

Sehende Überwachungen

Erste geprüfte Kamerasysteme als Schutzeinrichtungen zur Überwachung von Schutzräumen an Maschinen und Anlagen

Berthold Heinke, Düsseldorf, und Thomas Bömer, Sankt Augustin

Kamerasysteme für produktionstechnische Aufgaben oder Überwachungsaufgaben im industriellen Umfeld einzusetzen, kann heutzutage in vielen Bereichen nicht mehr als Neuerung betrachtet werden. Zwangsläufig stellt sich die Frage, ob Kamerasysteme nicht auch als Schutzeinrichtungen zum Schutz von Menschen einsetzbar sind. Antworten auf neue Fragestellungen zu finden, ist Teil berufsgenossenschaftlicher Präventionsarbeit und erfolgt z. B. im Rahmen von Grundsatzuntersuchungen und produktbezogenen entwicklungsbegleitenden Prüfungen. Die beiden ersten für den universellen Einsatz geeigneten zertifizierten Kamerasysteme befinden sich inzwischen auf dem Markt.

Bei der Absicherung von Gefahrstellen und -bereichen an Maschinen und Anlagen werden häufig Systeme wie „trennende verriegelte Schutzeinrichtungen“ (z. B. Umzäunung mit steuerungstechnisch abgesicherten Zugängen) oder auch sog. „nicht trennende Schutzeinrichtungen“ verwendet. Diese sind häufig als optische Schutzeinrichtungen in Form von Lichtschranken, Lichtgittern oder auch Laserscannern realisiert. Die Motivation, Kamerasysteme zur Überwachung von Schutzräumen an Maschinen und Anlagen einzusetzen zu wollen, lässt sich u. a. aus folgenden Gründen erklären:

- Ein Kamerasystem ist ein kostengünstiger Sensor,
- mit nur einer Schutzeinrichtung lassen sich große Bereiche überwachen,
- Kamerasysteme bieten Flexibilität – Schutz- und Warnzonen könnten individuell konfiguriert und zur Laufzeit umgeschaltet werden,
- Kamerasysteme könnten anstatt Ebenen, wie sie z. B. Laserscanner beherrschen, Räume überwachen,
- Kamerasysteme könnten zwischen Produktionsgut und Mensch unterscheiden – sie ermöglichen damit ein sog. automatisches Muting ohne zusätzliche Sensoren,
- Abschalt Szenarien sind visuell überprüfbar; dies hilft die Verfügbarkeit einer Maschine/Anlage zu erhöhen,
- ausreichend schnelle Kamerasysteme ermöglichen weitere Entwicklungen auf dem Bereich einer engen Zusammenarbeit von Mensch und Roboter (diese wird nach DIN EN ISO 10218-1 „kollaborierender Betrieb“ genannt).

„Konventionelle“ Kameratechnik kann nicht bzw. nicht ohne Weiteres für die Realisierung von Schutzeinrichtungen eingesetzt werden. So erfolgen u. a. Bilderfassung und -auswertung nicht sicherheitsgerichtet im Sinne einer Fehlerbetrachtung nach der Maschinenrichtlinie und relevanten Normen. Auch die sog. Detektionssicherheit, d. h. das Vermögen unter allen anzunehmenden Einflüssen die vorgesehene Erkennung des gesamten Menschen oder Körperteilen zu erreichen, wird nicht ausreichend sein. Implementierte Algorithmen und Softwarefilter – letztendlich die gesamte Software – sind nicht nach den Maßstäben für ein sicheres Produkt entwickelt worden.

Ein Kamerasystem für sicherheitstechnische Aufgaben muss Bilder sicher erfassen, auswerten und sicherheitsgerichtet so verarbeiten, dass hieraus notwendige Reaktionen in der nachgeordneten Maschinensteuerung erfolgen können. Die Anforderungen zur Elektronik unterscheiden sich hierbei nicht generell von den Anforderungen an Sicherheitsbussysteme oder eine Sicherheits-SPS. Die Bilderfassung sowie die notwendige Bildverarbeitung und die Bildauswertung erfordern jedoch den Einsatz von Algorithmen, die bisher noch nicht in der Sicherheitstechnik verwendet wurden. Darüber hinaus sind die „Umwelteinflüsse“ derart zu berücksichtigen, dass Sicherheit und Verfügbarkeit gleichermaßen gewährleistet werden. Dazu gehören natürlich bei einem optischen System primär Fremdlicht in allen Variationen, aber auch zunächst nicht naheliegende Einflüsse, wie Schattenwurf von bewegten Ob-

