

	DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.

ICS 13.110

Einsprüche bis 2011-07-30

Vorgesehen als Ersatz für
DIN CLC/TS 61496-2
(VDE V 0113-202):2008-02**Entwurf**

**Sicherheit von Maschinen –
Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen –
Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, welche nach dem
aktiven opto-elektronischen Prinzip arbeiten
(IEC 44/621/CD:2010)**

Safety of machinery –
Electro-sensitive protective equipment –
Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices
(AOPDs)
(IEC 44/621/CD:2010)

Sécurité des machines –
Équipement de protection électrosensible –
Partie 2: Exigences particulières à un équipement utilisant des dispositifs protecteurs
optoélectroniques actifs (AOPD)
(CEI 44/621/CD:2010)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2011-05-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an **dke@vde.com** in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter **www.dke.de/stellungnahme** abgerufen werden
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 104 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Inhalt

	Seite
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Funktions-, Konstruktions- und Umgebungsanforderungen.....	9
4.1 Funktionsanforderungen.....	9
4.2 Konstruktionsanforderungen	11
4.3 Umgebungsanforderungen.....	13
5 Prüfung	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Funktionsprüfungen.....	17
5.4 Prüfung von Umgebungseinflüssen	34
6 Kennzeichnung zur Identifizierung und zum sicheren Gebrauch.....	42
6.1 Allgemeines	42
7 Begleitdokumente.....	42
Anhang A (normativ) Zusätzliche Funktionen der BWS	44
Anhang B (normativ) Katalog von Einzelfehlern, die die elektrische Ausrüstung einer BWS beeinträchtigen, anzuwenden nach 5.3.....	48
Anhang D (informativ) Konfigurationen des periodischen Tests einer AOPD Typ 2.....	49
Literaturhinweise.....	51
Stichwortverzeichnis	52

Bilder

Bild 1 – Grenzbereich für den Schutz gegen das Risiko einer Strahlüberbrückung/-umspiegelung.....	12
Bild 2 – Grenze der vertikalen und horizontalen Fehlausrichtung.....	12
Bild 3 – Prüfstab bei 45°	18
Bild 4 – Prüfstab bei 90°	18
Bild 5 – Nachweis der Sensorfunktion durch Bewegungen des Prüfstabes (PS) durch das Schutzfeld in der Nähe des Senders, in der Nähe des Empfängers/Retroreflektors und in der Mitte.....	19
Bild 6 – Grenzwerte für den effektiven Öffnungswinkel (EAA).....	20
Bild 7 – Bestimmung des minimalen Detektionsvermögens	21
Bild 8 – Messverfahren für EAA (Richtung).....	22
Bild 9 – Prismaprüfung zur Messung des EAA jedes Strahls.....	24
Bild 10 – EAA-Prüfung mit Prisma.....	25
Bild 11 – Konstruktionsberechnungen für ein Keilprisma	26
Bild 17 – Beispiel eines Prüfstabes im Modell des optischen Teilsystems mit auf den Empfänger fallender Strahlung	29
Bild 20 – Prüfung zur AOPD-Fehlausrichtung	33
Bild 21 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Direktes Verfahren.....	35
Bild 22 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit Halogenlichtquelle.....	36
Bild 23 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit fluoreszierender Lichtquelle	37
Bild 24 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit Xenonblitzleute.....	38
Bild 25 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit Stroboskoplampe	39

	Seite
Bild D.1 – Einzelstrahllichtschranke	49
Bild D.2 – Serielle Verbindung von Einzelstrahllichtschranken.....	49
Bild D.3 – Baugruppe mit mehreren Strahlen, die einzeln getestet werden	49
Bild D.4 – Beispiel für eine Baugruppe AOPD Typ 2	50

Tabellen

Tabelle 1 – Korrespondenzen von Anforderungen/Prüfungen und AOPD-Konstruktionen	14
Tabelle 2 – Maximal zulässiger Winkel der Fehlausrichtung (in Grad) für eine BWS Typ 2 in Abhängigkeit von den Abmessungen des Lichtvorhangs	31
Tabelle 3 – Maximal zulässiger Winkel der Fehlausrichtung (in Grad) für eine BWS Typ 4 in Abhängigkeit von den Abmessungen des Lichtvorhangs	32

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 44/621/CD:2010 „Safety of machinery – Electro-sensitive protective equipment – Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 44 „Safety of machinery – Electrotechnical aspects“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium UK 225.2 „Elektrosensitive Schutzeinrichtungen von Maschinen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN CLC/TS 61496-2 (VDE V 0113-202):2008-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Unterscheidung zwischen AOPD, die eine geometrisch beschränkte optische Konstruktion (GROD) besitzen und AOPD, die andere Techniken verwenden,
- Übersicht zu Anforderungen und Prüfungen mit Berücksichtigung der AOPD-Konstruktion in Tabelle 1,
- Beschreibung von Anforderungen und Prüfungen für die zusätzlichen Funktionen „überwachtes Blanking“ und „reduzierte Auflösung“ in Anhang A,
- Beschreibung unterschiedlicher Typ 2 Konfigurationen (ee und ii) in Anhang D.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60825-1:2007	IEC 60825-1:2007	DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2008-05	VDE 0837-1
EN 61496-1:2004 + A1:2008 + Corr.:2010	IEC 61496-1:2004 (mod.) + A1:2007 + Corr.:2008 —	DIN EN 61496-1 (VDE 0113-201):2005-01 ersetzt durch DIN EN 61496-1 (VDE 0113-201):2009-03 DIN EN 61496-1 Berichtigung 1 (VDE 0113-201 Berichtigung 1):2010-05	VDE 0113-201 ersetzt durch VDE 0113-201 VDE 0113-202 Berichtigung 1
CLC/TS 62046:2005 ersetzt durch CLC/TS 62046:2008	IEC/TS 62046:2004 ersetzt durch IEC/TS 62046:2008	DIN CLC/TS 62046 (VDE V 0113-211):2005-09 ersetzt durch DIN CLC/TS 62046 (VDE V 0113-211):2009-04	VDE V 0113-211 ersetzt durch VDE V 0113-211
EN ISO 13855:2010	ISO 13855:2010	DIN EN ISO 13855:2010	—
EN 471:2003 + A1:2007	—	DIN EN 471:2003-12 ersetzt durch DIN EN 471:2008-03	— —
EN 62471:2008	IEC 62471:2006 mod.	DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-03	VDE 0837-471

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN CLC/TS 62046 (VDE V 0113-211):2005-09 (zurückgezogen), *Sicherheit von Maschinen – Anwendung von Schutzausrüstungen zur Anwesenheitserkennung von Personen (IEC/TS 62046:2004); Deutsche Fassung CLC/TS 62046:2005.*

DIN CLC/TS 62046 (VDE V 0113-211):2009-04, *Sicherheit von Maschinen – Anwendung von Schutzausrüstungen zur Anwesenheitserkennung von Personen (IEC/TS 62046:2008); Deutsche Fassung CLC/TS 62046:2008.*

DIN EN 471:2003-12 (zurückgezogen, *Warnkleidung – Prüfverfahren und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 471:2003.*

DIN EN 471:2008-03, *Warnkleidung – Prüfverfahren und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 471:2003 + A1:2007.*

DIN EN 61496-1 (VDE 0113-201):2005-01 (zurückgezogen), *Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61496-1:2004, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61496-1:2004.*

DIN EN 61496-1 (VDE 0113-201):2009-03, *Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61496-1:2004, mod. + A1:2007 + Corrigendum:2008); Deutsche Fassung EN 61496-1:2004 + A1:2008.*

— **Entwurf** —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

DIN EN 61496-1 Berichtigung 1 (VDE 0113-201 Berichtigung 1):2010-05, *Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 61496-1:2004, mod. + A1:2007 + Corrigendum:2008); Deutsche Fassung EN 61496-1:2004 + A1:2008, Berichtigung zu DIN EN 61496-1 (VDE 0113-201):2009-03; Deutsche Fassung CENELEC-Cor. :2010 zu EN 61496-1:2004.*

DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2008-05, *Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2007); Deutsche Fassung EN 60825-1:2007.*

DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-03, *Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008.*

DIN EN ISO 13855:2010, *Sicherheit von Maschinen – Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen (ISO 13855:2010); Deutsche Fassung EN ISO 13855:2010.*

Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Einrichtungen, welche nach dem aktiven opto- elektronischen Prinzip arbeiten

Einleitung

Eine berührungslos wirkende Schutzeinrichtung (BWS) wird an Maschinen angebracht, die ein Risiko der Körperverletzung bergen. Sie bietet Schutz, indem sie die Maschine veranlasst, einen sicheren Zustand einzunehmen, bevor eine Person in eine gefahrbringende Situation geraten kann.

Dieser Teil von IEC 61496 legt besondere Anforderungen für die Konstruktion, den Aufbau und die Prüfung von berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) zur Absicherung von Maschinen fest, die aktive opto-elektronische Schutzeinrichtungen (AOPDs) für die Sensorfunktion verwenden.

Dieser Teil ergänzt oder ändert die entsprechenden Abschnitte der IEC 61496-1^{N1)}.

Wo ein einzelner Abschnitt oder Unterabschnitt von Teil 1 in diesem Teil 2 nicht erwähnt ist, gilt dieser Abschnitt oder Unterabschnitt so weit wie möglich. Wo in diesem Teil „Ergänzung“, „Änderung“ oder „Ersatz“ steht, ist der relevante Text von Teil 1 entsprechend anzupassen.

Jeder Maschinentyp hat seine eigenen besonderen Gefährdungen, und es ist nicht Sinn dieser Norm, für eine besondere Maschine die Art der Verwendung der BWS zu empfehlen. Die Anwendung der BWS sollte eine Sache der Vereinbarung zwischen dem Gerätelieferanten, dem Maschinenanwender und der Aufsichtsbehörde sein. In diesem Zusammenhang wird auf die einschlägigen international anerkannten Leitlinien, z. B. ISO 12100, hingewiesen.

Auf Grund der Komplexität der Technologie von BWS gibt es viele Punkte, die in hohem Maße von der Analyse und dem Sachverstand im Rahmen spezieller Prüfungen und Messverfahren abhängig sind. Um ein hohes Maß an Vertrauen zu erreichen, wird eine unabhängige Überprüfung durch relevanten Sachverstand empfohlen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Abschnitt von Teil 1 wird durch Folgendes ersetzt:

Dieser Teil von IEC 61496 legt Anforderungen für die Konstruktion, den Aufbau und die Prüfung von berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen (BWS) fest, die speziell zur Detektion von Personen als Teil eines sicherheitsbezogenen Systems entworfen sind und die aktive opto-elektronische Schutzeinrichtungen (AOPDs) für die Sensorfunktion verwenden. Besondere Aufmerksamkeit wird auf die Eigenschaften gelenkt, die sicherstellen, dass ausreichende Sicherheitsmerkmale erreicht werden. Eine BWS kann zusätzliche sicherheitsbezogene Funktionen enthalten, für die die Anforderungen im Anhang A von IEC 61496-1 und dieses Teils aufgeführt sind.

Dieser Teil legt weder die Abmessungen noch die Konfiguration des Schutzfeldes und dessen Anordnung in Bezug auf Gefährdungen für eine besondere Anwendung fest, ebenso nicht, was für eine Maschine ein gefahrbringender Zustand ist. Er ist auf das Funktionieren der BWS und wie sie mit der Maschine verknüpft ist beschränkt.

AOPDs, die Strahlung außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 1 500 nm verwenden, sind von diesem Teil ausgenommen.

Dieser Teil kann für andere Anwendungen als zum Schutz von Personen bedeutsam sein, z. B. dem Schutz gegen mechanische Zerstörung von Maschinen oder Produkten. In diesen Anwendungen können zusätzliche Anforderungen erforderlich sein, zum Beispiel, wenn die durch die Sensorfunktion zu erkennenden Materialien Eigenschaften besitzen, die unterschiedlich zu denen von Personen sind.

Dieser Teil behandelt keine EMV-Anforderungen zur Störausstrahlung.

^{N1)} Nationale Fußnote: Deutsch als DIN EN 61496-1 (VDE 0113-201)

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

2 Normative Verweisungen

Dieser Abschnitt von Teil 1 ist gültig, außer wie folgt:

Zusätzliche Verweisungen:

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*

IEC/TS 62046:2004, *Safety of machinery – Application of protective equipment to detect the presence of persons*

ISO 13855:2010, *Safety of machinery – Positioning of protective equipment with respect to the approach speeds of parts of the human body*

EN 471:2003, *Warnkleidung – Prüfverfahren und Anforderungen*

IEC 62471:2006-07, *Photobiological safety of lamps and lamp systems*

3 Begriffe

ANMERKUNG Am Ende dieser Norm befindet sich ein Verzeichnis, das in alphabetischer Ordnung die in Abschnitt 3 definierten Ausdrücke und Abkürzungen auflistet und angibt, an welcher Stelle im Text sie verwendet werden.

Dieser Abschnitt von Teil 1 ist gültig, außer wie folgt:

Zusätzliche Begriffe:

3.201

aktive opto-elektronische Schutzeinrichtung (AOPD)

Gerät, dessen Sensorfunktion durch opto-elektronische Sende- und Empfangselemente erzeugt wird, welches die Unterbrechung von im Gerät erzeugten optischen Strahlungen durch ein im festgelegten Schutzfeld (oder für eine Lichtschranke auf der Achse des Lichtstrahls) befindliches undurchsichtiges Objekt erkennt

3.202

Strahlmittellinie

optische Bahn, die das optische Zentrum eines Sendeelements mit dem optischen Zentrum des entsprechenden Empfangselements, das dazu bestimmt ist, während des Normalbetriebs auf Licht von diesem Sendeelement zu reagieren, verbindet

ANMERKUNG 1 Die optische Achse eines Lichtstrahls befindet sich nicht immer auf der Strahlmittellinie.

ANMERKUNG 2 Als Ergebnis des Normalbetriebs kann es zu einer physikalischen Verschiebung der Strahlmittellinie kommen (z. B. durch Verwendung eines motorgetriebenen Spiegels).

ANMERKUNG 3 Bei einer AOPD, die nach einem Retroreflexionsverfahren arbeitet, ist die optische Bahn durch den Retroreflektor zusammen mit den Sende- und Empfangselementen definiert.

3.203

effektiver Öffnungswinkel (EAA)

maximale Winkelabweichung von der optischen Ausrichtung des (der) Sendeelements(e) und des (der) Empfangselements(e), innerhalb der die AOPD im Normalbetrieb verbleibt

3.204

Lichtschranke

Einzelstrahllichtschranke oder Mehrstrahllichtschranke

- **Einzelstrahllichtschranke:** AOPD, die aus einem Sendeelement und einem Empfangselement besteht, bei der vom Lieferanten kein Schutzfeld festgelegt ist,
- **Mehrstrahllichtschranke:** AOPD, die aus mehreren Sendeelementen und entsprechenden Empfangselementen besteht und bei der vom Lieferanten kein Schutzfeld festgelegt ist

3.205

Lichtvorhang

AOPD, die aus einer integrierten Baugruppe mit einem oder mehreren Sendeelement(en) und einem oder mehreren Empfangselement(en) besteht und ein Schutzfeld mit einem vom Lieferanten festgelegten Detektionsvermögen bildet

ANMERKUNG Ein Lichtvorhang mit einem großen Detektionsvermögen wird manchmal als Lichtgitter bezeichnet.

3.206

Prüfstab

undurchsichtiges zylinderförmiges Element, das zur Überprüfung des Detektionsvermögens der AOPD verwendet wird

3.207

überwachtes Blanking

Konfiguration des Detektionsvermögens und/oder des Schutzfeldes, so dass die Anwesenheit von einem Objekt(en) innerhalb eines definierten Teils des Schutzfeldes nicht zu einem AUS-Zustand des (der) OSSD(s) führt, jedoch das Nichtvorhandensein (oder in einigen Fällen eine Änderung der Größe oder des Ortes) des Objekts das (die) OSSD(s) veranlasst, in den AUS-Zustand zu wechseln

3.208

geometrisch beschränkte optische Konstruktion (GROD)

AOPD, die eine optische Konstruktion verwenden, bei der:

- der effektive Öffnungswinkel (EAA) jedes Sende- und jedes Empfangselements die in Bild 6 vorgegebenen Werte nicht überschreitet, und
- die Achsen der optischen Strahlen parallel zueinander sind, und
- Nebenkeulen auf ein Minimum gebracht sind, und
- der Abstand zwischen Strahlmittellinien gleichmäßig ist, und
- die Größe des Detektionsvermögens für sämtliche Positionen des Prüfstabes innerhalb des Schutzfeldes auf der vollständigen Abdeckung von mindestens einem Strahl beruht (siehe Bild 7).

Ersatz:

3.3

Detektionsvermögen

Abmessung, die den Durchmesser des Prüfstabes darstellt, der:

- bei einem Lichtvorhang den Sensorteil betätigt, wenn er sich im Schutzfeld befindet,
- bei einer Einzelstrahllichtschranke den Sensorteil betätigt, wenn er sich in der Strahlmittellinie befindet,
- bei einer Mehrstrahllichtschranke den Sensorteil betätigt, wenn er sich auf irgendeiner Strahlmittellinie befindet.

ANMERKUNG Kann auch in der Bedeutung verwendet werden, einen Prüfstab mit einem festgelegten Durchmesser zu erkennen.

4 Funktions-, Konstruktions- und Umgebungsanforderungen

Dieser Abschnitt von Teil 1 ist gültig, außer wie folgt:

4.1 Funktionsanforderungen

4.1.2 Sensorfunktion

Ersatz:

4.1.2.1 Allgemeine Anforderungen

Die Sensorfunktion muss im vom Lieferanten festgelegten Schutzfeld wirksam sein. Eine Einstellung des Schutzfeldes, des Detektionsvermögens oder der Blanking-Funktion darf nicht ohne die Verwendung eines Schlüssels, Schlüsselwortes oder Werkzeuges möglich sein.

Der Sensorteil eines Lichtvorhangs muss ansprechen und das (die) OSSD(s) muss (müssen) in den AUS-Zustand wechseln, wenn ein Prüfstab nach 4.2.13 an beliebiger Stelle innerhalb des Schutzfeldes ortsfest (unter irgendeinem Winkel) platziert wird oder sich (mit der Achse des Zylinders senkrecht zur Ebene des Schutzfeldes) bei irgendeiner Geschwindigkeit zwischen 0 m/s und 1,6 m/s bewegt.

Der Sensorteil einer Lichtschranke muss ansprechen und das (die) OSSD(s) muss (müssen) in den AUS-Zustand wechseln, wenn sich ein Prüfstab nach 4.2.13 an irgendeinem Punkt über den gesamten Arbeitsabstand in der Strahlmittellinie mit der Achse des Zylinders senkrecht zur Strahlachse befindet.

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

ANMERKUNG Der Grund für diese Anforderung ist es sicherzustellen, dass das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(n), wenn eine Person oder ein Teil einer Person das Schutzfeld oder den Lichtstrahl durchtritt. Ausgehend von einem Maß von 150 mm und einer Schreitgeschwindigkeit von 1,6 m/s, wurde eine minimale AUS-Zeit von 80 ms als angemessen bestimmt.

Wenn das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(n), muss es (müssen sie) im AUS-Zustand verbleiben, während sich der Prüfstab im Schutzfeld (oder Lichtstrahl) befindet oder mindestens für 80 ms; je nachdem welcher Wert größer ist.

Wenn der Lieferant angibt, dass eine AOPD dazu verwendet werden kann, Objekte zu erkennen, die sich mit Geschwindigkeiten größer als die oben festgelegten bewegen, so müssen die oben angegebenen Anforderungen bei jeder Geschwindigkeit bis zu und einschließlich der maximal angegebenen Geschwindigkeit(en) erfüllt werden.

4.1.2.2 Zusätzliche Anforderungen an AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden und an AOPDs, die gemischte Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden

4.1.2.2.1 Allgemeines

AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden, bei denen der Lichtstrahl mehr als einmal das Schutzfeld (über denselben Weg) durchquert, und AOPDs, die gemischte Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden, dürfen nicht gefahrbringend ausfallen, wenn ein reflektierendes Objekt (z. B. reflektierende Kleidung) an irgendeiner Position im Schutzfeld platziert wird.

ANMERKUNG Die Verwendung von Spiegeln zur Umkehr des Lichtstrahls wird nicht als ein Retroreflexionsverfahren betrachtet.

4.1.2.2.2 Sensorfunktion

Das (die) OSSD(s) muss (müssen) in den AUS-Zustand wechseln, wenn ein reflektierendes Objekt der Größe gleich oder größer als der Durchmesser und der Länge des Prüfstabes (siehe 4.2.13) an irgendeiner Position im Schutzfeld wie in 5.2.12.4 festgelegt platziert wird.

Das (die) OSSD(s) einer BWS Typ 4 muss (müssen) unter normalen Betriebsbedingungen in den AUS-Zustand wechseln, wenn ein wie in 5.2.12.4 festgelegtes reflektierendes Objekt so nah wie möglich vor der Sensoroberfläche der Sende-/Empfangelemente platziert wird.

4.1.3 Arten von BWS (BWS-Typen)

Ersatz:

In diesem Teil der Norm werden nur BWS Typ 2 und BWS Typ 4 behandelt. Die Arten unterscheiden sich in ihrer Leistungsfähigkeit beim Vorhandensein von Fehlern und unter dem Einfluss von umwelttechnischen Bedingungen. Im Teil 1 werden die Auswirkungen elektrischer und elektromechanischer Fehler betrachtet (solche Fehler sind in Teil 1, Anhang B aufgeführt). Es liegt in der Verantwortung des Maschinenherstellers und/oder des Anwenders festzulegen, welcher Typ für die besondere Anwendung erforderlich ist.

Eine BWS Typ 2 muss die Anforderungen an die Fehlererkennung nach 4.2.2.3 erfüllen.

Bei einer BWS Typ 2 muss im bestimmungsgemäßen Betrieb der Ausgangsstromkreis mindestens eines Ausgangsschaltelements in den AUS-Zustand wechseln, wenn der Sensorteil anspricht oder wenn die Stromversorgung der BWS unterbrochen wird.

Eine BWS Typ 2 muss über Mittel für einen periodischen Test verfügen.

Eine BWS Typ 4 muss die Anforderungen an die Fehlererkennung nach Teil 1, 4.2.2.5 erfüllen.

Bei einer BWS Typ 4 muss im bestimmungsgemäßen Betrieb der Ausgangsstromkreis mindestens zweier Ausgangsschaltelemente in den AUS-Zustand wechseln, wenn die Sensorfunktion anspricht oder wenn die Stromversorgung der BWS unterbrochen wird.

Wenn eine einzelne sicherheitsbezogene Datenschnittstelle verwendet wird, um die Funktionen des (der) OSSD(s) auszuführen, müssen die Datenschnittstelle und die zugehörige sicherheitsbezogene Kommunikationsschnittstelle die Anforderungen nach Teil 1, 4.2.4.4 erfüllen. In diesem Fall kann eine einzelne sicherheitsbezogene Datenschnittstelle zwei OSSDs einer BWS Typ 4 ersetzen.

4.2 Konstruktionsanforderungen

4.2.2 Anforderungen zur Erkennung von Fehlern

4.2.2.3 Besondere Anforderungen an eine BWS Typ 2

Ergänzung:

Der periodische Test muss nachweisen, dass jeder Lichtstrahl in der vom Hersteller festgelegten Art und Weise funktioniert.

Es werden unterschiedliche Konfigurationen berücksichtigt, die sich in der Art wie die Testung der sicherheitsbezogenen Merkmale ausgeführt wird unterscheiden (siehe Anhang D).

Bei einem Typ 2-II (siehe Anhang D) muss ein einzelner Fehler, der zum Verlust des automatisch eingeleiteten internen Tests führt, aufgedeckt werden und zu einem Verriegelungszustand führen.

4.2.2.4 Besondere Anforderungen an eine BWS Typ 3

Dieser Unterabschnitt von Teil 1 ist nicht anwendbar.

4.2.12 Wirksamkeit des Detektionsvermögens der AOPD

Die Konstruktion der AOPD muss derart sein, dass sich das Detektionsvermögen der AOPD gegenüber dem vom Lieferanten angegebenen Wert nicht verändert, wenn die AOPD unter beliebigen Kombinationen von Folgendem betrieben wird:

- jeder Bedingung innerhalb der Spezifikation des Lieferanten,
- den in 4.3 festgelegten Umgebungsbedingungen,
- an den Grenzen von Ausrichtung und/oder Einstellungen,
- über das gesamte Schutzfeld.

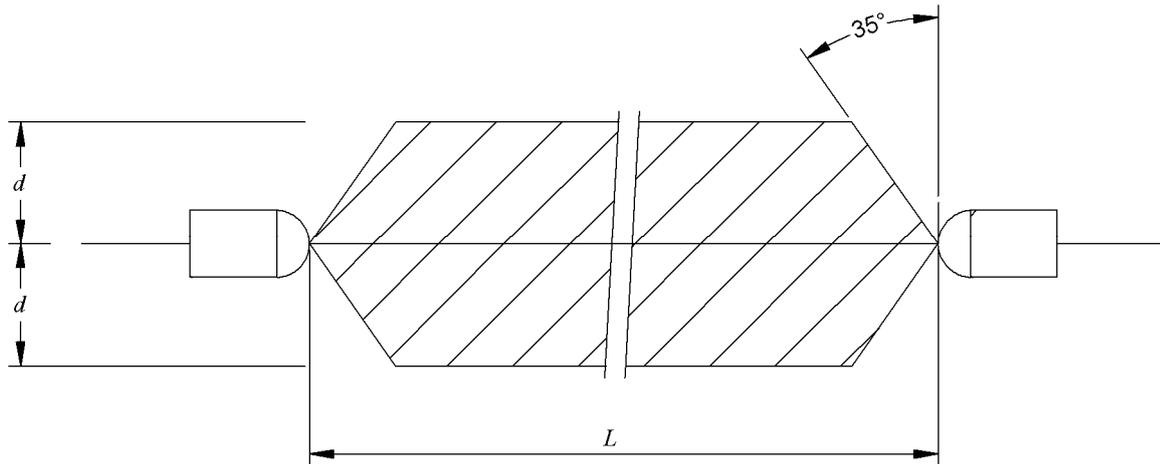
Falls ein einzelner Fehler (wie in Teil 1, Anhang B festgelegt), der unter normalen Betriebsbedingungen (siehe Teil 1, 5.1.2.1) nicht zum Verlust des angegebenen Detektionsvermögens der AOPD führen würde, sondern erst in Kombination mit den oben festgelegten Bedingungen zu einem solchen Verlust führt, muss dieser Fehler zusammen mit dieser Kombination von Bedingungen als einzelner Fehler betrachtet werden, und die AOPD muss auf einen solchen einzelnen Fehler, wie in 4.2.2 gefordert, reagieren.

Die AOPD muss ausgelegt und gebaut sein um:

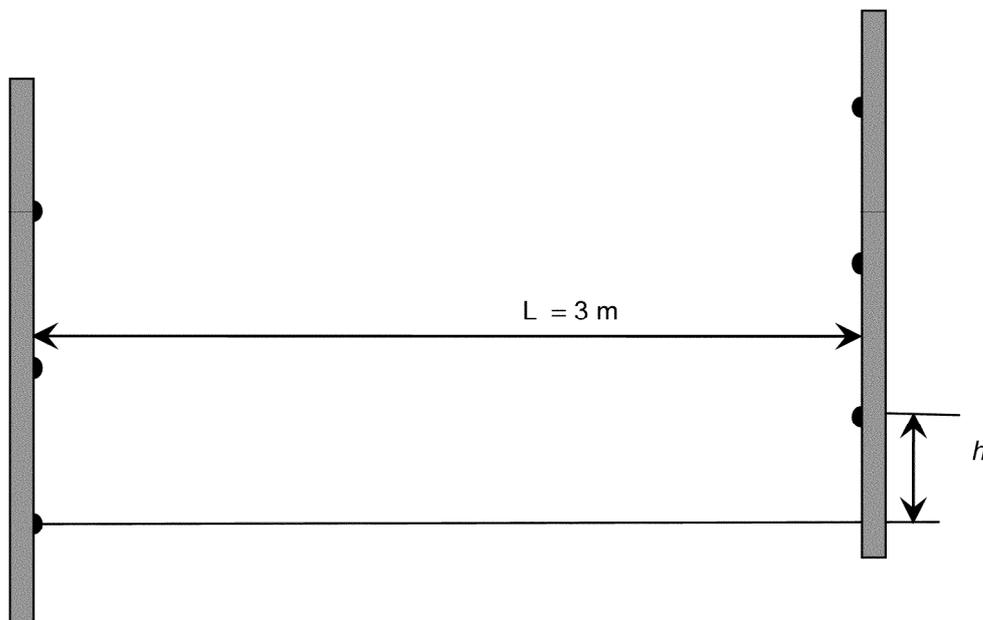
- a) die Möglichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls, der sich aus Umspiegelungen ergibt, zu beschränken (siehe Bild 1 für einen Arbeitsabstand bis zu 3 m),
- b) die Fehlansichtung, bei der ein Normalbetrieb möglich ist, zu beschränken. Für einen Arbeitsabstand von 3 m müssen die Grenzwerte aus Bild 2 eingehalten werden.
- c) die Möglichkeit einer Fehlfunktion während des Einwirkens von Störlicht im Bereich von 400 nm bis 1 500 nm zu beschränken.

— **Entwurf** —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Für Typ 4: $d = 131 \text{ mm}$, $L = 250 \text{ mm}$ bis $3\,000 \text{ mm}$ Für Typ 2: $d = 262 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$ bis $3\,000 \text{ mm}$ **Bild 1 – Grenzbereich für den Schutz gegen das Risiko einer Strahlüberbrückung/-umspiegelung**

Wenn die AOPD dazu vorgesehen ist, Schutz zu bieten, wenn sie sehr nah zu einer reflektierenden Oberfläche montiert ist (d. h. innerhalb des schattierten Bereichs von Bild 1), muss die AOPD so konstruiert sein, dass sich auf der reflektierenden Oberfläche keine optische Überbrückung/Umspiegelung ereignen kann. Für ein solches Gerät kann ein EAA sehr viel geringer als $2,5^\circ$ (z. B. geringer als $0,1^\circ$) notwendig sein. In diesem Fall gilt das Bild 1 nicht und die Grenzen des Schutzes gegen eine optische Überbrückung/Umspiegelung müssen so wie vom Hersteller festgelegt sein.

Für Typ 4: $h = 262 \text{ mm}$, $L = 3\,000 \text{ mm}$ Für Typ 2: $h = 524 \text{ mm}$, $L = 3\,000 \text{ mm}$ **Bild 2 – Grenze der vertikalen und horizontalen Fehlausrichtung**

4.2.13 Prüfstab

Der Prüfstab muss zylindrisch und undurchsichtig sein und eine effektive Mindestlänge von 150 mm haben. Der Durchmesser des Prüfstabes darf das vom Lieferanten angegebene Detektionsvermögen der AOPD nicht überschreiten.

Für AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden und für AOPDs, die gemischte Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden (siehe 4.1.2.1^{N2)}, muss die Farbe der Oberfläche des undurchsichtigen Prüfstabes weiß sein mit einem Wert des diffusen Reflexionsgrades im Bereich von 80 % bis 90 % bei der Wellenlänge des Senders. Weißes Papier ist ein Beispiel für geeignetes Material.

Für ein Detektionsvermögen einer AOPD, nicht größer als 40 mm, muss der Prüfstab für einen Lichtvorhang vom Lieferanten geliefert werden und muss mit Folgendem gekennzeichnet sein:

- Durchmesser in mm,
- Hinweis auf den Typ und den Namen der AOPD, mit der der Prüfstab verwendet werden soll.

Wenn die AOPD mit mehr als einem Detektionsvermögen konfiguriert werden kann, muss der Lieferant für jedes Detektionsvermögen einen Prüfstab liefern.

Nachweis muss durch Inspektion erfolgen.

4.2.14 Wellenlänge

AOPDs müssen bei einer Wellenlänge innerhalb des Bereichs von 400 nm bis 1 500 nm arbeiten.

4.2.15 Strahlungsintensität

Wenn der Sender LED-Technologie verwendet, so muss die von der AOPD erzeugte und ausgestrahlte Strahlungsintensität den Anforderungen der freien Gruppe nach IEC 62471:2006 entsprechen.

ANMERKUNG Die freie Gruppe ist identisch zur Risikogruppe null (IEC 62471:2006).

Wenn der Sender Lasertechnologie verwendet, so darf die von der AOPD erzeugte und abgestrahlte Strahlungsintensität nie die Grenzwerte zugänglicher Strahlung (GZS) für einen Laser der Klasse 1M nach IEC 60825-1:2007, 8.2 überschreiten.

ANMERKUNG Klasse 2 Laser können zur Ausrichtung oder Einstellung verwendet werden.

4.3 Umgebungsanforderungen

Ergänzung:

4.3.5 Lichtbeeinflussung

Die BWS muss im Normalbetrieb verbleiben, wenn sie Folgendem ausgesetzt ist:

- weiß strahlendem Licht;
- Blitzleuchten;
- fluoreszierendem Licht, welches mit einer hochfrequenten Stromversorgung betrieben wird.

Die BWS darf nicht gefahrbringend ausfallen, wenn sie Folgendem ausgesetzt ist:

- weiß strahlendem Licht (durch eine Quarzlampe simuliertes Tageslicht);
- Stroboskoplicht;
- fluoreszierendem Licht, welches mit einer hochfrequenten Stromversorgung betrieben wird,
- für eine AOPD Typ 4, Strahlung von einer Senderbaugruppe (oder -element) gleicher Bauart. Es muss die Kombination von technischen Maßnahmen und Installations- und Konfigurationsverfahren nach der vom Hersteller gelieferten Betriebsanleitung geprüft werden.

ANMERKUNG Für AOPDs Typ 2 kann das Risiko eines gefahrbringenden Ausfalls durch ein Sendeelement gleicher Bauart durch vom Hersteller angegebene Installationsmaßnahmen reduziert werden.

Diese Anforderungen müssen erfüllt werden, wenn die AOPD den Prüfungen in 5.4.6 entspricht.

^{N2)} Nationale Fußnote: Der korrekte Verweis müsste 4.1.2.2 lauten.

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Es sind keine Anforderungen zur Immunität gegenüber anderen Störlichtquellen enthalten, die zu einem normwidrigen Betrieb oder gefährbringenden Ausfall führen könnten. Eine Anforderung, bezogen auf den Lieferanten, zur Information des Anwenders über mögliche Probleme ist in Abschnitt 7 ff) (dieser Teil und Teil 1) enthalten.

5 Prüfung

Dieser Abschnitt von Teil 1 ist gültig, außer wie folgt:

5.1 Allgemeines

Ergänzung:

In den nachfolgenden Prüfungen muss nachgewiesen werden, dass das (die) OSSD(s), wenn es (sie) in den AUS-Zustand wechselt(n), im AUS-Zustand verbleibt(en) während der Prüfstab sich im Schutzfeld (oder Lichtstrahl) befindet oder mindestens für 80 ms; je nachdem welcher Wert größer ist. Wenn die AOPD eine Wiederanlaufsperr enthält, muss die Wiederanlaufsperr während der Prüfungen nach diesem Abschnitt unwirksam gemacht werden.

AOPDs können auf unterschiedliche Weise konstruiert sein. Die nachfolgende Tabelle zeigt unterschiedliche Konstruktionen und zugehörige Anforderungen und Prüfungen auf, wie innerhalb dieser Norm beschrieben.

