (z. B. Materialbehälter, reflektierende Böden) einen Mindestabstand zum Schutzfeld des Systems einhalten (siehe Bild 13). Dieser Mindestabstand  $a$  ist abhängig vom Abstand  $D$  zwischen Sender und Empfänger (Schutzfeldbreite). Er muss nach allen Seiten zum Schutzfeld eingehalten werden.

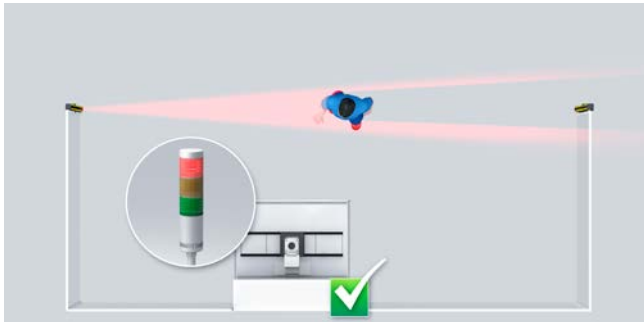


Bild 15: Die Person wird zuverlässig detektiert und die Gefahr bringende Bewegung gestoppt.

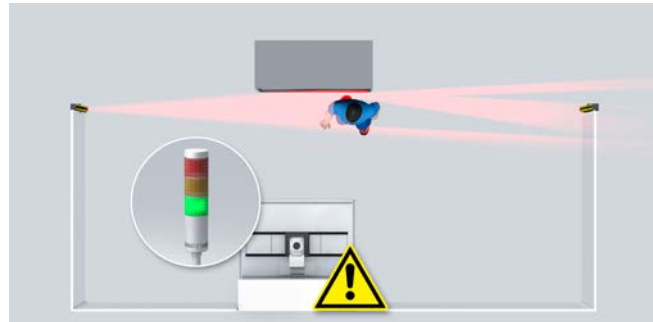


Bild 16: Durch Umspiegelung wird die Schutzwirkung der BWS aufgehoben.

### Vermeidung der gegenseitigen Beeinflussung von AOPD

Wenn mehrere AOPD räumlich nahe beieinander arbeiten, können die Senderstrahlen des einen Systems (S1) den Empfänger des anderen Systems (R2) beeinflussen. Es besteht die Gefahr, dass das so beeinflusste AOPD dadurch keine Schutzwirkung mehr hat (Bild 19). Derartige Montagesituationen müssen vermieden oder es müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, z. B. durch Montage lichtundurchlässiger Trennwände oder durch Umkehren der Senderichtung eines Systems. Typ-4-AOPD müssen entweder über eine geeignete Fremdsender-Erkennung verfügen und bei Beeinflussung in einen sicheren Zustand (Ausgänge im Aus-Zustand) übergehen oder über technische Maßnahmen verfügen, die eine Beeinflussung verhindern. In der Regel wird eine Strahlcodierung verwendet, sodass der Empfänger nur auf die Lichtstrahlen des zugeordneten (gleich codierten) Senders reagiert (Bild 17 und 18).

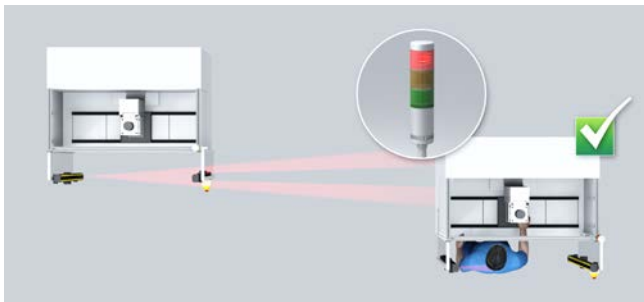
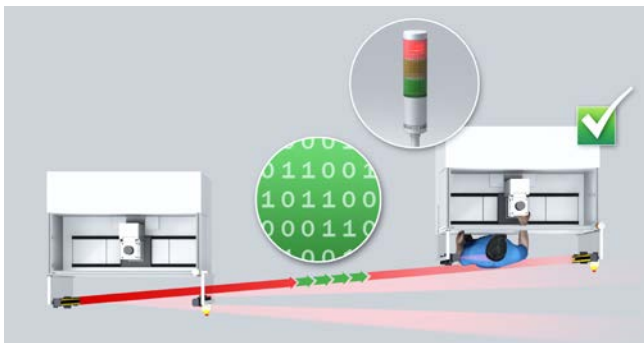


Bild 17 und 18: Es erfolgt keine gegenseitige Beeinflussung der Schutzeinrichtungen. Die Person wird durch Codierung der Strahlen bzw. durch die geeignete Anordnung der Schutzeinrichtung zuverlässig detektiert.