jekten und „Fliegendreck“ auf der Linse, wollen berücksichtigt werden. Last but not least muss ein solches Kamerasystem auch noch richtig und sicher konfiguriert werden, sodass vorhandene PC-Oberflächen und die verwendeten Konfigurationsverfahren sicherheitsrelevant werden. In einer Norm müssen alle anzunehmenden Einflüsse berücksichtigt werden – schließlich geht es darum Menschenleben zu schützen.

Motivation gibt es also genug, sich auf Herstellerseite mit dem Thema „sichere Kamerasysteme“ zu befassen. Aus sicherheitstechnischer Sicht bleibt aber zunächst die Frage, welche Anforderungen an solche Schutzeinrichtungen im Detail zu stellen sind und wie die Einhaltung nachgewiesen werden kann. Für bekannte optische Schutzeinrichtungen können die Normen der Reihe DIN EN 61496 angewendet werden. Teil 1 [1] beschreibt allgemeine Anforderungen, die natürlich auch für Kamerasysteme gelten. Bereits 2002 wurde in der internationalen Normung die Erstellung eines weiteren Teils für Kamerasysteme diskutiert. Dieser sollte die relevanten Anforderungen und Prüfverfahren für Kamerasysteme beschreiben. Die installierte Arbeitsgruppe hat nach langen Diskussionen ein eher mageres Ergebnis erreicht. Als sog. Technischer Report wurde IEC/TR 61496-4 [2] erarbeitet und 2007 veröffentlicht. Eine deutsche Übersetzung liegt nicht vor. Die Schwierigkeiten bei der Erstellung des Technischen Reports fingen schon bei der Definition eines Kamerasystems an. Sichere Kamerasysteme suchte man auf dem Markt seinerzeit vergeblich. Als mögliche

technologische Ansätze zur Objekterkennung durch sicherheitsrelevante Kamerasysteme wurden dann folgende identifiziert:

- Verwendung eines regelmäßigen, aktiv erzeugten Musters,
- Verwendung eines regelmäßigen passiven Musters,
- Verwendung des natürlichen Hintergrunds als „Muster“,
- Oberflächentextur zur Unterscheidung zwischen Mensch und Material bzw. Maschine,
- Mehrkamerasysteme, Stereoverfahren,
- PMD-Kameras (3D), siehe z. B. [3],
- aktive Beleuchtung mit Auswertung des Schattenwurfs.

Schwierig gestalteten sich die Diskussionen um allgemeingültige Anforderungen und Prüfverfahren. Zur Vereinfachung beschloss die Arbeitsgruppe daher, sich bei der Erstellung des Technischen Reports auf Geräte zu beschränken, die ein passives Muster verwenden. Auch hierzu ist das Ergebnis eher unbefriedigend, was den Status als nur Technischer Report begründet.

Was dem Normenkreis damals nicht gelang, lässt sich aber durchaus für ein konkretes Kamerasystem im Rahmen der Arbeiten einer akkreditierten und notifizierten Prüfstelle bewerkstelligen. Hersteller und Prüfstelle vereinbaren in solchen Fällen eine entwicklungsbegleitende Prüfung. Die langjährige Erfahrung der beiden Prüfstellen¹⁾ aus anderen Prüfungen, der Mitarbeit in der nationalen, europäischen und internationalen Normung technischer Arbeitsmittel, aber besonders der Praxisbezug machen es möglich, eine sicherheitsgerechte Produktentwicklung im Sinne des Präventionsauftrags sinnvoll zu begleiten. Eine Kernfrage lautet: Was sind die ungünstigsten Bedingungen für eine solche Sicherheitseinrichtung im Betrieb und ist auch unter diesen Bedingungen gewährleistet,