Tabelle 1 – Korrespondenzen von Anforderungen/Prüfungen und AOPD-Konstruktionen

Unter- abschnitt	Prüfung in Bezug auf	AOPDs, die nur Sender oder nur Empfänger in derselben Baugruppe verwenden		AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden		AOPDs, die Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden	
		GROD- Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion	GROD- Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion	GROD- Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion
4.1	Funktions- anforderungen	X	X	X	X	X	X
4.1.2	Sensorfunktion	X	X	X	X	X	X
4.1.2.2	zusätzliche Anfor- derungen an AOPDs, die Retroreflexions- verfahren verwenden und an AOPDs, die gemischte Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden			X	X	X	X
4.2	Konstruktions- anforderungen	X	X	X	X	X	X
4.2.2	Anforderungen zur Erkennung von Fehlern	X	X	X	X	X	X
4.2.12	Wirksamkeit des Detektionsvermögens der AOPD	X	X	X	X	X	X
4.2.13	Prüfstab	X	X	X	X	X	X
4.2.14	Wellenlänge	X	X	X	X	X	X
4.2.15	Strahlungsintensität	X	X	X	X	X	X
4.3	Umgebungs-	X	X	X	X	X	X

Unter- abschnitt	Prüfung in Bezug auf	AOPDs, die nur Sender oder nur Empfänger in derselben Baugruppe verwenden		AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden		AOPDs, die Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden	
		GROD- Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion	GROD- Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion	GROD- Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion
	anforderungen						
4.3.5	Lichtbeeinflussung	X	X	X	X	X	X
5	Prüfung	X	X	X	X	X	X
5.1	Allgemeines	X	X	X	X	X	X
5.1.1	Typprüfungen	X	X	X	X	X	X
5.1.1.2	Betriebsbedingungen	X	X	X	X	X	X
5.1.2	Prüfbedingungen	X	X	X	X	X	X
5.1.2.2	Messgenauigkeit	X	X	X	X	X	X
5.2	Funktionsprüfungen	X	X	X	X	X	X
5.2.1	Sensorfunktion	X	X	X	X	X	X
5.2.12.1	Analyse des elektro- optischen Teilsystems	X	X	X	X	X	X
5.2.12.2	Überprüfung des elektro-optischen Teilsystems für GROD-Bauform	X	X	X	X	X	X
5.2.12.2.1	EAA-Prüfung	X		X		X	
5.2.12.2.2	Prismaprüfung	X		X		X	
5.2.12.3	Überprüfung des elektro-optischen Teilsystems für andere Techniken als GROD-Bauform		X		X		X
5.2.12.3.1	Modellierung und Überprüfung des Modells des optischen Teilsystems		X		X		X
5.2.12.3.2	Analyse des Detektionsvermögens		X		X		X
5.2.12.3.3	zusätzliche Prüfung des Detektions- vermögens		X		X		X
5.2.12.3.4	Analyse von Umspiegelungen		X		X		X
5.2.12.3.5	Prüfung von Umspiegelungen		X		X		X
5.2.12.3.6	Prüfung zur Fehlausrichtung		X		X		X
5.2.12.4	zusätzliche Prüfun-			X	X	X	X

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Unterabschnitt	Prüfung in Bezug auf	AOPDs, die nur Sender oder nur Empfänger in derselben Baugruppe verwenden		AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden		AOPDs, die Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden	
		GROD-Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion	GROD-Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion	GROD-Bauform	unbeschränkte optische Konstruktion
	gen für AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden und für AOPDs, die gemischte Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden						
5.4	Prüfung von Umgebungseinflüssen	X	X	X	X	X	X
5.4.6	Lichtbeeinflussung	X	X	X	X	X	X
5.4.6.1	Allgemeines	X	X	X	X	X	X
5.4.6.2	Lichtquellen	X	X	X	X	X	X
5.4.6.3	Prüfabläufe	X	X	X	X	X	X
5.4.6.4	Normalbetrieb (beste Ausrichtung)	X	X	X	X	X	X
5.4.6.5	gefährbringender Ausfall – Weiß strahlendes Licht (3 000 Lux und ungünstigste Ausrichtung)	X	X	X	X	X	X
5.4.6.6	gefährbringender Ausfall – Stroboskoplicht (ungünstigste Ausrichtung)	X	X	X	X	X	X
5.4.6.7	gefährbringender Ausfall – Fluoreszierendes Licht (3 000 Lux und ungünstigste Ausrichtung)	X	X	X	X	X	X
5.4.6.8	gefährbringender Ausfall – Störlicht von einem Sendeelement gleicher Bauart	X	X	X	X	X	X

5.1.1 Typprüfungen**5.1.1.2 Betriebsbedingungen***Ergänzung:*

Im Rahmen dieser Prüfungen darf die Ebene des Schutzfeldes eines Lichtvorhangs entweder vertikal oder horizontal sein, so wie für eine Prüfung bevorzugt.

Wenn gezeigt werden kann, dass die Ergebnisse gleich sind, dürfen Prüfungen mit großen Arbeitsabständen durch die Verwendung von Neutraldichtfiltern simuliert werden.

5.1.2 Prüfbedingungen

5.1.2.2 Messgenauigkeit

Ergänzung zum ersten Absatz:

- für Winkelmessungen: $\pm 0,1^\circ$,
- für Messungen der Lichtintensität: $\pm 10\%$.

5.2 Funktionsprüfungen

5.2.1 Sensorfunktion

Ersatz:

Es muss unter Berücksichtigung des Arbeitsprinzips der AOPD und insbesondere der Verfahren, die verwendet werden um Toleranz gegenüber Umgebungseinflüssen zu erreichen, nachgewiesen werden, dass der Sensorteil ununterbrochen betätigt ist und, wo angemessen, dass das (die) OSSD(s), wie in diesem Unterabschnitt beschrieben, in den AUS-Zustand wechselt(n).

Für einen Lichtvorhang:

- durch langsames Bewegen des Prüfstabes im Schutzfeld über die Strahlen mit einem Winkel von 45° und einem Winkel von 90° (siehe Bilder 3 und 4) an den Rändern des Schutzfeldes [so nah wie möglich am Sender und Empfänger (oder Retroreflektor)] und in der Mitte zwischen den Enden (siehe Bild 5);
- durch Platzieren des Prüfstabes ruhend im Schutzfeld an beliebiger Position und/oder unter beliebigem Winkel, die/der als Ergebnis der Analyse in 5.2.12.1 als kritisch betrachtet wird;
- durch Bewegen des Prüfstabes im Schutzfeld über die Strahlen bei maximaler Geschwindigkeit in dem in 4.1.2.1 festgelegten Bereich und bei jeder anderen Geschwindigkeit aus diesem Bereich, die als Ergebnis der Analyse in 5.2.12.1 als kritisch betrachtet wird;
- durch Bewegen des Prüfstabes (mit einer Länge von 150 mm) durch das Schutzfeld mit 1,6 m/s, so dass die Bewegungsrichtung und die Achse des Prüfstabes senkrecht zur Detektionsebene stehen, an den äußersten Rändern des Schutzfeldes (z. B. in jeder Ecke) und in jeder anderen Position, die als Ergebnis der Analyse in 5.2.12.1 als kritisch betrachtet wird.

Für eine Lichtschranke:

- durch Platzieren des Prüfstabes im Strahl an jedem Ende des Strahls und in der Mitte längs des Strahls, so dass die Achse des Prüfstabes senkrecht zur Strahlachse steht;
- durch Bewegen des Prüfstabes (mit einer Länge von 150 mm) durch den Strahl mit 1,6 m/s, so dass die Bewegungsrichtung und die Achse des Prüfstabes senkrecht zur Strahlachse stehen, an jedem Ende des Strahls, in der Mitte längs des Strahls und an jedem anderen Punkt über den gesamten Arbeitsabstand, der als Ergebnis der Analyse in 5.2.12.1 als kritisch betrachtet wird.

Die oben genannten Prüfungen müssen mit der AOPD durchgeführt werden, wenn sie mit dem minimal festgelegten Arbeitsabstand oder 0,5 m, je nachdem welcher Wert größer ist, und mit dem maximal festgelegten Arbeitsabstand betrieben wird.

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Schutzfeld eines Lichtvorhangs
mit Lichtstrahlen senkrecht
zum Blatt

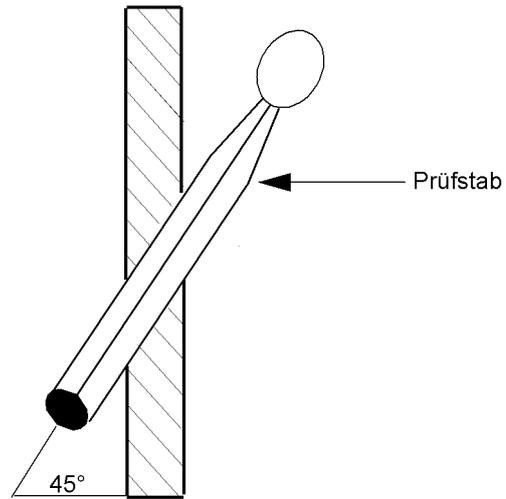


Bild 3 – Prüfstab bei 45°

Schutzfeld eines Lichtvorhangs
mit Lichtstrahlen senkrecht
zum Blatt

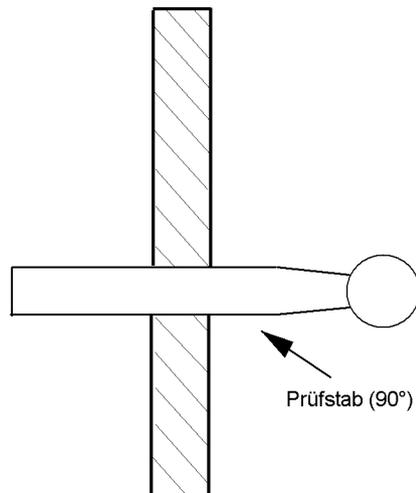


Bild 4 – Prüfstab bei 90°

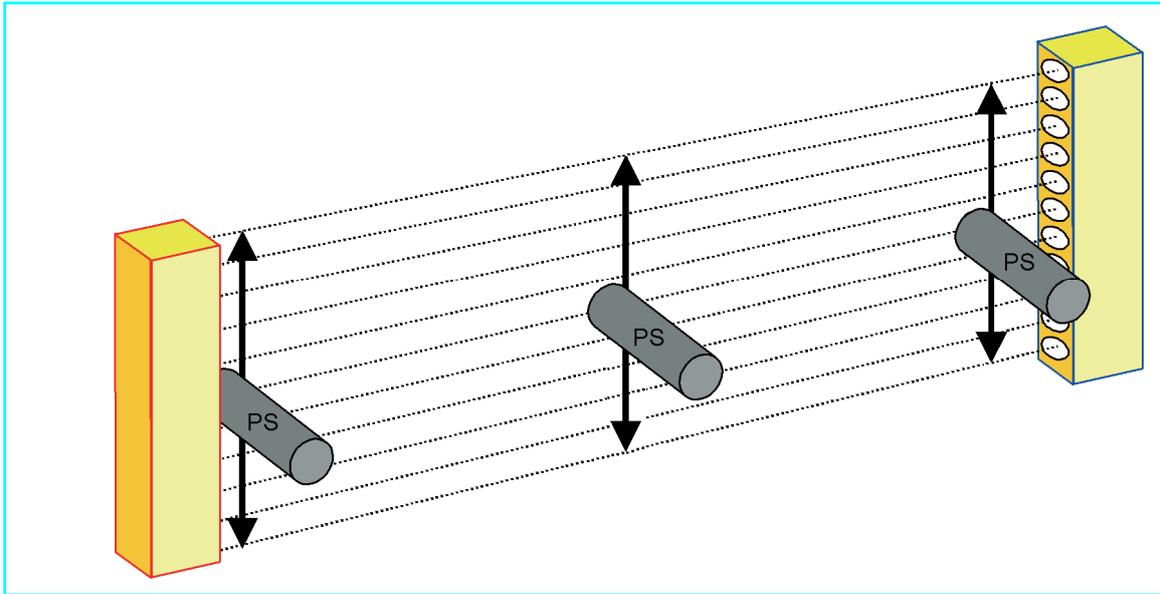


Bild 5 – Nachweis der Sensorfunktion durch Bewegen des Prüfstabes (PS) durch das Schutzfeld in der Nähe des Senders, in der Nähe des Empfängers/Retroreflektors und in der Mitte

5.2.12 Nachweis der Wirksamkeit des Detektionsvermögens

Es muss durch systematische Analyse der Konstruktion der AOPD und, wo angemessen, mittels Durchführung von Prüfungen, unter Berücksichtigung aller Kombinationen der in 4.1.2 und 4.2.12 festgelegten Bedingungen und der in 5.3 festgelegten Fehler, nachgewiesen werden, dass das Detektionsvermögen der AOPD immer erhalten bleibt oder die BWS nicht gefährbringend ausfällt.

5.2.12.1 Analyse des elektro-optischen Teilsystems

Es muss eine systematische Analyse des elektro-optischen Teilsystems durchgeführt werden, um Folgendes zu bestimmen:

- die Strahlmittellinie und die optischen Achsen der Sende- und Empfangselemente;
- den Abstand zwischen Strahlmittellinien;
- die Merkmale der optischen Baugruppen (z. B. Linsendurchmesser, Brennweite, Position und Größe der Blenden, Form der Linsenhalterung);
- die relative Intensität/Empfindlichkeit der Strahlen mehrstrahliger Geräte;
- Strahlrichtung und Ausrichtung zwischen ähnlichen Elementen (d. h. zwischen einer Senderunterbaugruppe und einer anderen oder zwischen einer Empfängerunterbaugruppe und einer anderen);
- die zur Bestimmung des Status der Sensorfunktion verwendeten Kriterien.

Die Ergebnisse dieser Analyse müssen verwendet werden, um zu bestimmen, welches Verfahren für die Überprüfung des elektro-optischen Teilsystems und die Überprüfung der Wirksamkeit des Detektionsvermögens geeignet ist.

Wenn die Analyse zeigt, dass alle Kriterien nach 5.2.12.2 erfüllt werden, müssen 5.2.12.2, 5.2.12.2.1 und 5.2.12.2.2 angewendet werden.

In allen anderen Fällen oder wenn die Analyse zeigt, dass eines oder mehrere Kriterien nach 5.2.12.2 nicht erfüllt werden, müssen 5.2.12.3, 5.2.12.3.1 und 5.2.12.3.2 angewendet werden.

5.2.12.2 Überprüfung des elektro-optischen Teilsystems für GROD-Bauform

Die GROD-Bauform erreicht die in 4.2.12 festgelegten Anforderungen durch Sicherstellung, dass:

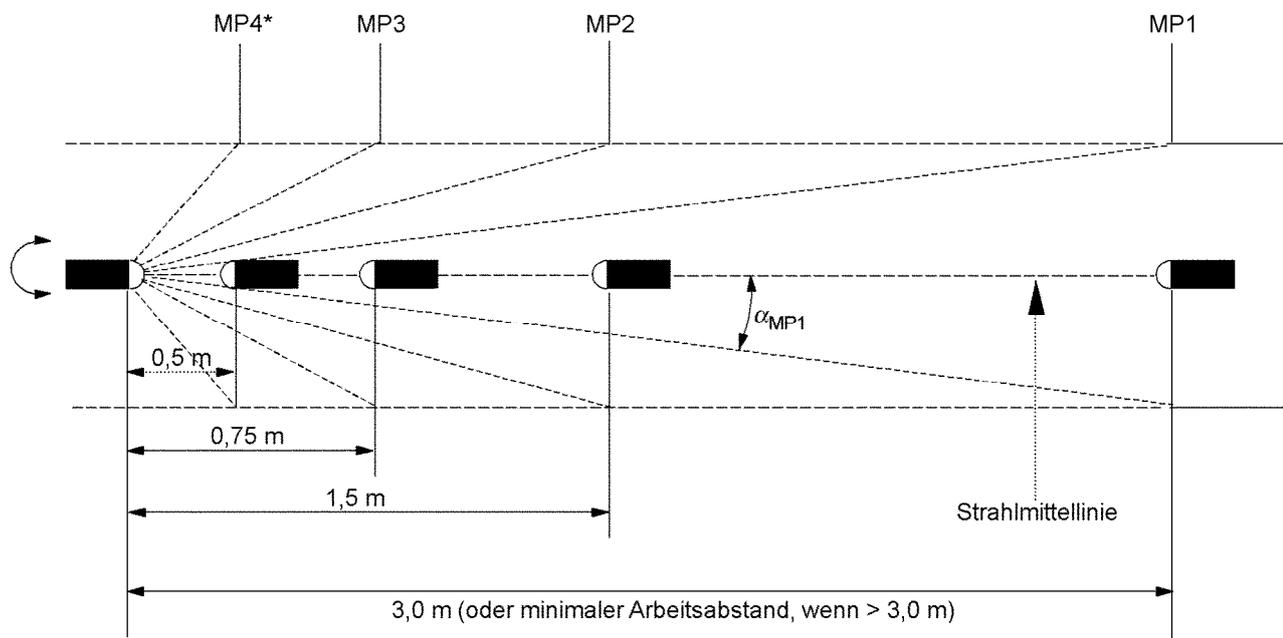
- der effektive Öffnungswinkel (EAA) jedes Sende- und jedes Empfangselements die in Bild 6 vorgegebenen Werte nicht überschreitet, und

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

- die Achsen der optischen Strahlen parallel zueinander sind, und
- Nebenkeulen auf ein Minimum gebracht sind, und
- der Abstand zwischen Strahlmittellinien gleichmäßig ist, und
- die Größe des Detektionsvermögens für sämtliche Positionen des Prüfstabes innerhalb des Schutzfeldes auf der vollständigen Abdeckung von mindestens einem Strahl beruht (siehe Bild 7).

Es muss überprüft werden, dass alle Strahlen die folgenden Grenzwerte einhalten.



AOPD Typ 2	MP1	MP2	MP3	MP4		AOPD Typ 4	MP1	MP2	MP3	MP4
α Grenzwerte Grad	5	10	19,3	27,7		α Grenzwerte Grad	2,5	5	10	14,7
* MP Messpunkt										

ANMERKUNG 1 Der effektive Öffnungswinkel sollte nach 5.2.12.2.1 bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 An jedem Messpunkt MP1 bis MP4 sollten Messungen ausgeführt werden (oder nur an MP1, wenn der minimale Abstand mehr als 3,0 m beträgt).

ANMERKUNG 3 Die Grenzwerte für andere Abstände können mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\alpha = \arctan(d/L)$$

mit $d = 262$ mm (für Typ 2) oder $d = 131$ mm (für Typ 4)

und $L =$ Abstand zwischen Sender und Empfänger in mm (oder DUT und Retroreflektor).

ANMERKUNG 4 Für Retroreflektorsysteme beträgt der Wert von α die Hälfte des in der Tabelle oben angegebenen Wertes.

Bild 6 – Grenzwerte für den effektiven Öffnungswinkel (EAA)

Wenn die GROD-Bauform verwendet wird, lautet die Formel zur Bestimmung des minimalen Detektionsvermögens (d) (siehe Bild 7):

$$d = P + \phi$$

mit d = Detektionsvermögen

P = Abstand zwischen Strahlmittellinien

ϕ = Linsendurchmesser

Beispiel: Linsendurchmesser (ϕ) = 6 mm und Strahlabstand (P) = 8 mm

$$d = P + \phi = 8 \text{ mm} + 6 \text{ mm} = 14 \text{ mm}$$

Folglich ist in dem obigen Beispiel das Detektionsvermögen = 14 mm.

Bei unterschiedlichen Linsendurchmessern muss in der Berechnung der größte Durchmesser verwendet werden.

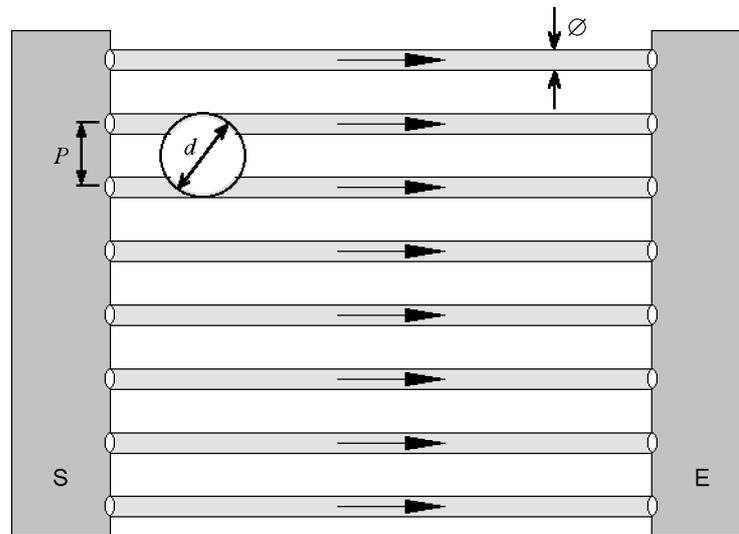


Bild 7 – Bestimmung des minimalen Detektionsvermögens

5.2.12.2.1 EAA-Prüfung für GROD-Bauform

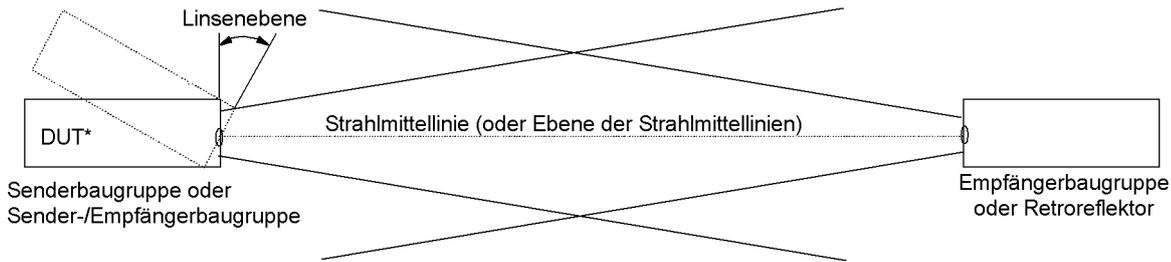
Der Winkel der Fehlausrichtung der Empfängerbaugruppe oder des Retroreflektors muss mit einer Senderbaugruppe oder einer Sender-/Empfängerbaugruppe, die sich in feststehender optischer Ausrichtung mit einer Empfängerbaugruppe oder einem Retroreflektor befindet, gemessen werden. Der Winkel der Fehlausrichtung des Sendeelements oder des Sender-/Empfängerelements muss mit einer Empfängerbaugruppe oder einem Retroreflektor, die/der sich in feststehender optischer Ausrichtung mit einer Senderbaugruppe oder einer Sender-/Empfängerbaugruppe befindet, gemessen werden. Diese Messungen müssen in allen in Bild 6 gezeigten Entfernungen in folgender Weise ausgeführt werden.

Die AOPD muss bestmöglich, wie vom Lieferanten festgelegt, ausgerichtet werden. Die AOPD sollte auf einem Drehtisch mit einer Winkelskala montiert werden. Die Prüfungen müssen um die in Bild 8 gezeigte Drehachse herum durchgeführt werden.

— Entwurf —

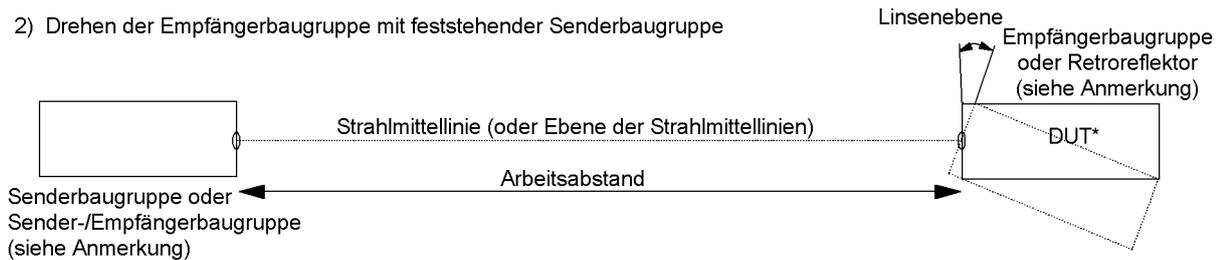
E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

- 1) Drehen der Senderbaugruppe mit feststehender Empfängerbaugruppe



Drehachse in der Ebene aller Linsen

- 2) Drehen der Empfängerbaugruppe mit feststehender Senderbaugruppe



* DUT Gerät in Prüfung

ANMERKUNG Für Lichtvorhänge, die Retroreflexionsverfahren verwenden, sollte die Prüfung nur mit der Sensoreinheit, bei feststehendem Retroreflektor ausgeführt werden.

Bild 8 – Messverfahren für EAA (Richtung)

Einschalten der AOPD und Ausführen des Verfahrens wie folgt:

- Die Sender- oder Sender/Empfänger-Einheit muss im Uhrzeigersinn in die 90°-Position gedreht werden, das (die) OSSD(s) muss (müssen) in den AUS-Zustand wechseln,
- die Versorgungsspannungen der gesamten AOPD müssen abgeschaltet und danach wieder eingeschaltet werden,

ANMERKUNG Auf Basis der Analyse von 5.2.12.1 kann es notwendig sein, zwischen den Schritten dieses Verfahrens einige Zeit (z. B. Einschwingzeit von Verstärkungsregelungsschaltkreisen) abzuwarten.

- die Sender- oder Sender/Empfänger-Einheit muss in die ausgerichtete Position zurückgedreht werden, bis die Position erreicht ist, an der das (die) OSSD(s) in den EIN-Zustand wechselt(n). Der entsprechende Wert des Winkels und der Entfernung müssen aufgezeichnet werden. Die Einheit wird weiter gegen den Uhrzeigersinn gedreht, bis die entgegengesetzte 90°-Position erreicht wird. Dabei wird die letzte Position, an der das (die) OSSD(s) vom EIN-Zustand in den AUS-Zustand wechselt(n), aufgezeichnet,
- das gleiche, in den Schritten a) bis c) angegebene Verfahren muss in Richtung gegen den Uhrzeigersinn durchgeführt werden,
- das gleiche, in den Schritten a) bis d) angegebene Verfahren muss auf die entgegengesetzte Einheit (Empfänger oder Empfänger/Sender) angewendet werden.

In Fällen, in denen der spezifizierte minimale Arbeitsabstand 3 m überschreitet, müssen ähnliche Prüfungen durchgeführt werden, um den EAA bei minimalem Arbeitsabstand zu bestimmen (siehe Bild 6).

Die Prüfung ist bestanden, wenn die in Schritt c) aufgezeichneten Winkel (EAA) kleiner als die in Bild 6 angegebenen Werte sind.

ANMERKUNG 1 Für eine AOPD, die vom Hersteller zum Betrieb bei größeren Abständen vorgesehen ist, können Prüfungen unter Verwendung von Neutrallichtfiltern über kürzere Abstände ausgeführt werden, wenn gezeigt werden kann, dass die erzielten Ergebnisse mit denjenigen Ergebnissen übereinstimmen, die bei dem spezifizierten Arbeitsabstand erzielt werden.

ANMERKUNG 2 Besondere Aufmerksamkeit sollte Konstruktionen geschenkt werden, bei denen der Querschnitt des Strahls (eines Senders) oder der Querschnitt des Empfangskegels (eines Empfängers) leicht oval, elliptisch, länglich oder auf andere Weise in eine Richtung verlängert, die weder horizontal noch vertikal ist, konstruiert ist.

5.2.12.2.2 Prismaprüfung für GROD-Bauform

Es muss gezeigt werden, dass jeder Strahl einer Mehrstrahllichtschranke und eines Lichtvorhangs die Anforderungen nach Bild 6 erfüllt. Ein Verfahren zur Überprüfung der Merkmale jedes Strahls ist die Verwendung eines Keilprismas, das vor die einzelnen Strahlen platziert wird. Das Präzisionskeilprisma versetzt den EAA des zu prüfenden Strahls, so dass seine individuellen Merkmale bewertet werden können. Das Prüfverfahren mit dem Keilprisma ist in 5.2.12.2.2 erläutert. Das Bestehen der Keilprismaprüfung erfüllt die Anforderungen von 4.2.12, a) und b).

Die Grundlage dieses Verfahrens ist die Isolation jedes Strahls, so dass seine individuellen Eigenschaften nachgewiesen werden können (Bild 9).

ANMERKUNG Für Systeme mit unterschiedlichen EAAs auf Sender und Empfänger kann dieses Verfahren als Leitfaden zur Entwicklung gleichwertiger Prüfungen verwendet werden. Jedoch müssen für die Konstruktion des in der Bewertung befindlichen Systems unterschiedliche Winkelgrenzen als angemessen festgelegt werden.

Die AOPD muss optimal ausgerichtet werden (Nullposition) und sollte auf einer drehbaren Einheit montiert sein. Für die Prüfung muss ein Keilprisma mit einem Strahlablenkwinkel nach MP1 von Bild 6 verwendet werden. Die Höhe (H , Bild 10) muss groß genug sein, um mindestens einen Strahl abzudecken, darf jedoch nicht größer als die Abmessung des Detektionsvermögens sein. Die Prüfung (mit Bezug auf Bild 10) muss bei 3 m oder so nah wie möglich bei 3 m innerhalb des Arbeitsbereichs des Gerätes ausgeführt werden (wenn die Prüfung bei einem anderen Abstand als von 3 m erfolgt, müssen die Formeln von Bild 6 verwendet werden, um einen passenden Ablenkwinkel zu berechnen).

ANMERKUNG Auf Grundlage der Analyse von 5.2.12.1 können Prüfungen bei anderen Abständen notwendig sein.

Der Prismawinkel β kann mit den in Bild 11 gezeigten Formeln berechnet werden.

Prüfverfahren:

Die AOPD wird eingeschaltet und nachfolgendes Verfahren ausgeführt:

- 1) Das (die) OSSD(s) muss (müssen) sich im EIN-Zustand befinden.
- 2) Das Prisma wird vor dem zu prüfenden Empfangs- oder Sendeelement eingesetzt.
- 3) Das (die) OSSD(s) muss (müssen) in den AUS-Zustand wechseln und dort verbleiben. Wenn das (die) OSSD(s) im EIN-Zustand verbleibt(en), wird der Plattenteller in Richtung der Strahlabweichung gedreht, bis das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(n). Das Prisma wird entfernt, und es ist nachzuweisen, dass das (die) OSSD(s) in den EIN-Zustand zurückkehrt(en).
- 4) Das Prisma wird um 180° gedreht und vor dem gleichen zu prüfenden Strahl eingesetzt. Es ist nachzuweisen, dass das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(n) und dort verbleibt(en). Wenn das (die) OSSD(s) im EIN-Zustand verbleibt(en), wird der Plattenteller in Richtung der Strahlabweichung gedreht, bis das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(n). Das Prisma wird entfernt, und es ist nachzuweisen, dass das (die) OSSD(s) in den EIN-Zustand zurückkehrt(en).
- 5) Die Schritte 3 und 4 werden wiederholt, das Prisma wird von entgegengesetzten Richtungen eingesetzt, bis das (die) OSSD(s), wie gefordert, ohne Veränderung der Position des Plattentellers in den AUS-Zustand wechselt(n). Wenn eine solche Position nicht gefunden werden kann, überschreitet der EAA des geprüften Strahls den erforderlichen Winkel.

ANMERKUNG Der Zweck der obigen Reihenfolge von Prüfungen ist es, eine einzelne Position des Plattentellers zu finden, bei der das (die) OSSD(s) durch Einsetzen des Prismas aus jeder Richtung zum Wechsel in den AUS-Zustand gebracht werden kann (können). Dies weist nach, dass der Winkel in beide Richtungen gleich ist.

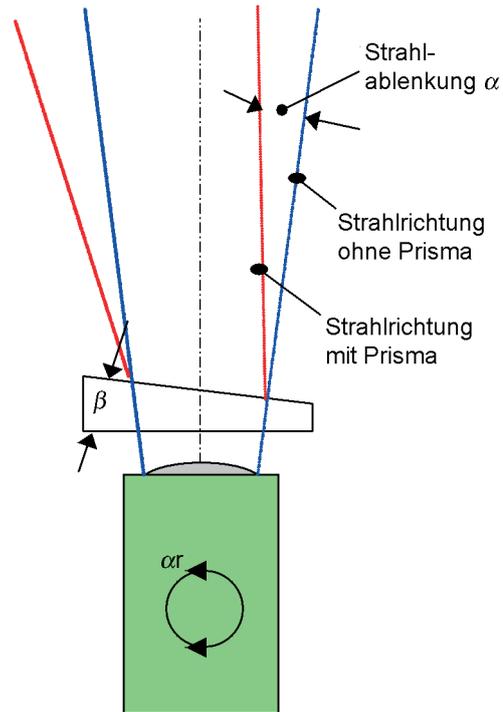
- 6) Der Plattenteller wird in Nullposition gebracht und dann werden die Schritte 1 bis 5 für jeden Strahl wiederholt. Während der Neupositionierung des Prismas darf (dürfen) das (die) OSSD(s) seinen (ihren) Zustand wechseln.

Das beschriebene Prüfverfahren muss mindestens für den ersten und letzten Strahl mit dem um 90° gedrehten in Prüfung befindlichen System und dem Prisma, eingesetzt längs der Y-Achse, wiederholt werden. Die Prüfung muss für andere Positionen wiederholt werden, wenn die Analyse nach 5.2.12.1 zeigt, dass andere Positionen kritisch sind.

— **Entwurf** —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Die obige Prüfung muss vor dem Sender und vor dem Empfänger ausgeführt werden.



ANMERKUNG 1 Das Prisma sollte sich so nah wie möglich vor der Optik befinden.

ANMERKUNG 2 Es kann notwendig sein, eine Kombination von Prismen zu verwenden, um sehr große Ablenkwinkel zu erreichen.

Bild 9 – Prismaprüfung zur Messung des EAA jedes Strahls

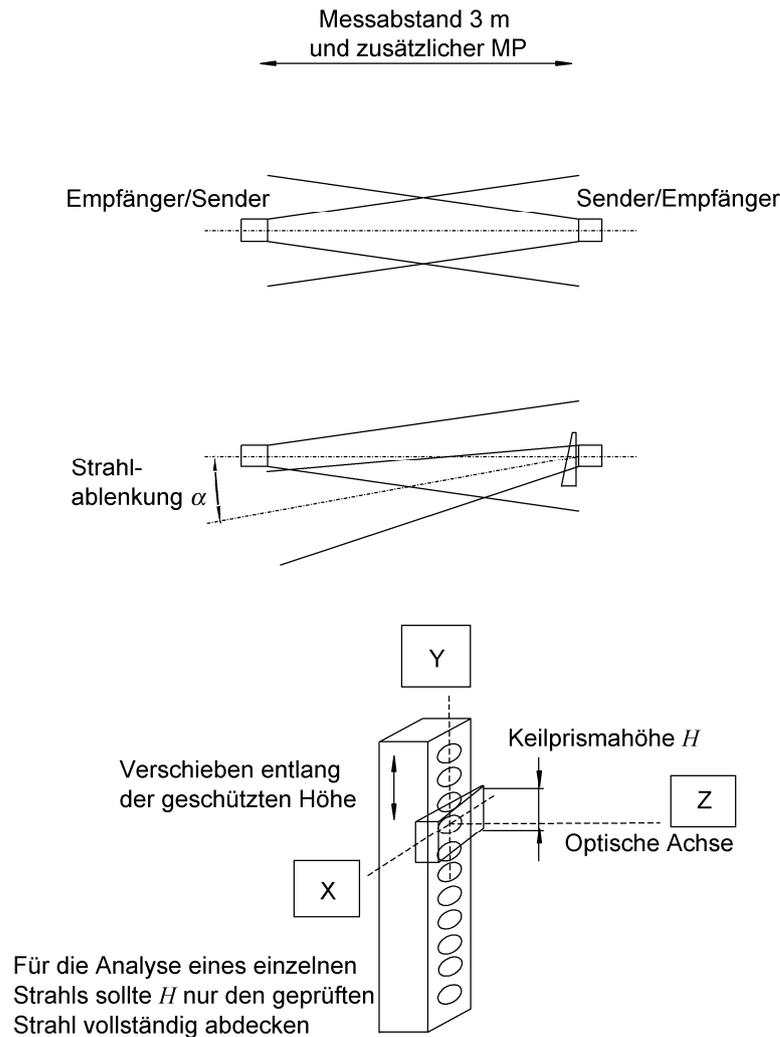


Bild 10 – EAA-Prüfung mit Prisma

Berechnung des Winkels des Keilprismas:

Der Ablenkwinkel des Keilprismas hängt vom mechanischen Winkel des verwendeten Prismas, der Brechzahl für die Art des verwendeten Glases und von der Wellenlänge des Lichts ab.