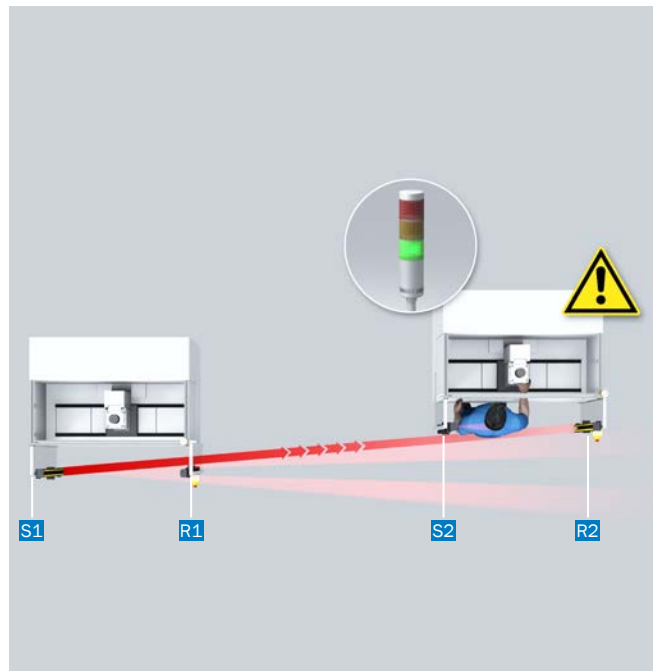


Bild 19: Durch gegenseitige Beeinflussung wird die Schutzwirkung der BWS aufgehoben. Die Gefahr bringende Bewegung wird nicht gestoppt.

## Automatische Materialdurchfahrt mit BWS

Die folgenden Sicherheitsfunktionen können entweder in die Logikeinheit oder direkt in geeignete BWS integriert sein.

### Zeitlich begrenzte Überbrückung (Muting)

Die Muting-Funktion (Überbrückung) erlaubt das zeitlich begrenzte Deaktivieren der Schutzfunktion einer Schutzeinrichtung. Diese Funktion wird benötigt, wenn Material durch das Schutzfeld der Schutzeinrichtung bewegt werden muss, ohne den Arbeitsablauf (Gefahr bringender Maschinenzustand) anzuhalten. Sie kann auch sinnvoll eingesetzt werden, um den Arbeitsablauf zu optimieren, wenn bestimmte Maschinenzustände dies ermöglichen (z. B. Überbrückung der Funktion eines Sicherheits-Lichtvorhangs während des ungefährlichen Hochlaufens eines Pressenstößels, wodurch der Bediener ein Werkstück leichter entnehmen kann).

Muting darf nur möglich sein, wenn der Zugang zu der Gefahrstelle durch das durchfahrende Material blockiert wird (Bild 20), oder – bei nicht hintertretbaren (nicht passierbaren) Schutzeinrichtungen –, wenn keine Gefahr bringenden Maschinenfunktionen stattfinden. Dieser Zustand wird durch Muting-Sensoren und -Signale festgestellt.

Für die Muting-Funktion ist große Sorgfalt bei der Auswahl und Positionierung der Muting-Sensoren und der verwendeten Steuerungssignale notwendig.

Folgende Bedingungen sind einzuhalten, um eine sichere und normgerechte Muting-Funktion zu implementieren:

- Während des Mutings muss ein sicherer Zustand durch andere Mittel sichergestellt sein, d. h., ein Zugang zum Gefahrenbereich darf nicht möglich sein.
- Muting muss automatisch und darf nicht manuell erfolgen.
- Muting darf nicht von einem einzigen elektrischen Signal abhängig sein.
- Muting darf nicht vollständig von Softwaresignalen abhängig sein.
- Muting-Signale dürfen keinen Muting-Zustand erlauben, wenn sie in einer ungültigen Kombination oder Reihenfolge auftreten.
- Der Muting-Zustand muss sofort nach dem Durchfahren des Materials aufgehoben werden.