¹⁾ Die Prüf- und Zertifizierungsstellen des Fachausschusses Maschinenbau, Hebezeuge, Hütten- und Walzwerksanlagen (MHHW) und des BGIA – beides notifizierte Stellen unter der Maschinenrichtlinie – haben in den letzten 20 Jahren in Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern elektronische Sicherheitssysteme entwicklungsbegleitend geprüft und zertifiziert. Basis für sicherheitstechnische Anwendungen im Anlagen- und Maschinenbereich waren zum Teil Technologien, die zum Entwicklungszeitpunkt noch als Neuland für die Realisierung sicherheitsrelevanter Aufgabenstellungen anzusehen waren. Hierzu zählen u. a. programmierbare Pressensicherheitssteuerungen, Sicherheitsbussysteme und optoelektronische Schutzeinrichtungen, wie Laserscanner, die allesamt heute in vielen Anwendungen anzutreffen sind.

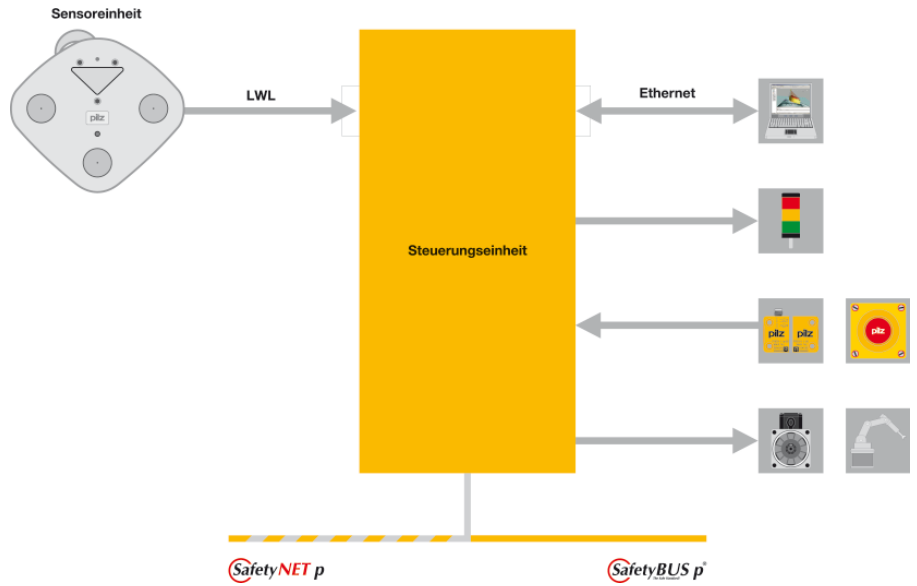


Bild 1 Prinzipieller Aufbau des sicheren Kamerasystems SafetyEYE.

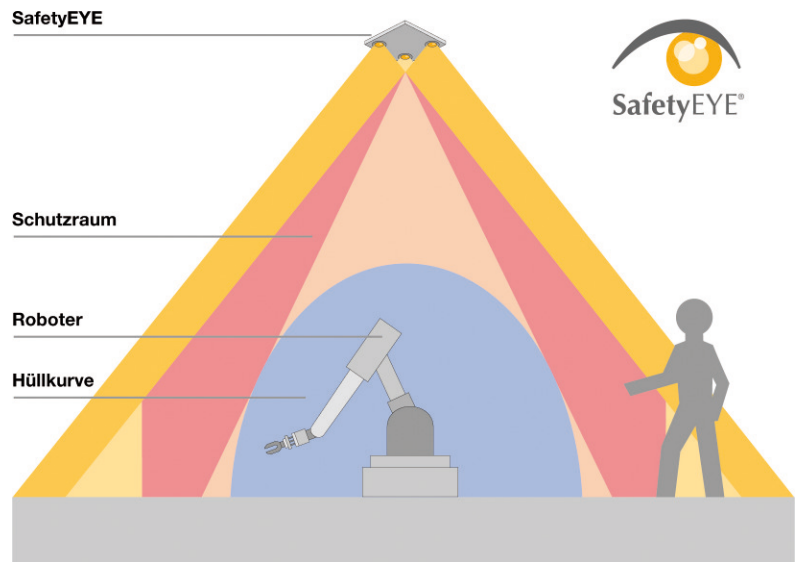


Bild 2 Aufbau der Schutz- und Warnbereiche.