Der Winkel kann mit folgender Beziehung berechnet werden:

$$\beta = \frac{\alpha}{(n-1)}$$

wobei

β Prismawinkel

α Ablenkwinkel

n Brechzahl

ist.

Wird eine Brechzahl für das Glas von 1,51 bei 880 nm Wellenlänge verwendet, lautet die Berechnung für einen Ablenkwinkel von 2,5°:

— **Entwurf** —**E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05**

$$\beta = \frac{2,5^\circ}{(1,51-1)} = 4,9^\circ$$

Ablenkwinkel für verschiedene Wellenlängen und konstantes β : $\alpha = \beta (n - 1)$

Brechung (n)	bei	400 nm	= 1,5	$\alpha = \beta (n-1)$	= 4,9 (1,5 - 1)	= 2,45°
	bei	880 nm	= 1,51	$\alpha = \beta (n-1)$	= 4,9 (1,51 - 1)	= 2,5°
	bei	1 500 nm	= 1,53	$\alpha = \beta (n-1)$	= 4,9 (1,53 - 1)	= 2,6°

ANMERKUNG Der durch abweichende Wellenlängen bedingte Messfehler beträgt $-0,05^\circ$ bei 400 nm und $+0,1^\circ$ bei 1 500 nm.

Bild 11 – Konstruktionsberechnungen für ein Keilprisma

5.2.12.3 Überprüfung des elektro-optischen Teilsystems für andere Technologien als GROD-Bauform

Wenn eine AOPD nicht eine geometrisch beschränkte optische Konstruktion verwendet, muss die Erfüllung der Anforderungen nach 4.1.2. und 4.2.12 durch eine Kombination von modellbasierender Simulation und Prüfungen gemäß den nachfolgenden Unterabschnitten überprüft werden.

ANMERKUNG 1 Da nicht alle Konstruktionsverfahren vorauszusehen sind, können diese Prüfverfahren für ein spezielles Konstruktionsverfahren vielleicht ungeeignet sein und bedürfen der Anpassung.

ANMERKUNG 2 Andere als die in den Unterabschnitten von 5.12.3 beschriebenen Verfahren können abhängig von der Konstruktion der AOPD geeigneter sein und können zur Anwendung kommen, wenn ihre Gleichwertigkeit aufgezeigt werden kann.

5.2.12.3.1 Modellierung und Überprüfung des Modells des optischen Teilsystems

Die Analyse des optischen Teilsystems beginnt mit der Erstellung eines Simulationsmodells des Sendeelements und muss auf alle verwendeten optisch wirksamen Elemente ausgedehnt werden bis einschließlich des Empfangselements (zum Beispiel Aperturblenden, optische Elemente zur Strahlformung, Frontscheiben, elektrische oder mechanische Komponenten innerhalb des optischen Strahlengangs).

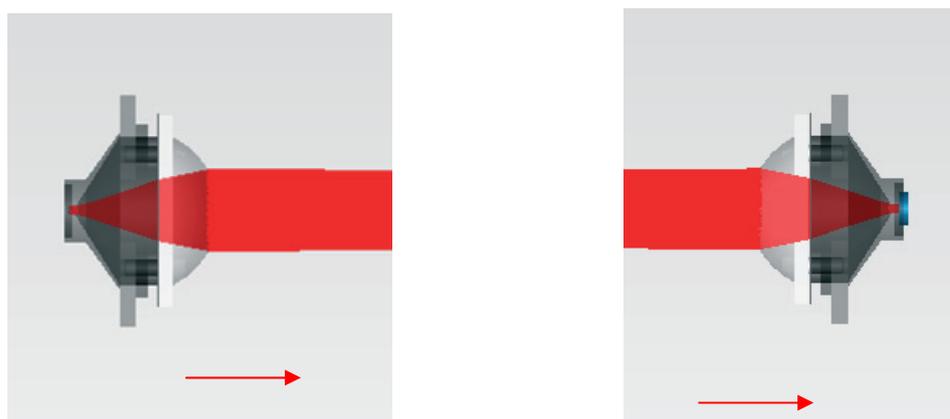


Bild 12 – Beispiel eines optischen Teilsystems. Links Sender – Rechts Empfänger

Das Modell des verwendeten Sendeelements muss den Beitrag der im optischen Teilsystem verwendeten Strahlungsintensität belegen. Die in der Simulation verwendeten Daten müssen durch Messung der Intensitätsverteilung des Sendeelements überprüft werden.

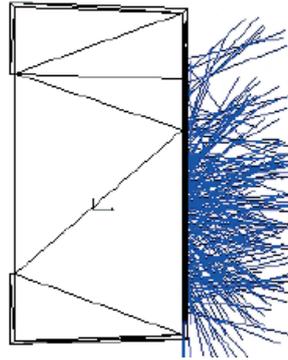


Bild 13 – Beispiel eines Modells einer SMD LED

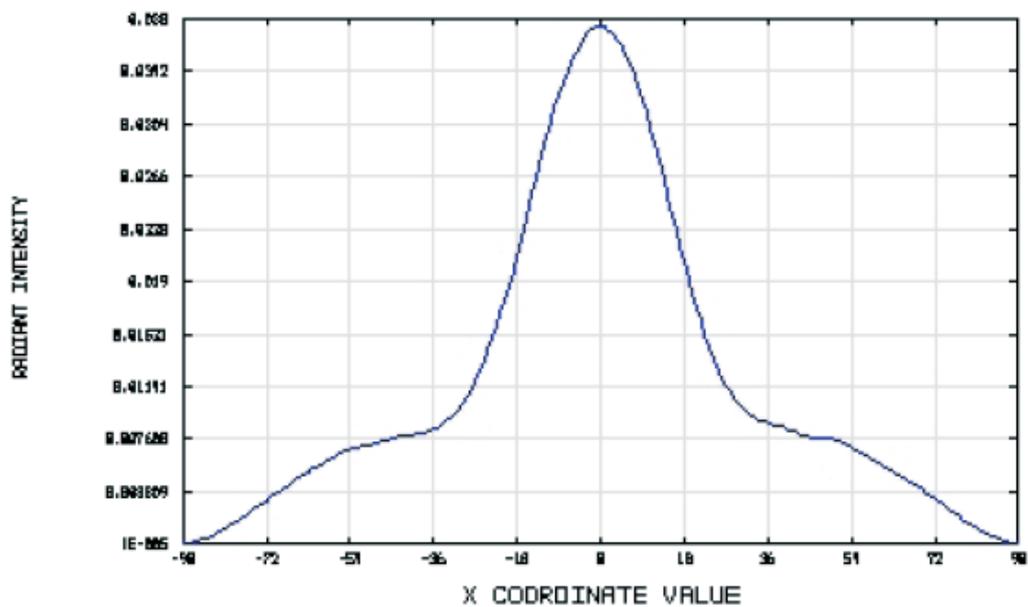


Bild 14– Beispiel der Intensitätsverteilung eines Sendeelements

Das Modell des verwendeten Sendeelements muss, wenn vorhanden, um mechanische Blenden oder Aperturblenden erweitert werden. Weitere optische Elemente zur Strahlformung (zum Beispiel Linsen) müssen hinzugefügt werden und die resultierende Energieverteilung über den Aperturwinkel muss durch Simulation und Kontrollmessungen dargestellt werden.

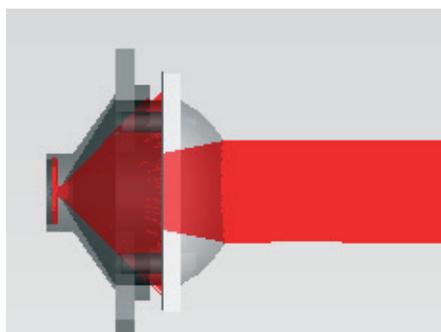


Bild 15 – Beispiel eines Sendermodells. Interne Strahlen werden durch eine Aperturblende abgeblockt

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Das Modell der Empfangseinheit (zum Beispiel bestehend aus optischen Elementen zur Strahlformung, mechanischen oder Aperturblenden, dem Empfangselement) muss überprüft werden, um die Modellierung zu belegen. Die Überprüfung der Empfangseinheit muss durch Messung der Intensitätsverteilung in der Ebene des Empfangselements erfolgen.

Es muss eine Berechnung durchgeführt werden, um die identifizierten Intensitäts-/Energieniveaus am Empfangselement mit den Schaltbedingungen des Sensorteils zu vergleichen.

Das bestimmte und überprüfte Modell muss es ermöglichen die Intensitäts-/Energieverteilung an jeder Position des optischen Teilsystems zu analysieren. Das Modell muss auf die Grenzen von Ausrichtung und/oder Einstellungen anpassbar sein.

Die Modellierung muss mit Werkzeugen, die ein nichtsequentielles Raytracing erlauben, erfolgen und mit einer Anzahl von Strahlen, die für das zu erwartende Energieniveau geeignet sind.

ANMERKUNG Nur nichtsequentielle Raytracing-Werkzeuge erlauben eine Analyse aller Strahlen einschließlich Streulicht und außerachsiger Überbrückung/Umspiegelung.

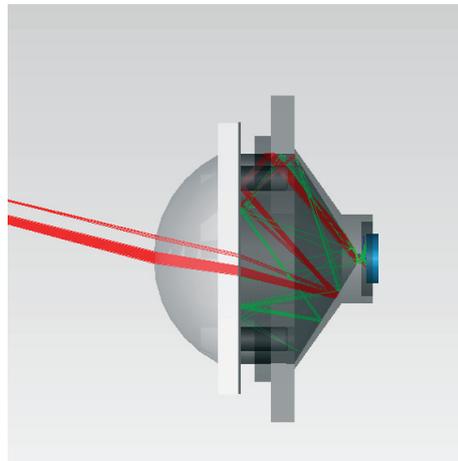


Bild 16 – Beispiel einer Empfangseinheit mit außerachsigem Strahlanteil, der intern an mechanischen Elementen reflektiert wird

Die Anzahl analysierter Strahlen hängt von der Konstruktion der BWS ab. Im Fall einer ähnlichen Strahlkonstruktion kann ein Strahl ausreichend sein, wenn die Toleranzbedingungen eindeutig definiert sind. Wird eine nichtlineare Strahlkonstruktion verwendet, müssen alle für eine Analyse notwendigen Strahlkombinationen berücksichtigt werden.

5.2.12.3.2 Analyse des Detektionsvermögens

In das Modell des optischen Teilsystems muss ein Prüfstab nach dem Detektionsvermögen der AOPD implementiert werden. Um zu belegen, dass das Detektionsvermögen unter ungünstigsten Konstruktionsbedingungen erreicht werden kann, muss eine Simulation für verschiedene Objektpositionen erfolgen. Die Simulation muss belegen, dass in der Empfangsebene kein Intensitäts-/Energieniveau auftreten kann, das an beliebigen Grenzen von Ausrichtung und/oder Einstellungen über den gesamten Arbeitsabstand zu einem gefährbringenden Ausfall führt.

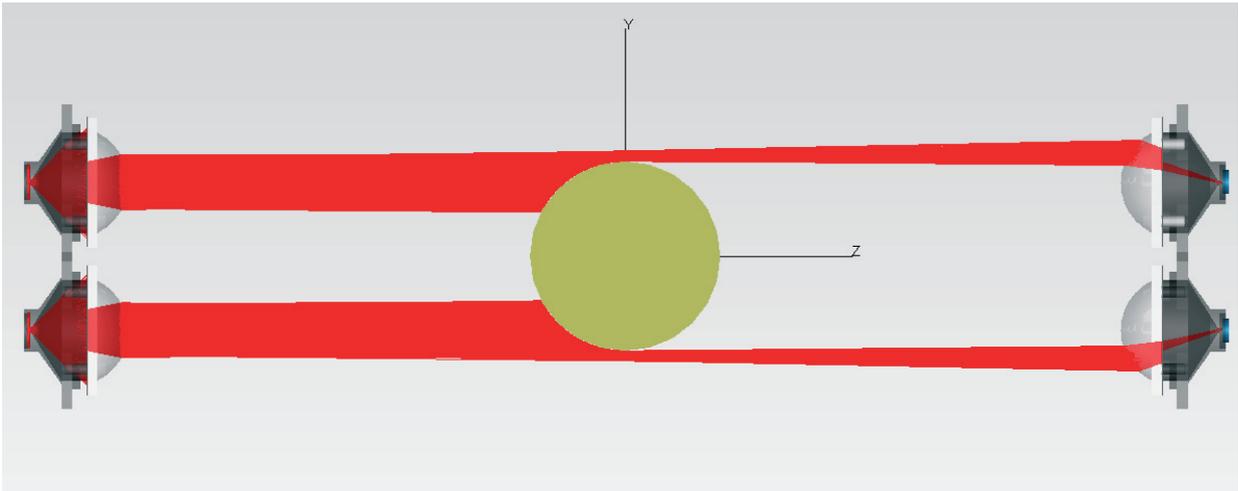


Bild 17 – Beispiel eines Prüfstabes im Modell des optischen Teilsystems mit auf den Empfänger fallender Strahlung

ANMERKUNG Die Simulation in optischen Raytracing-Werkzeugen ist für einen ruhenden Zustand des Prüfstabes nützlich. Weitere Berechnungen können notwendig sein, um den Einfluss eines bewegten Prüfstabes zu zeigen.

Zusätzlich zur Simulation muss das Detektionsvermögen durch Bestehen der Prüfungen nach 5.2.1 und 5.2.12.3.3 nachgewiesen werden.

5.2.12.3.3 Zusätzliche Prüfung des Detektionsvermögens

In Fällen, in denen das Detektionsvermögen durch andere Technologiemitel als EAA erreicht wird, müssen mindestens die folgenden zusätzlichen Prüfungen durchgeführt werden:

- a) Ausrichten der AOPD gemäß den Angaben des Herstellers,
- b) Platzieren eines Neutraldichtefilters im Schutzfeld, der einen Transmissionsgrad von 30 % und Abmessungen der doppelten Größe des Detektionsvermögens besitzt,
- c) Einschalten der AOPD und Warten für 30 s (oder länger, wenn gemäß Analyse nach 5.2.9.1 notwendig). Überprüfen, dass sich das (die) OSSD(s) im EIN-Zustand befindet(n). Wenn sich das (die) OSSD(s) im AUS-Zustand befindet(n), muss der Arbeitsabstand verringert und die Prüfung erneut begonnen werden,
- d) Einführen des Prüfstabes vor dem Filter. Überprüfen, dass das (die) OSSD(s) innerhalb der Reaktionszeit in den AUS-Zustand wechselt(n),
- e) Entfernen des Filters und Überprüfung, dass das (die) OSSD(s) fortlaufend im AUS-Zustand verbleibt(en),
- f) Wiederholung der Prüfung an mehreren durch die Analyse nach 5.2.12.3.2 bestimmten Orten.

Die Ergebnisse der systematischen Analyse müssen bestimmen, welche Prüfungen nach 5.4 zusätzlich eine Messung der Reaktionszeit erfordern.

ANMERKUNG DER WG Sinn des letzten Satzes? Richtige Stelle?

5.2.12.3.4 Analyse von Umspiegelungen

In das Modell des optischen Teilsystems muss bei Vorhandensein einer umspiegelnden hochreflektierenden Oberfläche wie in 5.2.12.3.5 definiert ein Prüfstab entsprechend dem Detektionsvermögen der AOPD implementiert werden. Um zu belegen, dass die in Abschnitt 5.2.1.1 beschriebenen Anforderungen an die Objekterkennung erfüllt werden, muss eine Simulation für verschiedene Prüfstabpositionen und verschiedene Positionen von umspiegelnden reflektierenden Oberflächen in Arbeitsabständen gemäß 5.2.12.3.5 erfolgen. Für die umspiegelnden hochreflektierenden Oberflächen müssen beliebige Positionen außerhalb des schattierten Grenzbereichs gemäß Bild 1 berücksichtigt werden. Die Simulation muss belegen, dass in der Empfangsebene kein Intensitäts-/Energieniveau auftreten kann, das beim Vorhandensein von umspiegelnden reflektierenden Oberflächen innerhalb der Grenzen von Ausrichtung und/oder Einstellungen und für

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

entsprechende Neigungswinkel der hochreflektierenden Oberflächen zu einem gefahrbringenden Ausfall führen kann.

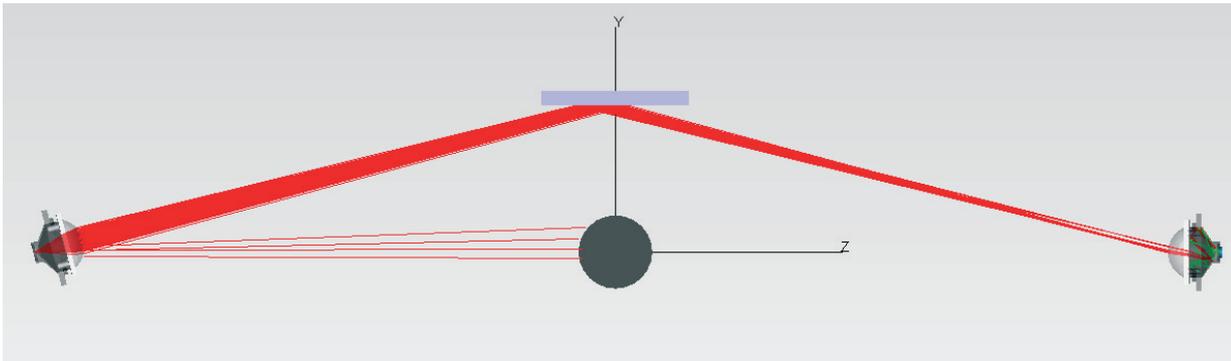


Bild 18 – Beispiel einer auf Grenzwert eingestellten Sendeeinheit. Der Prüfstab wird durch einen Strahlenteil, der auf die Empfangseinheit trifft, umspiegelt.

Basierend auf den Ausrichtpositionen von Sender- und Empfängereinheit in der Simulation müssen die Neigungswinkel der hochreflektierenden Oberfläche bestimmt werden, die zum maximalen Energieniveau auf dem Empfangselement führen. Diese ungünstigsten Ausrichtbedingungen müssen in der Prüfung nach 5.2.12.3.5 verwendet werden.

5.2.12.3.5 Prüfung von Umspiegelungen

Es muss nachgewiesen werden, dass die AOPD, wenn sie in ungünstigsten Ausrichtungsbedingungen beruhend auf der Analyse von 5.2.12.3.4 ausgerichtet ist, nicht gefahrbringend ausfällt, wenn eine hochreflektierende Oberfläche(n) in der Nähe platziert wird (werden). Dies muss unter allen anderen Bedingungen innerhalb der Spezifikation des Lieferanten für jeden Strahl zutreffen.

Prüfverfahren:

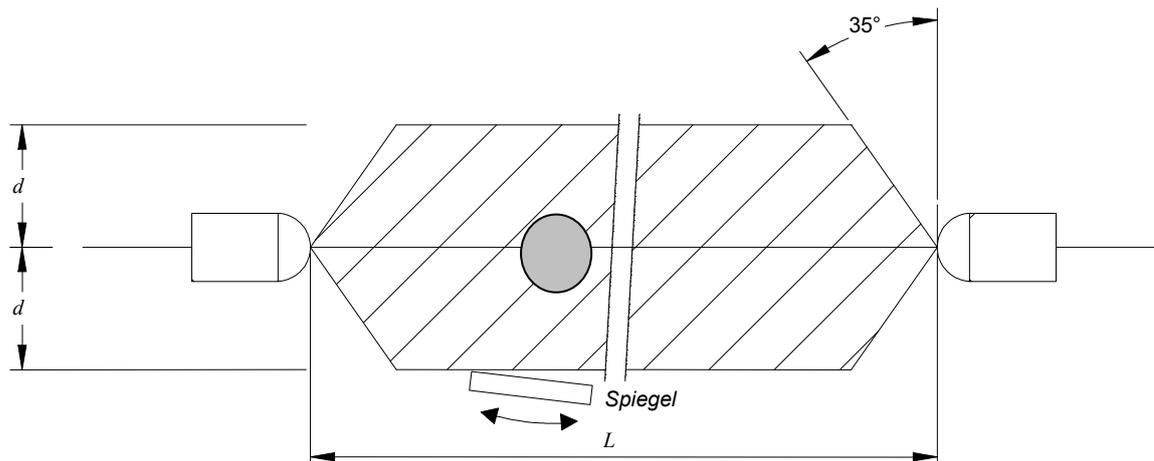
Diese Prüfung muss bei jedem der Arbeitsabstände (0,5 m, 0,75 m, 1,5 m und 3,0 m), der sich innerhalb des vom Lieferanten festgelegten Arbeitsabstands befindet, ausgeführt werden. Wenn der minimal spezifizierte Arbeitsabstand 3,0 m überschreitet, muss die Prüfung mit dem minimalen Arbeitsabstand ausgeführt werden. Die Prüfung muss für jede Strahlmittellinie wiederholt werden.

Nach Ausrichtung der AOPD in ungünstigster Ausrichtungsposition, wie in 5.2.12.3.4 identifiziert, muss die Spannungsversorgung der in Prüfung befindlichen Einheit ausgeschaltet und dann wieder eingeschaltet werden.

ANMERKUNG Vor dem Beginn der Prüfung kann es notwendig sein, einige Zeit (z. B. Einschwingzeit von Verstärkerschaltkreisen) nach dem Einschalten der Spannungsversorgung abzuwarten.

Es muss eine C-Prüfung mit dem Prüfstab am Mittelpunkt entlang der Strahlmittellinie ausgeführt werden (siehe Bild 19), mit einem Spiegel längs der Strahlmittellinie an einer Position und so geneigt, dass das maximale Intensitäts-/Energieniveau des Lichts erreicht wird, wie in 5.2.12.3.4 identifiziert. Der Spiegel muss eine ebene Oberfläche von mindestens 200 mm × 200 mm besitzen, die eine minimale Reflektivität von 0,90 bei der ausgesendeten Wellenlänge besitzt.

Wenn C-Prüfungen durchgeführt werden, muss der direkte Lichtweg zwischen dem Sender und dem Empfänger vollständig durch den Prüfstab abgedeckt sein, es darf jedoch kein Teil des Querschnitts des indirekten Lichtwegs über den Spiegel abgedeckt sein.



Für Typ 4: $d = 131 \text{ mm}$, $L = 250 \text{ mm}$ bis $3\,000 \text{ mm}$

Für Typ 2: $d = 262 \text{ mm}$, $L = 500 \text{ mm}$ bis $3\,000 \text{ mm}$

Bild 19 – Prüfung zu Umspiegelungen mit einem Spiegel außerhalb des Grenzbereichs

5.2.12.3.6 Prüfung zur Fehlausrichtung

Es muss nachgewiesen werden, dass das (die) OSSD(s) bei Fehlausrichtungen (siehe Bild 20), die die in den Tabellen 2 und 3 gezeigten oder mit den Formeln von Bild 20 berechneten Winkel überschreiten, im AUS-Zustand verbleibt(en).

Tabelle 2 – Maximal zulässiger Winkel der Fehlausrichtung (in Grad) für eine BWS Typ 2 in Abhängigkeit von den Abmessungen des Lichtvorhangs

Arbeitsabstand des Lichtvorhangs (Längsabmessung) m	Abstand zwischen Strahlmittellinien der äußersten Strahlen (Querabmessung) mm									
	300	450	600	750	900	1 050	1 200	1 350	1 500	1 800
	Maximal zulässiger Winkel der Fehlausrichtung (γ) Grad									
bis zu 3,0	51,8	33,8	25,2	20,1	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0	8,3
4,0	71,4	45,8	33,9	27,0	22,4	19,2	16,8	14,9	13,4	11,2
5,0	93,6	58,2	42,8	33,9	28,1	24,0	21,0	18,6	16,8	14,0
6,0	122,1	71,4	51,9	41,0	33,9	29,0	25,3	22,4	20,2	16,8

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Tabelle 3 – Maximal zulässiger Winkel der Fehlausrichtung (in Grad) für eine BWS Typ 4 in Abhängigkeit von den Abmessungen des Lichtvorhangs

Arbeitsabstand des Lichtvorhangs (Längsabmessung) m	Abstand zwischen Strahlmittellinien der äußersten Strahlen (Querabmessung) mm									
	300	450	600	750	900	1 050	1 200	1 350	1 500	1 800
	Maximal zulässiger Winkel der Fehlausrichtung (γ) Grad									
bis zu 3,0	25,2	16,7	12,5	10,0	8,3	7,2	6,3	5,6	5,0	4,2
4,0	33,8	22,4	16,7	13,4	11,1	9,5	8,3	7,4	6,7	5,6
5,0	42,7	28,1	21,0	16,7	13,9	11,9	10,4	9,3	8,3	7,0
6,0	51,8	33,8	25,2	20,1	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0	8,3

Prüfverfahren:

Die AOPD muss nach den Anweisungen des Lieferanten optisch ausgerichtet werden und die OSSDs müssen sich im EIN-Zustand befinden.

Wie in Bild 20 gezeigt, muss der Winkel der Fehlausrichtung von 0° bis zu dem Winkel vergrößert werden, bei dem das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(en) und verbleibt(en). Dies muss bei einem Winkel erfolgen, der den zutreffenden, in Tabelle 2 oder Tabelle 3 angegebenen, nicht überschreitet. Diese Prüfung muss nicht ausgeführt werden, wenn γ (siehe Bild 20) größer als 160° ist.

ANMERKUNG Als Ergebnis der Analyse von 5.2.12.1 können Änderungen der obigen Verfahren oder zusätzliche Prüfungen erforderlich sein (z. B. um eine automatische Verstärkungsregelung zu berücksichtigen).

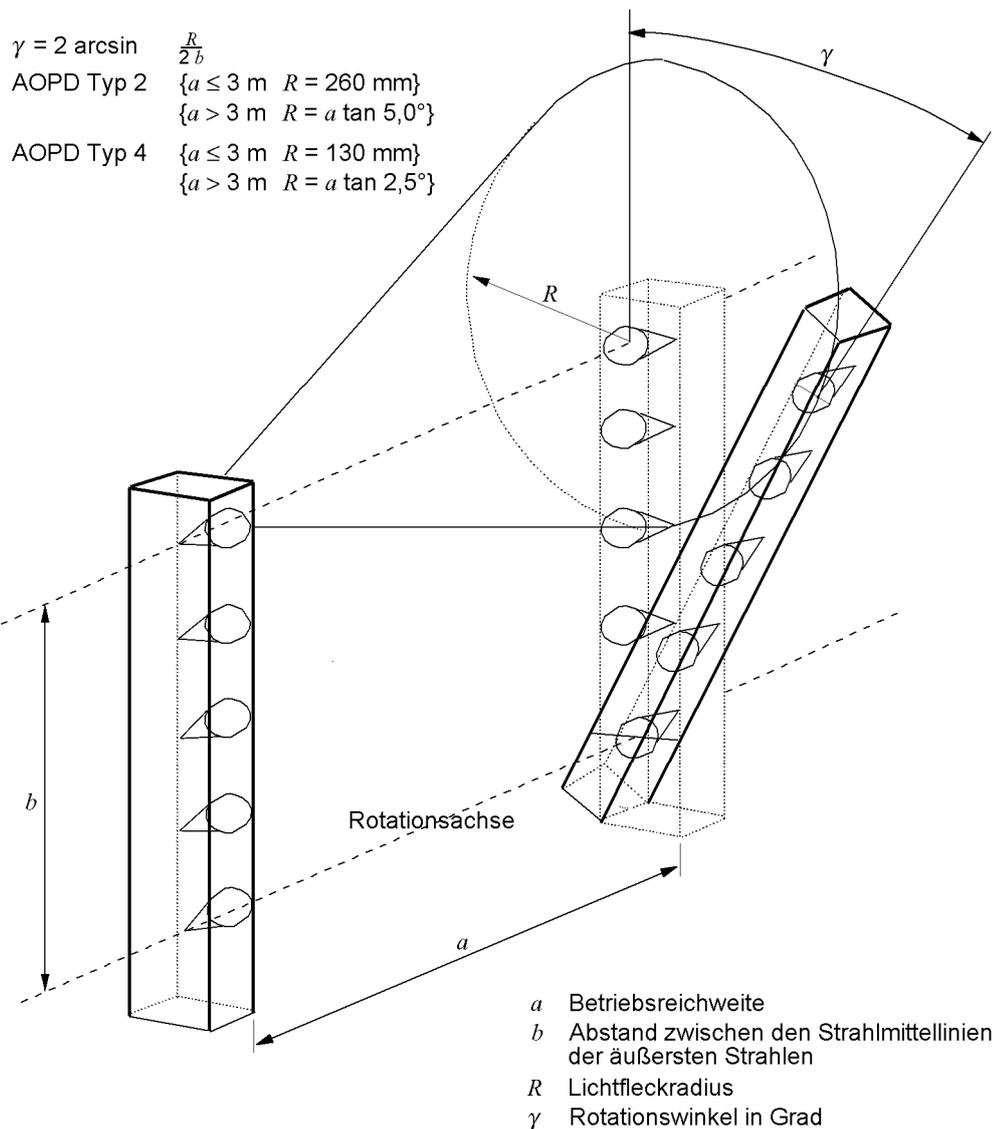


Bild 20 – Prüfung zur AOPD-Fehlausrichtung

5.2.12.4 Zusätzliche Prüfungen für AOPDs, die Retroreflexionsverfahren verwenden und für AOPDs, die gemischte Sender und Empfänger in derselben Baugruppe verwenden

Die folgenden Prüfungen müssen sowohl beim minimalen Arbeitsabstand oder 0,5 m, welcher auch immer der größere ist, als auch beim vom Hersteller festgelegten maximalen Arbeitsabstand durchgeführt werden.

Es muss überprüft werden, dass das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(n), wenn ein reflektierendes Objekt einer Länge gleich der des Prüfstabes und einer Breite gleich der des Durchmessers des Prüfstabes senkrecht zur optischen Achse der Lichtstrahlen im Schutzfeld platziert wird. Diese Prüfung muss nahe zu den Sende-/Empfangelementen, 200 mm vor dem Retroreflektor, auf halbem Weg entlang des Strahls und in jeder anderen durch die elektro-optische Analyse bestimmten Position ausgeführt werden.

Es muss überprüft werden, dass das (die) OSSD(s) einer AOPD Typ 4 in den AUS-Zustand wechselt(n), wenn ein reflektierendes Objekt der Größe 200 mm x 200 mm so nah wie praktisch möglich vor der Sensoroberfläche des (der) Sende-/Empfangelements(e) platziert wird.

Die zu berücksichtigenden reflektierenden Objekte müssen bestehen aus:

- einer planen reflektierenden Fläche, die den Anforderungen für Retroreflexion nach EN 471:2003, Klasse 2 oder Vergleichbarem entspricht.

ANMERKUNG EN 471:2003, Tabelle 5 definiert den spezifischen Mindestrückstrahlwert für ein Material der Klasse 2 als $330 \text{ cd lx}^{-1} \text{ m}^{-2}$ mit einem Anleuchtungswinkel von 5° und einem Beobachtungswinkel von $0,2^\circ$ ($12'$).

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Die in Abschnitt 5.2.12.1 beschriebene Analyse des elektro-optischen Teilsystems muss bestimmen, ob eine größere reflektierende Fläche, als die oben festgelegte, benötigt wird.

Zusätzliche Funktionsprüfungen:

5.2.13 Wellenlänge

Die ausgesendete Wellenlänge muss entweder durch Prüfung der Gerätedatenblätter oder durch Messung verifiziert werden.

5.2.14 Strahlungsintensität

Die Strahlungsintensität muss durch Messung nach IEC 60825-1 oder IEC 62471 und Inspektion der technischen Dokumentation des Lieferanten verifiziert werden.

ANMERKUNG Es werden vereinfachte Prüfverfahren zum Nachweis dieser Anforderung entwickelt.

5.4 Prüfung von Umgebungseinflüssen

Zusätzliche Prüfungen von Umgebungseinflüssen:

5.4.6 Lichtbeeinflussung

5.4.6.1 Allgemeines

Jede Prüfung muss mindestens bei einem Arbeitsabstand von 3 m (oder bei dem am nächsten bei 3 m liegenden vom Lieferanten spezifizierten typischen Arbeitsabstand) und unter den festgelegten Bedingungen ausgeführt werden. Zusätzliche Prüfungen müssen unter unterschiedlichen Kombinationen von Arbeitsabständen und Umgebungsbedingungen ausgeführt werden, wenn

- der Lieferant höhere Störfestigkeitspegel angibt, die durch Prüfungen bei diesen Pegeln mit angemessenen Lichtquellen nachgewiesen werden müssen und/oder
- die Analyse nach 5.2.12.1 die Notwendigkeit solcher Prüfungen aufzeigt.

Während der B-Prüfungen und C-Prüfungen muss der Prüfstab so in das Schutzfeld eingeführt werden, dass das Störlicht nicht unterbrochen wird.

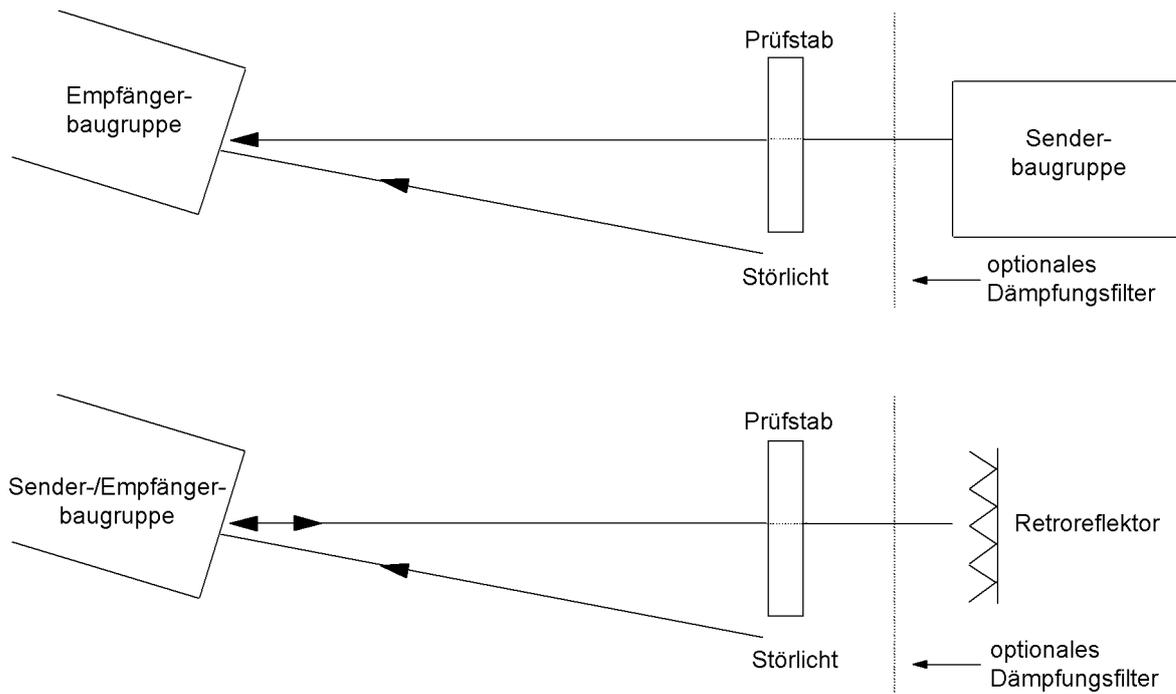
Für die Prüfungen in 5.4.6.4 muss das System optimal nach den Anweisungen des Herstellers ausgerichtet sein. Die Prüfungen in 5.4.6.5, 5.4.6.6 und 5.4.6.7 erfordern, dass das Störlicht entlang der optischen Achse (oder so nah wie möglich) von einem Empfangselement(en) ausgerichtet wird. Gleichzeitig muss (müssen sich das (die) Sendeelement(e) in maximaler Winkelfehlausrichtung befinden, bei der Normalbetrieb fortgesetzt wird (ungünstigste Ausrichtung). Die verwendete Prüfanordnung muss zu den Eigenschaften der geprüften AOPD passen, wie durch die Analyse und Prüfungen nach 5.2.12.1 und 5.2.12.2.1 und jede weitere Analyse und Beschreibung, die notwendig zu sein scheint, ermittelt (siehe Bilder 20, 21, 22, 23 und 24 für Beispiele).

ANMERKUNG 1 Als Ergebnis der Unterschiedlichkeit von Konstruktionen ist nicht eine einzelne Prüfanordnung für alle Arten von AOPD geeignet. Ein Beispiel für eine Prüfanordnung ist in Bild 21 veranschaulicht.

ANMERKUNG 2 Während der Prüfungen kann der Betrieb über große Abstände, unter der Voraussetzung, dass Ergebnisse nicht beeinflusst werden, wie Bild 21 veranschaulicht, durch Neutraldichtefilter simuliert werden.

ANMERKUNG 3 Wenn ein Neutraldichtefilter verwendet wird, sollten alle Prüfungen nach der Installation des Filters durchgeführt werden.

Die Prüfanordnung darf die Eigenschaften des Lichts, das auf die Empfangselemente der AOPD trifft, nicht in irgendeiner Art und Weise verändern, die den Betrieb der AOPD beeinflusst. Wenn Reflektoren, Spiegel, Filter, Strahlteiler, Blenden usw. verwendet werden, muss nachgewiesen werden, dass jede Veränderung der Eigenschaften des Lichts (z. B. spektrale Verteilung oder Polarisation) ohne bedeutsame Auswirkung ist.



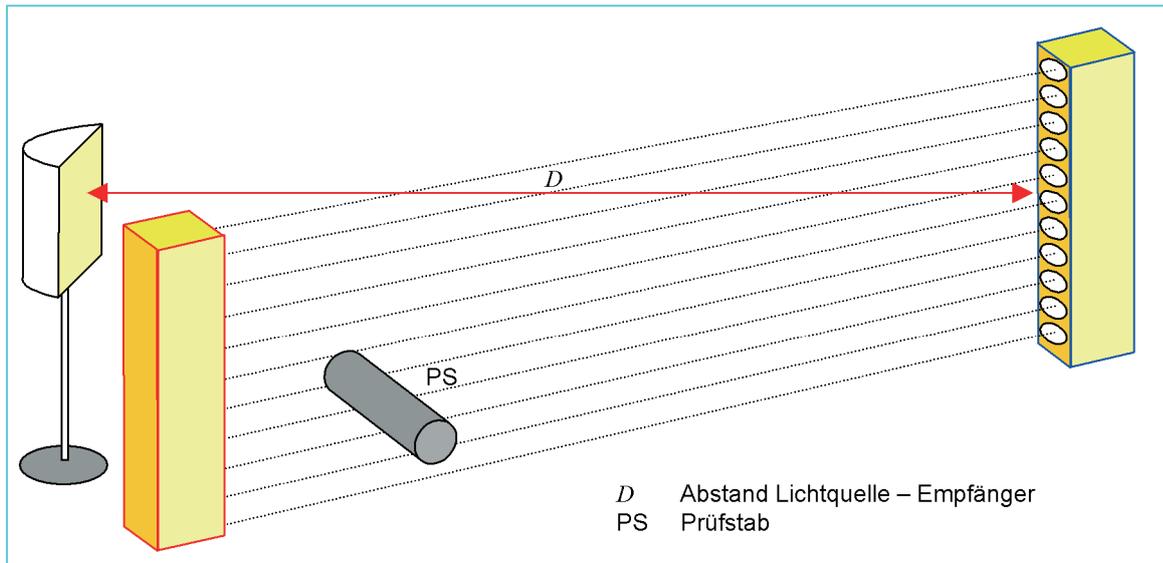
ANMERKUNG 1 Empfänger- oder Sender-/Empfängerbaugruppen werden für Prüfungen zu gefährbringenden Ausfällen mit maximal möglicher Fehlausrichtung betrieben.

ANMERKUNG 2 Neutralfilter können die Polarisation beeinflussen.

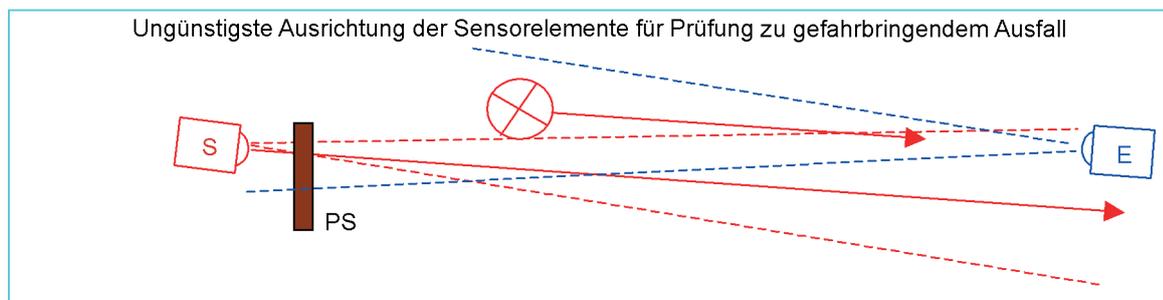
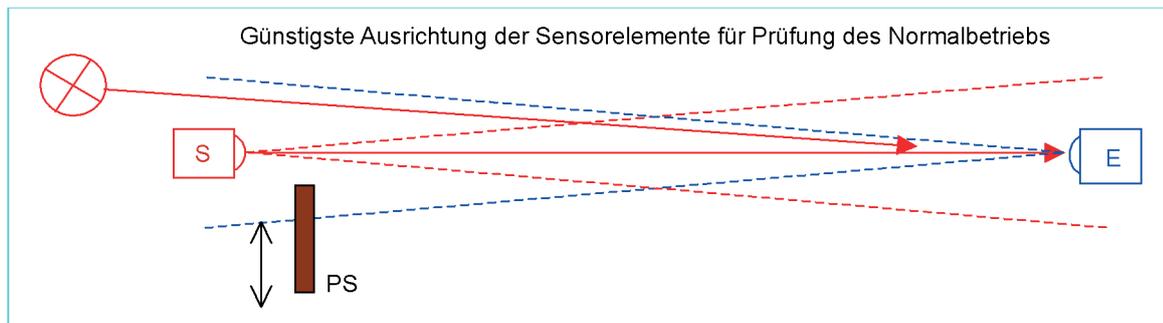
Bild 21 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Direktes Verfahren

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05



Der Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt 3 m.
Zum Abstand D zwischen Empfänger und Lichtquelle siehe nachstehende Tabelle.

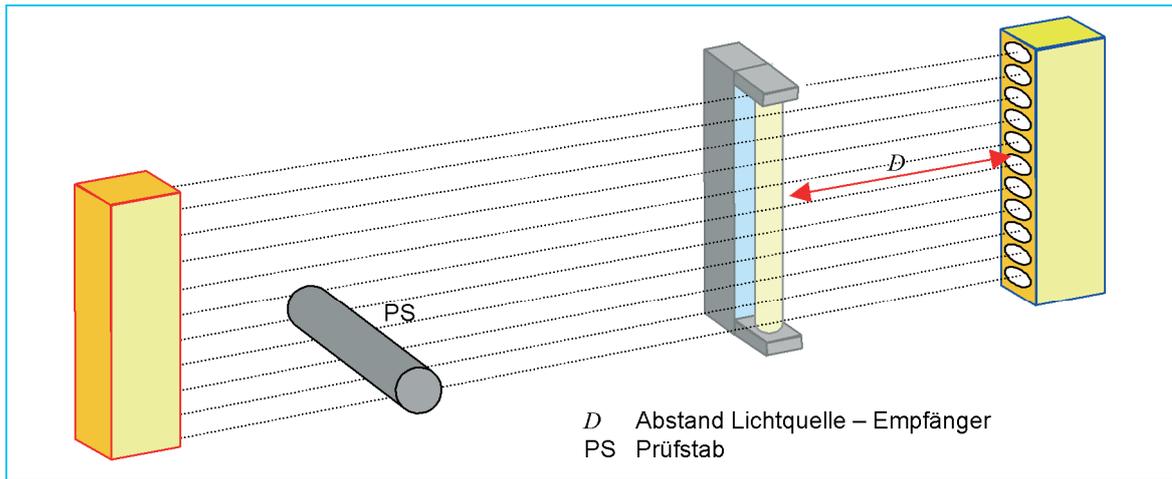


Prüfparameter

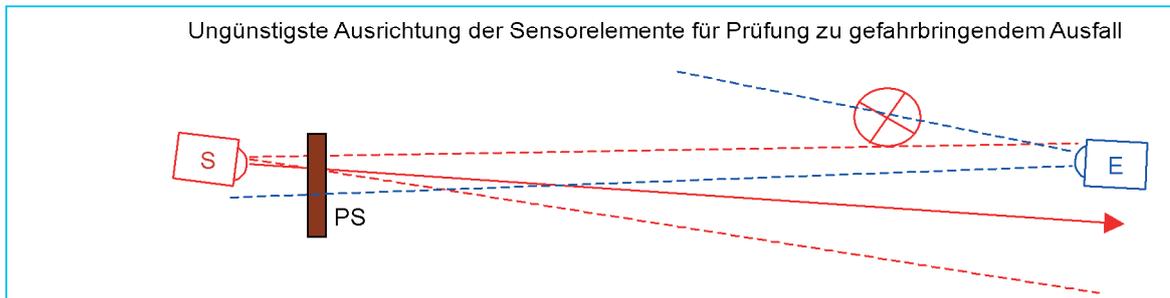
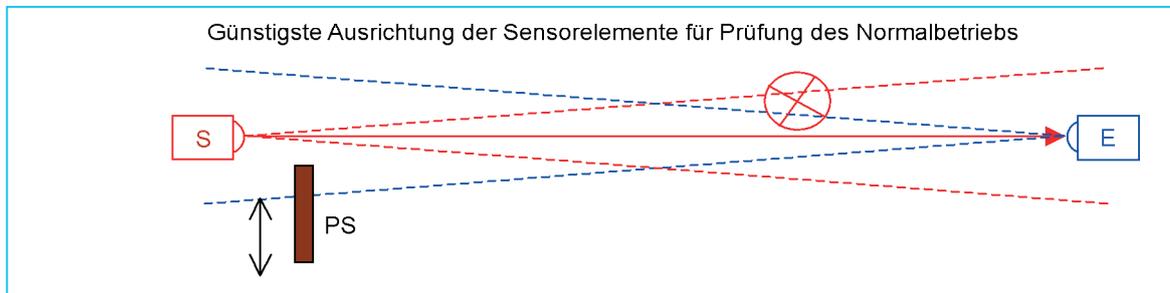
Abstand (D)	Lux	
2 m ^a	3 000	Abstand für Prüfung zu gefahrbringendem Ausfall
3 m ^a	1 500	Abstand für Prüfung des Normalbetriebs

^a Die genauen Abstände hängen vom Typ der Lampe ab.

Bild 22 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit Halogenlichtquelle



Der Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt 3 m.
Zum Abstand D zwischen Empfänger und Lichtquelle siehe nachstehende Tabelle.



Prüfparameter

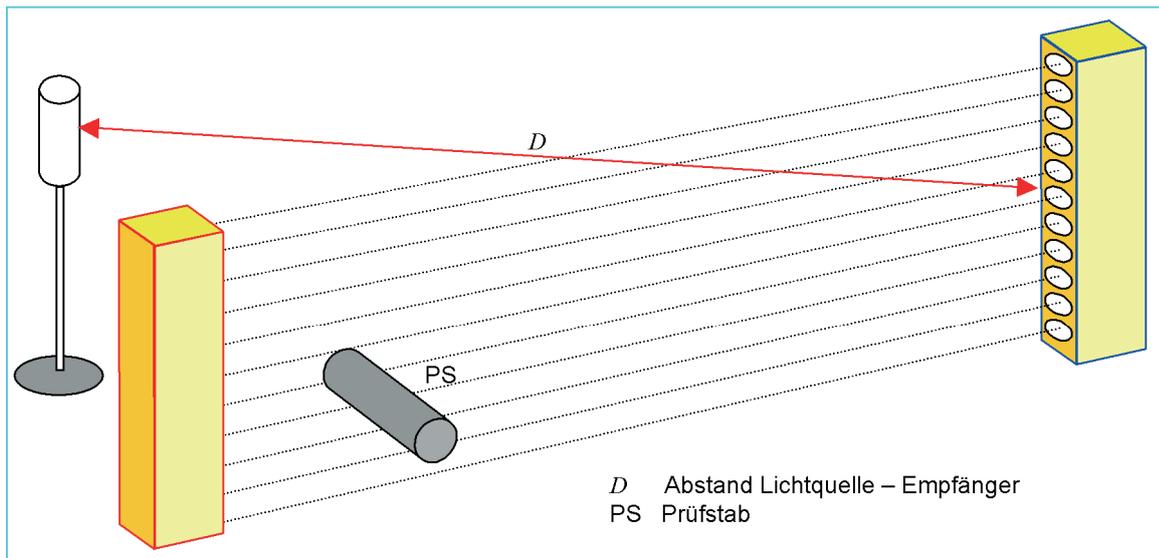
Abstand (D)	Lux	
12 cm ^a	3 000	Abstand für Prüfung zu gefährbringendem Ausfall
21 cm ^a	1 500	Abstand für Prüfung des Normalbetriebs

^a Die genauen Abstände hängen vom Typ der Lampe ab.

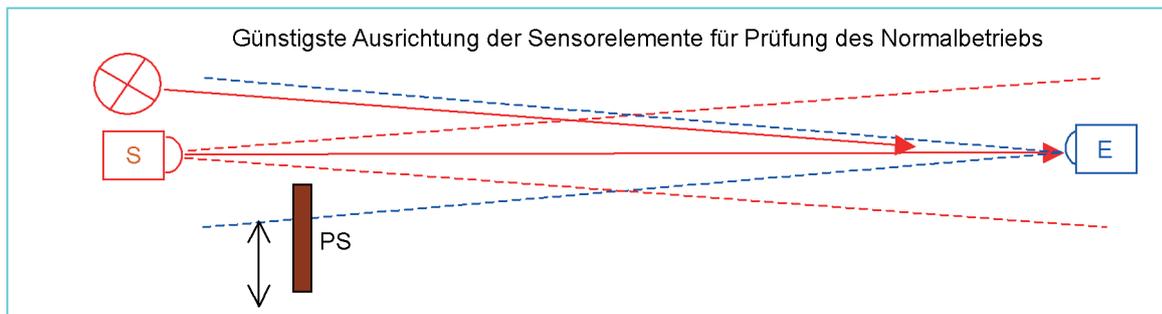
Bild 23 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit fluoreszierender Lichtquelle

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05



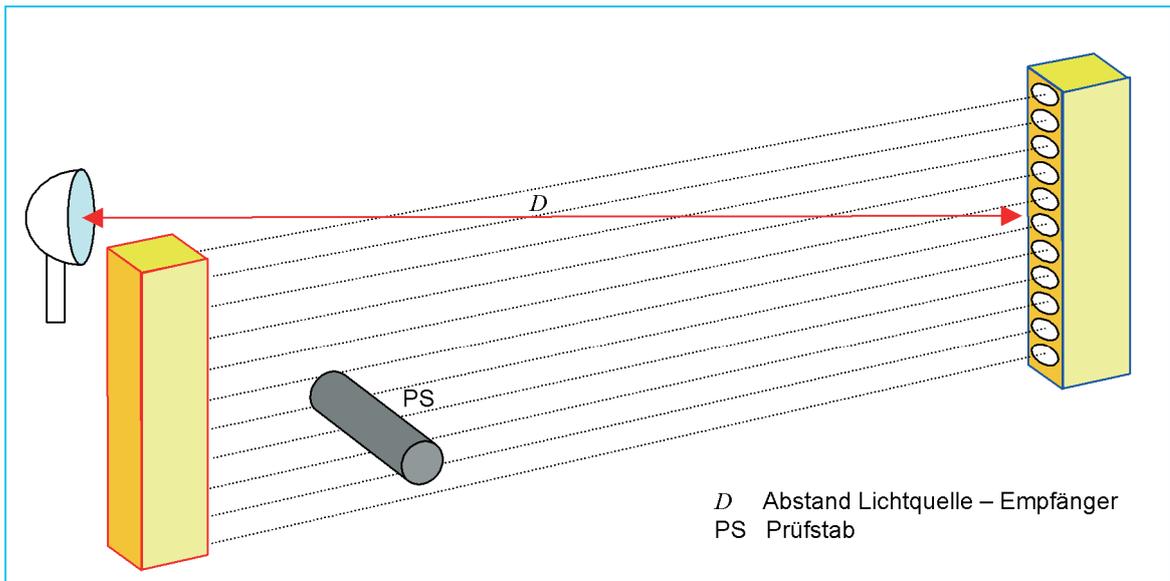
Der Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt 3 m.
Zum Abstand D zwischen Empfänger und Lichtquelle siehe nachstehende Tabelle.



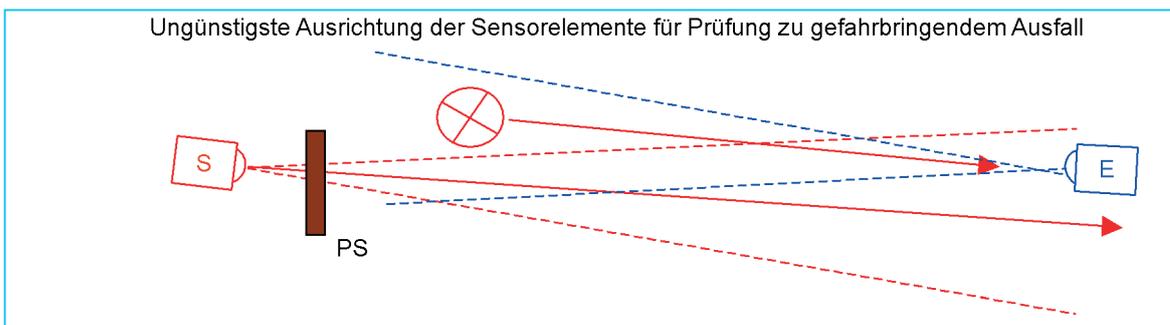
Prüfparameter

Abstand (D)	
3,0 m	Abstand für Prüfungen des Normalbetriebs

Bild 24 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit Xenonblitzleuchte



Der Abstand zwischen Sender und Empfänger beträgt 3 m.
Zum Abstand D zwischen Empfänger und Lichtquelle siehe nachstehende Tabelle.



Prüfparameter

Abstand (D)	
1,0 m	Abstand für Prüfung zu gefährbringendem Ausfall

Bild 25 – Prüfung der Lichtbeeinflussung – Prüfaufbau mit Stroboskoplampe

5.4.6.2 Lichtquellen

Die Lichtquellen müssen wie folgt beschaffen sein:

- a) **Weiß strahlende Lichtquelle:** eine stabförmige Wolfram-Halogenlampe (Quarz) mit den folgenden Eigenschaften:
- Farbtemperatur: 3 000 K bis 3 200 K,
 - Leistungsaufnahme: 500 W bis 1 kW Bemessungsleistung,
 - Bemessungsspannung: beliebiger Wert innerhalb des Bereichs von 100 V bis 250 V,
 - Versorgungsspannung: Bemessungsspannung $\pm 5 \%$, sinusförmige Wechselspannung mit 48 Hz bis 62 Hz,
 - Länge: 150 mm bis 250 mm nominal.

— **Entwurf** —**E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05**

Die Lampe muss in einen parabolischen Reflektor mit der Mindestgröße von 200 mm × 150 mm montiert werden, der eine diffuse Oberfläche und gleichmäßige Reflektivität mit nicht mehr als $\pm 5\%$ Abweichung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 500 nm besitzt.

ANMERKUNG Eine Lampe mit einer diffus wirkenden Frontscheibe kann ebenso verwendet werden. Diese Quelle liefert einen Strahl nahezu gleichmäßiger Intensität bei bekannter spektraler Verteilung und einer vorhersagbaren Modulation bei zweifacher Netzfrequenz. Sie wird zur Simulation von Sonnenlicht und weiß strahlendem Licht am Arbeitsplatz verwendet.

- b) **Fluoreszierende Lichtquelle:** eine stabförmige Leuchtstoffröhre mit den folgenden Eigenschaften:
- Größe: T8 × 600 mm (26 mm nominaler Durchmesser),
 - Bemessungsleistung: 18 W bis 20 W,
 - Farbtemperatur: 5 000 K bis 6 000 K, die in Kombination mit einem elektronischen Vorschaltgerät verwendet wird, das folgende Eigenschaften hat:
 - Betriebsfrequenz: 30 kHz bis 40 kHz,
 - Bemessungsleistung entsprechend der Röhre und betrieben mit ihrer Bemessungsversorgungsspannung $\pm 5\%$ ohne einen Reflektor oder Diffusor.
- c) **Blitzleuchte:** eine Lichtquelle mit Xenonblitzröhre (ohne Gehäuse, Reflektor oder Filter) mit den folgenden Eigenschaften:
- Blitzdauer: zwischen 40 μs und 1 200 μs (gemessen bei 50 % Intensität),
 - Blitzhäufigkeit: zwischen 0,5 Hz und 2 Hz,
 - Energiezufuhr pro Blitz: 3 J bis 5 J.
- d) **Stroboskoplichtquelle:** ein Stroboskop mit Xenonblitzröhre (ohne Gehäuse, Reflektor oder Filter) mit den folgenden Eigenschaften:
- Blitzdauer: von 5 μs bis 30 μs (gemessen bei 50 % Intensität),
 - Blitzhäufigkeit: 5 Hz bis 200 Hz (Einstellbereich),
 - Energiezufuhr pro Blitz: 0,05 J (bei 200 Hz) bis 0,5 J (bei 5 Hz).

Die Position der Blitzröhre muss während der Prüfung unverändert sein.

5.4.6.3 Prüfabläufe

ANMERKUNG Die nachstehenden A-, B-, C-Prüfungen sind in IEC 61496-1:2004, 5.2.3 definiert.

Prüfablauf 1:

- 1 – OSSDs der BWS im EIN-Zustand
- 2 – Fremdlicht einschalten (die OSSDs müssen im EIN-Zustand verbleiben)
- 3 – B-Prüfung
- 4 – BWS für 5 s ausschalten. Spannung wieder einschalten. Löschen der Anlaufsperr, falls vorhanden
- 5 – B-Prüfung
- 6 – Fremdlicht ausschalten
- 7 – B-Prüfung

Prüfablauf 2:

- 1 – OSSDs der BWS im EIN-Zustand
- 2 – Fremdlicht einschalten
- 3 – wiederholte C-Prüfungen für 1 min
- 4 – BWS für 5 s ausschalten. Spannung wieder einschalten. Löschen der Anlaufsperr, falls vorhanden
- 5 – wiederholte C-Prüfungen für 1 min
- 6 – Fremdlicht ausschalten
- 7 – wiederholte C-Prüfungen für 1 min

Prüfablauf 3:

- 1 – OSSDs der BWS im EIN-Zustand
- 2 – Fremdlicht einschalten
- 3 – wiederholte C-Prüfungen für 3 min

5.4.6.4 Normalbetrieb (beste Ausrichtung)

Die BWS muss während des Prüfablaufs 1 nach 5.4.6.3 bei Verwendung jeder der nachfolgenden Arten von Störlicht, das entlang der optischen Achse eines oder mehrerer Empfangselemente ausgerichtet ist, im Normalbetrieb weiterarbeiten:

- die weiß strahlende Lichtquelle nach 5.4.6.2, die eine Lichtintensität von 1 500 Lux, gemessen in der Ebene des(r) Empfangselements(e) (Bild 22), erzeugt,
- die Blitzleuchte nach 5.4.6.2 muss für 1 min in einem Abstand von 3 m innerhalb der Apertur des(r) Empfangselements(e) (Bild 24) positioniert werden,
- die fluoreszierende Lichtquelle nach 5.4.6.2, die eine Lichtintensität von 1 500 Lux, gemessen in der Ebene des(r) Empfangselements(e) (Bild 23), erzeugt. Diese Prüfung muss in drei Variationen ausgeführt werden, wobei Licht von der Mitte und von jedem Ende (Anoden- und Kathodenbereich) der Röhre verwendet wird.

ANMERKUNG Ein Ziel der Prüfung, bei der die fluoreszierende Lichtquelle verwendet wird, ist es, die Anfälligkeit der AOPD für modulierte optische Hochfrequenzstrahlung zu prüfen.

5.4.6.5 Gefahrbringender Ausfall – Weiß strahlendes Licht (3 000 Lux und ungünstigste Ausrichtung)

Während des Prüfablaufs 2 nach 5.4.6.3 darf bei Verwendung der entlang der optischen Achse eines oder mehrerer Empfangselemente ausgerichteten weiß strahlenden Lichtquelle nach 5.4.6.2, die eine Lichtintensität von 3 000 Lux \pm 300 Lux, gemessen in der Ebene der Empfangselemente (Bild 21), erzeugt, kein gefahrbringender Ausfall auftreten.

5.4.6.6 Gefahrbringender Ausfall – Stroboskoplicht (ungünstigste Ausrichtung)

Während des Prüfablaufs 3 nach 5.4.6.3 darf bei Verwendung der entlang der optischen Achse eines oder mehrerer Empfangselemente ausgerichteten Stroboskoplichtquelle nach 5.4.6.2 (Bild 25) kein gefahrbringender Ausfall auftreten. Die Blitzrate der Quelle muss über einen Zeitraum von 3 min gleichmäßig von 5 Hz auf 200 Hz erhöht werden, während dieser Zeit muss die C-Prüfung ununterbrochen wiederholt werden.

5.4.6.7 Gefahrbringender Ausfall – Fluoreszierendes Licht (3 000 Lux und ungünstigste Ausrichtung)

Durch die Strahlung der fluoreszierenden Lichtquelle nach 5.4.6.2, die eine Intensität von 3 000 Lux in der Ebene des(r) Empfangselements(e) (Bild 23) erzeugt, darf kein gefahrbringender Ausfall auftreten. Diese Prüfung muss in drei Variationen ausgeführt werden, wobei Licht von der Mitte und von jedem Ende (Anoden- und Kathodenbereich) der Röhre verwendet wird. Es muss der Prüfablauf 2 nach 5.4.6.3 angewendet werden.

5.4.6.8 Gefahrbringender Ausfall – Störlicht von einem Sendeelement gleicher Bauart

Es darf kein gefahrbringender Ausfall einer BWS Typ 4 auftreten, wenn die Strahlung von den Sendeelementen einer AOPD gleicher Bauart auf die Empfangselemente der in Prüfung befindlichen AOPD entweder direkt oder, falls verwendet, über den Retroreflektor gerichtet wird. Es müssen mindestens sechs Positionen ausgewählt werden, die, wie durch die Analyse nach 5.2.12.1 ermittelt, als ungünstigste Bedingungen repräsentativ sind. Die AOPD muss in dem vom Lieferanten spezifizierten maximalen Arbeitsabstand betrieben werden. Es muss der Prüfablauf 3 nach 5.4.6.3 angewendet werden. Es muss entweder der Prüfstab erkannt werden oder das (die) OSSD(s) muss (müssen) in den AUS-Zustand wechseln.

Wenn der Hersteller unterschiedliche Codes liefert um eine Beeinflussung zu verhindern, können diese Codes während der Durchführung dieser Prüfungen nach den Anweisungen des Herstellers verwendet werden.

ANMERKUNG Basierend auf der Analyse kann die maximal kritische Kombination erfordern, dass Prüfungen mit AOPDs unterschiedlicher Größe und Detektionsvermögen durchgeführt werden.

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

6 Kennzeichnung zur Identifizierung und zum sicheren Gebrauch

Dieser Abschnitt von Teil 1 ist gültig, außer wie folgt:

6.1 Allgemeines

Ergänzung:

Ergänzung zu b):

- Wenn einzelne Teile der AOPD unterschiedliche Detektionsvermögen haben, müssen diese Teile und ihr Detektionsvermögen auf der Außenseite der AOPD markiert sein. Wenn dies nicht möglich ist (z. B. aus Platzgründen), muss die Information in die Begleitdokumente aufgenommen werden.
- Die minimalen und maximalen Arbeitsabstände müssen angegeben werden.
- Sollte das OSSD in den EIN-Zustand wechseln können, wenn die Empfangselemente und die Sendeelemente falsch angebracht sind, d. h. bei 180° Fehlausrichtung, muss die AOPD gekennzeichnet sein, so dass die richtige Montageposition relativ zueinander eindeutig identifizierbar ist.
- Bei Lichtvorhängen müssen die Grenzen des Schutzfeldes eindeutig gekennzeichnet werden.
- Die Kennzeichnung der Strahlmittellinie(n) muss durch Markierung erfolgen.

ANMERKUNG Die Strahlmittellinie(n) ist (sind) einer der Faktoren, die zur Bestimmung der Position der AOPD verwendet werden.

7 Begleitdokumente

Dieser Abschnitt von Teil 1 ist gültig, außer wie folgt:

Ergänzungen:

Ergänzung zu f):

Wenn einzelne Teile der AOPD unterschiedliche Detektionsvermögen haben, muss die Größe des Prüfstabes für jeden verschiedenen Teil, zusammen mit den unterschiedlichen Detektionsvermögen und zusammen mit den entsprechenden Verfahren zur Überprüfung der Detektionsvermögen sowie der Reaktion des(r) Anzeigeelements(e), angegeben werden. Ferner sollten Informationen zur Größe eines Objekts, das niemals erkannt wird, angegeben werden.

Ergänzung zu i):

Die Einzelheiten aller zu treffenden Vorsichtsmaßnahmen, die bei der Installation der AOPD zu berücksichtigen sind, einschließlich des(r) EAA(s) des(r) betreffenden Gerätes(e), zusammen mit allen anderen relevanten Installationszeichnungen, die Einzelheiten dazu angeben, wie das Detektionsvermögen der AOPD durch irgendwelche reflektierenden Oberflächen auf oder in der Nähe der Maschine oder auf dem verarbeiteten Material beeinflusst werden kann, müssen angegeben werden.

Ergänzung zu v):

Für alle möglichen Annäherungsrichtungen müssen Einzelheiten zum Eindringen des Prüfstabes in das Schutzfeld, das zur Sicherstellung der Betätigung des Senteils notwendig ist, mit Bezug auf ein identifizierbares Merkmal auf der AOPD (z. B. Strahlmittellinie(n)) angegeben werden.

Die maximale Geschwindigkeit der Bewegung des Prüfstabes oder vergleichbare Angaben, bis zu der bzw. denen das Detektionsvermögen erhalten bleibt, müssen angegeben werden.

Wenn die AOPD mit Hilfsmitteln für die Einstellung der räumlichen Position des Lichtvorhangs versehen ist, müssen der Einstellbereich und die entsprechende Position des Schutzfeldes in den Begleitdokumenten in Diagrammform dargestellt werden. Für einen Lichtvorhang müssen deutlich lesbare Zeichnungen bereitgestellt werden, um sicherzustellen, dass Sendeelemente und Empfangselemente richtig zueinander montiert werden, speziell, um eine 180°-Fehlausrichtung zu vermeiden.

Ergänzung zu ff):

Wenn eine bestimmte Art von Lichtstrahlung dafür bekannt ist, dass sie die AOPD beeinflusst, muss eine Aussage, ähnlich der folgenden, aufgenommen werden: „Es können zusätzliche Maßnahmen notwendig sein, um sicherzustellen, dass die AOPD nicht gefahrbringend ausfällt, wenn diese Art von Lichtstrahlung in einer speziellen Anwendung vorhanden ist (z. B. Verwendung von kabellosen Steuergeräten auf Kränen, Strahlung von Schweißfunken oder Auswirkungen von Stroboskoplichtern).“

Ergänzungen:

- oo) Informationen, wie die Mindestabstände nach ISO 13855 zu berechnen sind, wenn Blanking ausgeführt wird. Es ist zu erläutern, dass sich bei Verwendung von Blanking der Mindestabstand immer auf das minimale (ungünstigste) Objektdetektionsvermögen beziehen sollte,
- pp) dass Informationen in IEC/TS 62046 enthalten sind, die zusätzliche Maßnahmen beschreiben, die erforderlich sein können, um einen Zugriff/Zugang zum Gefahrenbereich durch die Schutzfeldbereiche mit Blanking zu hindern (einschließlich der Auswirkungen von reflektierenden Oberflächen),
- qq) die Empfehlung, dass eine verantwortliche Person das Schutzfeld nach seiner Konfiguration mit Hilfe eines angemessenen Prüfstabes überprüft,
- rr) angemessene Anweisungen wie die Lichtbeeinflussung von einem Sendeelement gleicher Bauart minimiert werden kann,
- ss) der Hersteller muss über Verfahren zur dauerhaften Befestigung von Retroreflektoren als Teil der AOPD informieren.

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Anhang A (normativ)

Zusätzliche Funktionen der BWS

Anhang A von Teil 1 ist gültig, außer wie folgt.

A.1 Allgemeines

Ergänzung zur Aufzählung der zusätzlichen Funktionen:

- Blanking (siehe Abschnitt A.9):
- reduzierte Auflösung (siehe Abschnitt A.10):

Ergänzung:

A.9 Blanking

A.9.1 Allgemeines

Blanking ist ein zusätzliches Merkmal, dass für AOPDs zur Verfügung steht, die die Maskierung eines oder mehrerer Bereiche ermöglichen, die jeder eine definierte Größe besitzen und sich entweder ortsfest (Fixed Blanking) oder beweglich (Floating Blanking) im Schutzfeld befinden. So können angebaute Objekte oder Maschinenteile maskiert werden und werden von der AOPD nicht erkannt. Die angegebene optische Auflösung und das Detektionsvermögen müssen außerhalb der Bereiche mit Blanking unverändert bleiben.

A.9.2 Funktionsanforderungen

Strahlen mit Blanking müssen auf dauernde Unterbrechung hin überwacht werden.

ANMERKUNG 1 Hierdurch muss sichergestellt werden, dass die Bereiche des Schutzfeldes mit Blanking weitgehend durch mechanische Mittel blockiert werden.

ANMERKUNG 2 Es sollte berücksichtigt werden, dass die Position von mechanischen Schutzeinrichtungen und Maschinenteilen sich durch Maschinenvibrationen oder andere Einflüsse leicht verschieben kann und dadurch die Anzahl der Strahlen mit Blanking beeinflussen kann. Dies bringt mit sich, dass das angegebene Detektionsvermögen am Rand der Bereiche mit Blanking um einen oder mehrere Strahlen verringert sein kann.

Konfiguration und Einrichtung von Bereichen mit Blanking (Einlernen) darf nur durch autorisierte Personen erfolgen. Dies muss durch die Verwendung eines Schlüssels, Schlüsselwortes oder Werkzeugs oder durch unter festgeschraubten Abdeckungen befindliche Steuerelemente sichergestellt werden. Während der Konfiguration muss (müssen) sich das (die) OSSD(s) im AUS-Zustand befinden.

A.9.3 Nachweis

Nachweis durch Inspektion und Prüfung, dass:

- das (die) OSSD(s) in den AUS-Zustand wechselt(en) und verbleibt(en), wenn einer oder mehrere der Strahlen mit Blanking nicht blockiert sind (d. h. Nachweis der Überwachung),
- das angegebene Detektionsvermögen der AOPD außerhalb der Bereiche mit Blanking aufrecht erhalten bleibt, mit der Ausnahme eines möglicherweise an den Rändern der Bereiche mit Blanking verringerten Detektionsvermögens,
- die Konfiguration der Bereiche mit Blanking ohne die Verwendung eines Schlüssels, Schlüsselwortes oder Werkzeugs nicht möglich ist,
- sich das (die) OSSD(s) während der Konfiguration im AUS-Zustand bedindet(en).

A.9.4 Installationsanforderungen

ANMERKUNG Dieser Abschnitt 9.4 ist in diesem CD nur zur Information enthalten. Es ist vorgesehen, dass dieser Abschnitt in IEC/TS 62046 aufgenommen wird.

Fixed und Floating Blanking erzeugen Löcher im Schutzfeld der AOPD, die in einigen Anwendungen gebraucht werden. Daher müssen Bereiche mit Blanking weitgehend durch mechanische Schutzeinrichtungen oder Maschinenteile blockiert werden, um Zugriff/Zugang zum Gefahrenbereich durch die Bereiche

mit Blanking zu verhindern. Diese Mittel müssen fest angebracht und den Bereich mit Blanking soweit möglich vollständig ausfüllen.

Nach jeder Konfiguration (Einlernen) müssen die wirksamen Schutzfelder mit einem zum angegebenen Detektionsvermögen passenden Prüfstab überprüft werden.

Der Sicherheitsabstand zwischen der AOPD und dem Gefahrenbereich wird durch die maximale Größe der durch nicht vollständig blockierte Bereiche mit Blanking erzeugten Löcher und der möglicherweise reduzierten Auflösung an den Rändern der Bereiche mit Blanking bestimmt.

Der Sicherheitsabstand zwischen der AOPD und dem Gefahrenbereich wird nur durch die angegebene optische Auflösung der AOPD bestimmt, wenn der Zugriff/Zugang durch die Bereiche mit Blanking vollständig blockiert ist und außerhalb der Bereiche mit Blanking das angegebene Detektionsvermögen sichergestellt ist.

In der Installations- und Betriebsanleitung müssen detaillierte Informationen über Anforderungen an Schutzmaßnahmen von Bereichen mit Blanking und die Auswirkungen auf den Sicherheitsabstand angegeben werden.

Die Erlaubnis zur Verwendung von Fixed oder Floating Blanking als Schutzmaßnahme an Maschinen hängt ausschließlich von der Anwendung ab. Dies muss für jede Installation im Rahmen der Gefahrenanalyse analysiert werden.

A.10 Reduzierte Auflösung

A.10.1 Allgemeines

Reduzierte Auflösung ändert die Objektempfindlichkeit der AOPD. Sie muss sicherstellen, dass Objekte im Schutzfeld (z. B. Kabel, Schläuche) mit einem Durchmesser bis zu einer bestimmten Größe kleiner als das Detektionsvermögen ignoriert werden. Alle Objekte gleich oder größer als das Detektionsvermögen müssen erkannt werden.

ANMERKUNG 1 Zum Beispiel kann eine zusammenhängende Gruppe von einem oder mehreren Strahlen als „nicht berücksichtigt“ (d. h. der Zustand dieser Strahlen wird ignoriert und nicht überwacht) festgelegt werden. Eine Unterbrechung dieser Strahlen führt nicht zu einem AUS-Zustand der OSSDs.

Reduzierte Auflösung kann über das gesamte Schutzfeld wirksam sein oder nur über Teile des Schutzfeldes innerhalb definierter fester oder beweglicher Bereiche.

ANMERKUNG 2 Bei der Berechnung der Position der AOPD gemäß ISO 13855 wird die gewählte reduzierte Auflösung verwendet.

A.10.2 Funktionsanforderungen

Auswahl und Aktivierung einer reduzierten Auflösung, die von der angegebenen optischen Grundauflösung der AOPD abweicht, darf nicht ohne die Verwendung eines Schlüssels, Schlüsselwortes oder Werkzeugs möglich sein.

Während der Konfiguration des Detektionsvermögens müssen die OSSDs im AUS-Zustand verbleiben.

Das Detektionsvermögen der ausgewählten reduzierten Auflösung muss mit einem passenden Prüfstab überprüft werden. Vom Hersteller müssen Prüfstäbe für jede auswählbare optische Auflösung bis zu 40 mm zur Verfügung gestellt werden.

A.10.3 Nachweis

Nachweis durch Inspektion und Prüfung, dass:

- Auswahl und Aktivierung einer reduzierten Auflösung ohne die Verwendung eines Schlüssels, Schlüsselwortes oder Werkzeugs nicht möglich ist,
- das Detektionsvermögen aller auswählbaren optischen Auflösungen überall im festgelegten Schutzfeld so wie konfiguriert ist und mit den passenden Prüfstäben überprüft werden kann.

A.11 Auswahl von vordefinierten Konfigurationen für Blanking oder vordefinierten Konfigurationen für reduzierte Auflösung

ANMERKUNG Die automatische Auswahl einer Konfiguration(en) für Blanking/reduzierte Auflösung ist keine Überbrückungsfunktion (Muting) (wie in IEC 61496-1, A.7 beschrieben).

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

A.11.1 Funktionsanforderungen für eine AOPD Typ 2

Wenn eine AOPD mehr als eine Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung besitzt, darf ein einzelner Fehler nicht zu einem unbeabsichtigten Wechsel von einer Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen führen oder ein solcher Ausfall muss als Ergebnis eines periodischen Tests zu einem Verriegelungszustand führen.

ANMERKUNG 1 Wo die Eingangsauswahlsignale von einer Einrichtung(en) außerhalb der AOPD stammen, sollte(n) diese Einrichtung(en) die relevanten Anforderungen anderer angemessener Normen erfüllen (z. B. ISO 13849-1, IEC 62061).

Einzelne Fehler, die einen beabsichtigten Wechsel von einer ausgewählten Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen verhindern oder die Aktivierung einer zusätzlichen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung verhindern, müssen dazu führen, dass die AOPD in einen Verriegelungszustand wechselt, wenn eine Anforderung die Aktivierung einer anderen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung oder die Aktivierung einer zusätzlichen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung erfordert oder als Ergebnis eines periodischen Tests. Die spezifizierte(n) Reaktionszeit(en) muss (müssen) in diesem Fall eingehalten werden oder die AOPD muss als Ergebnis eines periodischen Tests in den Verriegelungszustand wechseln.

ANMERKUNG 2 Es ist möglich, dass jede Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung, wie vom Hersteller festgelegt, eine unterschiedliche Reaktionszeit besitzt.

A.11.2 Funktionsanforderungen für eine AOPD Typ 4

Wenn eine AOPD mehr als eine Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung besitzt, darf ein einzelner Fehler nicht zu einem unbeabsichtigten Wechsel von einer Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen führen. In Fällen, in denen ein einzelner Fehler, der keinen gefahrbringenden Ausfall der AOPD verursacht, nicht aufgedeckt wird, darf das Auftreten weiterer Fehler innerhalb der AOPD nicht zu einem gefahrbringenden Ausfall führen.

ANMERKUNG 1 Wo die Eingangsauswahlsignale von einer Einrichtung(en) außerhalb der AOPD stammt(en), sollte(n) diese Einrichtung(en) die relevanten Anforderungen anderer angemessener Normen erfüllen (z. B. ISO 13849-1, IEC 62061).

Einzelne Fehler, die einen beabsichtigten Wechsel von einer ausgewählten Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen verhindern oder die Aktivierung einer zusätzlichen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung verhindern, müssen dazu führen, dass die AOPD in einen Verriegelungszustand wechselt, wenn eine Anforderung die Aktivierung einer anderen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung oder die Aktivierung einer zusätzlichen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung erfordert. Die spezifizierte(n) Reaktionszeit(en) muss (müssen) in diesem Fall eingehalten werden.

ANMERKUNG 2 Es ist möglich, dass jede Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung, wie vom Hersteller festgelegt, eine unterschiedliche Reaktionszeit besitzt.

A.11.3 Nachweis für eine AOPD Typ 2

Die Funktionsanforderungen für die Auswahl von Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung müssen wie folgt verifiziert werden.

Nachweis, dass ein einzelner Fehler nicht zu einem unbeabsichtigten Wechsel von einer ausgewählten Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen führt oder ein solcher Ausfall als Ergebnis eines periodischen Tests zu einem Verriegelungszustand führt. Nachweis, dass ein einzelner Fehler nicht einen beabsichtigten Wechsel von einer Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen verhindert oder die Aktivierung einer zusätzlichen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung verhindert oder ein solcher Ausfall als Ergebnis eines periodischen Tests zu einem Verriegelungszustand führt.

Nachweis, dass Ausfälle gemeinsamer Ursache nicht zu einer Deaktivierung oder Änderung von Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung führen können.

Nachweis, dass die spezifizierte Reaktionszeit der AOPD im Fall der Umschaltung zwischen verschiedenen Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung eingehalten wird oder die AOPD als Ergebnis eines periodischen Tests in einen Verriegelungszustand wechselt.

ANMERKUNG Es ist erforderlich zu betrachten, dass sich eine Person im Moment der Umschaltung zwischen verschiedenen Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung bereits innerhalb eines Schutzfeldes befinden kann.

A.11.4 Nachweis für eine AOPD Typ 4

Die Funktionsanforderungen für die Auswahl von Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung müssen wie folgt verifiziert werden.

Nachweis, dass ein einzelner Fehler nicht zu einem unbeabsichtigten Wechsel von einer ausgewählten Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen führt. Nachweis, dass ein einzelner Fehler nicht einen beabsichtigten Wechsel von einer Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung zu einer anderen verhindert oder die Aktivierung einer zusätzlichen Konfiguration für Blanking/reduzierte Auflösung verhindert. Der Nachweis, dass weitere Fehler nicht zu einem gefahrbringenden Ausfall führen, muss nach Teil 1, 5.3.5 ausgeführt werden.

Nachweis, dass Ausfälle gemeinsamer Ursache nicht zu einer Deaktivierung oder Änderung von Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung führen können.

Nachweis, dass die spezifizierte Reaktionszeit der AOPD im Fall der Umschaltung zwischen verschiedenen Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung eingehalten wird.

ANMERKUNG Es ist erforderlich zu betrachten, dass sich eine Person im Moment der Umschaltung zwischen verschiedenen Konfigurationen für Blanking/reduzierte Auflösung bereits innerhalb eines Schutzfeldes befinden kann.

— **Entwurf** —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Anhang B
(normativ)

**Katalog von Einzelfehlern, die die elektrische Ausrüstung einer BWS
beeinträchtigen, anzuwenden nach 5.3**

Anhang B von Teil 1 ist gültig.^{N3)}

^{N3)} Nationale Fußnote: Dieser Satz fehlt im Originaltext.

Anhang D (informativ)

Konfigurationen des periodischen Tests einer AOPD Typ 2

D.1 ee – Konfigurationen für eine AOPD Typ 2

Der Test wird extern eingeleitet und die Sicherheitsmerkmale werden extern ausgewertet.



Bild D.1 – Einzelstrahllichtschranke

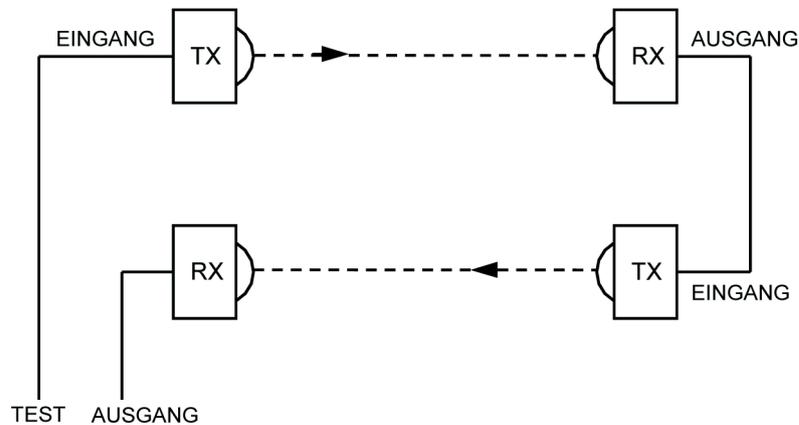


Bild D.2 – Serielle Verbindung von Einzelstrahllichtschranken

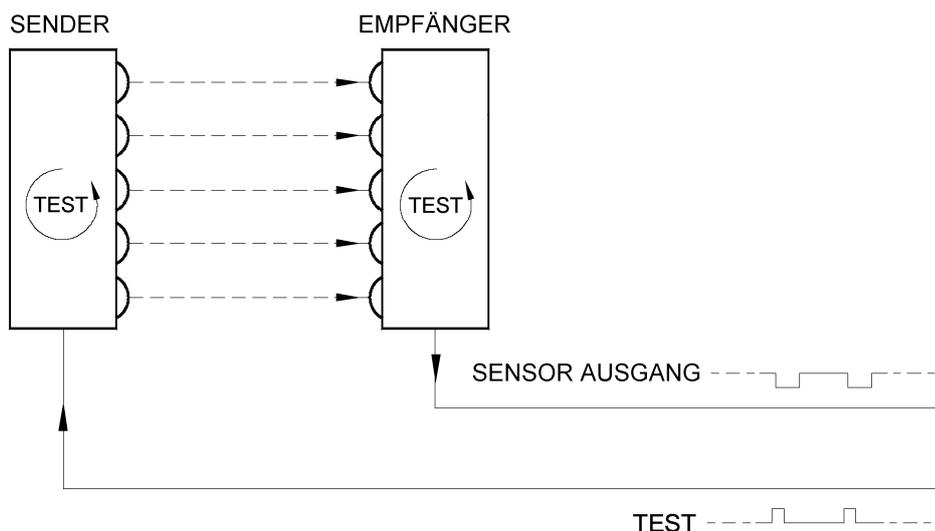


Bild D.3 – Baugruppe mit mehreren Strahlen, die einzeln getestet werden

— **Entwurf** —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

D.2 ii – Konfiguration für AOPD Typ 2

Der Test wird intern eingeleitet und die Sicherheitsmerkmale werden intern ausgewertet.

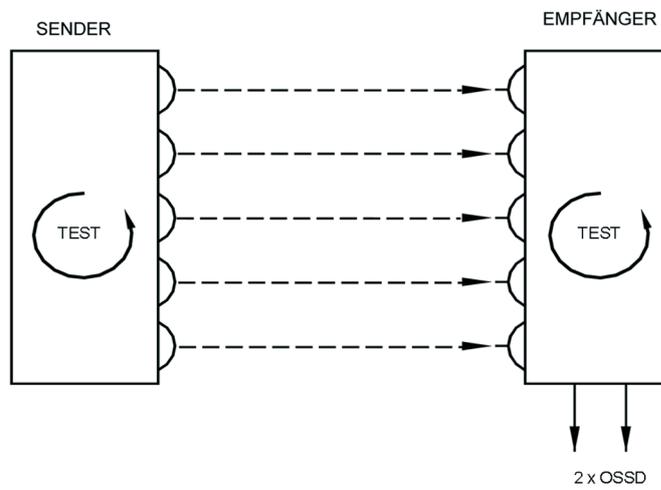


Bild D.4 – Beispiel für eine Baugruppe AOPD Typ 2

ANMERKUNG Andere Konfigurationen sind möglich.

Literaturhinweise

Es gelten die Literaturhinweise von Teil 1.

— Entwurf —

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Stichwortverzeichnis

Dieses Verzeichnis führt in alphabetischer Reihenfolge die Begriffe und Abkürzungen, die in Abschnitt 3 festgelegt sind, auf und weist darauf hin, an welchen Stellen sie im Text dieses Teils verwendet werden.

A

aktive opto-elektronische Schutzeinrichtung (AOPD) 3.201, durchgängig in diesem Dokument verwendet

D

Detektionsvermögen 3.3, 3.205, 3.206, 3.207, 4.1.2.1, 4.2.2.3, 4.2.12, 4.2.13, 5.2.1, 6.1 b), 7 f), 7 i), 7 v), 7 mm), A.9, C.1, E

E

effektiver Öffnungswinkel (EAA) 3.203, 4.1.2.2, 5.2.9.1.2, 5.2.9.2, 7 i),
Bilder 2, 6 und 7, C.1, C.2, D.1

G

geometrisch beschränkte optische Konstruktion (GROD) 3.208, Table 1, 5.2.12.2, 5.2.12.2.1, 5.2.12.2.2

L

Lichtschanke 3.204, 3.201, 3.3, 4.1.2.1, 4.1.2.3, 5.2.1.1, 5.2.1.3, C.1

Lichtvorhang

3.205, 3.3, 4.1.2.1, 4.1.2.3, 4.2.13, 5.1.1.2, 5.2.1.1, 5.2.1.3, 6.1 b), 7 v)

P

Prüfstab 3.206, 3.3, 4.1.2.1, 4.1.2.3, 4.1.2.4, 4.2.13, 5.1, 5.2.1.1, 5.2.1.3, 5.4.6.1, 5.4.6.8, 7 f), 7 v), 7 oo),
Bilder 3, 4 und 5, A.9, D.3.1, E

S

Strahlmittellinie 3.202, 3.3, 4.1.2.1, 5.2.9.1.1, 6.1 b), 7 v),
Tabellen D.1 und D.2, D.3.1, E

Ü

überwachtes Blanking 3.207, A.9

CONTENTS

1	Scope.....	8
2	Normative references.....	8
3	Terms and definitions.....	9
4	Functional, design and environmental requirements	10
4.1	Functional requirements.....	10
4.1.2	Sensing function	10
4.1.2.1	Additional requirements for an AOPD using retro-reflective techniques and for an AOPD using emitters and receivers in the same assembly	11
4.2	Design requirements	12
4.2.2	Fault detection requirements	12
4.2.12	Integrity of the AOPD detection capability	12
4.2.13	Test piece	14
4.2.14	Wavelength	14
4.2.15	Radiation intensity.....	14
4.3	Environmental requirements.....	14
4.3.5	Light interference	14
5	Testing	15
5.1	General.....	15
5.1.1	Type tests	17
5.1.1.2	Operating condition	17
5.1.2	Test conditions	17
5.1.2.2	Measurement accuracy	17
5.2	Functional tests	17
5.2.1	Sensing function	17
5.2.12	Verification of integrity of detection capability.....	20
5.2.12.1	Analysis of electro optical subsystem	20
5.2.12.2	Verification of the electro optical subsystem for GROD.....	21
5.2.12.2.1	EAA test	22
5.2.12.2.2	Prism Test	24
5.2.12.3	Verification of the electro optical subsystem for technologies other than GROD.....	27
5.2.12.3.1	Modelling and verification of optical subsystem model	27
5.2.12.3.2	Analysis of the of detection capability	29
5.2.12.3.3	Additional Test of detection capability	30
5.2.12.3.4	Analysis of extraneous Reflections	30
5.2.12.3.5	Extraneous reflections Test.....	31
5.2.12.3.6	Misalignment Test.....	32
5.2.12.4	Additional tests for an AOPD using retro-reflective techniques and for AOPDs using mixed emitter/receivers in the same assembly.....	33
5.4	Environmental tests.....	34
5.4.6	Light interference	34
5.4.6.1	General	34
5.4.6.2	Light sources	40
5.4.6.3	Test sequences.....	40
5.4.6.4	Normal operation (best alignment)	41
5.4.6.5	Failure to danger – Incandescent light (3 000 lux and worst-case alignment)	41

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

5.4.6.6 Failure to danger – Stroboscopic light (worst-case alignment).....	41
5.4.6.7 Failure to danger – Fluorescent light (3 000 lux and worst-case alignment)	41
5.4.6.8 Failure to danger – Interfering light from an emitting element of identical design.....	42
6 Marking for identification and safe use	42
6.1 General.....	42
7 Accompanying documents	42
Annex A (normative) Optional functions of the ESPE	45
A.9 Blanking.....	44
A.10 Reduced Resolution	46
A.11 Selection of pre-defined blanking configurations or pre-defined reduced resolution configurations.....	47
Annex B (normative) Catalogue of single faults affecting the electrical equipment of the ESPE, to be applied as specified in 5.3.....	48
Annex D (informative) Type 2 AOPD periodic test configurations	51
Figure 1 – Limit area for the protection against the risk of beam bypass.....	13
Figure 2 – Limit of vertical and horizontal misalignment	14
Figure 3 – Test piece at 45°	19
Figure 4 – Test piece at 90°	19
Figure 5 – Verifying sensing function by moving the test piece (TP) through the detection zone near the emitter, near the receiver/retro-reflector target and at the midpoint	20
Figure 6 –Limit values for the effective aperture angle (EAA)	22
Figure 7 – Determination of the minimum detection capability	22
Figure 8 – Measuring method for EAA (direction).....	23
Figure 9 – Prism test to measure EAA of each beam.....	25
Figure 10 – EAA test using prism	26
Figure 11 – Design calculations for a wedge prism.....	27
Figure 12 – Example of optical subsystem. Left emitter – Right receiver.....	27
Figure 13 – Example of SMD LED Model	28
Figure 14– Example of intensity distribution of emitting element.....	28
Figure 15 – Example of Emitter Model. Internally beams are blocked by aperture stop.....	28
Figure 16 – Example of receiving unit with off axis beam portion reflected internally on mechanical elements	29
Figure 17 – Example of Test piece inside model of optical subsystem with passing radiation on the Receiver	30
Figure 18 – Example of emitting unit adjusted at the limit. Test Piece is bypassed by beam portion going into receiving unit.....	31
Figure 19 – Extraneous Reflection test with mirror outside of limit area	32
Figure 20 – AOPD misalignment test	33
Figure 21 – Light interference test – Direct method	35
Figure 22 – Light interference test – Test set-up with halogen light source	36
Figure 23 – Light interference test – Test set-up with fluorescent light source.....	37

Figure 24 – Light interference test – Test set-up with xenon flashing beacon	38
Figure 25 – Light interference test – Test set-up with strobe lamp.....	39
Figure D.1 – Single beam sensing device.....	50
Figure D.2 – Series connection of single beam sensing devices	50
Figure D.3 – Assembly of multiple beams tested individually	51
Figure D.4 – Example of Type 2 AOPD assembly.....	51
<hr/>	
Table 1 – Correspondences of Requirements/Testing and AOPD Designs	15
Table 2 – Maximum permissible angle of misalignment (in degrees) for a type 2 ESPE depending on the dimensions of the light curtain.....	32
Table 3 – Maximum permissible angle of misalignment (in degrees) for a type 4 ESPE depending on the dimensions of the light curtain.....	32

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SAFETY OF MACHINERY – ELECTRO-SENSITIVE PROTECTIVE EQUIPMENT –

Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61496-2 has been prepared by IEC technical committee 44: Safety of machinery – Electrotechnical aspects

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2006 and constitutes a technical revision.

This edition includes the following technical changes with respect to the previous edition:

- a) Requirements have been corrected and made easier to understand.
- b) Test procedures have been revised to make them easier to perform and to improve repeatability.
- c) Guidance is provided for the evaluation and verification of AOPDs using design techniques for which the test procedures of this part are not sufficient.

This standard has the status of a product family standard and may be used as a normative reference in a dedicated product standard for the safety of machinery.

This standard is to be used in conjunction with IEC 61496-1 (201x).

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
XX/XX/FDIS	XX/XX/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 61496 consists of the following parts, under the general title: *Safety of machinery – Electro-sensitive protective equipment*

Part 1: General requirements and tests

Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)

Part 3: Particular requirements for Active Opto-electronic Protective Devices responsive to Diffuse Reflection (AOPDDR)

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date¹ indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

¹ The National Committees are requested to note that for this publication the stability date is 2016

INTRODUCTION

Electro-sensitive protective equipment (ESPE) is applied to machinery that presents a risk of personal injury. It provides protection by causing the machine to revert to a safe condition before a person can be placed in a hazardous situation.

This part of IEC 61496 provides particular requirements for the design, construction and testing of electro-sensitive protective equipment (ESPE) for the safeguarding of machinery, employing active opto-electronic protective devices (AOPDs) for the sensing function.

This part supplements or modifies the corresponding clauses in IEC 61496-1.

Where a particular clause or subclause of Part 1 is not mentioned in this Part 2, that clause or subclause applies as far as is reasonable. Where this part states "addition", "modification" or "replacement", the relevant text of Part 1 is to be adapted accordingly.

Each type of machine presents its own particular hazards, and it is not the purpose of this standard to recommend the manner of application of the ESPE to any particular machine. The application of the ESPE should be a matter for agreement between the equipment supplier, the machine user and the enforcing authority; in this context, attention is drawn to the relevant guidance established internationally, for example, ISO 12100.

Due to the complexity of the technology of ESPEs there are many issues that are highly dependent on analysis and expertise in specific test and measurement techniques. In order to provide a high level of confidence, independent review by relevant expertise is recommended.

SAFETY OF MACHINERY – ELECTRO-SENSITIVE PROTECTIVE EQUIPMENT –

Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic protective devices (AOPDs)

1 Scope

This clause of Part 1 is replaced by the following:

This part of IEC 61496 specifies requirements for the design, construction and testing of electro-sensitive protective equipment (ESPE) designed specifically to detect persons as part of a safety-related system, employing active opto-electronic protective devices (AOPDs) for the sensing function. Special attention is directed to features which ensure that an appropriate safety-related performance is achieved. An ESPE may include optional safety-related functions, the requirements for which are given in Annex A of IEC 61496-1 and of this part.

This part does not specify the dimensions or configurations of the detection zone and its disposition in relation to hazardous parts for any particular application, nor what constitutes a hazardous state of any machine. It is restricted to the functioning of the ESPE and how it interfaces with the machine.

Excluded from this part are AOPDs employing radiation at wavelengths outside the range 400 nm to 1500 nm.

This part may be relevant to applications other than those for the protection of persons, for example, the protection of machinery or products from mechanical damage. In those applications, additional requirements may be necessary, for example, when the materials that are to be recognized by the sensing function have different properties from those of persons.

This part does not deal with EMC emission requirements.

2 Normative references

This clause of Part 1 is applicable except as follows:

Additional references:

IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*

IEC/TS 62046:2004, *Safety of machinery – Application of protective equipment to detect the presence of persons*

ISO 13855:2010, *Safety of machinery – Positioning of protective equipment with respect to the approach speeds of parts of the human body*

EN 471:2003, *High-visibility warning clothing for professional use – Test methods and requirements.*

IEC 62471:2006-07 *Photobiological safety of lamps and lamp systems*

3 Terms and definitions

NOTE At the end of this standard there is an index which lists, in alphabetical order, the terms and acronyms defined in Clause 3 and indicates where they are used in the text.

This clause of Part 1 is applicable except as follows:

Additional definitions:

3.201

active opto-electronic protective device (AOPD)

device whose sensing function is performed by opto-electronic emitting and receiving elements detecting the interruption of optical radiations generated, within the device, by an opaque object present in the specified detection zone (or for a light beam device, on the axis of the light beam)

3.202

beam centre-line

optical path joining the optical centre of an emitting element to the optical centre of the corresponding receiving element that is intended to respond to light from that emitting element during normal operation

NOTE 1 The optical axis of a light beam is not always on the beam centre-line.

NOTE 2 Physical displacement of the beam centre-line may occur as a consequence of normal operation (for example, by the use of a motor-driven mirror).

NOTE 3 For an AOPD that operates on a retro-reflective technique, the optical path is defined by the retro-reflector target together with the emitting and receiving elements.

3.203

effective aperture angle (EAA)

maximum angle of deviation from the optical alignment of the emitting element(s) and the receiving element(s) within which the AOPD continues in normal operation

3.204

light beam device

single light beam device or a multiple light beam device

- **single light beam device:** AOPD comprising one emitting element and one receiving element, where a detection zone is not specified by the supplier;
- **multiple light beam device:** AOPD comprising multiple emitting elements and corresponding receiving elements, and where a detection zone is not specified by the supplier

3.205

light curtain

AOPD comprising an integrated assembly of one or more emitting element(s) and one or more receiving element(s) forming a detection zone with a detection capability specified by the supplier

NOTE A light curtain with a large detection capability is sometimes referred to as a light grid.

3.206

test piece

opaque cylindrical element used to verify the detection capability of the AOPD

3.207

monitored blanking

configuration of the detection capability and/or detection zone in such a way that the presence of an object(s) within a defined part of the detection zone will not cause an OFF-state of the OSSD(s) but the absence (or, in some cases, a change in size or location) of the object will cause the OSSD(s) to go to the OFF-state

3.208 geometrically restricted optical design (GROD)

AOPD using an optic design where

- the effective aperture angle (EAA) of each emitting and each receiving element does not exceed the values given in figure 6 and
- the axes of the optical beams are parallel and
- side lobes are minimized and
- the spacing between beam centre-lines is uniform and
- the value of detection capability is based on the complete obscuration of at least one beam for any and all positions of the test piece within the detection zone (see Figure 7).

Replacement:

3.3 detection capability

dimension representing the diameter of the test piece which:

- for a light curtain, will actuate the sensing device when placed in the detection zone;
- for a single light beam device, will actuate the sensing device when placed in the beam centre-line;
- for a multiple light beam device, will actuate the sensing device when placed in any beam centre-line

NOTE Can also be used to mean the ability to detect a test piece of the specified diameter.

4 Functional, design and environmental requirements

This clause of Part 1 is applicable except as follows:

4.1 Functional requirements

4.1.2 Sensing function

Replacement:

4.1.2.1 General Requirements

The sensing function shall be effective over the detection zone specified by the supplier. No adjustment of the detection zone, detection capability or blanking function shall be possible without the use of a key, key-word or tool.

The sensing device of a light curtain shall be actuated and the OSSD(s) shall go to the OFF-state when a test piece in accordance with 4.2.13 is placed anywhere within the detection zone either static (at any angle) or moving (with the axis of the cylinder normal to the plane of the detection zone), at any speed between 0 m/s and 1,6 m/s.

The sensing device of a light beam device shall be actuated and the OSSD(s) shall go to the OFF-state when a test piece in accordance with 4.2.13 is present in the beam centre-line, at any point throughout the operating distance, with the axis of the cylinder normal to the axis of the beam.

NOTE The purpose of this requirement is to ensure that the OSSD(s) go to the OFF-state when a person or part of a person passes through the detection zone or light beam. Based on a dimension of 150 mm and a walking speed of 1,6 m/s, a minimum OFF time of 80 ms was determined to be adequate.

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

When the OSSD(s) go to the OFF-state, they shall remain in the OFF-state while the test piece is present in the detection zone (or light beam) or for at least 80 ms, whichever is greater.

Where the supplier states that an AOPD can be used to detect objects moving at speeds greater than those specified above, the above requirements shall be met at any speed up to and including the stated maximum speed(s).

4.1.2.2 Additional requirements for AOPDs using retro-reflective techniques and for AOPDs using mixed emitters and receivers in the same assembly.

4.1.2.2.1 General

AOPDs using retro-reflective techniques where the light beam traverses the detection zone more than once (over the same path) and AOPDs using mixed emitters and receivers in the same assembly shall not fail to danger if a reflective object (for example, reflective clothes) is placed at any position in the detection zone.

NOTE The use of mirrors to return the light beam is not considered to be a retro-reflective technique.

4.1.2.2.2 Sensing function

The OSSD(s) shall go to the OFF-state when a reflective object of a size equal to, or greater than, the diameter and length of the test piece (see 4.2.13) is placed in the detection zone at any position as specified in 5.2.12.4.

For a Type 4 AOPD, under normal operating conditions, the OSSD(s) shall go to the OFF-state when a reflective object, as specified in 5.2.12.4 is placed as close as practicable in front of the sensing surface of the emitting/receiving elements

4.1.3 Types of ESPE

Replacement:

In this part of the standard, only type 2 and type 4 ESPEs are considered. The types differ in their performance in the presence of faults and under influences from environmental conditions. In Part 1, the effects of electrical and electromechanical faults are considered (such faults are listed in Annex B, Part 1). It is the responsibility of the machine manufacturer and/or the user to determine which type is required for a particular application.

A type 2 ESPE shall fulfil the fault detection requirements of 4.2.2.3.

For a type 2 ESPE, in normal operation the output circuit of at least one output signal switching device shall go to the OFF-state when the sensing function is actuated, or when power is removed from the ESPE.

A type 2 ESPE shall have a means of periodic test.

A type 4 ESPE shall fulfil the fault detection requirements of 4.2.2.5, Part 1.

For type 4 ESPE, in normal operation the output circuit of at least two output signal switching devices shall go to the OFF-state when the sensing function is actuated, or when power is removed from the ESPE.

When a single safety-related data interface is used to perform the functions of the OSSD(s), then the data interface and associated safety-related communication interface shall meet the requirements of 4.2.4.4, Part 1. In this case, a single safety-related data interface can substitute for two OSSDs in a type 4 ESPE.

4.2 Design requirements

4.2.2 Fault detection requirements

4.2.2.3 Particular requirements for a type 2 ESPE

Addition:

The periodic test shall verify that each light beam operates in the manner specified by the supplier.

Different configurations are considered that differ in the way the testing of the safety related performance is carried out (see Annex D).

For a Type 2-II (see Annex D), single faults that lead to the loss of the automatically initiated internal test shall be detected and shall result in a lock-out condition.

4.2.2.4 Particular requirements for a type 3 ESPE

This subclause of part 1 is not applicable.

4.2.12 Integrity of the AOPD detection capability

The design of the AOPD shall be such that the AOPD detection capability does not change from the value stated by the supplier when the AOPD is operated under any and all combinations of the following:

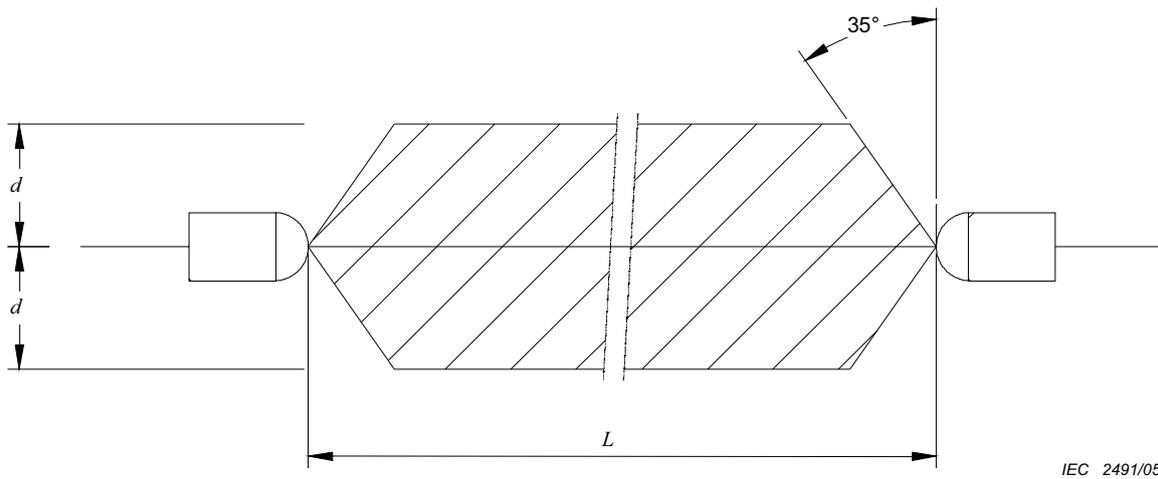
- any condition within the specification of the supplier;
- the environmental conditions specified in 4.3
- at the limits of alignment and/or adjustment.
- over the entire detection zone

If a single fault (as specified in Annex B, Part 1), which under normal operating conditions (see 5.1.2.1, Part 1) would not result in a loss of AOPD detection capability but, when occurring with a combination of the conditions specified above, would result in such a loss, that fault together with that combination of conditions shall be considered as a single fault, and the AOPD shall respond to such a single fault as required in 4.2.2.

The AOPD shall be designed and constructed to:

- a) limit the possibility of failure to danger resulting from extraneous reflections (for operating range up to 3 m, see Figure 1)
- b) limit the misalignment at which normal operation is possible.
For an operating range of 3 m the limits of fig. 2 shall be met
- c) limit the possibility of malfunction during exposure to extraneous light in the range of 400 nm to 1 500 nm

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

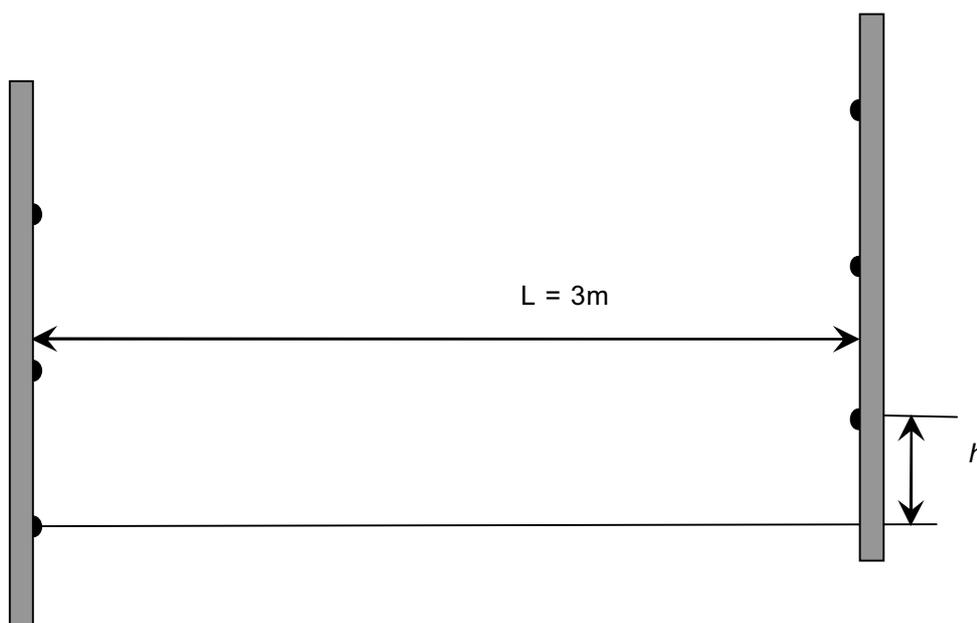


For Type 4: $d = 131\text{mm}$, $L = 250$ to $3\ 000$ mm

For Type 2: $d = 262$ mm, $L = 500$ to $3\ 000$ mm

Figure 1 – Limit area for the protection against the risk of beam bypass

If the AOPD is intended to provide protection when mounted very close to a reflective surface (i.e. inside the shaded area of Figure 1), the AOPD shall be designed in such a manner that no optical bypassing can occur on the reflective surfaces. For such a device, an EAA much less than $2,5^\circ$ (for example, less than $0,1^\circ$) can be necessary. In this case, Figures 1 do not apply and the limits of protection against optical bypassing shall be as specified by the manufacturer.



For Type 4: $h = 262\text{mm}$, $L = 3\ 000$ mm

For Type 2: $h = 524$ mm, $L = 3\ 000$ mm

Figure 2 – Limit of vertical and horizontal misalignment

4.2.13 Test piece

The test piece shall be cylindrical and opaque, with a minimum effective length of 150 mm. The diameter of the test piece shall not exceed the AOPD detection capability stated by the supplier.

For AOPDs using retro-reflective techniques and for AOPDs using mixed emitter/receivers in the same assembly (see 4.1.2.1), the colour of the surface of the opaque test piece shall be white with a coefficient of diffuse reflectance in the range of 80 % to 90 % at the wavelength of the emitter. Example of suitable material is white paper.

For an AOPD detection capability of not more than 40 mm, the test piece for a light curtain shall be provided by the supplier and shall be marked with the following:

- diameter in millimetres;
- type reference and an indication of the AOPD with which the test piece is intended to be used.

When more than one detection capability can be configured on the AOPD, the supplier shall provide a test piece for each detection capability.

Verification shall be by inspection.

4.2.14 Wavelength

AOPDs shall operate at a wavelength within the range 400 nm to 1 500 nm.

4.2.15 Radiation intensity

If the emitting device uses LED technology, the radiation intensity generated and emitted by the AOPD shall meet the requirements of exempt group in accordance to IEC 62471:2006.

NOTE Exempt group is equal to risk group zero (IEC 62471:2006)

If the emitting device uses laser technology, the radiation intensity generated and emitted by the AOPD shall at no time exceed the accessible emission limits (AEL) for a class 1M device in accordance with 8.2 of IEC 60825-1:2007.

NOTE Class 2 devices may be used for alignment or adjustment.

4.3 Environmental requirements

Addition:

4.3.5 Light interference

The ESPE shall continue in normal operation when subjected to

- incandescent light;
- flashing beacons;
- fluorescent light operated with high-frequency electronic power supply.

The ESPE shall not fail to danger when subjected to

- incandescent light (simulated daylight using a quartz lamp);
- stroboscopic light;
- fluorescent light operated with high-frequency electronic power supply;

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

- for a type 4 AOPD, radiation from an emitting assembly (or element) of identical design. Combination of technical measures and installation and configuration procedures in accordance with the information for use provided by the manufacturer shall be tested

NOTE For type 2 AOPDs the risk of failure to danger from an emitting element of identical design can be reduced by installation measures supplied by the manufacturer

These requirements shall be met when the AOPD conforms to the tests in 5.4.6.

No requirements are given for immunity to other extraneous light sources which may cause abnormal operation or failure to danger. A requirement for the supplier to inform the user of potential problems is given in (ff) of Clause 7 (this part and Part 1).

5 Testing

This clause of Part 1 is applicable except as follows:

5.1 General

Addition:

In the following tests, it shall be verified that when the OSSD(s) go to the OFF-state, they remain in the OFF-state while the test piece is present in the detection zone (or light beam) or for at least 80 ms, whichever is greater. If the AOPD incorporates a restart interlock, the restart interlock shall be disabled during the tests of this clause.

AOPD may be designed in different ways. The following table shows the different designs and corresponding requirements and tests as described within this standard.

Table 1 – Correspondences of Requirements/Testing and AOPD Designs

Sub-clause	Test related to	AOPD using only emitters or only receivers in the same assembly		AOPD using retro-reflective techniques		AOPD using emitters and receivers in the same assembly	
		GROD	Unrestricted optical design	GROD	Unrestricted optical design	GROD	Unrestricted optical design
4.1	Functional requirements	X	X	X	X	X	X
4.1.2	Sensing function	X	X	X	X	X	X
4.1.2.2	Additional requirements for an AOPD using retro-reflective techniques and for an AOPD using emitters and receivers in the same assembly			X	X	X	X
4.2	Design requirements	X	X	X	X	X	X
4.2.2	Fault detection requirements	X	X	X	X	X	X
4.2.12	Integrity of the AOPD detection capability	X	X	X	X	X	X
4.2.13	Test piece	X	X	X	X	X	X
4.2.14	Wavelength	X	X	X	X	X	X
4.2.15	Radiation intensity	X	X	X	X	X	X
4.3	Environmental requirements	X	X	X	X	X	X

Sub-clause	Test related to	AOPD using only emitters or only receivers in the same assembly		AOPD using retro-reflective techniques		AOPD using emitters and receivers in the same assembly	
		GROD	Unrestricted optical design	GROD	Unrestricted optical design	GROD	Unrestricted optical design
4.3.5	Light interference	X	X	X	X	X	X
5	Testing	X	X	X	X	X	X
5.1	General	X	X	X	X	X	X
5.1.1	Type tests	X	X	X	X	X	X
5.1.1.2	Operating condition	X	X	X	X	X	X
5.1.2	Test conditions	X	X	X	X	X	X
5.1.2.2	Measurement accuracy	X	X	X	X	X	X
5.2	Functional tests	X	X	X	X	X	X
5.2.1.	Sensing function	X	X	X	X	X	X
5.2.12.1	Analysis of electro optical subsystem	X	X	X	X	X	X
5.2.12.2	Verification of the electro optical subsystem for GROD	X	X	X	X	X	X
5.2.12.2.1	EAA test	X		X		X	
5.2.12.2.2	Prism Test	X		X		X	
5.2.12.3	Verification of the electro optical subsystem for technologies other than GROD		X		X		X
5.2.12.3.1	Modelling and verification of optical subsystem model		X		X		X
5.2.12.3.2	Analysis of the detection capability		X		X		X
5.2.12.3.3	Additional Test of detection capability		X		X		X
5.2.12.3.4	Analysis of extraneous Reflections		X		X		X
5.2.12.3.5	Extraneous reflections Test		X		X		X
5.2.12.3.6	Misalignment Test		X		X		X
5.2.12.4	Additional tests for an AOPD using retro reflective techniques and for AOPDs using mixed emitter/receivers in the same assembly			X	X	X	X
5.4	Environmental tests	X	X	X	X	X	X
5.4.6	Light interference	X	X	X	X	X	X
5.4.6.1	General	X	X	X	X	X	X
5.4.6.2	Light sources	X	X	X	X	X	X
5.4.6.3	Test sequences	X	X	X	X	X	X
5.4.6.4	Normal operation (best alignment)	X	X	X	X	X	X

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Sub-clause	Test related to	AOPD using only emitters or only receivers in the same assembly		AOPD using retro-reflective techniques		AOPD using emitters and receivers in the same assembly	
		GROD	Unrestricted optical design	GROD	Unrestricted optical design	GROD	Unrestricted optical design
5.4.6.5	Failure to danger – Incandescent light (3 000 lux and worst case alignment)	X	X	X	X	X	X
5.4.6.6	Failure to danger – Stroboscopic light (worst case alignment)	X	X	X	X	X	X
5.4.6.7	Failure to danger – Fluorescent light (3 000 lux and worst case alignment)	X	X	X	X	X	X
5.4.6.8	Failure to danger – Interfering light from an emitting element of identical design	X	X	X	X	X	X

5.1.1 Type tests

5.1.1.2 Operating condition

Addition:

For the purpose of these tests, the plane of the light curtain detection zone may be either vertical or horizontal as preferred for a test.

If it can be demonstrated that the results will be the same, testing at long operating distances may be simulated by the use of neutral density filters.

5.1.2 Test conditions

5.1.2.2 Measurement accuracy

Addition to first paragraph:

- for angular measurement: $\pm 0,1^\circ$;
- for light intensity measurement: $\pm 10\%$.

5.2 Functional tests

5.2.1 Sensing function

Replacement:

It shall be verified that the sensing device is continuously actuated and, where appropriate, that the OSSD(s) go to the OFF-state as described in this subclause, taking into account the operating principle of the AOPD and, in particular, the techniques used to provide tolerance to environmental interference.

For a light curtain:

- by slowly moving the test piece in the detection zone across the beams at an angle of 45° and at an angle of 90° (see Figures 3 and 4) at each end of the detection zone [as near as practical to the emitter and receiver (or retro-reflector)] and midway between the ends (see Figure 5);
- by placing the test piece in the detection zone, stationary, at any position and/or angle considered critical as a result of the analysis in 5.2.12.1;
- by moving the test piece in the detection zone, across the beams at the maximum speed in the range specified in 4.1.2.1, and at any other speed in that range which is considered critical as a result of the analysis in 5.2.12.1;
- by moving the test piece (having a length of 150 mm) through the detection zone at 1,6 m/s such that the direction of movement and the axis of the test piece are normal to the detection plane, at the extremities of the detection zone (for example, at each corner) and in any other position that is considered critical as a result of the analysis in 5.2.12.1.

For a light beam device:

- by placing the test piece in the beam at each end of the beam and midway along the beam such that the axis of the test piece is normal to the axis of the beam;
- by moving the test piece (having a length of 150 mm) through the beam at 1,6 m/s such that the direction of movement and the axis of the test piece are normal to the axis of the beam, at each end of the beam midway along the beam, and at any point throughout the operating distance which is considered critical as a result of the analysis in 5.2.12.1.

The above tests shall be performed with the AOPD operating at the minimum specified operating distance or 0,5 m, whichever is the greater, and at the maximum specified operating distance.

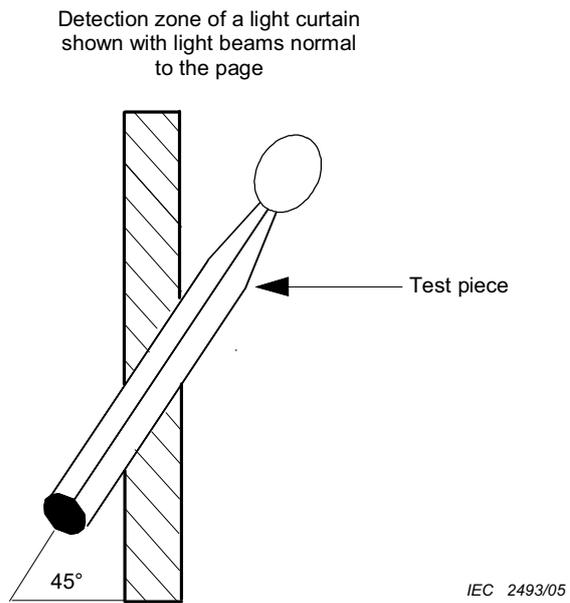


Figure 3 – Test piece at 45°

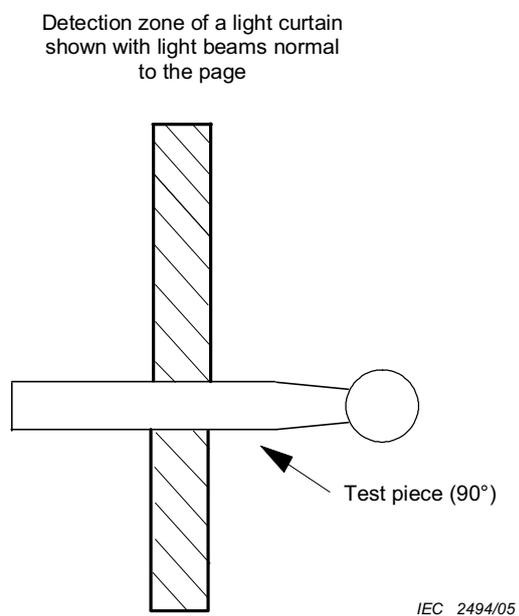


Figure 4 – Test piece at 90°

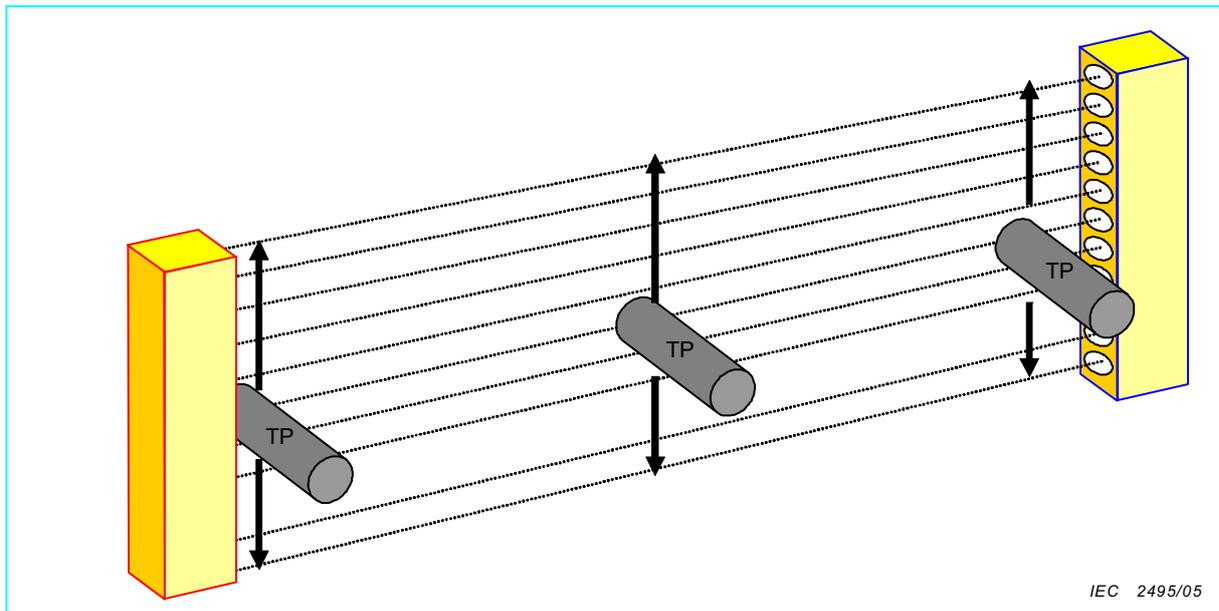


Figure 5 – Verifying sensing function by moving the test piece (TP) through the detection zone near the emitter, near the receiver/retro-reflector target and at the midpoint

5.2.12 Verification of integrity of detection capability

It shall be verified that the AOPD detection capability is continuously maintained or the ESPE does not fail to danger, by systematic analysis of the design of the AOPD, using testing where appropriate, taking into account all combinations of the conditions specified in 4.1.2, 4.2.12 and the faults specified in 5.3.

5.2.12.1 Analysis of electro optical subsystem

A systematic analysis of the electro-optical subsystem shall be carried out to determine:

- the beam centre-line and the optical axes of the emitting and receiving elements;
- the spacing between beam centre lines
- the characteristics of the optical assemblies (e.g. lens diameter, focal length, position and dimension of the stops, shape of the lens holder)
- the relative intensity/sensitivity of the beams in the multi-beam devices;
- beam direction and orientation between similar elements (i.e. between one emitting subassembly and another, or between one receiving subassembly and another).
- the criteria used to determine the status of the sensing function;

The results of this analysis shall be used to determine which method is appropriate for the verification of the electro optical subsystem and verification for integrity of detection capability.

If the analysis shows that all the criteria in 5.2.12.2 are met, then 5.2.12.2, 5.2.12.2.1 and 5.2.12.2.2 shall be used.

In all the other cases or if the analysis shows that one or more of the criteria in 5.2.12.2 are not met, than 5.2.12.3, 5.2.12.3.1 and 5.2.12.3.2 shall be used

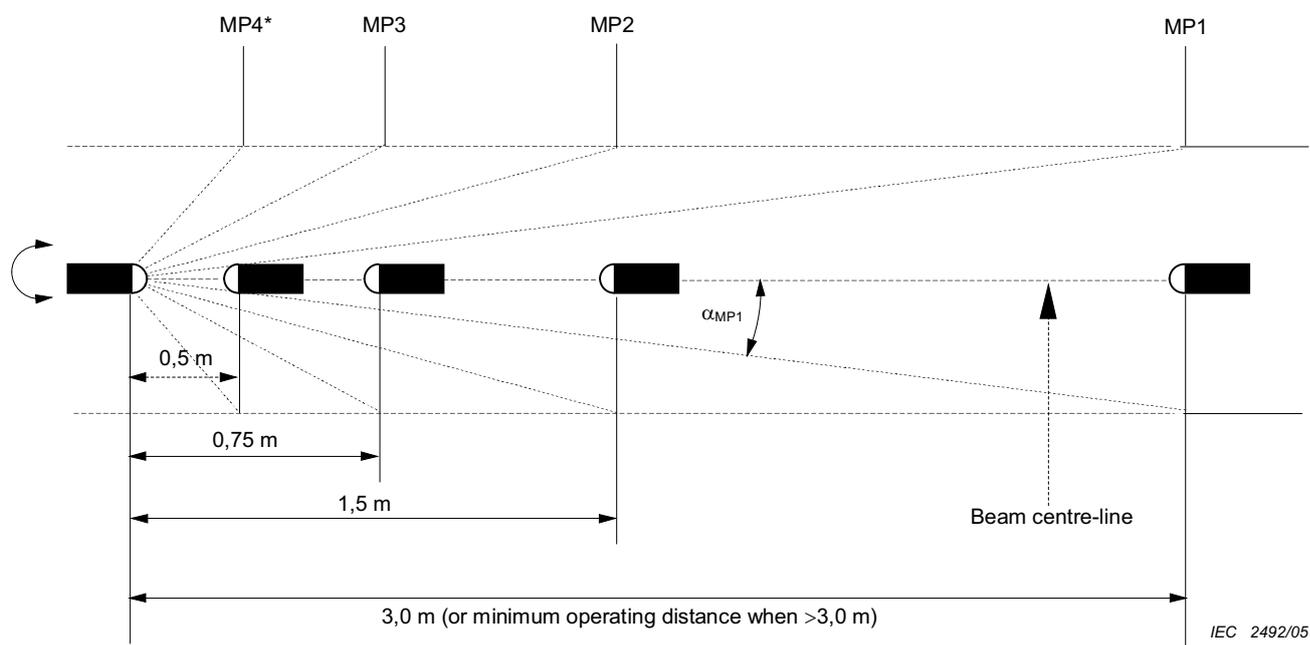
E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

5.2.12.2 Verification of the electro optical subsystem for GROD

GROD achieves the requirements specified in clause 4.2.12 by ensuring that

- the effective aperture angle (EAA) of each emitting and each receiving element does not exceed the values given in figure 6 and
- the axes of the optical beams are parallel and
- side lobes are minimized and
- the spacing between beam centre-lines is uniform and
- the value of detection capability is based on the complete obscuration of at least one beam for any and all positions of the test piece within the detection zone (see Figure 7)

It shall be verified that all beams meet the following limits.



Type 2 AOPD	MP1	MP2	MP3	MP4		Type 4 AOPD	MP1	MP2	MP3	MP4
α Limit values degrees	5	10	19,3	27,7		α Limit values degrees	2,5	5	10	14,7
* MP measuring point										

NOTE 1 The effective aperture angle should be determined according to 5.2.12.2.1

NOTE 2 Measurements should be carried out at each of the measuring points MP1 to MP4 (or if minimum distance is greater than 3,0 m, at MP1 only).

NOTE 3 The limit values for other distances can be calculated using the formula:

$$\alpha = \arctan (d/L)$$

where $d = 262$ mm (for Type 2) or $d = 131$ mm (for Type 4)

and L is the distance between emitter and receiver in mm (or DUT and retro-reflector target).

NOTE 4 For retro-reflector systems, the value of α is one-half of the value shown in the table above.

Figure 6 –Limit values for the effective aperture angle (EAA)

When GROD is used, the formula for determining minimum detection capability (d) is (see Figure 7):

$$d = P + \phi$$

where d = detection capability

P = beam centre-lines spacing

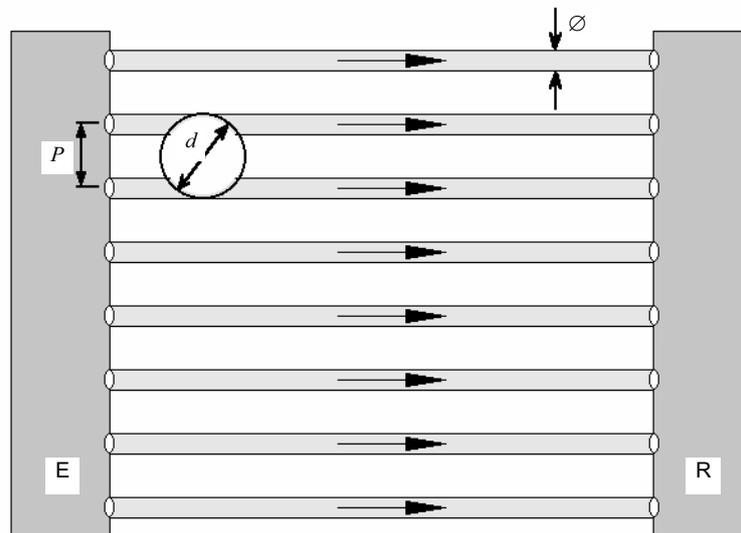
ϕ = lens diameter

Example: Lens diameter (ϕ) = 6 mm and beam spacing (P) = 8 mm

$$d = P + \phi = 8 \text{ mm} + 6 \text{ mm} = 14 \text{ mm}$$

Therefore, in the above example, detection capability = 14 mm.

Where lens diameters are different, the largest diameter shall be used in the calculation.



IEC 2508/05

Figure 7 – Determination of the minimum detection capability

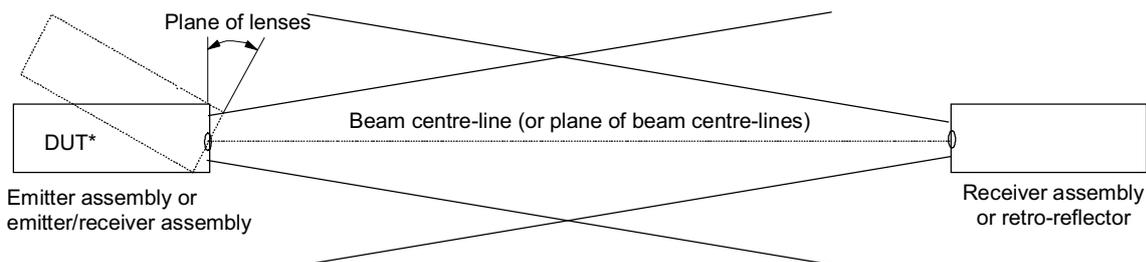
5.2.12.2.1. EAA test of GROD

With an emitter assembly or an emitter/receiver assembly, fixed in optical alignment with a receiver assembly or a retro-reflector target, the angle of misalignment of the receiver assembly or the retro-reflector target shall be measured. With a receiver assembly or retro-reflector target fixed in optical alignment with an emitter assembly or an emitter/receiver assembly, the angle of misalignment of the emitting element or the emitter/receiver element shall be measured. These measurements shall be carried out at all the distances indicated in Figure 6 in the following manner.

The AOPD shall be optimally aligned as specified by the supplier. The AOPD should be mounted on a turn table with an angle scale. The tests shall be performed about the rotational axis indicated in Figure 8.

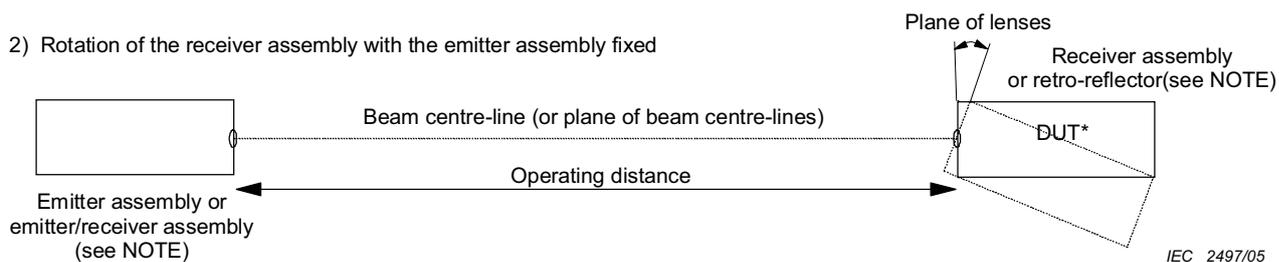
E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

- 1) Rotation of the emitter assembly with the receiver assembly fixed



Rotation axis in the plane of all lenses

- 2) Rotation of the receiver assembly with the emitter assembly fixed



IEC 2497/05

* DUT: device under test

NOTE For light curtains employing retro-reflective techniques, the test should only be carried out on the sensing unit with the retro-reflector target fixed.

Figure 8 – Measuring method for EAA (direction)

Switch the AOPD on and carry out the procedure as follows:

- the emitter or emitter/receiver unit shall be turned clockwise into the 90° position; the OSSD(s) shall go to the OFF-state;
- the supply voltages of the complete AOPD shall be switched off and then on again;

NOTE Based on the analysis of 5.2.12.1, it may be necessary to wait for some time (for example, settling time of gain control circuits) between the steps of this procedure.

- the emitter or emitter/receiver unit shall be turned back towards the aligned position until the position is reached at which the OSSD(s) go to the ON-state. This value of the angle and distance shall be recorded. Continue turning the unit in the counter-clockwise direction until the opposite 90° position is reached and record the last position at which the OSSD(s) change from the ON-state to the OFF-state;
- the same procedure given in steps a) to c) shall be performed in the counter clockwise direction;
- the same procedure given in steps a) to d) shall be applied to the opposite unit (receiver or receiver/emitter).

In cases where the minimum operating distance specified exceeds 3 m, similar tests shall be performed to determine the EAA at the minimum operating distance (see Figure 6).

The test is passed when the angles recorded in step c) (EAA) are less than the values indicated in Figure 6.

NOTE 1 For an AOPD specified by the manufacturer to operate over long distances, tests may be carried out using neutral density filters over shorter distances, when it can be shown that the results obtained will correspond with those results obtained at the specified operating distance.

NOTE 2 Particular attention should be given to designs where the cross-section of the beam (for an emitter) or the cross-section of the cone of reception (for a receiver) is designed to be slightly oval, elliptical, oblong or otherwise elongated in a direction which is neither horizontal nor vertical.

5.2.12.2.2 Prism Test for GROD

It shall be shown that each beam in a multi-beam device and light curtain systems meets the requirements of figure 6. One method of verifying the characteristics of each beam is with the use of a wedge prism placed in front of individual beams. The precision wedge prism offsets the EAA of the beam under test so that its individual characteristics can be evaluated. The wedge prism test procedure is explained in 5.2.12.2.2. Passing the wedge prism test satisfies items a) and b) of 4.2.12.

The basis of this method is to isolate each beam so that its individual characteristics can be verified (Figure 9).

NOTE For systems with different EAAs on the emitter and receiver, this procedure can be used as a guide to develop equivalent tests. However, different angle limits need to be determined as appropriate for the design of the system being evaluated.

The AOPD shall be optimally aligned (zero position) and should be mounted on a turntable unit. A wedge prism with a beam deviation angle in accordance with MP1 of Figure 6 shall be used for testing. The height (H , Figure 10) shall be large enough to cover at least one beam but shall not be more than the dimension of the detection capability. The test (referring to Figure 10) shall be made at 3 m, or as close to 3 m as possible within the working range of the device (when the test is made at a distance other than 3 m, the formulas of Figure 6 shall be used to calculate an appropriate deviation angle).

NOTE Based on the analysis of 5.2.12.1, tests at other distances may be necessary.

The prism angle β can be calculated with the formulae shown in Figure 11.

Test procedure:

Switch the AOPD on and carry out the following procedure.

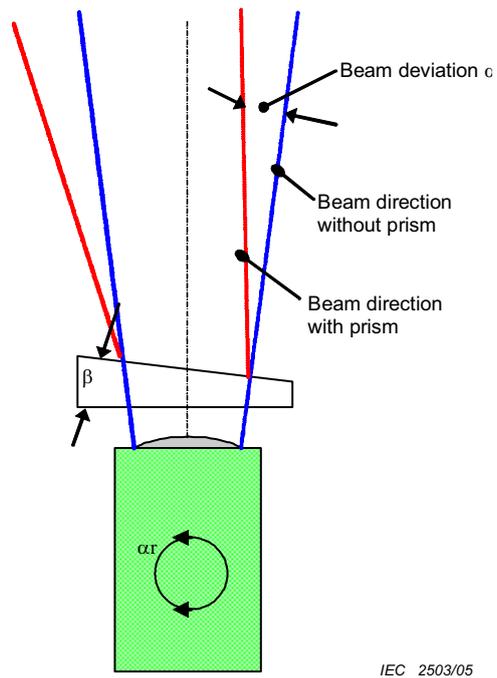
- 1) The OSSD(s) shall be in the ON-state.
- 2) Insert the prism centred in front of the receiving or emitting element to be tested.
- 3) The OSSD(s) shall change to, and remain in, the OFF-state. If the OSSD(s) remain in the ON-state, rotate the turntable in the direction of the beam deviation until the OSSD(s) change(s) to the OFF-state. Remove the prism and verify that the OSSD(s) return to ON-state.
- 4) Turn the prism 180° and insert the prism in front of the same beam to be tested. Verify that the OSSD(s) change(s) to, and remains in, the OFF-state. If the OSSD(s) remains in the ON-state, rotate the turntable in the direction of the beam deviation until the OSSD(s) change(s) to the OFF-state. Remove the prism and verify that the OSSD(s) return to the ON-state.
- 5) Repeat steps 3 and 4, inserting the prism from opposite directions, until the OSSD(s) change(s) to the OFF-state as required without changing the position of the turntable. If such a position cannot be found, then the EAA of the beam being tested exceeds the required angle.

NOTE The purpose of the above sequence of tests is to find a single position of the turntable where the OSSD(s) can be made to change to the OFF-state by inserting the prism from either direction. This will verify that the angle is the same in both directions.

- 6) Bring the turntable to the zero position and then repeat steps 1 to 5 for each beam. While repositioning the prism, the OSSD(s) are allowed to change state.

The test procedure described shall be repeated on at least the first and last beam with the system under test rotated 90° and the prism inserted along the Y axis. The test shall be repeated for other positions if the analysis in accordance to 5.2.12.1 indicates that the other positions are critical.

The above test shall be carried out both in front of the emitter and in front of the receiver.



NOTE 1 The prism should be located as close as possible in front of the optic.

NOTE 2 To achieve very large deviation angles, it may be necessary to use a combination of prisms.

Figure 9 – Prism test to measure EAA of each beam

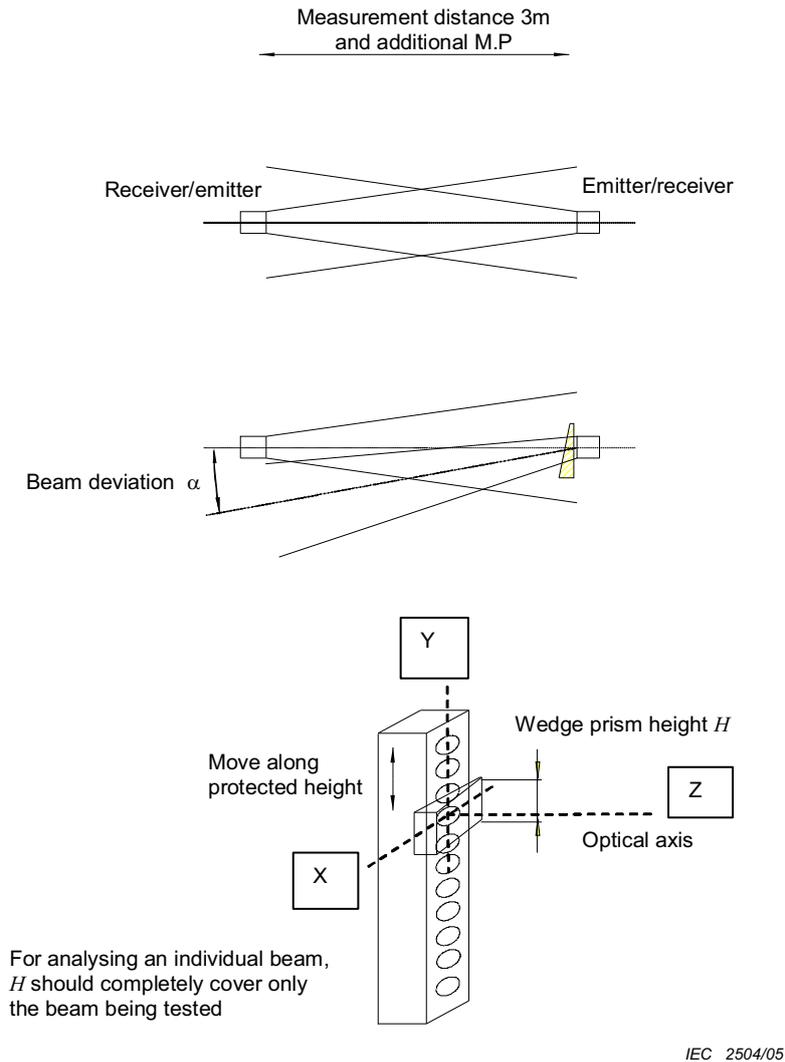


Figure 10 – EAA test using prism

Calculation of the wedge prism angle:

The wedge prism deviation angle depends on the mechanical angle of the prism used, the refraction number for the kind of glass used and on the wavelength of the light.

The angle can be calculated using the following relation:

$$\beta = \frac{\alpha}{n - 1}$$

where

β is the prism angle;
 α is the deviation angle;
 n is the refraction number.

Using a refraction number for the glass of 1,51 for 880 nm wavelength, the calculation for a deviation angle of $2,5^\circ$ is:

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

$$\beta = \frac{2,5^\circ}{1,51-1} = 4,9^\circ$$

Deviation angles for different wavelengths and constant β : $\alpha = \beta(n-1)$

Refraction (n) at	400 nm	=1,5	$\alpha = \beta (n-1) = 4,9(1,5-1)$	= 2,45°	
	at	880 nm	=1,51	$\alpha = \beta (n-1) = 4,9(1,51-1)$	= 2,5°
	at	1 500 nm	=1,53	$\alpha = \beta (n-1) = 4,9(1,53-1)$	= 2,6°

IEC 2505/05

NOTE Measuring error caused by differing wavelengths for 400 nm, it is $-0,05^\circ$ and for 1 500 nm, it is $+0,1^\circ$.

Figure 11 – Design calculations for a wedge prism

5.2.12.3 Verification of the electro optical subsystem for technologies other than GROD

When an AOPD does not use a geometrically restricted optical design, fulfilment of the requirements of 4.1.2. and 4.2.12 shall be verified by a combination of model based simulation and tests in accordance to following sub clauses.

NOTE 1 Since not all design techniques can be anticipated, these test procedures may not be suitable for a particular design technique and may require modification.

NOTE 2 Methods other than those described in sub clauses of 5.12.3 may be more appropriate depending of the design of the AOPD and may be used if they can be shown to be equivalent.

5.2.12.3.1 Modeling and verification of optical subsystem model

The optical subsystem analysis start with the creation of a simulation model of the emitting element and shall be extended to all optical effective elements which are used following up to and including the receiving element (for example aperture stops, beam shaping optical elements, front windows, electrical or mechanical components within the optical path).

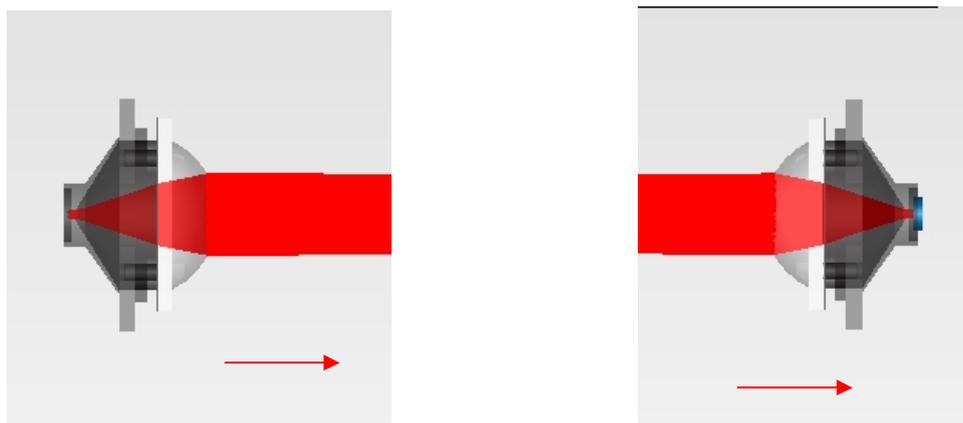


Figure 12 – Example of optical subsystem. Left emitter – Right receiver

The model of the used emitting element shall prove the contribution of Radiant intensity used in the optical subsystem. The used data in the simulation shall be verified by measurement of the intensity distribution on the emitting element.

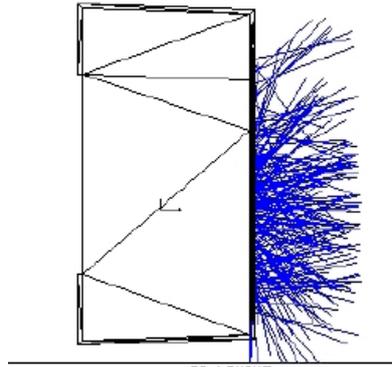


Figure 13 – Example of SMD LED Model

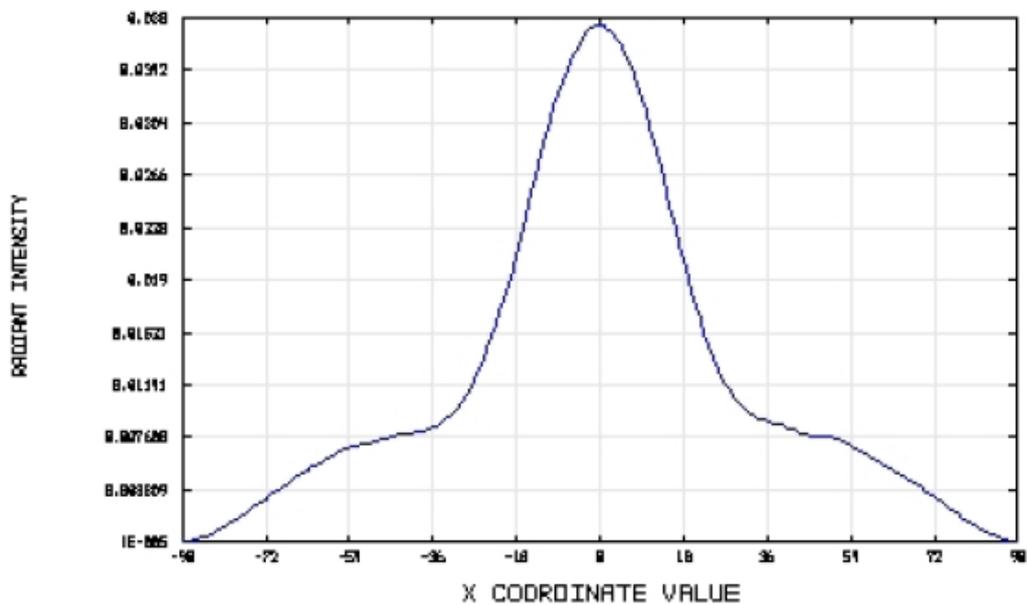


Figure 14– Example of intensity distribution of emitting element

The model of the used emitting element shall be extended with mechanical stops or aperture stops, if applicable. Further optical beam shaping elements (for example lenses) shall be added and the resulting energy distribution over the aperture angle shall be demonstrated by simulation and verification measurement.

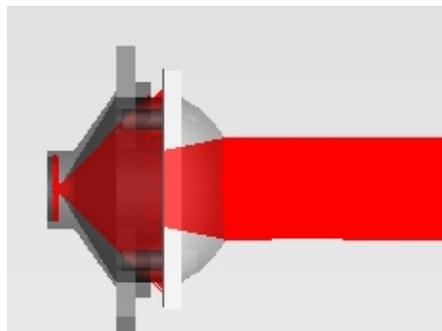


Figure 15 – Example of Emitter Model. Internally beams are blocked by aperture stop

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

The model of the receiving unit (for example consisting of beam shaping elements, mechanical or aperture stops, receiving element) shall be verified to prove the modelling. The verification of the receiving unit shall be made by measurement of intensity distribution in the plane of the receiving element.

A calculation shall be made to compare the identified intensity/energy levels on the receiving element with the switching conditions of the sensing device.

The defined and verified model shall be able to analyse the intensity/energy distribution at any position of the optical subsystem. The model shall be modifiable to the limits of alignment and/or adjustment.

The modelling shall be made with tools which allow non sequential ray tracing and with a number of rays which are suitable for the expected level of energy.

NOTE Only non sequential raytracing tools allow analysis of all beams including scattering of light and off axis bypassing.

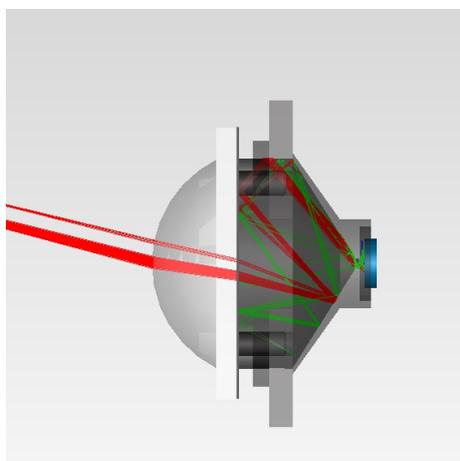


Figure 16 – Example of receiving unit with off axis beam portion reflected internally on mechanical elements

The number of analysed beam is related to the design of the ESPE. In case of similar beam design one beam can be sufficient, if the tolerance conditions are well defined. If non similar beam design is used, all combinations of beam necessary for analysis shall be considered.

5.2.12.3.2 Analysis of the of detection capability

A test piece in accordance with the detection capability of the AOPD shall be implemented in the model of the optical subsystem. A simulation for different object positions shall be made to prove that the detection capability can be achieved under worst case design conditions. The simulation shall prove that no intensity/energy level can occur in the receiving plane which lead to failure to danger at any limits of alignment and/or adjustment over the whole operating distance.

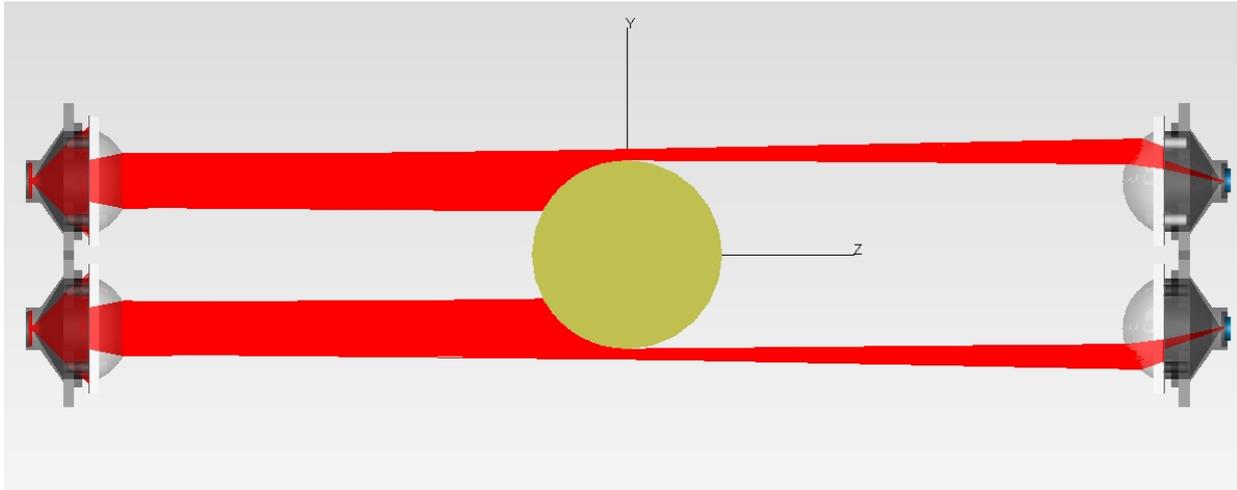


Figure 17 – Example of Test piece inside model of optical subsystem with passing radiation on the Receiver

NOTE The simulation in optical ray trace tools is valuable for a static condition of the test piece. Further calculations may be necessary to show the influence of moving test piece.

Additional to the simulation detection capability shall be verified by passing the tests of 5.2.1. and 5.2.12.3.3

5.2.12.3.3 Additional Test of detection capability

In cases where detection capability is achieved by means of technologies other than the EAA, at least the following additional detection capability test shall be carried out:

- a) align the AOPD in accordance with the suppliers specifications;
- b) place a neutral density filter with a transmittance of 30 % and with a dimension twice the size of the detection capability into the detection zone;
- c) switch on AOPD and wait for 30 s (or longer, if necessary, on the basis of the analysis of 5.2.9.1). Verify that the OSSD(s) are in the ON-state. If the OSSD(s) are in the OFF-state, the operating distance shall be reduced and the test restarted;
- d) insert the test piece in front of the filter. Verify that the OSSD(s) go to the OFF-state within the response time;
- e) remove the filter and verify that the OSSD(s) continuously remain in the OFF-state;
- f) repeat the test at several locations as determined by the analysis of 5.2.12.3.2.

The results of the systematic analysis shall identify which tests in 5.4 require, in addition, a measurement of the response time.

WG Note Sense of last sentence? Right place?

5.2.12.3.4 Analysis of extraneous Reflections

A test piece in accordance with the detection capability of the AOPD shall be implemented in the model of the optical subsystem in the presence of extraneous high reflective surface as defined in 5.2.12.3.5. A simulation for different test piece positions and different positions of extraneous reflective surfaces at operating distances in accordance to 5.2.12.3.5 shall be made to prove that the requirements for object detection described in chapter 5.2.1.1 are fulfilled. Any position outside the shaded limit area in accordance to figure 1 shall be considered for extraneous high reflective surfaces. The simulation shall prove that no intensity/energy level can occur in the receiving plane which lead to failure to danger in the presence of extraneous reflective within the limits of alignment and/or adjustment and for corresponding inclination angles of high reflective surfaces.

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

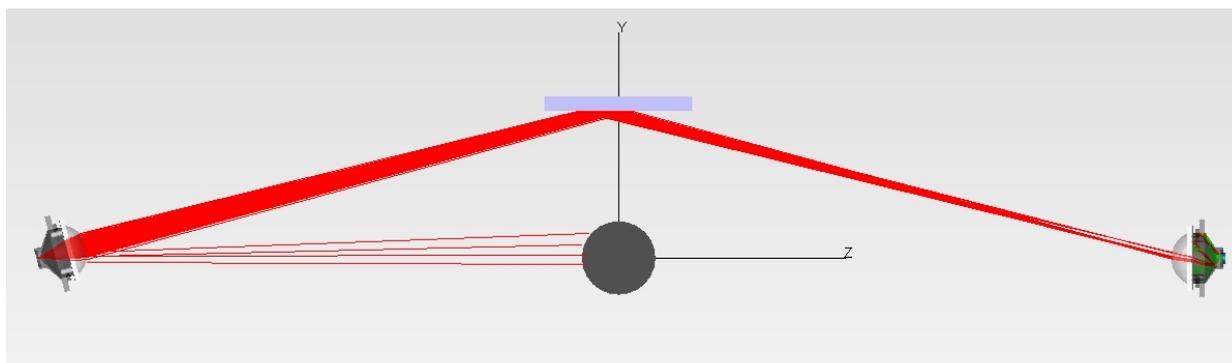


Figure 18 – Example of emitting unit adjusted at the limit. Test Piece is bypassed by beam portion going into receiving unit.

Based on the simulation alignment positions of emitter and receiver unit and inclination angles of the high reflective surface shall be identified which lead to maximum energy level on the receiving element. These worst case alignment conditions shall be used in test 5.2.12.3.5.

5.2.12.3.5 Extraneous reflections Test

With the AOPD aligned in worst-case alignment conditions based on analysis of 5.2.12.3.4., it shall be verified that the AOPD will not fail to danger when a high reflective surface(s) is placed nearby. This shall apply for each beam, under all other conditions within the supplier's specification.

Test procedure:

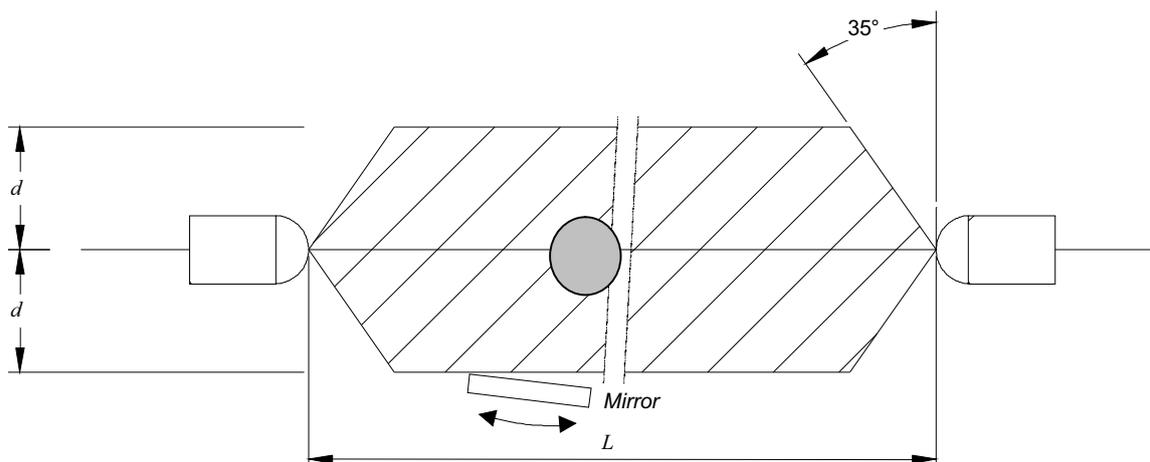
This test shall be carried out at each of the operating distances (0,5 m, 0,75 m, 1,5 m and 3,0 m) that are within the operating distance specified by the supplier. Where the minimum specified operating distance exceeds 3,0 m, the test shall be carried out at the minimum operating distance. The test shall be repeated for each beam centre-line.

After positioning the AOPD in the worst-case alignment position as identified in 5.2.12.3.4, power to the unit under test shall be switched off and then on again.

NOTE before beginning the test, it may be necessary to wait some period of time (for example, settling time of gain control circuits) after switching power on.

With a mirror placed along the beam centre-line at a position and inclined to achieve the maximum intensity/energy level of light on the receiver as identified in 5.2.12.3.4, a C test shall be carried out with the test piece at the midpoint along the beam centre-line (see Figure 19). The mirror shall have a flat surface of at least 200 mm by 200 mm, having a minimum reflectance of 0,90 at the emitted wavelength.

When C tests are performed, the direct light path between the emitter and the receiver shall be fully obstructed by the test piece, but the indirect light path via the mirror shall not have any part of its cross-section obstructed.



For Type 4: $d = 131\text{mm}$, $L = 250$ to $3\,000\text{ mm}$

For Type 2: $d = 262\text{ mm}$, $L = 500$ to $3\,000\text{ mm}$

Figure 19 – Extraneous Reflection test with mirror outside of limit area

5.2.12.3.6 Misalignment Test

It shall be verified that the OSSD(s) remain(s) in the OFF-state for misalignments (see Figure 20) that are in excess of the angles shown in Tables 2 and 3, or as calculated with the formulas of Figure 20.

Table 2 – Maximum permissible angle of misalignment (in degrees) for a type 2 ESPE depending on the dimensions of the light curtain

Operating range of the light curtain (longitudinal dimension) m	Distance between beam centre-lines of outermost beams (lateral dimension) mm									
	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	1800
	Maximum permissible angle of misalignment (γ) Degrees									
Up to 3,0	51,8	33,8	25,2	20,1	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0	8,3
4,0	71,4	45,8	33,9	27,0	22,4	19,2	16,8	14,9	13,4	11,2
5,0	93,6	58,2	42,8	33,9	28,1	24,0	21,0	18,6	16,8	14,0
6,0	122,1	71,4	51,9	41,0	33,9	29,0	25,3	22,4	20,2	16,8

Table 3 – Maximum permissible angle of misalignment (in degrees) for a type 4 ESPE depending on the dimensions of the light curtain

Operating range of the light curtain (longitudinal dimension) m	Distance between beam centre-lines of outermost beams (lateral dimension) mm									
	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	1800
	Maximum permissible angle of misalignment (γ) Degrees									
Up to 3,0	25,2	16,7	12,5	10,0	8,3	7,2	6,3	5,6	5,0	4,2
4,0	33,8	22,4	16,7	13,4	11,1	9,5	8,3	7,4	6,7	5,6

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

5,0	42,7	28,1	21,0	16,7	13,9	11,9	10,4	9,3	8,3	7,0
6,0	51,8	33,8	25,2	20,1	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0	8,3

Test procedure:

The AOPD shall be optically aligned in accordance with the supplier's instructions and the OSSDs shall be in the ON-state.

As shown in Figure 20, the angle of misalignment shall be increased from 0° to the angle at which the OSSD(s) go(es) to and remain in the OFF-state. That shall occur at an angle not exceeding that given in Table 2 or Table 3, as appropriate. The angle shall then be slowly increased to 180° during which time the OSSD(s) shall remain in the OFF-state. Where γ (see Figure 20) is greater than 160°, this test need not be carried out.

NOTE As a result of the analysis of 5.2.12.1, modifications to the above procedure, or additional testing can be required (for example, to allow for automatic gain control).

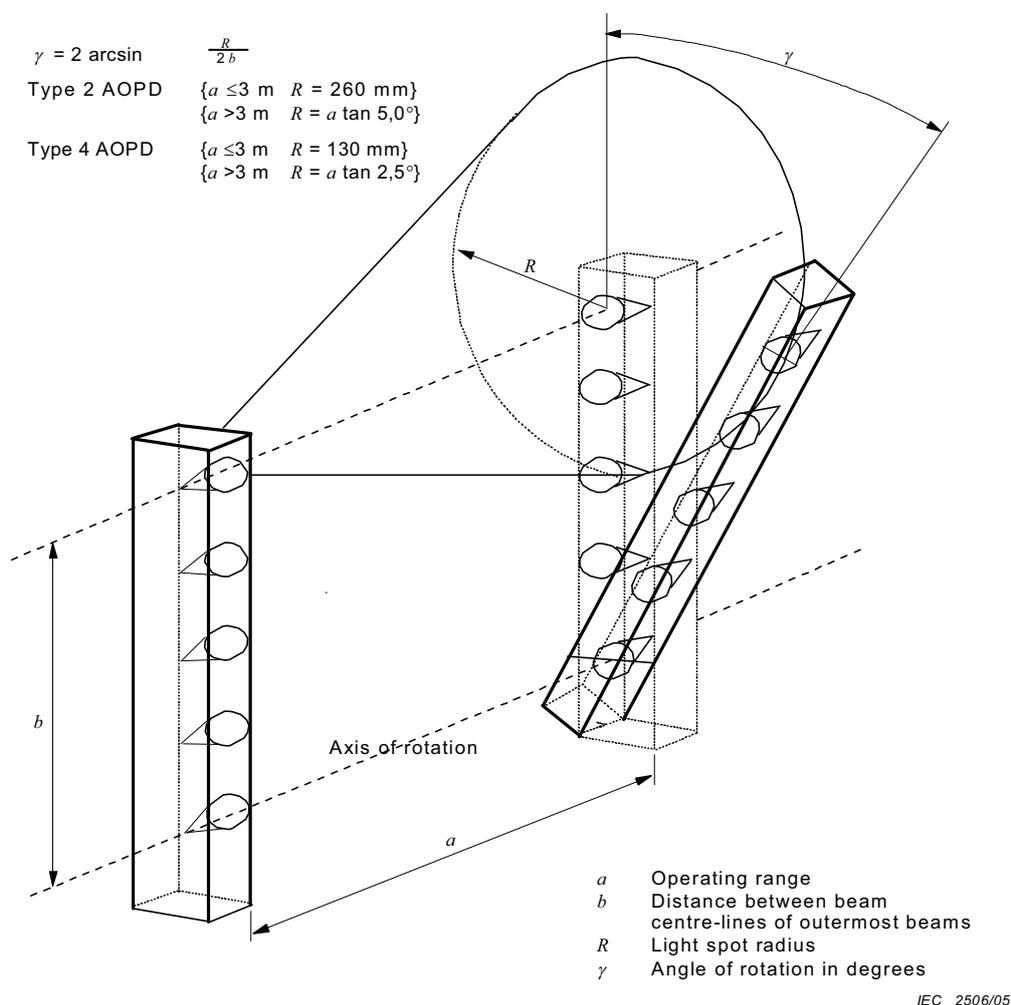


Figure 20 – AOPD misalignment test

5.2.12.4 Additional tests for AOPDs using retro-reflective techniques and for AOPDs using mixed emitters and receivers in the same assembly.

The following tests shall be conducted at both the minimum operating distance or 0,5 m, whichever is the greater and maximum operating distance specified by the manufacturer.

It shall be verified that the OSSD(s) go to the off state when a reflective object of a length equal to the length of the test piece and a width equal to the diameter of the test piece is placed in the detection zone and normal to the optical axis of the light beams. This test shall be conducted near the emitter/receiver elements, 200 mm in front of the retro-reflector target, midway along the beam and in any other position identified by the electro-optical analysis.

It shall be verified that the OSSD(s) of a Type 4 AOPD go to the OFF-state when a reflective object of a size 200mm x 200mm is placed as close as practical in front of the sensing surface of the emitting/receiving element(s).

The reflective objects considered shall consist of:

- a flat reflective surface conforming to the requirements for retro-reflection of EN 471:2003 class 2 or equivalent;

NOTE 2 Table 5 in EN 471:2003 defines the minimum coefficient of retro-reflection for class 2 material as $330 \text{ cd lx}^{-1} \text{ m}^{-2}$ with an entrance angle of 5° and an observation angle of $0,2^\circ$ ($12'$).

The analysis of electro optical subsystem describe in clause 5.2.12.1 shall determine if a size of the reflective surface greater than those specified above is needed.

Additional functional tests:

5.2.13 Wavelength

The transmitted wavelength shall be verified either by inspection of the device data sheets or by measurement.

5.2.14 Radiation intensity

The radiation intensity shall be verified by measurement in accordance with IEC 60825-1 or IEC 62471 and inspection of the technical documentation provided by the supplier.

NOTE Simplified testing methods for verification of this requirement are being developed.

5.4 Environmental tests

Additional environmental tests:

5.4.6 Light interference

5.4.6.1 General

Each test shall be carried out at an operating distance of 3 m (or the closest normal operating distance to 3 m as specified by the supplier) and under the stated conditions as a minimum requirement. Additional tests shall be carried out under different combinations of operating distances and environmental conditions when:

- the supplier states higher immunity levels, which shall be verified by testing at those levels with appropriate light sources; and/or
- the analysis of 5.2.12.1 shows such tests to be necessary.

During B tests and C tests, the test piece shall be introduced into the detection zone in such a manner that the interfering light is not interrupted.

For the tests in 5.4.6.4, the system shall be optimally aligned in accordance with the manufacturer's instructions. The tests in 5.4.6.5, 5.4.6.6 and 5.4.6.7 require that the interfering light be directed along the optical axis (or as close as practical) of a receiving element(s) and with the emitting element(s) at maximum angular misalignment at which normal operation

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

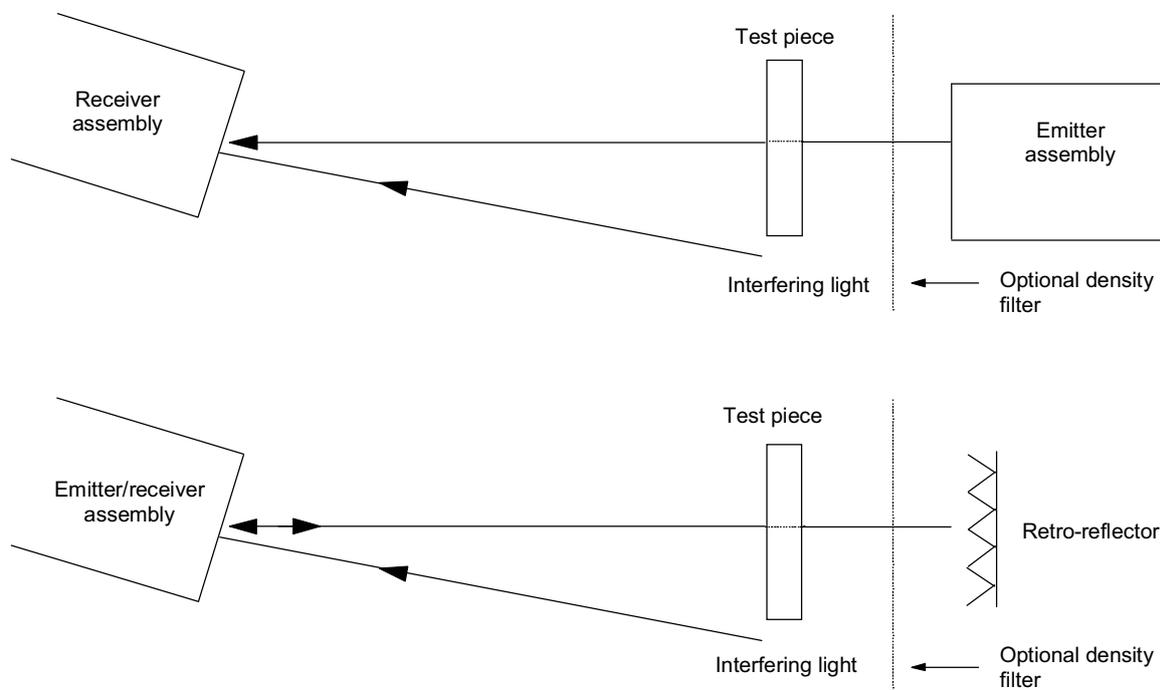
continues (worst-case alignment). The test arrangement used shall be compatible with the characteristics of the AOPD under test, as determined by the analysis and tests of 5.2.12.1 and 5.2.12.2.1, and any further analysis and characterization which proves to be necessary (see Figures 20, 21, 22, 23 and 24 for examples).

NOTE 1 As a result of the diversity of designs, no single test arrangement is suitable for all types of AOPD. An example of a test configuration is illustrated in Figure 21.

NOTE 2 During the tests, long-range operation may be simulated by density filters, as illustrated in Figure 21, providing that results are not affected.

NOTE 3 If a density filter is used, then all tests should be performed after the filter is installed.

The test arrangement shall not modify the characteristics of the light reaching the receiving elements of the AOPD in any way that affects the operation of the AOPD. Where reflectors, mirrors, filters, beam splitters, windows, etc. are employed, it shall be verified that any alteration of the characteristics of the light (for example spectral distribution or polarization) is without significant effect.

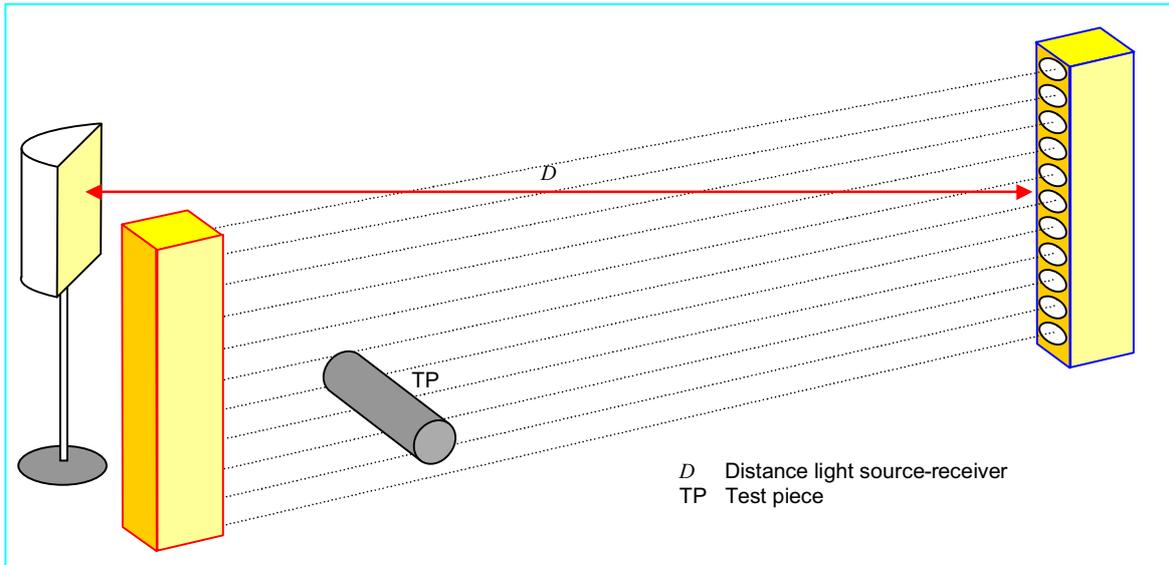


IEC 2498/05

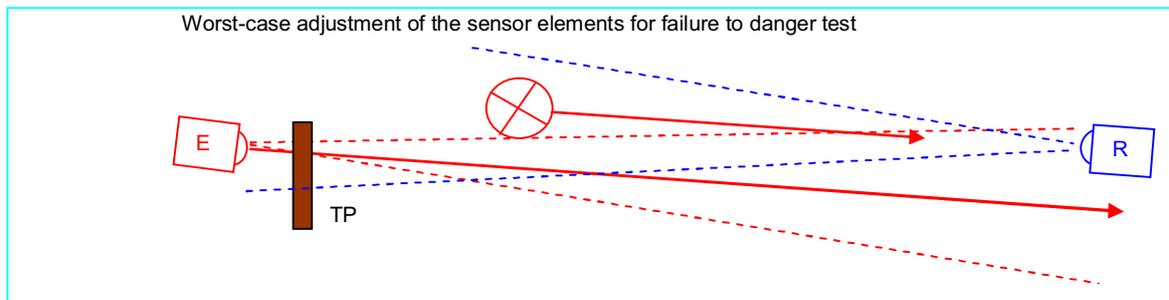
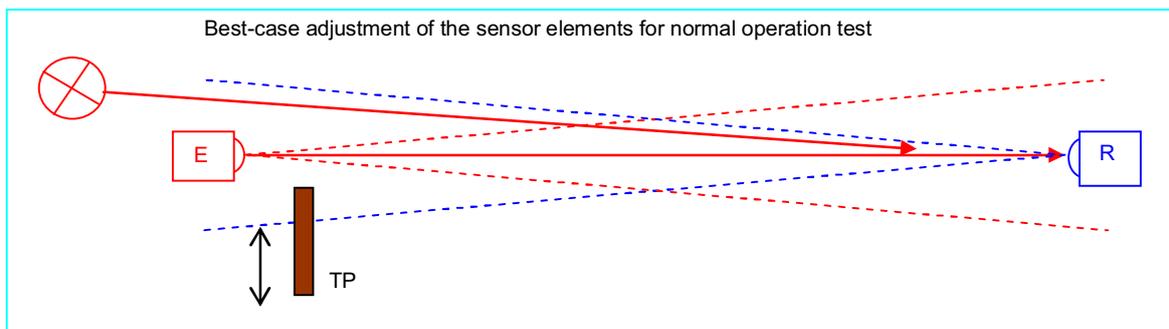
NOTE 1 Receiver or emitter/receiver assemblies are operated at maximum possible misalignment for fail to danger tests.

NOTE 2 Density filters may affect polarization.

Figure 21 – Light interference test – Direct method



The distance between emitter and receiver is 3 m.
For the distance D between receiver and light source, see the table below.



IEC 2499/05

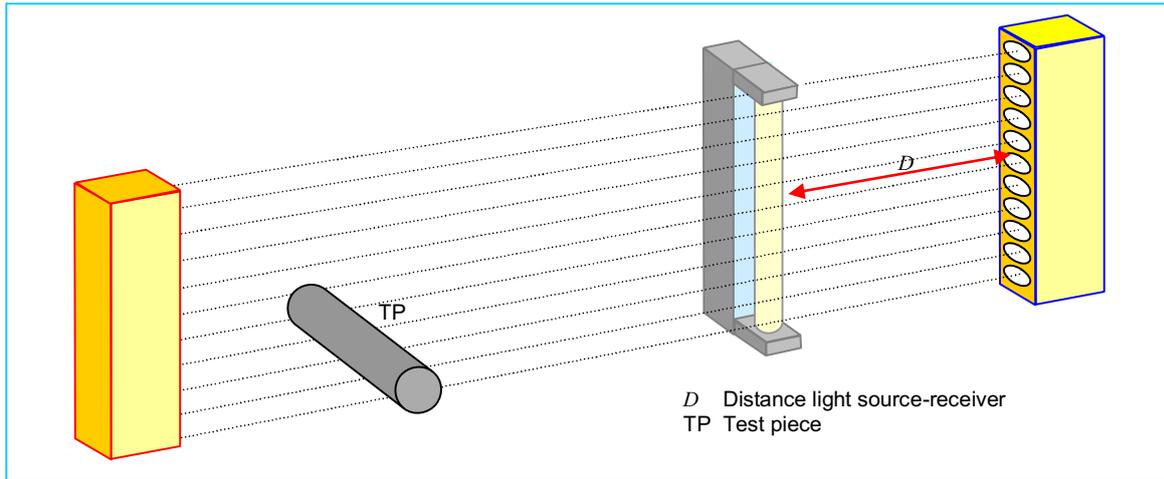
Test parameters

Distance (D)	Lux	
2 m ^a	3 000	Distance for fail to danger test.
3 m ^a	1 500	Distance for normal operation test.

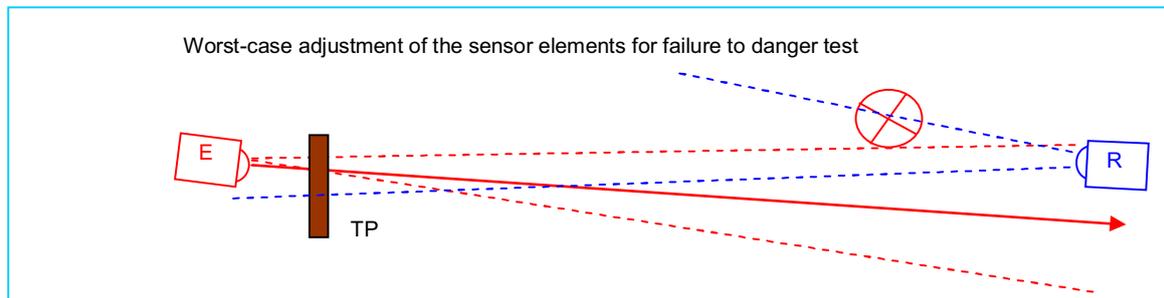
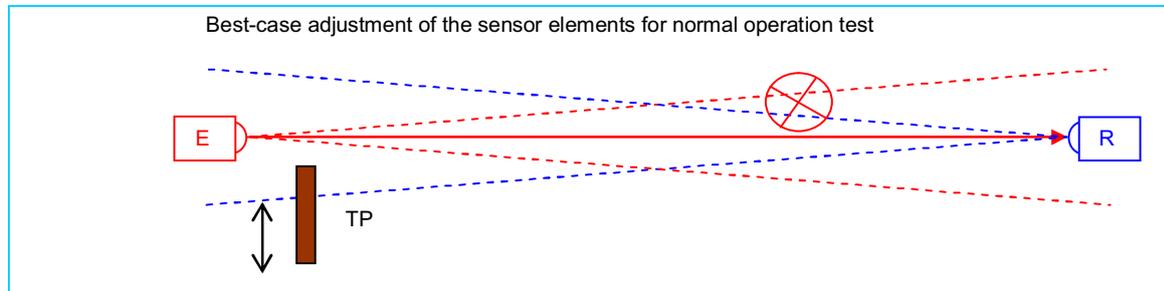
^a The exact distances depend on the lamp type.

Figure 22 – Light interference test – Test set-up with halogen light source

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05



The distance between emitter and receiver is 3 m.
For the distance D between receiver and light source, see the table below.



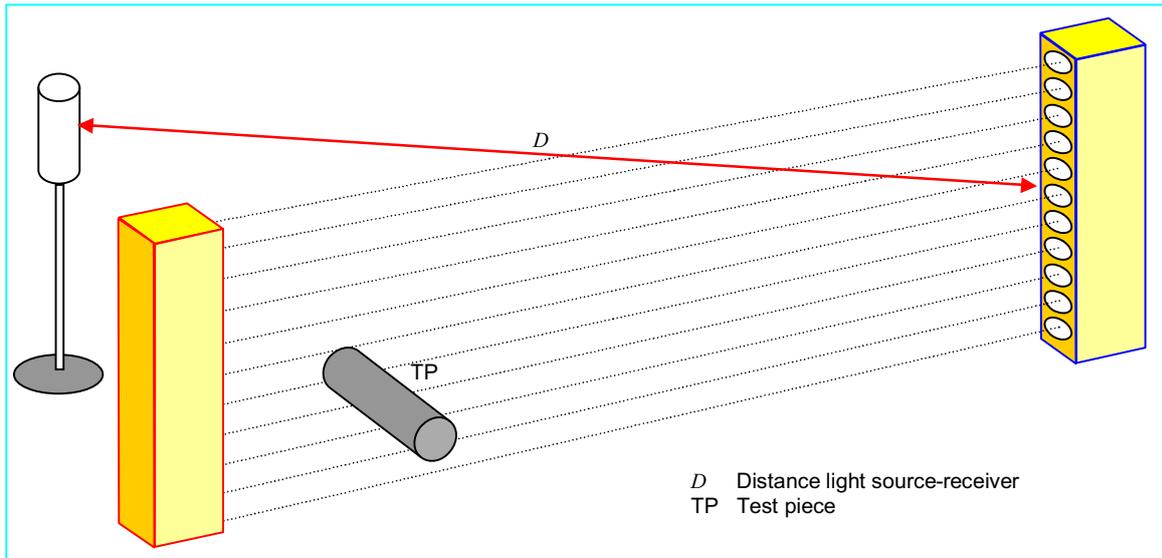
IEC 2500/05

Test parameters

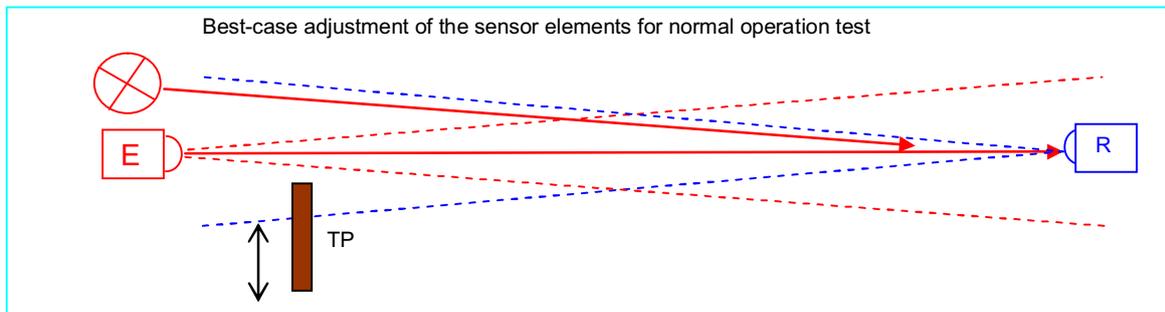
Distance (D)	Lux	
12 cm ^a	3 000	Distance for fail to danger test.
21 cm ^a	1 500	Distance for normal operation test.

^a The exact distances depend on the lamp type.

Figure 23 – Light interference test – Test set-up with fluorescent light source



The distance between emitter and receiver is 3 m.
 For the distance D between receiver and light source, see the table below.



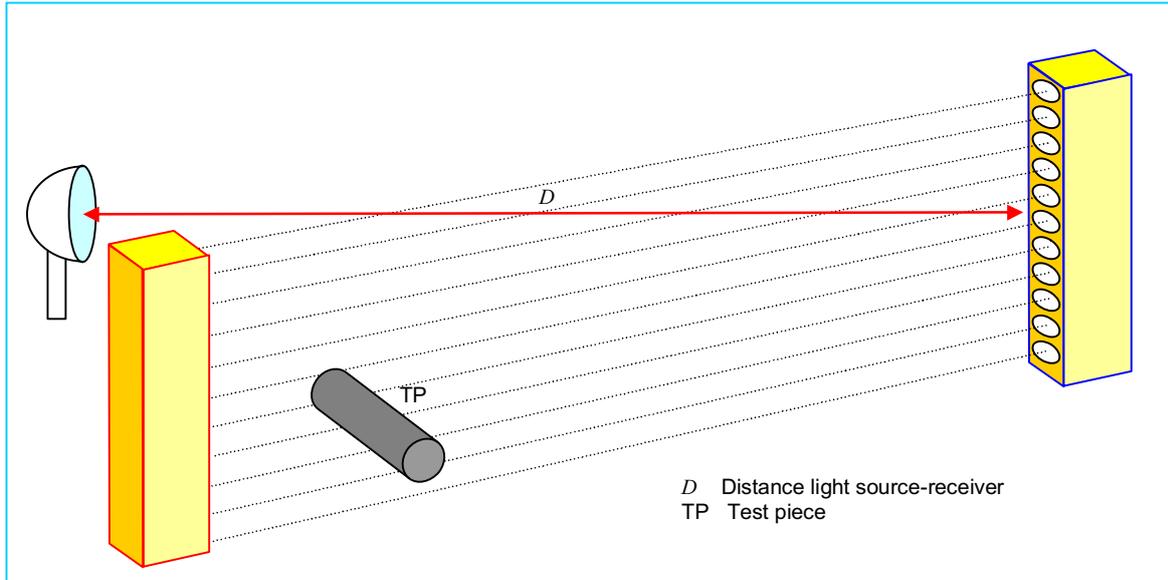
IEC 2501/05

Test parameters

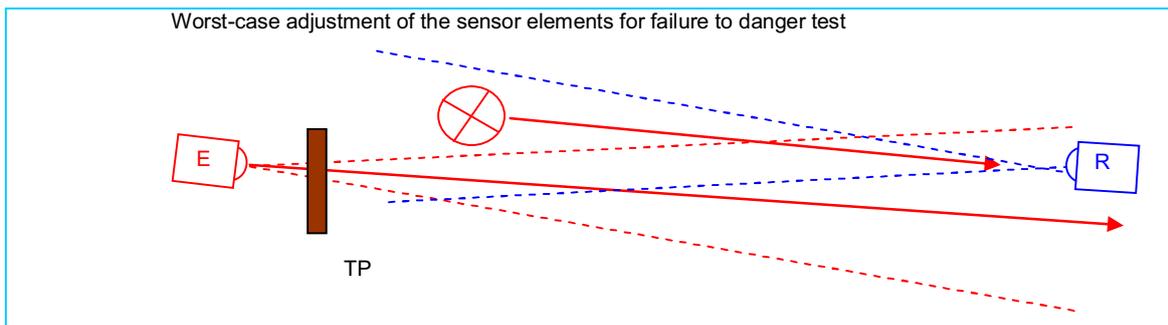
Distance (D)	
3,0 m	Distance for normal operation tests

Figure 24 – Light interference test – Test set-up with xenon flashing beacon

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05



The distance between emitter and receiver is 3 m.
For the distance D between receiver and light source, see the table below



IEC 2502/05

Test parameters

Distance (D)	
1,0 m	Distance for fail to danger test

Figure 25 – Light interference test – Test set-up with strobe lamp

5.4.6.2 Light sources

The light sources shall be as follows.

a) **Incandescent light source:** a linear tungsten halogen (quartz) lamp with the following characteristics:

- colour temperature: 3 000 K to 3 200 K;
- input power: 500 W to 1 kW rated power;
- rated voltage: any value within the range 100 V to 250 V;
- supply voltage: rated voltage $\pm 5\%$, sinusoidal a.c. at 48 Hz to 62 Hz;
- length: 150 mm to 250 mm nominal.

The lamp shall be mounted in a parabolic reflector of minimum dimensions 200 mm \times 150 mm, having a diffuse finish and a uniform reflectance within $\pm 5\%$ over the wavelength range 400 nm to 1 500 nm.

NOTE A lamp with a diffuse finished front window is also acceptable. This source produces a beam of near uniform intensity with known spectral distribution and having a predictable modulation at twice the supply frequency. It is used to simulate both sunlight and workplace incandescent lighting.

b) **Fluorescent light source:** a linear fluorescent tube with the following characteristics:

- size: T8 \times 600 mm (26 mm nominal diameter);
- rated power: 18 W to 20 W;
- colour temperature: 5 000 K to 6 000 K, used in combination with an electronic ballast having the following characteristics:
- operating frequency: 30 kHz to 40 kHz;
- power rating corresponding to the tube and operated at its rated supply voltage $\pm 5\%$, without a reflector or diffuser.

c) **Flashing beacon light source:** a light source employing a xenon flash tube (without enclosure, reflector or filter) having the following characteristics:

- flash duration: between 40 μ s and 1200 μ s (measured to the half-intensity point);
- flash frequency: between 0,5 Hz and 2 Hz;
- input energy per flash: 3 J to 5 J.

d) **Stroboscopic light source:** a stroboscope employing a xenon flash tube (without enclosure, reflector or filter) having the following characteristics:

- flash duration: from 5 μ s to 30 μ s (measured to the half-intensity point);
- flash frequency: 5 Hz to 200 Hz (adjustable range);
- input energy per flash: 0,05 J (at 200 Hz) to 0,5 J (at 5 Hz).

The position of the flash tube shall be fixed during the test.

5.4.6.3 Test sequences

NOTE The A, B, and C tests below are defined in IEC 61496-1:2004, 5.2.3.

Test sequence 1:

- 1 – OSSDs of the ESPE in on-state
- 2 – Switch on interfering light (the OSSDs shall remain in on-state)
- 3 – B test
- 4 – Switch off ESPE for 5 s. Restore power. Clear the start interlock, if fitted

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

- 5 – B test
- 6 – Switch off interfering light
- 7 – B test

Test sequence 2:

- 1 – OSSDs of the ESPE in on-state
- 2 – Switch on interfering light
- 3 – C tests repetitively for 1 min
- 4 – Switch off ESPE for 5 s. Restore power. Clear the start interlock, if fitted
- 5 – C tests repetitively for 1 min
- 6 – Switch off interfering light
- 7 – C tests repetitively for 1 min

Test sequence 3:

- 1 – OSSDs of the ESPE in on-state
- 2 – Switch on the interfering light
- 3 – C tests repetitively for 3 min

5.4.6.4 Normal operation (best alignment)

The ESPE shall continue in normal operation throughout test sequence 1 in 5.4.6.3 using each of the following types of interfering light, directed along the optical axis of one or more receiving elements:

- the incandescent light source of 5.4.6.2 producing a light intensity of 1 500 lux measured at the plane of the receiving element(s) (Figure 22);
- the flashing beacon light source of 5.4.6.2 shall be placed at distance of 3 m within the aperture of the receiving element(s) for 1 min (Figure 24);
- the fluorescent light source of 5.4.6.2 producing an intensity of 1 500 lux at the plane of the receiving element(s) (Figure 23). This test shall be performed with three variations, using light from the centre and light from each end (anode and cathode areas) of the tube.

NOTE One objective of the test using the fluorescent light source is to check the susceptibility of the AOPD to high-frequency modulated optical radiation.

5.4.6.5 Failure to danger – Incandescent light (3 000 lux and worst-case alignment)

There shall be no failure to danger during test sequence 2 of 5.4.6.3 using the incandescent light source of 5.4.6.2 directed along the optical axis of one or more receiving elements, producing a light intensity of 3 000 lux \pm 300 lux, measured at the plane of the receiving elements (Figure 21).

5.4.6.6 Failure to danger – Stroboscopic light (worst-case alignment)

There shall be no failure to danger during test sequence 3 of 5.4.6.3 using the stroboscopic light source of 5.4.6.2 directed along the optical axis of one or more receiving elements (Figure 25). The flash rate of the source shall be increased linearly from 5 Hz to 200 Hz over a period of 3 min, during which time the C test shall be continuously repeated.

5.4.6.7 Failure to danger – Fluorescent light (3 000 lux and worst-case alignment)

There shall be no failure to danger with the radiation of the fluorescent light source of 5.4.6.2 producing an intensity of 3 000 lux at the plane of the receiving element(s) (Figure 23). This test shall be performed with three variations, using light from the centre and light from each end (anode and cathode areas) of the tube. Test sequence 2 of 5.4.6.3 shall be used.

5.4.6.8 Failure to danger – Interfering light from an emitting element of identical design

There shall be no failure to danger of a type 4 ESPE when the radiation from the emitting elements of an AOPD of identical design is directed towards the receiving elements of the AOPD under test, either directly or via the retro-reflector target if used. A minimum of six positions shall be selected, representative of worst-case conditions as determined by the analysis of 5.2.12.1. The AOPD shall operate at the maximum working distance specified by the supplier. Test sequence 3 of 5.4.6.3 shall be used. Either the test piece shall be detected or the OSSD(s) shall go to the OFF-state.

Where different codes are provided by the manufacturer to prevent interference, these codes may be used in accordance with the manufacturer's instructions during the performance of these tests.

NOTE Based on the analysis, the most critical combination may require that tests are performed on AOPDs of different size and detection capability.

6 Marking for identification and safe use

This clause of Part 1 is applicable except as follows:

6.1 General

Addition:

Add to b):

- When separate parts of the AOPD have different detection capabilities, those parts and their detection capabilities shall be marked on the outside of the AOPD. When that is not practicable (for example, due to lack of space), the information shall be included in the accompanying documents.
- The minimum and maximum operating distances shall be marked.
- Should the OSSD be able to go to the ON-state when the receiving elements and the emitting elements are incorrectly mounted, i.e. 180° misalignment, the AOPD shall be marked so that the correct mounting position relative to each other is clearly identified.
- For light curtains, the limits of the detection zone shall be clearly marked.
- Marking shall be provided to indicate the beam centre-line(s).

NOTE The beam centre-line(s) is one of the factors used to determine the position of the AOPD.

7 Accompanying documents

This clause of Part 1 is applicable except as follows:

Additions:

Add to f):

When different parts of the AOPD have different detection capabilities, the size of the test piece for each different part together with the different detection capabilities shall be given together with the corresponding procedure for checking the detection capabilities and the operation of the visual indicator(s). Information about the size of an object that will never be detected should also be provided.

Add to i):

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

The details of any precautions to be taken when installing the AOPD shall be given, including the EAA(s) of the specified device(s), together with any other relevant installation drawings giving details on how the AOPD detection capability may be affected by any reflective surfaces on or near the machine or on the material being worked.

Add to v):

Details of the penetration of the test piece into the detection zone that is necessary to ensure actuation of the sensing device, for all possible directions of approach, in relation to an identifiable datum on the AOPD (for example beam centre-line(s)) shall be given.

The maximum speed of movement of the test piece, or equivalent up to which the detection capability is maintained, shall be given.

When the AOPD is provided with means for adjustment of the spatial position of the light curtain, the range of adjustments and the corresponding position of the detection zone shall be shown in diagrammatic form in the accompanying documents. For a light curtain, clearly legible drawings shall be provided to ensure that emitting elements and receiving elements are correctly mounted with respect to each other, particularly to avoid 180° misalignment.

Add to ff):

If a particular form of light radiation is known to interfere with the AOPD, a statement similar to the following shall be included: "Additional measures may be necessary to ensure that the AOPD does not fail to danger when this form of light radiation is present in a particular application (for example, use of cableless control devices on cranes, radiation from weld spatter or effects from stroboscopic lights)."

Additions:

- oo) Information on how to calculate the minimum distances in accordance with ISO 13855 when blanking is implemented. Explain that when blanking is used, the minimum distance should always relate to the minimum (worst-case) object detection capability.
- pp) Information can be found in IEC/TS 62046 describing additional means that may be required to prevent access to the hazard zone through the blanked areas of the detection zone (including effects of reflective surfaces).
- qq) Recommendation that a responsible person verifies the detection zone using an appropriate test piece after its configuration.
- rr) appropriate instruction on how to minimize light interference from an emitting element of identical design.
- ss) the manufacturer shall inform about procedures for permanent fixing of retroreflectors as part of the AOPD.

Annex A

(normative)

Optional functions of the ESPE

Annex A of Part 1 applies except as follows.

A.1 General

Add to the indented list of optional functions:

- blanking (see Clause A.9):
- reduced resolution (see Clause A.10):

Addition:

A.9 Blanking

A.9.1 General

Blanking is an optional feature provided for AOPDs, which allows masking of one or more areas, each of a defined size, either locally fixed (Fixed Blanking) or movable (Floating Blanking) in the detection zone. In this way attached objects or machine parts can be masked and not be detected by the AOPD. The stated optical resolution and the detection capability outside the blanked areas shall remain unchanged.

A.9.2 Functional requirements

Blanked beams shall be monitored for continued interruption of light.

Note 1 On this way it shall be ensured, that the blanked areas of the detection zone are obstructed to the extent possible by mechanical means.

Note 2 It should be taken into consideration that the position of mechanical guards and machine parts can slightly shift due to machine vibration or other influences and therewith affect the number of beams being blanked. This implies that the stated detection capability at the borders of the blanked areas could be reduced by one or more beams.

Configuration and setup of blanked areas (teach-in) shall be carried out by authorized persons only. This shall be assured by the use of key, keyword or tool or by controls located under fixed screwed covers. During the configuration, the OSSD(s) shall be in the OFF-state.

A.9.3 Verification

Verify by inspection and test, that:

- the OSSD(s) go to and remain in the Off-state, when one or more of the blanked beams are unblocked (i.e. verify monitoring);
- the stated detection capability of the AOPD maintained outside the blanked areas, with the exception of a possible reduced detection capability at the borders of the blanked areas;
- configuration of blanking areas is not possible without the use of key, keyword or tool;
- the OSSD(s) are in the Off-state during configuration.

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

A.9.4 Installation requirements

Note This clause A.9.4 is included in this CD for information only. It is intended that this clause will be included in IEC/TS 62046.

Fixed and Floating Blanking create holes in the detection zone of the AOPD, which are needed in some applications. Therefore blanked areas shall be obstructed to the extent possible by mechanical guarding or machine parts in order to prevent access to the hazardous zone through the blanked areas. These means shall be firmly fixed and as far as possible completely fill the blanked area.

After each configuration (teach-in) the effective detection areas shall be verified with a test piece suitable for the stated detection capability.

The safety distance between AOPD and the hazardous zone is determined by the maximum size of the holes created by the blanked not fully obstructed areas and the possible reduced resolution at the borders of the blanked areas.

Only if the access through the blanked areas is completely obstructed and outside the blanked areas the stated detection capability is ensured, the safety distance between AOPD and the hazardous zone is determined by the stated optical resolution of the AOPD.

Detailed information about safeguarding requirements of the blanked areas and the consequences on the safety distance shall be provided in the Installation and Operating Manual.

The allowance to use Fixed or Floating Blanking at safeguarding of machines depends exclusively on the application. It has to be analysed and assessed at each installation within the hazard analysis.

A.10 Reduced Resolution

A.10.1 General

Reduced resolution changes the object sensitivity of the AOPD. It shall ensure, that objects in the detection zone (cables, tubes, e.g.) of a diameter up to a certain size smaller than the detection capability are ignored. Any object equal or larger than the detection capability shall be detected.

Note 1 – for example, a contiguous group of one or more beams can be specified as “don’t care” (i.e. the state of these beams is ignored and is not monitored). Interrupting these beams will not cause the OSSDs to go to the Off-state.

Reduced resolution can be effective over the entire detection zone or partly within defined fixed or moving zones only

Note 2 – When calculating the positioning of the AOPD according to ISO 13855, the selected reduced resolution is used.

A.10.2 Functional requirements

Selection and activation of a reduced resolution other than the stated basic optical resolution of the AOPD shall not be possible without the use of a key, keyword or tool.

During configuration of the detection capability the OSSDs shall remain in the Off-state.

The detection capability of the selected reduced resolution shall be verified with an appropriate test piece. Test pieces for any selectable optical resolution up to 40mm have to be provided by the supplier.

A.10.3 Verification

Verify by inspection and test, that:

- selection and activation of a reduced optical resolution is not possible without the use of a key, keyword or tool;
- the detection capability of any selectable optical resolution is as configured throughout the specified detection field and can be verified with the appropriate test pieces.

A.11 Selection of pre-defined blanking configurations or pre-defined reduced resolution configurations

NOTE The automatic selection of a blanking/reduced resolution configuration(s) is not a muting function (as described in clause A.7 of IEC 61496-1).

A.11.1 Functional requirements for a type 2 AOPD

If an AOPD has more than one blanking/reduced resolution configuration, a single fault shall not lead to an unintended change from one blanking/reduced resolution configuration to another or such a failure shall result in a lock-out condition as a result of a periodic test.

NOTE 1 Where the input selection signals are derived from device(s) external to the AOPD, this device(s) should meet the relevant requirements of other appropriate standards (for example ISO 13849-1, IEC 62061).

Single faults that prevent an intended change from one selected blanking/reduced resolution configuration to another or prevent the activation of an additional blanking/reduced resolution configuration shall cause the AOPD to go to a lock-out condition when a demand requires an activation of another blanking/reduced resolution configuration or an activation of an additional blanking/reduced resolution configuration or as a result of a periodic test. The specified response time(s) shall be maintained in this case or the AOPD shall go to a lock-out condition as a result of a periodic test.

NOTE 2 It is possible that each blanking/reduced resolution configuration has a different response time as specified by the manufacturer.

A.11.2 Functional requirements for a type 4 AOPD

If an AOPD has more than one blanking/reduced resolution configuration, a single fault shall not lead to an unintended change from one blanking/reduced resolution configuration to another. In cases where a single fault which does not cause a failure to danger of the AOPD is not detected, the occurrence of further faults internal to the AOPD shall not cause a failure to danger.

NOTE 1 Where the input selection signals are derived from device(s) external to the AOPD, this device(s) should meet the relevant requirements of other appropriate standards (for example ISO 13849-1, IEC 62061).

Single faults that prevent an intended change from one selected blanking/reduced resolution configuration to another or prevent the activation of an additional blanking/reduced resolution configuration shall cause the AOPD to go to a lock-out condition when a demand requires an activation of another blanking/reduced resolution configuration or an activation of an additional blanking/reduced resolution configuration. The specified response time(s) shall be maintained in this case.

NOTE 2 It is possible that each blanking/reduced resolution configuration has a different response time as specified by the manufacturer.

A.11.3 Verification for a type 2 AOPD

The functional requirements for the selection of blanking/reduced resolution configurations shall be verified as follows.

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Verification that a single fault does not lead to an unintended change from one selected blanking/reduced resolution configuration to another or such a failure results in a lock-out condition as a result of a periodic test. Verification that a single fault does not prevent an intended change from one selected blanking/reduced resolution configuration to another or prevent the activation of an additional blanking/reduced resolution configuration or such a failure results in a lock-out condition as a result of a periodic test.

Verification that common cause failures cannot lead to a deactivation or variation of the blanking/reduced resolution configurations.

Verification that the specified response time of the AOPD is maintained in the case of switching between different blanking/reduced resolution configurations or the AOPD goes to a lock-out condition as a result of a periodic test.

NOTE It is necessary to consider that persons may already be within the detection zone at the moment of switching between different blanking/reduced resolution configurations.

A.11.4 Verification for a type 4 AOPD

The functional requirements for the selection of blanking/reduced resolution configurations shall be verified as follows.

Verification that a single fault does not lead to an unintended change from one selected blanking/reduced resolution configuration to another. Verification that a single fault does not prevent an intended change from one selected blanking/reduced resolution configuration to another or prevent the activation of an additional blanking/reduced resolution configuration. Verification, that further faults will not lead to a failure to danger, shall be carried out according to Part 1, 5.3.5.

Verification that common cause failures cannot lead to a deactivation or modification of the blanking/reduced resolution configurations.

Verification that the specified response time of the AOPD is maintained in the case of switching between different blanking/reduced resolution configurations.

NOTE It is necessary to consider that persons may already be within the detection zone at the moment of switching between different blanking/reduced resolution configurations.

Annex B
(normative)

**Catalogue of single faults affecting the electrical equipment of the ESPE, to
be applied as specified in 5.3**

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

Annex D (informative)

Type 2 AOPD Periodic Test Configurations

D.1 ee - configurations for a type 2 AOPD.

The test is externally initiated and the safety related performance is externally evaluated.



Figure D.1 – Single beam sensing device

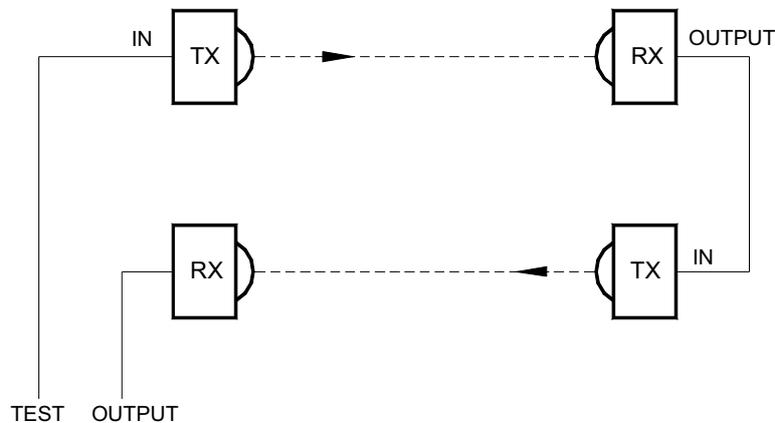


Figure D.2 – Series connection of single beam sensing devices

E DIN EN 61496-2 (VDE 0113-202):2011-05

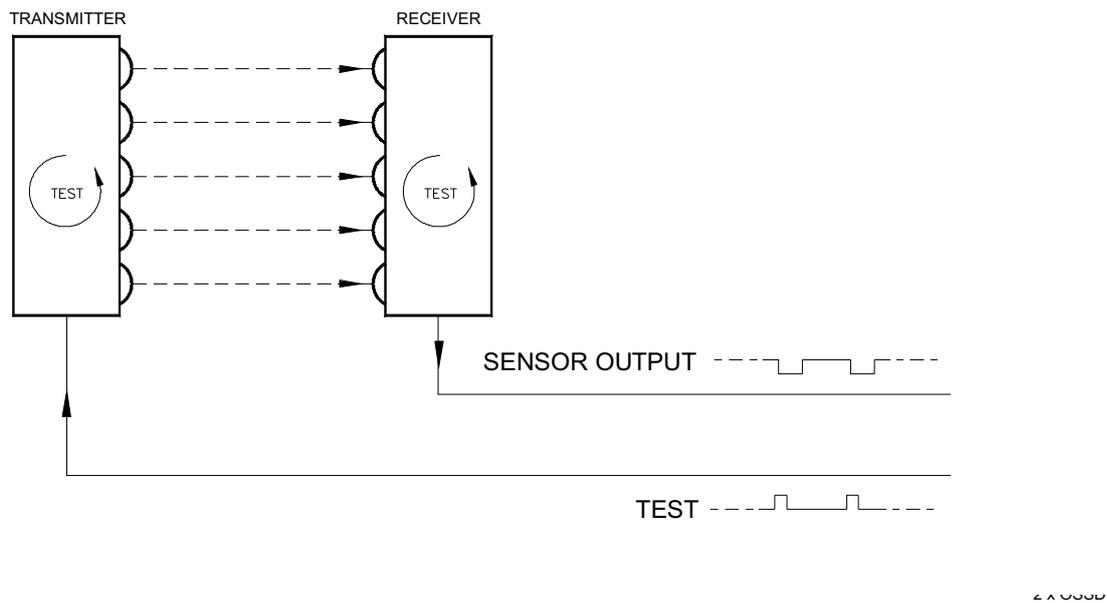


Figure D.3 – Assembly of multiple beams tested individually

D.2 ii - configuration for type 2 AOPD

The test is internally initiated and the safety related performance is internally evaluated.

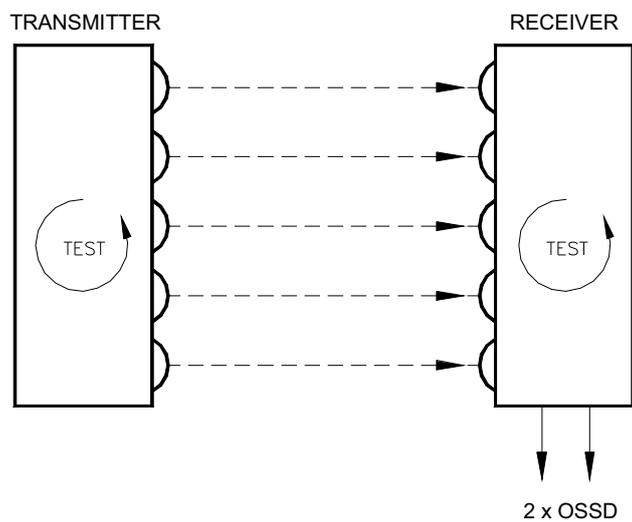


Figure D.4 – Example of Type 2 AOPD assembly

NOTE other configurations are possible.

Bibliography

The bibliography of Part 1 is applicable.

Index

This index lists, in alphabetical order, the terms and acronyms defined in Clause 3 and indicates where they are used in the text of this part.

A

active opto-electronic protective device (AOPD) 3.201, used throughout this standard

B

beam centre-line 3.202, 3.3, 4.1.2.1, 5.2.9.1.1, 6.1b), 7v), Tables D.1 and D.2, D.3.1, E

D

detection capability 3.3, 3.205, **3.206**, 3.207, 4.1.2.1, 4.2.2.3, 4.2.12, 4.2.13, 5.2.1, 6.1b), 7f), 7i), 7v), 7mm), A.9, C.1, E

E

effective aperture angle (EAA) **3.203**, 4.1.2.2, 5.2.9.1.2, 5.2.9.2, 7i), Figures 2, 6, and 7, C.1, C.2, D.1

G

geometrically restricted optical design (GROD) **3.208**, Table 1, 5.2.12.2, 5.2.12.2.1, 5.2.12.2.2,

L

light beam device **3.204**, 3.201, 3.3, 4.1.2.1, 4.1.2.3, 5.2.1.1, 5.2.1.3, C.1

light curtain **3.205**, 3.3, 4.1.2.1, 4.1.2.3, 4.2.13, 5.1.1.2, 5.2.1.1, 5.2.1.3, 6.1b), 7v)

M

monitored blanking **3.207**, A.9

T

test piece **3.206**, 3.3, 4.1.2.1, 4.1.2.3, 4.1.2.4, 4.2.13, 5.1, 5.2.1.1, 5.2.1.3, 5.4.6.1, 5.4.6.8, 7f), 7v), 7oo), Figures 3, 4 and 5, A.9, D.3.1, E