Zur Verbesserung der Unterscheidungsqualität können zusätzliche Grenzwerte, Verknüpfungen oder Signale verwendet werden, z. B.:

- Bewegungsrichtung des Materials (Sequenz der Muting-Signale)
- Begrenzung der Muting-Dauer
- Materialanforderung durch die Maschinensteuerung
- Betriebszustand der fördertechnischen Elemente (z. B. Förderband, Rollenförderer)
- Materialerkennung durch zusätzliche Eigenschaften (z. B. Barcode)



Bild 20: Muting-Funktion mit Sicherheits-Lichtvorhang und Muting-Sensoren an einer Folienwickelmaschine.

### Sicherheits-Lichtvorhänge mit Entry-Exit-Funktion

Eine weitere Möglichkeit, Material in einen abgesicherten Bereich zu bewegen, ist die aktive Unterscheidung zwischen Mensch und Material (Entry-Exit-Funktion). Bei dieser Applikation werden horizontal angeordnete Sicherheits-Lichtvorhänge (AOPD) angewendet. Hier wird die Möglichkeit genutzt, jeden Lichtstrahl einzeln auszuwerten, um das Unterbrechungsmuster des Materials oder Materialträgers (z. B. Palette) von dem einer Person zu unterscheiden. Durch die Anwendung selbstlernender dynamischer Ausblendung sowie weiterer Unterscheidungskriterien wie Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Ein- und Austritt im Schutzfeld etc. kann eine sicherheitsrelevante Unterscheidung erzielt werden. Dadurch wird ein unerkanntes Eindringen von Personen in den Gefahrenbereich zuverlässig verhindert (Bild 21 und 22).

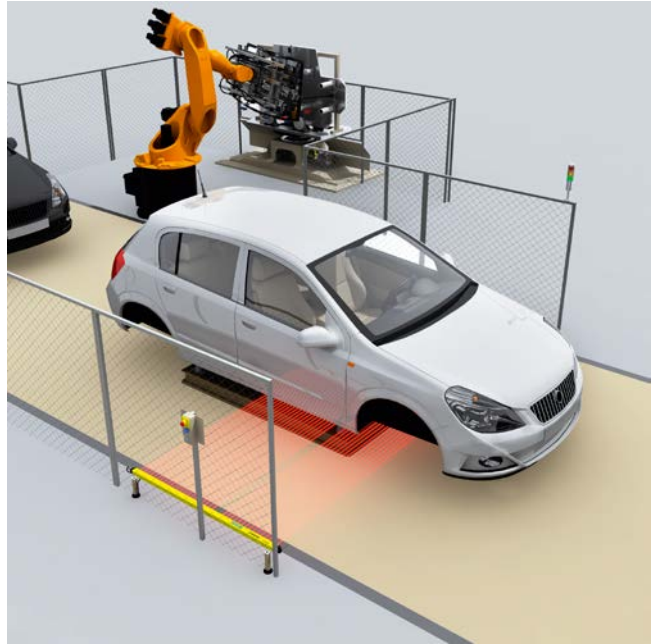
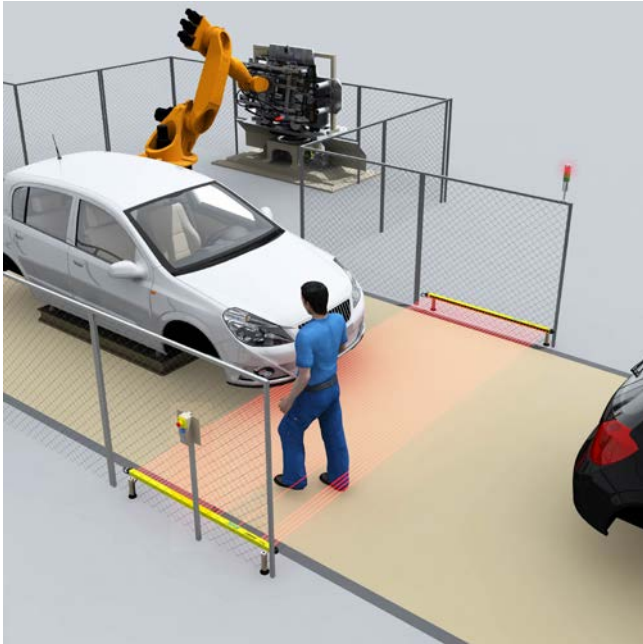


Bild 21 und 22: Entry-Exit-Funktion mit horizontal angeordnetem Sicherheits-Lichtvorhang in einer Bearbeitungsstation einer Automobilfertigungsstraße.