dass der Mensch sicher erkannt wird? Wie prüft man dies letztendlich? Die Prüfung schließt dann auch die Definition und Durchführung umfangreicher optischer Versuche ein, die in einem der im Weiteren beschriebenen Beispiele aus den jeweiligen Produktionsbedingungen von Mitgliedsbetrieben der Maschinenbau- und Metall-BG sowie der Hütten- und Walzwerks-BG abgeleitet wurden. Vor diesem Hintergrund wurden die beiden ersten für den allgemeinen Einsatz vorgesehenen Kamerasysteme von den beiden Prüfstellen baumustergeprüft. Die nachfolgenden Beschreibungen zeigen die sehr unterschiedlichen Ansätze beider Hersteller bei der Realisierung eines sicheren Kamerasystems.

Sicheres Kamerasystem SafetyEYE

Das Kamerasystem der Fa. Pilz GmbH & Co. KG besteht aus drei Basiskomponenten: der Sensoreinheit, einem Hochleistungsrechner sowie einer Sicherheitssteuerung (**Bild 1**). Die Sensoreinheit selbst beinhaltet drei hoch dynamische Kameras und liefert die Bilddaten des zu überwachenden Raums. Die Auswerteeinheit besteht aus einem Hochleistungsrechner, der über Lichtwellenleiter die Bilddaten der Kameras empfängt. Er berechnet anhand intelligenter und sicherer Algorithmen ein dreidimensionales Bild, sodass Objekte räumlich erkannt und ihre Position exakt bestimmt werden können.

Diese Daten werden mit den im System konfigurierten Schutzräumen überlagert,

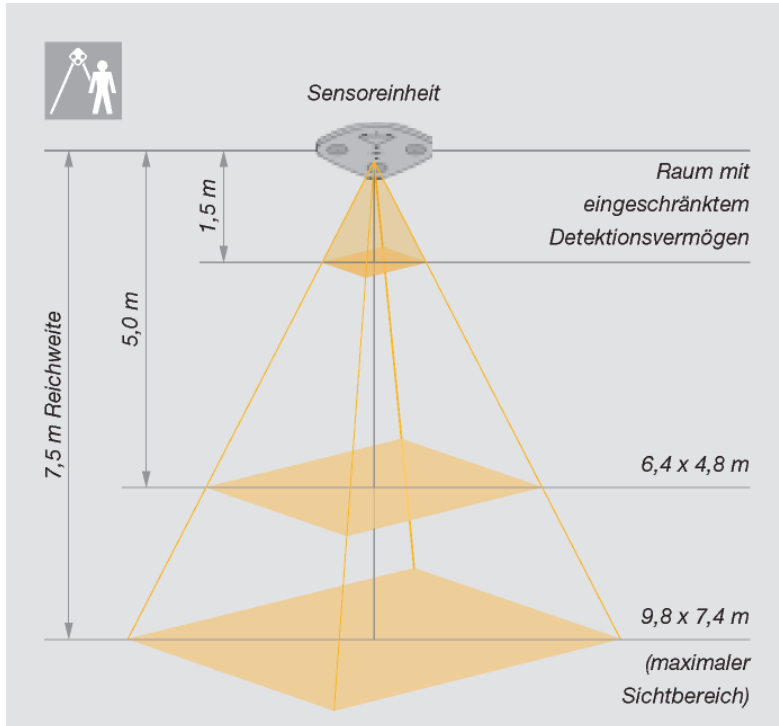


Bild 3 SafetyEye Detektionsvermögen.