**Sicherheits-Laserscanner mit Schutzfeldumschaltung**

Eine zusätzliche Möglichkeit, Material in einen abgesicherten Bereich zu bewegen, ist die aktive Umschaltung von Schutzfeldern. In der Regel werden bei dieser Applikation Sicherheits-Laserscanner mit senkrechten (auch leicht geneigten) Schutzfeldern angewendet. Durch geeignete Signale aus der Maschinensteuerung und aus entsprechend positionierten Sensoren wird aus einer Reihe von vorprogrammierten Schutzfeldern das geeignete Schutzfeld aktiviert. Die Schutzfeldkontur wird so gestaltet, dass die Durchfahrt des Materials nicht zum Ansprechen der Schutzeinrichtung führt, aber die nicht überwachten Bereiche ausreichend klein sind, um das unerkannte Eindringen von Personen in den Gefahrenbereich zu verhindern (Bild 23).



Bild 23: Materialdurchfahrt mit Sicherheits-Laserscannern, senkrechten Schutzfeldern und Schutzfeldumschaltung durch geeignet angeordnete Sensoren.

## Zusätzliche Funktionen von BWS

### Ausblendung (Blanking)

Bei vielen AOPD kann die Konfiguration des Detektionsvermögens und/oder des Schutzfelds so gestaltet werden, dass die Anwesenheit von einem oder mehreren Objekten innerhalb eines definierten Teils des Schutzfelds nicht zur Auslösung der Sicherheitsfunktion (Aus-Zustand) führt. Die Ausblendung kann verwendet werden, um bestimmte Objekte durch das Schutzfeld hindurchzuführen (z. B. Schlauch für Kühl- oder Schmiermittel, Rutsche oder Träger für Werkstücke, siehe Bild 24).

Bei der festen Ausblendung wird der ausgeblendete Bereich in Größe und Position fest definiert. Bei der beweglichen Ausblendung wird nur die Größe des ausgeblendeten Bereichs festgelegt, aber nicht die Position im Schutzfeld (Bild 25).

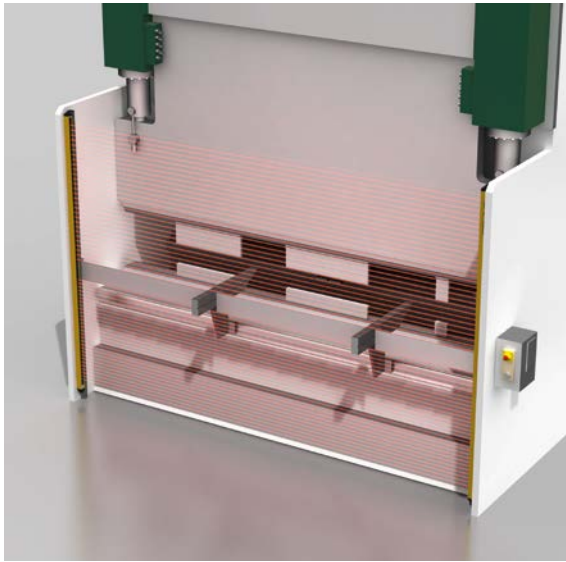


Bild 24: Feste Ausblendung von Strahlen eines Lichtvorhangs an einer Abkantpresse.

Feste Ausblendung		Bewegliche Ausblendung	
Feste Ausblendung	Feste Ausblendung mit erhöhter Größentoleranz	Bewegliche Ausblendung mit vollständiger Objektüberwachung	Bewegliche Ausblendung mit teilweiser Objektüberwachung
Ein Objekt fester Größe <i>muss</i> sich an einer bestimmten Stelle im Schutzfeld befinden.	Von der Bedienerseite <i>darf</i> sich ein Objekt <i>begrenzter</i> Größe durch das Schutzfeld bewegen.	Ein Objekt fester Größe <i>muss</i> sich innerhalb eines bestimmten Bereichs im Schutzfeld befinden. Das Objekt <i>darf</i> sich bewegen.	Ein Objekt <i>begrenzter</i> Größe <i>darf</i> sich innerhalb eines bestimmten Bereichs im Schutzfeld befinden. Das Objekt <i>darf</i> sich bewegen.

Bild 25: Kriterien für feste und bewegliche Ausblendung.

Um Lücken im Schutzfeld zu vermeiden, kann die Abwesenheit (oder in einigen Fällen eine Änderung der Größe oder der Position) des Objekts genutzt werden, um die Sicherheitsfunktion auszulösen (Aus-Zustand).