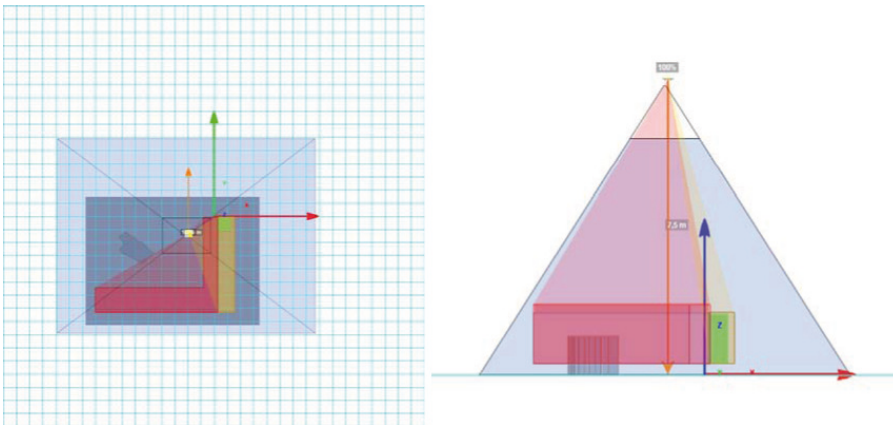


Bild 4 Planung mit dem SafetyEYE Configurator.

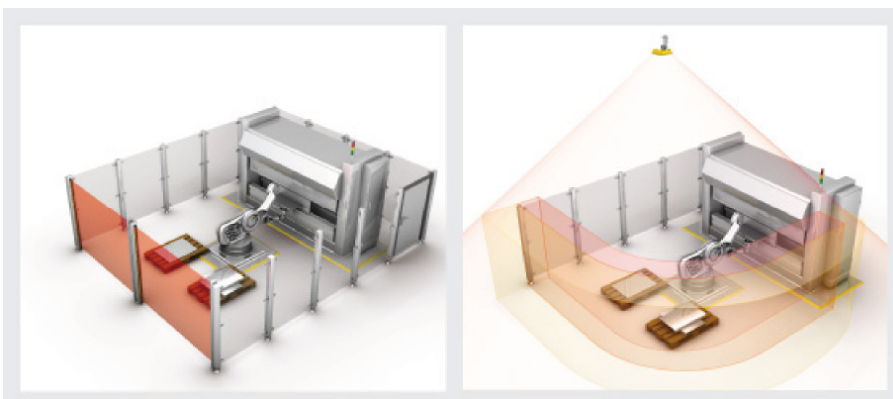


Bild 5 Anwendungsbeispiel SafetyEYE.

Bilder 1 bis 5: Pilz GmbH & Co. KG

sodass berechnet werden kann, ob eine Schutzraumverletzung vorliegt. Die Ergebnisse der Bildverarbeitung werden an eine integrierte Sicherheitssteuerung PSS übergeben, die mit ihren Ein- und Ausgängen als Schnittstelle zur Maschinensteuerung dient und den kompletten Betrieb von SafetyEYE steuert. Bei einer Schutzraumverletzung werden die konfigurierten Ausgänge sicherheitsgerichtet ausgeschaltet. Eine Vernetzung des Kamerasystems innerhalb einer komplexen Anlagen- oder Maschinensteuerung kann über die Sicherheitsbussysteme SafetyBUS p oder Safety-Net p erfolgen.

Neben den Anforderungen an die Bildaufnahme und der sicherheitsgerichteten Verarbeitung ist bei einem Sicherheitskamerasystem insbesondere zu beachten, dass nicht ein zweidimensionales Schutzfeld überwacht wird, sondern – ähnlich wie bei einer Käseglocke – ein dreidimensionales Schutzfeld (**Bild 2**). Hieraus resultieren besondere Anforderungen an das Parametriersystem und an die optische Anzeige des Schutzraums. Ein Bediener kann einen Schutzraum nicht erkennen, da keine „dreidimensionale Markierungen“ vorhanden sind. Es ist somit ein komfortables Parametrierprogramm für die Erstellung dreidimensionaler Schutzräume erforderlich. Die Anforderungen für eine bedienergerechte Umsetzung müssen erprobten Bedienkonzepten vorhandener Maschinen und Anlagen entsprechen (**Bild 3**).

Für die Schutzraumkonfiguration wird eine speziell entwickelte Software verwendet, die es auch ermöglicht, bereits in der Projektierungsphase geometrische Abmessungen der Schutzbereiche mit der tatsächlichen Maschinengeometrie abzugleichen, um Schutz- oder Warnräume zu realisieren und zu parametrieren (**Bild 4**). Schutz- und Warnräume können zu komplexen Raumordnungen zusammengefasst werden. In Abhängigkeit von verschiedenen Betriebsarten einer Maschine können unterschiedliche Raumordnungen während des Arbeitszyklus der Maschine dynamisch über das sichere Bussystem SafetyBUS p oder die digitalen Eingänge der Sicherheitssteuerung PSS umgeschaltet werden.

Grundlegender Sicherheitsaspekt dieses Stereokamerasystems ist die Verwendung von Redundanz. Im Rahmen der Prüfung konnten folgende Klassifizierungen ermittelt werden: Typ 3 nach DIN EN 61496, PL d², Kategorie 3 nach DIN EN ISO 13849-1 und SIL 2 nach IEC 61508. Weitere aktuelle Leistungsdaten sind 210 mm Auflösung (entsprechend dem Körper eines



Bild 6 Kamerasystem V300 WS.

Menschen), 7,5 m maximale Reichweite, sichtbare Fläche 9,8 x 7,4 m² und 240 ms Reaktionszeit.

Anwendungsbeispiel Innenraumüberwachung mit SafetyEYE

Mit den bisher häufig eingesetzten optischen Schutzeinrichtungen wie Lichtschranken, Lichtgitter und Laserscanner lassen sich keine Räume, sondern lediglich Ebenen überwachen. Das geprüfte Kamerasystem kann die Überwachung eines oder sogar mehrerer Gefahrenbereiche mit einem einzigen System, das gleichzeitig die Funktionen „Steuern, Überwachen und sicherheitsgerichtet Schalten“ beinhaltet, übernehmen.

Eine mit dem Kamerasystem SafetyEYE abgesicherte Arbeitsstation beispielsweise wirkt völlig offen (Bild 5). Gitter, Zäune oder Absperrungen sind nicht mehr vorhanden. Die Sensoreinheit überwacht aus der Vogelperspektive die Arbeitsstation und hat den gesamten Gefahrenbereich im Blick. Eventuelle Manipulationen sind damit von vornherein nahezu ausgeschlossen. Über einen Monitor, auf dem die dreidimensionalen Warn- und Schutzfelder als farbige halbtransparente Würfel und Quader dargestellt werden, kann eine Visualisierung erfolgen.

Die Gefahrenbereiche sind in Form einer virtuellen Hüllkurve, die Warn- und Schutzräume einschließt, definiert. Eine Schutzraumverletzung führt nicht automatisch zum Not-Stopp. Beim Verletzen des Schutzraums, indem z. B. ein Mitarbeiter in diesen Raum eintritt, kann über die



Bild 7 Schutzfeldeinrichtung V300 WS.

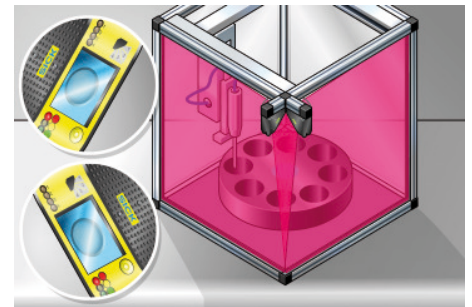
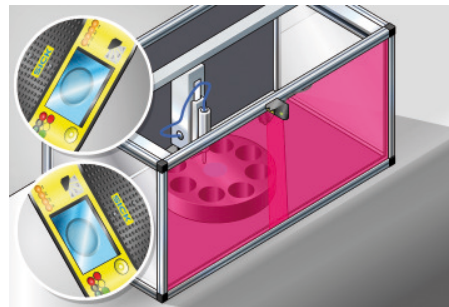
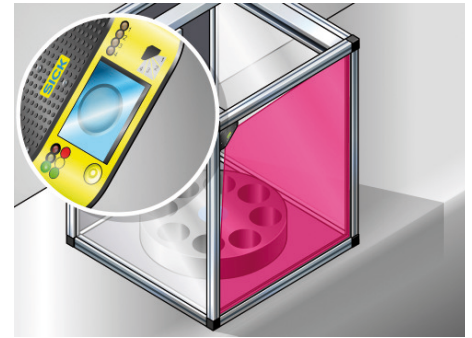


Bild 8 Anwendungsbeispiele V300 WS als Doppelsystem.

Bilder 6 bis 8: Fa. Sick AG

Steuerungstechnik die Ersatzmaßnahme „Reduzierte Geschwindigkeit“ eingeleitet werden. Bei anschließendem Verlassen des Schutzfelds kann mit normaler Geschwindigkeit weitergearbeitet werden. Nur wenn der Mitarbeiter den unmittelbaren Gefahrenbereich betritt, erfolgt ein Not-Stopp. Somit kann mit einem sicheren Kamerasystem eine passgenaue und flexible Anlagensteuerung und -absicherung erfolgen.

Sicheres Kamerasystem V300 Work Station

Beim V300 WS der Fa. Sick AG sind alle Komponenten des Kamerasystems in einem kompakten dreieckigen Gehäuse integriert, das z. B. in einer Ecke des Rahmens einer Arbeitsstation installiert wird (Bild 6). Die LEDs für die „unsichtbare“ Beleuchtung und das Kameraobjektiv sind zentral angeordnet, mehrere Anzeigen signalisieren den Zustand der Schutzeinrichtung. Um die Schutzfunktion zu realisieren, muss lediglich noch ein Reflektorband an der gegenüberliegenden Seite des Rahmens angebracht und der Sensor mit der Maschinensteuerung verbunden werden. Während des Einrichtens erkennt das V300 WS den Reflektor und baut das Schutzfeld in seinem Beobachtungswinkel von 110° selbsttätig auf (Bild 7). Um die garantierte Auflösung von 20 mm für den Handschutz einzuhalten, dürfen die Kantenlängen des Schutzfelds 1 m nicht überschreiten. Damit Sicherheit und Verfügbarkeit im Be-

trieb erhalten bleiben, ist das Seitenverhältnis zusätzlich auf maximal 2:1 beschränkt. Der mittels einer Teach-Taste eingeleitete Einrichtvorgang des Schutzfelds wird durch eine Kontrolle mit einem Prüfstab abgeschlossen. So lassen sich die Schutzfelder mit geringem Aufwand und ohne aufwendige Ausrichtarbeiten einrichten.

Das im V300 WS verwendete Sicherheitsprinzip erwartet freie Sicht auf den Reflektor. Ist dies nicht gegeben, weil eine Person bei laufender Maschine in die Maschine greift oder der Reflektor verschmutzt bzw. beschädigt ist, signalisiert das V300 WS der Maschinensteuerung, innerhalb von 20 ms eine sicherheitsgerichtete Reaktion einzuleiten – diese wird i. d. R. das Stillsetzen der Maschine sein. So einfach diese Aufgabe klingen mag, für die Sicherheit sind alle möglichen im betrieblichen Alltag vorstellbaren Einflüsse berücksichtigt. Wie für diese Art von Sicherheitsprodukten üblich, schließt dies auch das Auftreten von Fehlern in der Hardware ein, die durch intelligente Selbsttestmaßnahmen aufgedeckt werden.

Im Rahmen der Prüfung konnten folgende Klassifizierungen ermittelt werden: Typ 3 nach DIN EN 61496, PL d, Kategorie 3 nach DIN EN ISO 13849-1 und SIL 2 nach IEC 61508. Weitere aktuelle Leistungsdaten sind 20 mm Auflösung, 1 m maximale Breite bzw. Länge des Schutzfelds und 20 ms Reaktionszeit. Die Gerätevariante

²⁾ PL und SIL sind übliche Klassifikationsschemata in Normen, die sicherheitsbezogene steuerungstechnische Anforderungen beschreiben. Erläuterungen zum Performance Level (PL) und Safety Integrity Level (SIL) gibt z. B. ein Report des BGIA [4].

mit der Bezeichnung V200 ist wie folgt klassifiziert: Typ 2 nach DIN EN 61496, PL c, Kategorie 2 nach DIN EN ISO 13849-1 und SIL 1 nach IEC 61508.

Anwendungsbeispiele mit zwei V300 WS-Systemen

Können die Gefahrstellen im Einsatzgebiet von Montage-, Handhabungs- und Industrierobotern, Prüfmaschinen sowie anderen manuell bedienbaren Arbeitsstationen von den Dimensionen nicht so beschränkt werden, dass ein einzelnes V300 WS die Schutzfunktion übernehmen kann, bietet sich eine Kombination von zwei Geräten an. Diese müssen nur über einen vorhandenen Synchronisationseingang verbunden werden.

Ausblick

Was lange als Vision angesehen wurde, ist in der Realität angekommen. Zwei baumustergeprüfte Systeme (EG-Baumusterprüfung) für den allgemeinen Einsatz sind ein erster Schritt. Bis marktreife Kamerasysteme als Schutzeinrichtungen für den Einsatz im Maschinen- und Anlagenbereich komplexe Klassifikationen bzw. Unterscheidungen von Objekten ermöglichen, wird noch Zeit verstreichen. Kamerasysteme werden in der Zukunft eine wichtige Erweiterung und Ergänzung der bestehenden Schutzeinrichtungen darstellen, sofern die Kriterien für die Eignung als „Sicherheitskammersystem“ eingehalten und nachgewiesen werden. Im Vergleich zu herkömmlicher Sensorik kann ein komplexes sicheres Kamerasystem deutlich mehr Schützen und „intelligentes“ Steuern mit nur einem System. Andere Ansätze können, wie am zweiten Produktbeispiel gezeigt, durch Einfachheit und geringe Kosten überzeugen.

Die Thematik Kamerasysteme und – häufig damit einhergehend – Applikationen der Robotik werden seit Jahren einge-

hend in Forschung und umfangreichen Projekten behandelt. Mit einer Prognose welcher Art von Kamerasystem bzw. welcher Technologie die besten Zukunftsaussichten für den Einsatz in der Sicherheitstechnik vorausgesagt werden kann, ist wohl selbst die Zunft der Hellseher überfordert. Faszinierende Einsatzmöglichkeiten scheinen sich durch sog. PMD-Kameras (3D) zu ergeben. Auf jedem einzelnen Pixel der Kamera liegt ein Entfernungsmesswert vor, somit ergibt sich ein dreidimensionales Abbild der Umgebung. Anvisierte Märkte liegen auf den Bereichen Automatisierung, autonome Fahrzeuge, Mensch-Maschine Interaktion und Qualitätskontrolle. Ob zu dieser Aufzählung auch Sicherheitstechnik im Maschinen- und Anlagenbereich gehören kann, ist heute noch unklar – ein Nachweis der sicherheitstechnischen Tauglichkeit des Messprinzips einer durch Phasenvergleichsmessung gewonnenen Abstandsinformation ist bis heute noch nicht bekannt.

Ausgehend von der Präsenz von zwei geprüften Systemen ist auch das Interesse an der internationalen Normung wieder erwacht. Das stärkste Interesse ist dabei von deutscher Seite zu verzeichnen. Für 2010 sind erste Entwürfe zu einer überarbeiteten IEC 61496-4 zu erwarten, die nach aktuellem Diskussionstand sich vom Anwendungsbereich her genau auf die beiden geprüften Systeme beziehen sollen. Beide Prüfstellen bringen ihr Know-how und die Ergebnisse praktischer Untersuchungen ein.

Bisherige Applikationen haben bei den Anwendern der beiden geprüften Systeme schnell das Begehren nach gesteigerter Performance (mehr Reichweite, geringere Auflösung, schnellere Reaktionszeit) ausgelöst, um somit z. B. zusätzliche Applikationen bedienen zu können. Das Thema bleibt also für Anwender, aber auch aus Sicht der Prüfstellen, spannend. TÜ 853

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 61496-1: Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen. Berlin: Beuth Verlag 2009.
- [2] IEC/TR 61496-4: Safety of machinery – Electro-sensitive protective equipment – Part 4: Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD), IEC. Genf 2007.
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/PMD-Sensor>
- [4] Hauke, M. et al.: Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen – Anwendung der DIN EN ISO 13849. BGI-Report 2/2008. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Berlin 2008.
www.dguv.de/bgia/de/prae/en13849



Dipl.-Ing. **Berthold Heinke** ist Leiter der Fachstelle Elektrotechnik der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft und stellvertretender Leiter der Prüf- und Zertifizierungsstelle des Fachausschusses MHHW, Düsseldorf.

Dipl.-Ing. **Thomas Bömer** ist Leiter des Referats Schutz- und Steuereinrichtungen am BGI – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV), Sankt Augustin.