### Taktbetrieb

Als Taktbetrieb wird die Verwendung der Schutzeinrichtung zum Auslösen der Maschinenfunktion (steuernde Schutzeinrichtung) bezeichnet. Diese Betriebsart ist vorteilhaft, wenn Teile zyklisch von Hand eingelegt oder entnommen werden. Taktbetrieb darf normgerecht nur mit AOPD vom Typ 4 und einer wirksamen Auflösung  $d \leq 30$  mm ausgeführt werden. Im Taktbetrieb wartet die Maschine an einer definierten Position auf eine angegebene Anzahl von Eingriffen des Bedieners. Das AOPD gibt die Gefahr bringende Bewegung nach einer bestimmten Anzahl von Unterbrechungen automatisch wieder frei.

Unter folgenden Bedingungen ist ein Rücksetzen der BWS erforderlich:

- Beim Maschinenstart
- Beim Wiederanlauf, wenn das AOPD innerhalb einer Gefahr bringenden Bewegung unterbrochen wird
- Wenn innerhalb der vorgegebenen Taktzeit kein Takt ausgelöst wurde

Es ist notwendig, zu überprüfen, dass während des Arbeitsprozesses keine Gefährdung für den Bediener entstehen kann. Dies begrenzt die Verwendung dieser Betriebsart auf Maschinen, bei denen der Gefahrenbereich nicht begehbar und es dem Bediener nicht möglich ist, unerkannt zwischen Schutzfeld und Maschine zu verbleiben (Hintertretschutz).

1-Takt-Betrieb bedeutet, dass das AOPD die Maschinenfunktion auslöst, nachdem der Bediener den Eingriff beendet hat (Bild 26).

2-Takt-Betrieb bedeutet, dass das AOPD die Maschinenfunktion nach dem ersten Eingreifen des Bedieners im verriegelten Zustand belässt (z. B. Entnahme eines bearbeiteten Werkstücks). Erst wenn der Bediener den zweiten Eingriff beendet hat, gibt das AOPD die Maschinenfunktion wieder frei (z. B. Zuführung eines Rohlings).

Taktbetrieb wird oft an Pressen und Stanzen angewendet, kann aber auch an anderen Maschinen verwendet werden (z. B. Dreh-tische, Montageautomaten). Bei der Anwendung des Taktbetriebs darf der Sicherheits-Lichtvorhang nicht hintertretbar sein. Bei Pressen gelten für den Taktbetrieb besondere Bedingungen.



Bild 26: 1-Takt-Betrieb mit Sicherheits-Lichtvorhang an einem Montageautomaten. Beim Einlegen befindet sich das Werkzeug im oberen Punkt. Nach Freigabe des Schutzfelds durch den Bediener wird der Montageprozess automatisch eingeleitet.

## Fazit

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen bieten durch ihre Wirkungsweise, ihre funktionale Flexibilität und die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zur Absicherung von Maschinen zahlreiche Vorteile. Speziell optoelektronische Schutzeinrichtungen haben sich seit vielen Jahren in der Automatisierungswelt etabliert und sind in Normen sowohl produkt- als auch applikationsseitig definiert. Aufgrund des optischen Prinzips sind vom Konstrukteur bei der Anlagen- und Maschinenplanung einige Besonderheiten zu berücksichtigen. Die Unterstützung bzw. der ungehinderte Arbeitsablauf und damit der positive Einfluss auf die Produktivität sind häufig Argumente für den Einsatz von optoelektronischen Schutzeinrichtungen.

Das bestehende Problem der Manipulation von Schutzeinrichtungen durch den Maschinenbediener und damit der bewussten oder unbewussten Erzeugung eines potenziellen Risikos einer Verletzung ist bei berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen kaum relevant, da eine Behinderung im Arbeitsprozess praktisch nicht vorhanden ist. Neben dem erzielten Produktivitätsvorteil durch berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen wird also auch die Rechtssicherheit des Anlagen- bzw. Maschinenbetreibers unterstützt.

#### REFERENZEN

EN 61496-1:2004: Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen

IEC 61496-2:2013: Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, welche nach dem aktiven optoelektronischen Prinzip arbeiten

IEC 61496-3:2008: Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 3: Besondere Anforderungen an aktive optoelektronische diffuse Reflektion nutzende Schutzeinrichtungen (AOPDDR)

EN ISO 13855:2010: Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen