

White Paper

Optische Sensoren

Autor: Dipl.-Ing. Christian Fiebach
Assistent der Geschäftsleitung

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Einteilung von optischen Sensoren	4
Welche optischen Sensoren gibt es?	4
Einweg-Systeme	5
Reflexions-Systeme (Reflex-Lichtschanke)	6
Polarisationsfilter (Polfilter)	7
Geräte mit koaxialer Optik (Einlinsoptik)	9
Reflex-Schranken ohne Retro-Reflektor	10
Tastende Systeme (Lichttaster)	11
Energetische Taster (Intensitätsunterscheidung)	12
Taster mit Hintergrundausbildung (farbunabhängig)	13
Mechanische Hintergrundausbildung (Triangulationsprinzip)	14
Hintergrundausbildung durch Dreistrahlprinzip	16
Hintergrundausbildung durch Diodenarray (Triangulationsprinzip)	17
Taster und Lichtschranken mit punktförmiger Rotlicht-LED	18
Kontrast-Taster	19
Farbsensoren	20
Lumineszenztaster	20
Lasersensoren	22
Laser-Messsysteme zur Abstandsermittlung	24
Sicherheitslichtgitter (Unfallschutzlichtgitter)	26
Kamerasensoren	27
Infrarotsensoren	29

Einleitung

Optische oder auch optoelektronische Sensoren wandeln optische Informationen in elektrisch auswertbare Signale um, wobei hierzu vornehmlich sichtbares Licht, Infrarotstrahlung und ultraviolettes Licht verwendet werden. Die quantenmechanischen Effekte von Licht, auch allgemein Photoeffekt genannt, bilden gewissermaßen die Grundlage für optische Sensoren.

Industrielle Anwendungsgebiete für optische Sensoren finden sich vor allem in der Automatisierung. Neben einfachen Erkennungsaufgaben werden hier die Sensoren u. a. für Lagemessungen, Absicherungsaufgaben bzw. den Personenschutz sowie für Abstandmessungen eingesetzt.

Dieses White Paper soll einen Überblick über die verschiedensten optischen Sensoren geben, deren Funktionsweise und Einsatzgebiete näher erläutern und in diesem Zusammenhang auch die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme verdeutlichen.

Einteilung von optischen Sensoren

Optische Sensoren lassen sich einteilen in Einweg- und Reflexionssysteme sowie tastende Systeme, zu denen auch Einweg-, Reflexionslichtschranken, Lichttaster und Lasersensoren gehören (Abb. 1)

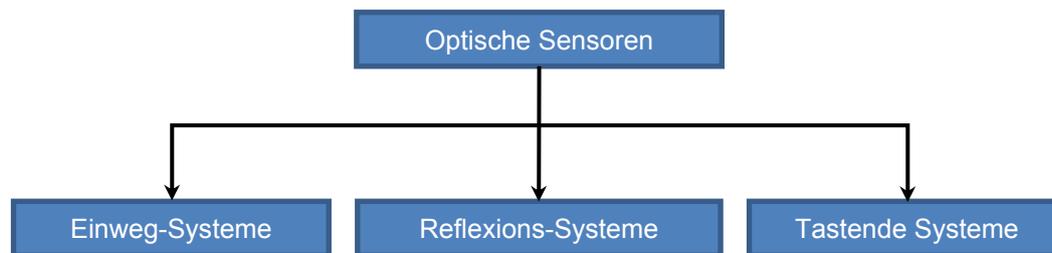


Abb. 1: Einteilung von optischen Sensoren

Welche optischen Sensoren gibt es?

Die folgende Liste gibt eine Übersicht über die Vielzahl an optischen Sensoren sowie deren Einteilung gemäß Abb. 1.

Einweg-Systeme	Reflexions-Systeme	Tastende Systeme
Einweglichtschranken	Reflex-Lichtschranken	Lichttaster mit Hintergrundausblendung
Lichtleiter-Verstärker mit Lichtleiter aus Glas oder Kunststoff	Laserreflex-Lichtschranken	Lichttaster ohne Hintergrundausblendung (energetisch)
Gabel-, Winkel- und Rahmenlichtschranken	Reflex-Lichtschranke mit punktförmiger Rotlicht-LED	Lichtleiter-Verstärker mit Lichtleiter aus Glas oder Kunststoff
Farbsensoren		Farbsensoren
Laser-Einweglichtschranken		Lasertaster mit Hintergrundausblendung
Lasergabel- Laserwinkellichtschranken		Lasertaster ohne Hintergrundausblendung (energetisch)
Laser-Messsysteme		Taster mit punktförmiger Rotlicht-LED
Sicherheitslichtschranken		Laser-Messsysteme
		Lumineszenztaster
		Kontrasttaster
		Kamera-Sensoren

Einweg-Systeme

Die Einweg-Systeme (Abb. 2) bestehen aus einem getrennten Sender und Empfänger, wobei die Sendeoptik (OS) und Empfängeroptik (OE) gegenüberliegend montiert werden müssen. Befindet sich ein Objekt zwischen Sender und Empfänger, wird der von der Sendeoptik erzeugte Lichtstrahl unterbrochen und der Sensor schaltet. Die Auswertung erfolgt durch die Lichtstrahlunterbrechung.

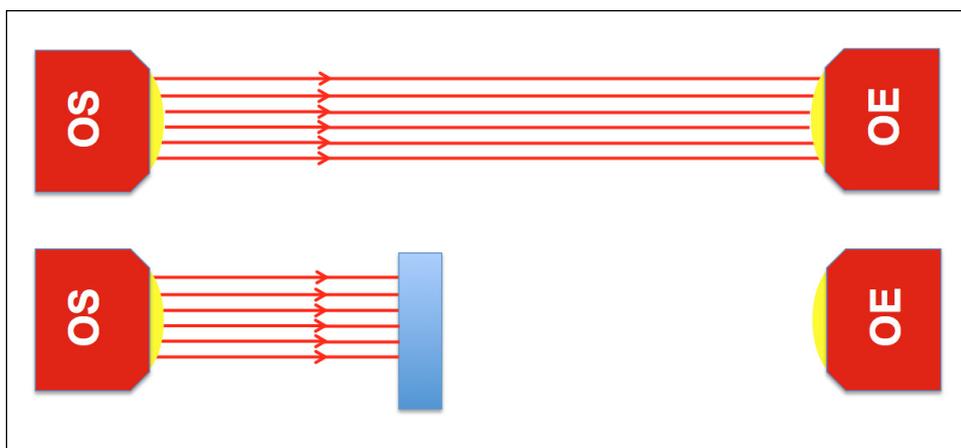


Abb. 2: Die Einweg-Systeme werten die Lichtstrahlunterbrechung aus.

Die Systeme ermöglichen sehr große Reichweiten (bei Lasersystemen bis zu 150 Metern). Hierbei werden alle Objekte unabhängig von ihrer Farbe, Form oder Oberfläche sicher erkannt, ganz gleich, an welcher Stelle sie sich innerhalb des Lichtstrahls befinden. Wo die Unterbrechung des Lichtstrahls innerhalb des Systems stattfinden, ist daher völlig unerheblich. Die Einweg-Systeme gehören in Bezug auf eine Schmutzbeaufschlagung zu den unempfindlichsten optischen Sensoren, da das Licht, anders als bei Reflex-Systemen, lediglich die Strecke zwischen Sender und Empfänger zurücklegen muss. In der Regel wird die maximale Reichweite eines Einweg-Systems nicht voll ausgeschöpft. Dieser „Puffer“ lässt sich dann für die Kompensation von Schmutz, der sich auf den Optiken von Sender und Empfänger niederschlagen kann, nutzen.

Der Montageaufwand für Einweg-Systeme ist sehr hoch, da Sender und Empfänger exakt aufeinander ausgerichtet sein müssen und sowohl die Sende- als auch die Empfangsoptik eine eigene Spannungsversorgung benötigen. Zu den Nachteilen gehört auch, dass transparente Objekte (z. B. Flaschen oder Gläser, aber auch Behälter aus PET oder Folien aus der Verpackungsindustrie) mit Einweg-Systemen nur schwer erfasst werden können.

Reflexions-Systeme (Reflex-Lichtschranke)

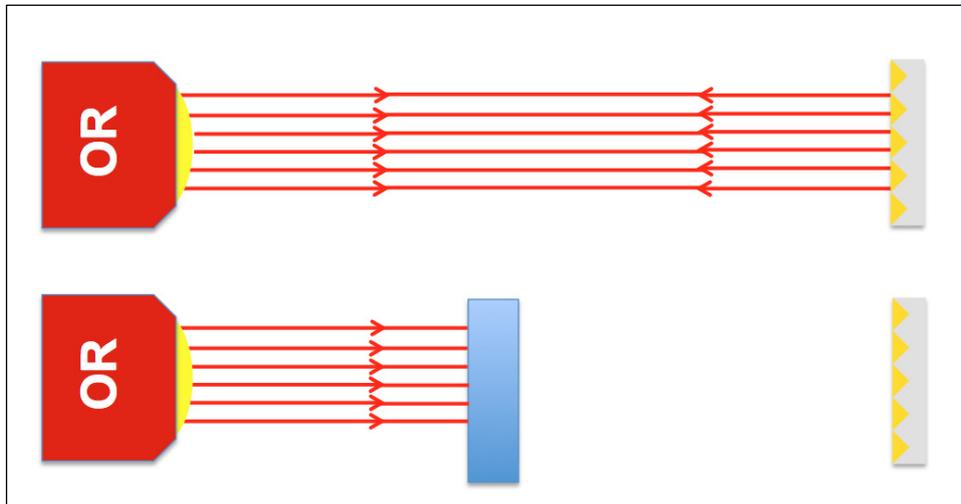


Abb. 3: Beim Reflexions-System wird ein Reflektor (rechts) als Gegenelement benötigt.

Sender und Empfänger befinden sich beim Reflexions-System in einem Gehäuse, daher ist als Gegenelement ein Reflektor (Triplespiegel / Retroreflektor) notwendig. Wie beim Einweg-System, wird auch beim Reflexions-System die Lichtunterbrechung ausgewertet.

Auch diese Sensorvariante erkennt alle Objekte unabhängig von ihrer Farbe, Form und Oberfläche sicher, wobei sehr große Reichweiten, in Abhängigkeit von der Reflektorgröße, möglich sind. Im Gegensatz zu Einweg-Systemen benötigen die Reflexions-Systeme jedoch nur eine Spannungsversorgung auf der Geräteseite.

Der Montageaufwand ist bei einem Reflexions-System ähnlich hoch, wie bei einem Einweg-System. Das Gerät in dem sich Sender und Empfänger befinden, muss auf den Reflektor exakt ausgerichtet sein. Wie bereits weiter oben betont, beeinflusst die Größe des Reflektors die Systemreichweite und damit auch die Empfindlichkeit. Transparente Objekte lassen sich mit einem solchen System nur schwer erfassen und bei stark reflektierenden Oberflächen, beispielsweise verchromte Teile, müssen die Geräte mit einem Polarisationsfilter ausgestattet sein. Im Folgenden wird daher auf die Funktionsweise von Polarisationsfiltern eingegangen.

Polarisationsfilter (Polfilter)

In der Physik steht der Begriff „Polarisation“ für die Ausrichtung der Schwingungsebene transversaler (von lat. transversus – quer) Wellen. „Transversal“ beschreibt in diesem Kontext die Ausbreitungseigenschaft einer Welle und bedeutet, dass die Schwingung senkrecht zu deren Ausbreitungsrichtung erfolgt. Ein Polfilter ist demnach ein Polarisator für Licht und beeinflusst dessen Schwingungsachse wie Abb. 4 verdeutlicht.

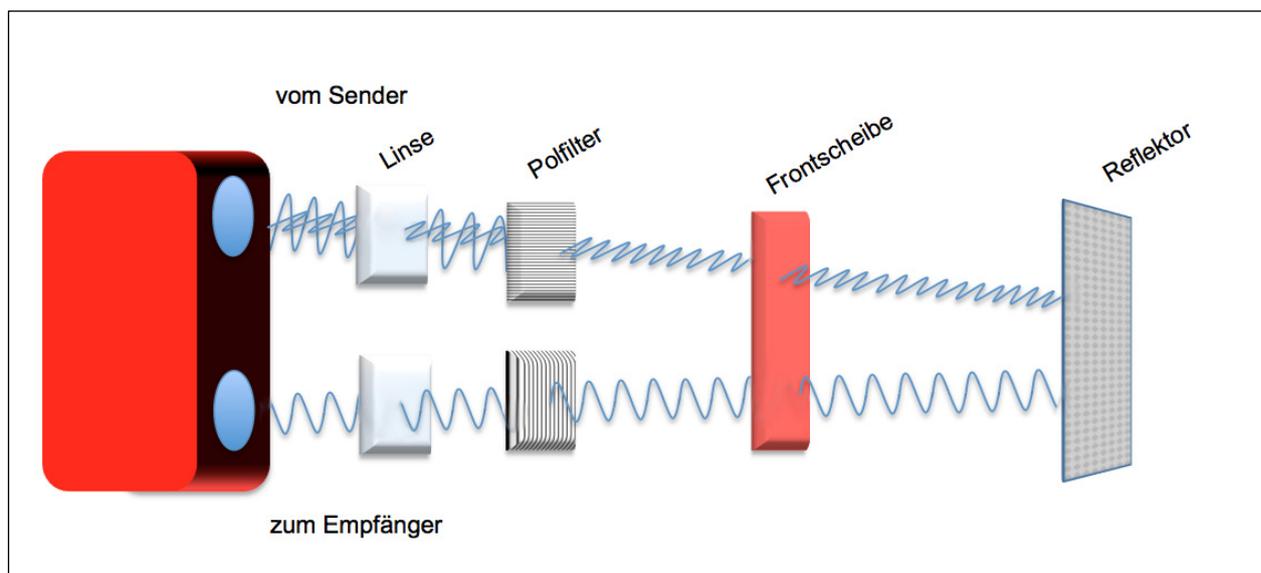


Abb. 4: Funktion eines Polfilters. Der Filter der Sendeoptik ist nur für eine bestimmte Schwingungsachse des Lichts durchlässig. Ebenso verhält es sich mit dem empfängerseitigen Filter.

Durch den Polfilter der Sendeoptik verlässt nur Licht einer Schwingungsachse das Gerät. Die einzelnen Tripelemente des Reflektors drehen die Schwingungsebene des Lichtstrahls um 90°. Nur in diesem Fall kann das vom Tripelspiegel reflektierte Licht den Polfilter der Empfangsoptik passieren und den Empfänger erreichen.

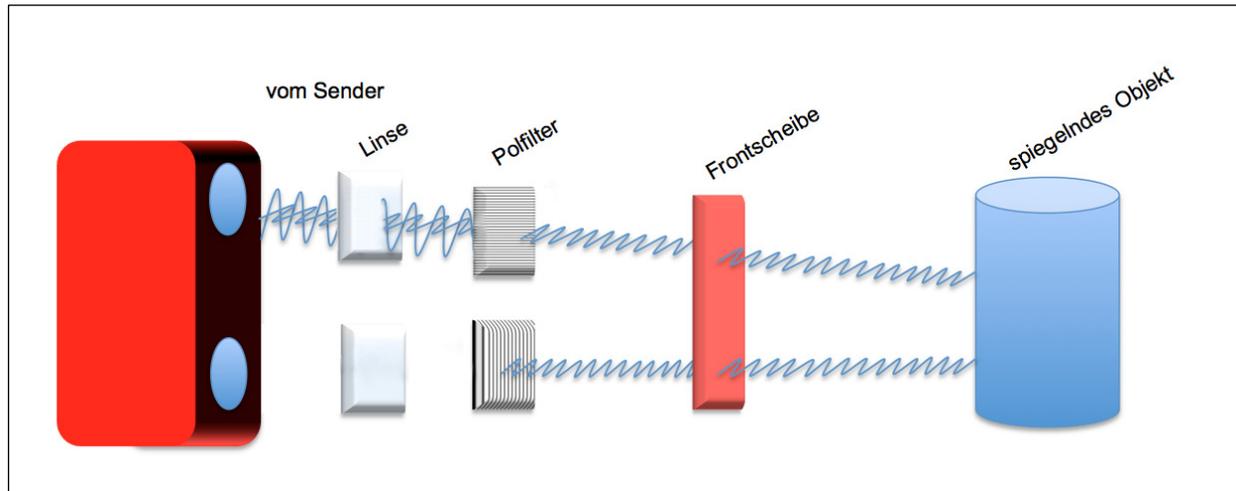


Abb. 5: Das vom Objekt reflektierte Licht kann den Polfilter nicht passieren, so dass das Objekt sicher erkannt wird.

Spiegelnde oder stark glänzende Oberflächen sind indes nicht in der Lage, die Schwingungsebene des Sendelichtstrahls zu beeinflussen. Das vom Objekt reflektierte Licht kann den Polarisationsfilter nicht passieren, so dass das Objekt sicher erkannt wird (Abb. 5).

Soll mit einer derartigen Reflexionslichtschranke z. B. ein Transportband überwacht werden, kann dies aufgrund des internen Aufbaus der Geräte zu Problemen führen. Da Sender und Empfänger im Gerät nebeneinander liegen, müssen die Führungsschienen des Transportbandes stark geschlitzt werden. Dies wiederum birgt die Gefahr, dass sich dort das Fördergut auf dem Band verklemmt. Alternativ hierzu empfiehlt es sich daher, Geräte mit koaxialer Optik, auch als Einlinsenoptik bezeichnet, zu verwenden.

Geräte mit koaxialer Optik (Einlinsenoptik)

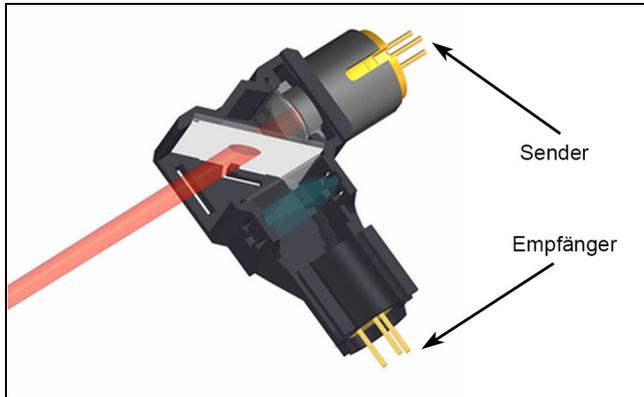


Abb. 6: Sende- und Empfangslichtstrahl liegen bei Geräten mit koaxialer Optik auf einer Achse.

In Reflexions-Systemen mit Einlinsenoptik (Abb. 6) ist ein halbdurchlässiger Spiegel verbaut, hinter dem sich der Sender befindet. Trifft das Licht des Senders auf die Rückseite des Spiegels, kann es diesen durchdringen und aus dem Sensor austreten. Der reflektierte Lichtstrahl hingegen wird von dem Spiegel um 90° abgelenkt und erreicht so den Empfänger.

Da Sende- und Empfangslichtstrahl auf einer Achse liegen, müssen Führungsschienen von Transportbändern direkt vor dem Sensor nur gering geschlitzt bzw. mit einem kleinen Loch versehen werden, so dass die Gefahr von verklemmtem Fördergut minimiert wird.

An welcher Stelle der Lichtstrahl durch ein Objekt zur Detektion unterbrochen wird, ist dabei völlig unerheblich. Dieses System ermöglicht große Reichweiten und lässt sich im Vergleich zu herkömmlichen Reflexionslichtschranken einfacher auf eine optimale Position ausrichten.

Allerdings benötigen alle Reflexions-Systeme sowie auch die Versionen mit koaxialer Optik als Referenzfläche einen Reflektor. Ganz im Gegensatz hierzu arbeiten sogenannte Tast-Reflex-Schranken völlig ohne schmutzempfindliche Reflektoren.

Reflex-Schranken ohne Retro-Reflektor

Diese Tast-Reflex-Schranken arbeiten ähnlich wie die Reflexions-Systeme, benötigen jedoch als Referenzfläche keine Retro-Reflektoren (Abb. 7).



Abb. 7: Tast-Reflex-Schranken arbeiten ohne schmutzempfindliche Tripel-Reflektoren.

Bei den noch recht neuartigen Lichtschranken kann stattdessen jede beliebige, diffus reflektierende Fläche als Referenz genutzt werden. Einrichten lassen sich diese Geräte durch ein komfortables Teach-In-Verfahren, bei dem der interne Prozessor des Gerätes sowohl den Abstand als auch die Stärke des von der Referenzfläche reflektierten Lichtes ermittelt und als Basiswerte festlegt. Wird im Betrieb nun ein abzufragendes Objekt in den Strahlengang eingebracht, erkennt der interne Prozessor eine Abweichung der Abstands- bzw. Intensitätswerte von den Basiseinstellungen und signalisiert dies durch eine Zustandsänderung des Schaltausgangs.

Ausgestattet mit einer Ausrichthilfe lassen sich die Tast-Reflex-Schranken in Kombination mit einem LED-Signal optimal positionieren und ausrichten.

Wie die Einlinsenoptik, eignen sich solche Tast-Reflex-Schranken für Standard-Industrieanwendungen, etwa zur Erkennung von beliebigen nichttransparenten Objekten auf einem Förderband. Geräte mit Rotlicht-LED erkennen außerdem auch sehr zuverlässig transparente Objekte, wie z. B. Folien. Eine weitere Geräteversion verwendet anstelle einer Rotlicht-LED eine Rotlicht-Laserdiode in der Laserschutzklasse 1 als Sendeelement. Mit solchen Geräten können große Reichweiten - bis maximal 2000 Millimeter - erzielt werden. Die Detektion von transparenten Objekten ist mit diesen Geräten hingegen nicht möglich.

Tastende Systeme (Lichttaster)

Tastende Systeme (Abb. 8) integrieren Sender und Empfänger in einem Gerät und benötigen kein Gegenelement wie einen Reflektor als Referenzfläche, da die Lichtstrahlreflektion am zu detektierenden Objekt ausgewertet wird.

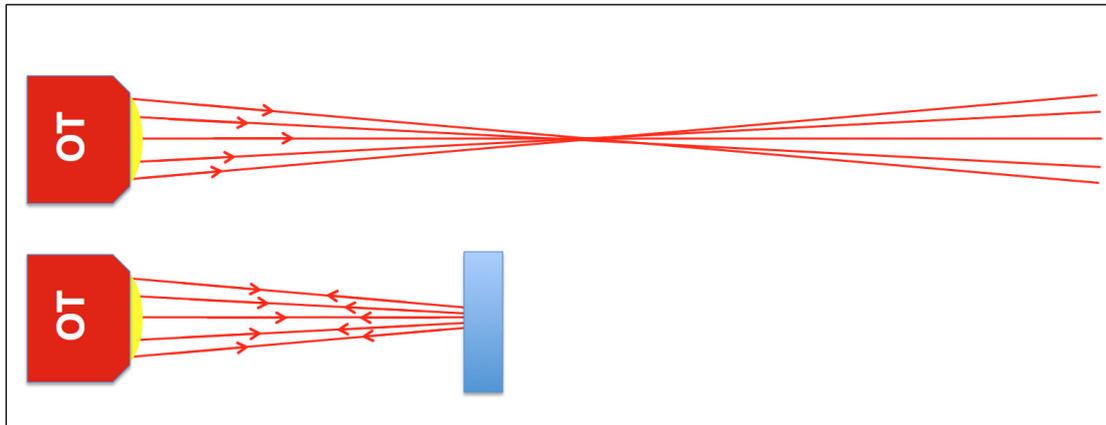


Abb. 8: Tastende Systeme werten den Lichtstrahl aus, der von einem Objekt reflektiert wird.

Ein Vorteil von tastenden Systemen ist deren geringer Montageaufwand. Hinzu kommt, dass sich diese Taster ohne Gegenelement (z. B. Retro-Reflektor) einsetzen lassen.

Bei gekrümmten oder glänzenden Oberflächen muss der Sensorlichtstrahl jedoch möglichst senkrecht auf die Materialoberfläche treffen. Der Effekt, dass der Empfänger den von einem Objekt reflektierten Lichtstrahl nicht erfassen kann, zeigt sich vor allem bei glänzenden Gegenständen. Bei solchen Objekten macht sich mit zunehmend glänzender Oberfläche das sogenannte Reflexionsgesetz (Einfallswinkel = Ausfallwinkel bzw. $\alpha = \beta$) bemerkbar, d.h. bei einem zu großen Einfallswinkel des Sendelichtstrahls kann das von der Objektoberfläche reflektierte Licht den Empfänger nicht mehr erreichen.

Auch transparente Objekte lassen sich mit optischen Tastern nur sehr schwer erfassen. Das zu detektierende Objekt darf außerdem nicht zu nahe vor dem Sensor im Lichtstrahl positioniert werden. Unter Umständen kann in diesem Fall das vom Objekt reflektierte Licht den neben dem Sender liegenden Empfänger im Gerät nicht mehr erreichen. Der daraus resultierende „Blindbereich“ ist allerdings nicht konstant, sondern vielmehr von den Reflexionseigenschaften der Objektoberfläche abhängig. Vereinfacht lässt sich sagen, dass der Blindbereich um so größer ist, je glänzender die Objektoberfläche ausfällt.

Energetische Taster (Intensitätsunterscheidung)



Abb. 9: Energetische Taster erkennen vor allem Objekte zuverlässig, die genügend Licht reflektieren. dem Prinzip der Intensitätsunterscheidung

Energetische Taster (Abb. 9) arbeiten nach dem Prinzip der Intensitätsunterscheidung. Hierzu wird in der Regel über einen Potentiometer an dem Sensor eine spezifische Lichtmenge (Empfindlichkeit) eingestellt.

Erreicht oder überschreitet nun die vom Objekt reflektierte Lichtmenge diese voreingestellte Schwelle, schaltet das Gerät ein. Wird nur wenig Licht vom zu detektierenden Objekt reflektiert (Intensität), so erhält der Sensor kein Schaltsignal.

Systembedingt erkennen energetische Taster alle Objekte sicher, die genügend Licht reflektieren bzw. die so viel Licht reflektieren, dass die eingestellte Schaltschwelle überschritten wird. Somit können nur Objekte mit ausreichendem Reflexionsverhalten zuverlässig detektiert werden.

Bei gleicher Grundempfindlichkeit kann es bei Materialoberflächen mit stark variierendem Reflexionsgrad zu unterschiedlichen Ansprechverhalten des Tasters kommen. Dunkle Materialien können dabei nur schwer oder gar nicht vor hellen Hintergründen erfasst werden, da der Taster durch solche Hintergründe ein starkes Reflexionssignal erhält, was unter Umständen die notwendigerweise niedrig eingestellte Schaltschwelle bereits überschreitet.

Ein weiteres Problem wirft die Oberflächenbeschaffenheit der zu detektierenden Objekte auf. Je rauer diese sind, desto größer ist die Lichtstreuung, was wiederum zu Lasten der Reichweite bzw. der Empfindlichkeit von energetischen Tastern geht. Das bedeutet im Umkehrschluss: Je glatter die Oberfläche ist, desto besser ist das Ansprechverhalten des Tasters – allerdings immer vorausgesetzt, die Oberfläche des zu erfassenden Objektes befindet sich in einem Winkel von 90 Grad zum Sensor respektive Sendesignal.

Taster mit Hintergrundausbldung (farbunabhängig)

Die Probleme, die sich mit energetischen Tastern ergeben, werden im Grunde durch Taster mit Hintergrundausbldung eliminiert.

Abb. 10: Taster wie der OT43 erkennen Materialien unabhängig von Farbe, Größe und Oberfläche.



Diese Geräte (Abb. 10) erkennen Materialien im Tastbereich weitestgehend unabhängig von ihrem Reflexionsgrad (Farbe, Oberfläche).

Grundlage für diese Funktionsweise ist, dass die verwendeten Empfängerelemente die Objektposition bewerten, aus der das auftreffende Sendelicht reflektiert wird. Dadurch ist die Aussage möglich, ob sich das Objekt im gewählten Erfassungs- bzw. Schaltbereich befindet. Grundvoraussetzung ist natürlich, dass die Objektoberfläche das auftreffende Senderlicht in hinreichendem Maße reflektieren kann. Somit ist die effektive Tastweite nicht vom zu detektierenden Objekt abhängig, sondern ausschließlich vom eingestellten Tastabstand. Ein störender Hintergrund lässt sich dadurch sicher ausblenden. Diese Eigenschaft hat dazu geführt, dass die Geräte auch als „Taster mit Hintergrundausbldung“ bezeichnet werden, eine Bezeichnung, die stellvertretend für eine materialunabhängige Objekterfassung bei tastenden Systemen steht.

Technisch lässt sich diese Funktionsweise durch drei unterschiedliche Konzepte realisieren. Zur Wahl steht der Aufbau mit mechanisch verstellbaren Empfangselementen (mechanische Hintergrundausbldung / Triangulationsprinzip), der Aufbau mit einer Dreistrahloptik (Hintergrundausbldung nach dem Dreistrahprinzip) oder der Aufbau mit einem Diodenarray (elektronische Hintergrundausbldung / Triangulation).

Mechanische Hintergrundaussblendung (Triangulationsprinzip)

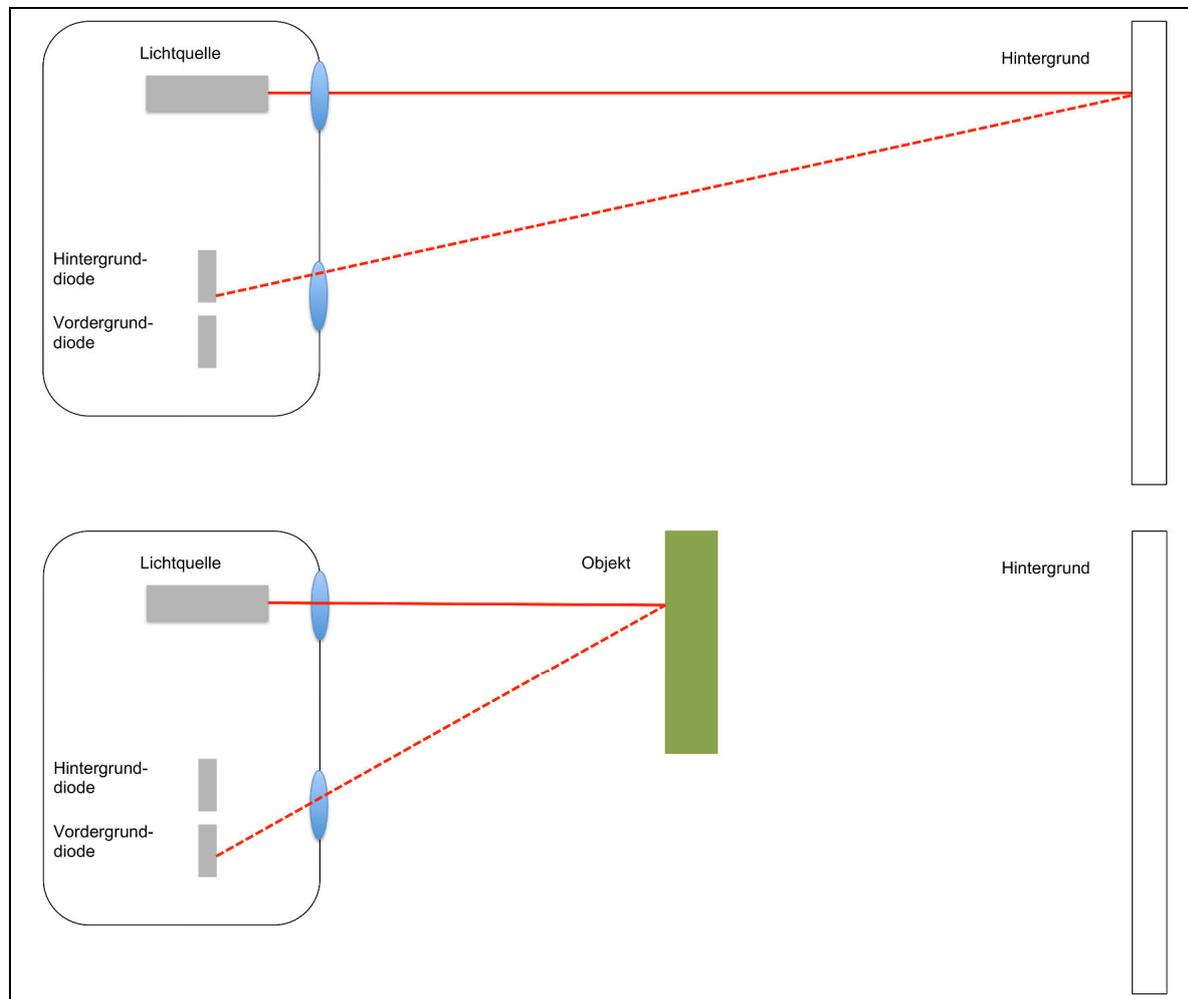


Abb. 11: Funktionsweise der mechanischen Hintergrundaussblendung.

Die Abbildung 11 verdeutlicht die Funktionsweise der mechanischen Hintergrundaussblendung. Hierbei werden zwei Empfänger bzw. Dioden (Hintergrund- und Vordergrunddiode) auf einem einstellbaren Schlitten nebeneinander platziert. Je nachdem welcher Empfänger ein Ausgangssignal erzeugt (bedingt durch den auftreffenden Reflexionslichtstrahl), lässt sich genau sagen, ob sich das Objekt im vorgegebenen Erfassungsbereich befindet oder nicht. Der Erfassungsbereich kann bei diesen Geräten durch das Verschieben des Empfängers verändert werden. Dies erfolgt mechanisch über eine Spindel.

Wesentlicher Vorteil von Tastern mit mechanischer Hintergrundaussblendung ist deren sehr hohe Einstellgenauigkeit, wodurch Objekte unabhängig von ihrer Farbe sehr gut erfasst werden können. Dagegen werden Objekte oder Gegenstände im Hintergrund nicht erfasst.

Zum Ende des Arbeitsbereichs fallen jedoch die technischen Eigenschaften dieser Taster leicht ab. D.h. die Detektion von dunklen Objekten oder rauen Materialoberflächen wird schwieriger und die Schaltpunktgenauigkeit nimmt ab.

Erklären lässt sich dies im Zusammenhang mit dunklen oder rauen Objektflächen, wie bei allen optischen Sensoren, durch das Fotometrische Entfernungsgesetz, wie Abb. 12 verdeutlicht.

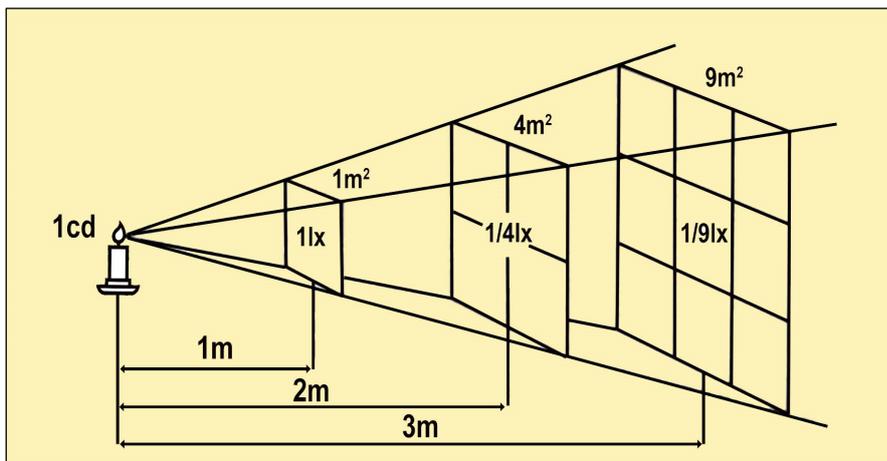


Abb. 12: Das fotometrische Entfernungsgesetz besagt, dass die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat zur Lichtquelle abnimmt.

Je weiter ein Objekt vom Sensor entfernt ist, umso geringer ist die Lichtmenge, die auf das Objekt auftrifft. Die Empfänger bzw. Dioden des Tasters mit mechanischer Hintergrundausbldung benötigen allerdings eine Mindestmenge an Licht, um überhaupt ansprechen bzw. um ein auswertbares Signal erzeugen zu können. Ist nun die Objektentfernung sehr groß (geringe Lichtmenge bedingt durch das fotometrische Entfernungsgesetz) und zusätzlich die Objektfläche dunkel bzw. rau (sehr schlechtes Reflexionsverhalten der Oberfläche) können diese beiden Effekte in Summe dazu führen, dass die Ansprechschwelle der Empfangselemente nicht erreicht wird.

Die nachlassende Schaltpunktgenauigkeit im Fernbereich ist darin begründet, dass der Übergang zwischen Vorder- und Hintergrund mit zunehmendem Objektstand - also das Ein- und Ausschalten des Sensors - gewissermaßen immer „schwammiger“ wird. Dies liegt daran, dass die geometrische Lichtpunktverschiebung über die zwei Empfänger/Dioden bei einer Objektverschiebung mit zunehmendem Abstand immer kleiner wird.

Außerdem ist die Mechanik zur Einstellung des Erfassungsbereichs anfällig für Störungen, wie z. B. sehr starke Erschütterungen, und kann zu einem Ausfall des Tasters führen. Vor diesem Hintergrund stellt die Hintergrundausbildung nach dem Dreistrahlprinzip eine echte Weiterentwicklung dar.

Hintergrundausbildung durch Dreistrahlprinzip

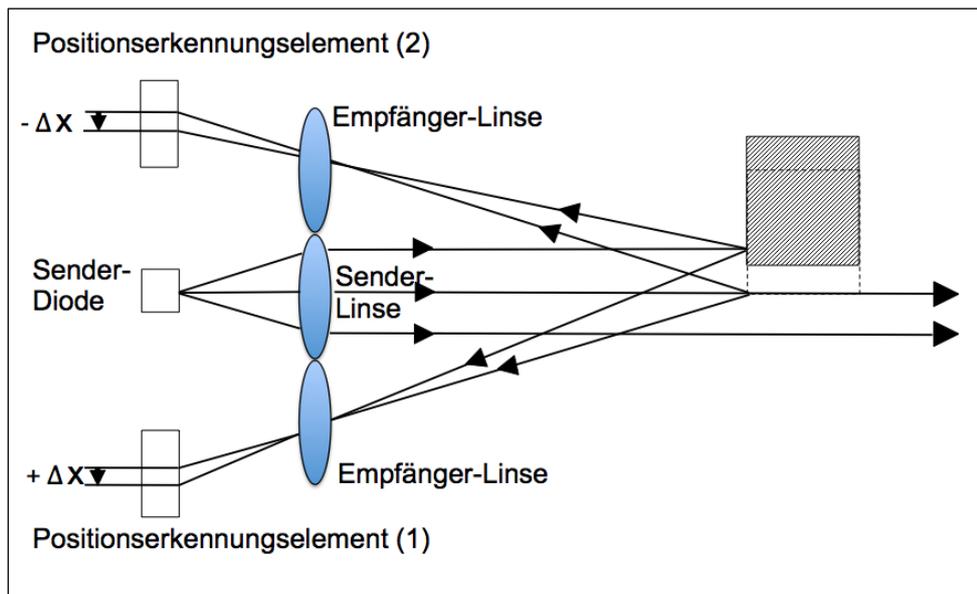


Abb. 13: Funktionsweise der Hintergrundausbildung nach dem Dreistrahlprinzip.

Zwei Empfänger (Positionserkennungselement 1 und 2) werden symmetrisch zur Achse der Lichtquelle angeordnet (Abb. 13). Bewegt sich ein Gegenstand durch den Sendelichtstrahl, so ist die Abbildung dieses Gegenstandes auf dem Empfängerelement (1) an einer anderen Stelle, als wenn das bewegte Objekt den Strahl vollständig reflektieren würde. Hierdurch entsteht auf dem Empfängerelement (1) für beide Stellungen des Objektes eine Abweichung $+\Delta x$. Durch die symmetrische Anordnung des Empfängers (2) wird dort für beide Stellungen des Objektes eine Abweichung von $-\Delta x$ festgestellt.

Die genaue Entfernung des Objektes kann bestimmt werden, indem das Mittel beider Anzeigen gebildet wird. Die flächig ausgeführten Positionserkennungselemente erkennen somit aufgrund der Lichtpunktverschiebung des Empfangssignals die Abstandsveränderung eines detektierten Objektes. Da es sich um zwei Erkennungselemente handelt, lässt sich sehr exakt bestimmen, aus welchem Abstand das Empfangssignal zurückkommt und in welchem Abstand sich somit das Objekt zum Sensor befindet.

Die Vorteile des Dreistrahlprinzips bestehen darin, dass die Detektion mit diesen Sensoren sehr unabhängig von der Objektfarbe erfolgen kann, wobei Objekte bzw. Gegenstände im Hintergrund nicht erfasst werden. Darüber hinaus verfügen Geräte, die nach diesem Prinzip arbeiten, über eine hohe Ansprechgeschwindigkeit, sodass auch Objekte sicher erkannt werden, die sich sehr schnell durch den Detektionsbereich bewegen. Da solche Sensoren keine bewegten Teile im Gerät haben, sind sie sehr widerstandsfähig gegen Erschütterungen (bis zu 100 G) und verfügen aufgrund der drei Optiken zudem über eine hohe Verschmutzungsreserve. Die Detektion von Objekten erfolgt weitestgehend winkelunabhängig, was bedeutet, dass der Sensorlichtstrahl nicht unbedingt senkrecht auf die Objekt Oberfläche auftreffen muss.

Die technischen Eigenschaften von optischen Sensoren mit Dreistrahlprinzip fallen zum Ende der Betriebsreichweite jedoch noch stärker ab, als bei Sensoren mit mechanischer Hintergrundaussblendung.

Hintergrundaussblendung durch Diodenarray (Triangulationsprinzip)

Bei der Hintergrundaussblendung mit einem Diodenarray wird über einen Microcontroller eine große Anzahl von Dioden (128 und mehr), die sich auf einem Array befinden, einzeln ausgelesen und das Signal ausgewertet. Durch die hohe Anzahl von Dioden kann die Lage bzw. Entfernung eines Objektes genau angegeben und entschieden werden, ob es sich im Erfassungsbereich befindet oder nicht (Abb. 14). Hierzu wird mittels eines Teach-In-Verfahrens das Diodenarray in zwei Empfängergruppen für den Vorder- und Hintergrund aufgeteilt.

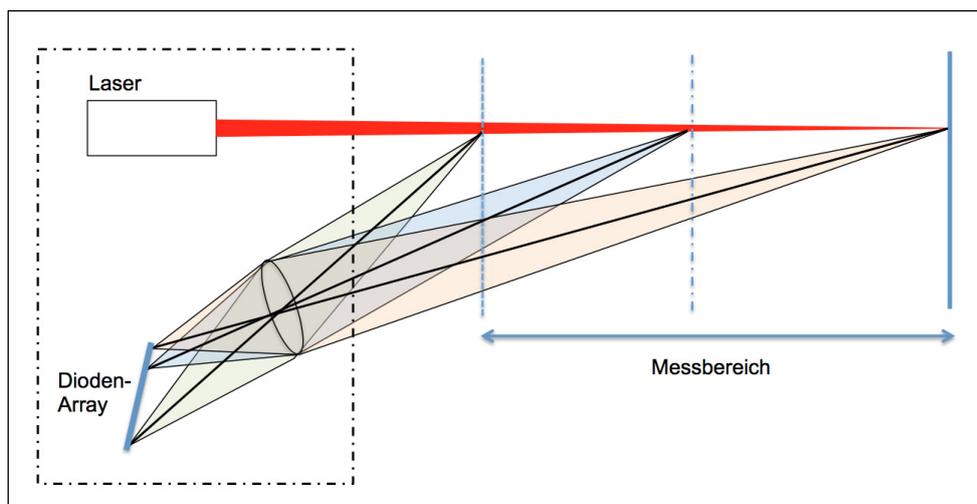


Abb. 14: Funktionsprinzip der Hintergrundaussblendung mit einem Diodenarray.

Geräte mit einer Hintergrundausbildung anhand eines Diodenarrays verfügen zumeist über den gesamten Arbeitsbereich über ein hervorragendes Einstell- und Farbverhalten. Der Grund hierfür: In den Bereichen des Arrays, in denen die Lichtpunktverschiebung bei großen Entfernungen nur noch sehr klein ist, wird die Anzahl der Dioden erhöht und ihr Abstand zueinander verringert. Aufgrund der hohen Packungsdichte der Dioden in diesem Bereich des Arrays kann die Lichtpunktverschiebung noch sehr gut aufgelöst werden. Wie bei Geräten mit Hintergrundausbildung nach dem Dreistrahlprinzip haben Sensoren mit integriertem Diodenarray keine bewegten Teile und sind daher sehr robust. Darüber hinaus überzeugen sie durch eine hohe Einstellgenauigkeit sowie eine hohe Ansprechgeschwindigkeit.

Taster und Lichtschranken mit punktförmiger Rotlicht-LED

Noch recht junge Entwicklungen im Bereich der Taster mit Hintergrundausbildung und Reflexionslichtschranken mit und ohne Retro-Reflektor sind Geräte mit punktförmiger Rotlicht-LED. Durch den kleinen, homogenen und scharfkantigen Lichtfleck der punktförmigen Rotlicht-LED lassen sich diese Sensoren sehr genau positionieren und können, ähnlich wie Lasersensoren (vgl. Seite 22), sehr kleine Objekte sicher detektieren. Eine Besonderheit dieser auch mit Standard-LED verfügbaren Geräte ist ferner ein durchgängig identisches Gehäusekonzept in den Baugrößen 33 und 45 (Abb. 15), das mehr Freiräume bei der Entwicklung von Applikationen für unterschiedlichste Industriebereiche verspricht.



Abb. 15: Eine Besonderheit ist das durchgängig identische Gehäusekonzept für die Baugrößen 33 und 45

Wie schon in der Vergangenheit bei anderen Gehäuseausführungen, wird es aufgrund dieses Gehäusekonzeptes möglich, das Sensorprinzip und die Geräte-Lichtquelle (Standard-LED oder punktförmige Rotlicht-LED) auch in einer späteren Konstruktionsphase festzulegen.

Ein weiterer Vorteil dieser Sensoren ist ihre präzise ausgerichtete Sendeoptik. So erkennen z. B. die Reflexions-Lichtschraken der Gerätereihe mit sogenannter „Einlinsenoptik“ Objekte selbst durch kleinste Öffnungen im Nahbereich mit einem Durchmesser von weniger als 4mm. Die spezielle Optik bietet zudem den Vorzug, bei einem Gerätetausch den Sensor nicht erneut justieren zu müssen.

Kontrast-Taster

Kontrast-Taster (Abb. 16) arbeiten nach dem Prinzip der Intensität- bzw. Grauwertunterscheidung. Bleibt der Abstand eines Objektes zum Sensor gleich und variiert die Oberfläche dieses Objektes, so lässt sich dies anhand der Intensität ermitteln. Kontrast-Taster eignen sich damit zur Unterscheidung sowohl von hellen als auch dunklen Oberflächen (Markenerfassung).

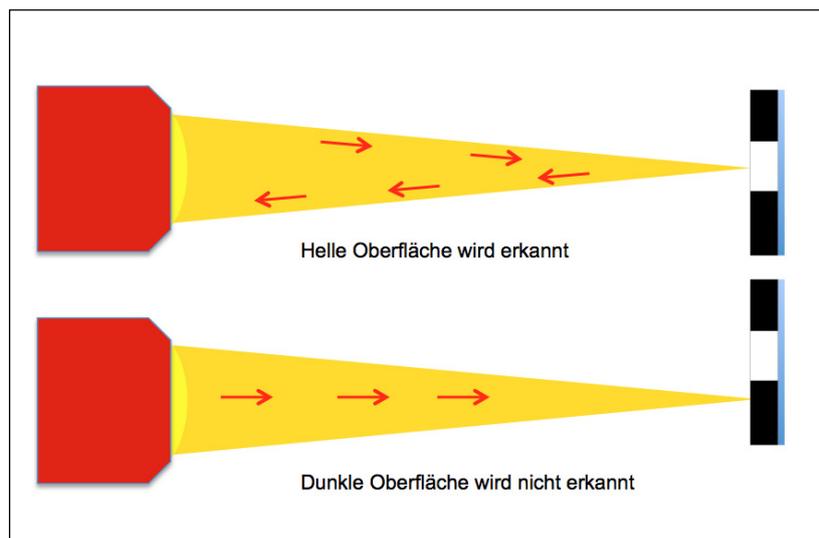


Abb. 16: Intensitäts- bzw. Grauwertunterscheidung durch einen Kontrast-Taster.

Kontrast-Taster haben ebenfalls keine bewegten Teile im Gerät und sind daher sehr robust gegenüber Erschütterungen. Weitere Vorteile sind deren Widerstandsfähigkeit gegen Verschmutzungen und hohe Ansprechgeschwindigkeit.

Die Markierungen auf Objekten müssen jedoch vollflächig bzw. mindestens so groß sein, wie der vom Sensor erzeugte Lichtfleck, damit ein Kontrast-Taster fehlerfrei arbeitet. Außerdem arbeiten die Geräte nur innerhalb geringer Abstandstoleranzen zuverlässig und somit sicher.

Farbsensoren

Dem umfassenden Thema Farbsensoren respektive „True Color“-Sensoren (Farben sehen wir der Mensch) hat ipf electronic ein eigenes White Paper gewidmet. Das White Paper von Autor Dipl.-Ing. Christian Fiebach kann unter folgendem Link heruntergeladen werden: [„True Color“-Sensoren](#)

Lumineszenztaster



Abb. 17: Lumineszenztaster

Lumineszenztaster (Abb. 17) erkennen mittels UV-Licht die Luminophoren¹ in verschiedenen Materialien, die dann einen Schaltvorgang auslösen. Luminophoren sind Pigmente, die durch UV-Licht zum Leuchten angeregt werden – ein Effekt, den man sich in verschiedenen Industrieanwendungen zu Nutze macht. Lumineszenztaster arbeiten somit nach dem Prinzip der Spektralverschiebung (Abb. 18),

¹ Ein Luminophor ist ein Stoff, der im Dunkeln nachleuchtet, nachdem er mit kurzwelligem Licht bestrahlt wurde. Dieses Phänomen beruht auf Phosphoreszenz oder Fluoreszenz.

wobei das kurzwellige UV-Licht der Sensorlichtquelle durch lumineszierende Stoffe (z. B. Aufheller, Weichmacher, aber auch nicht sichtbare Mittel zur Markierung von Objekten etc.) in einem Material in langwellige sichtbare Strahlung umgewandelt wird.

Der Geräteempfänger spricht aufgrund seiner Anpassung durch entsprechende Spektralfilter nur auf diese Strahlung an.

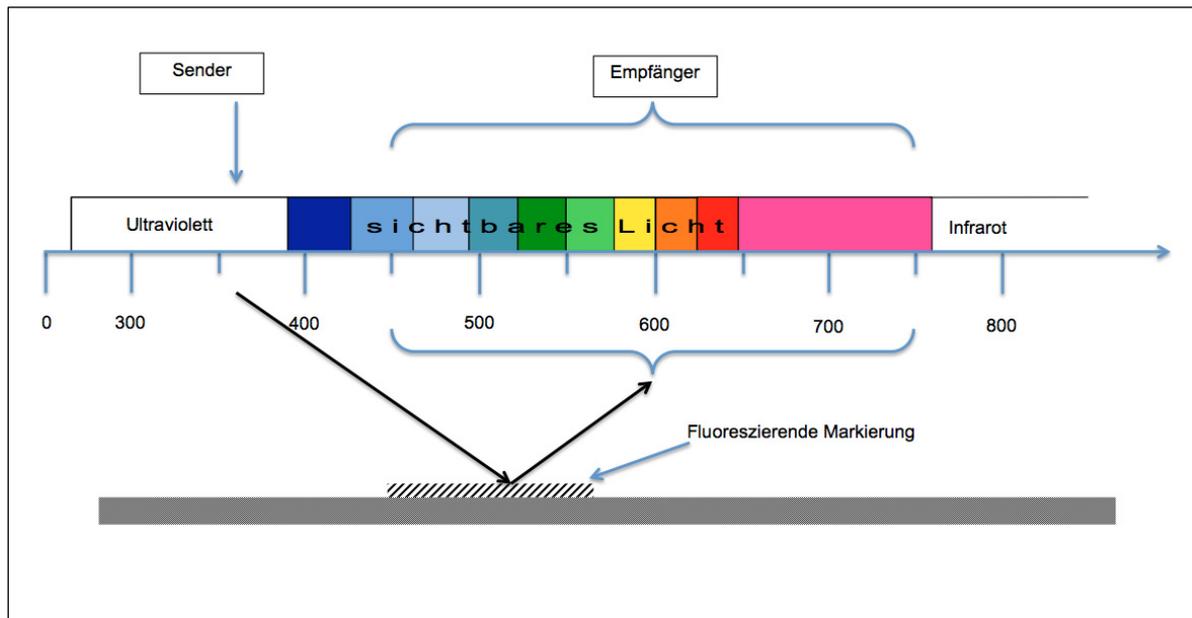


Abb. 18: Lumineszenztaster arbeiten nach dem Prinzip der Spektralverschiebung.

Mit Lumineszenztastern lassen sich große Objektabstände realisieren, wobei der Sensorlichtstrahl nicht unbedingt senkrecht auf die zu erfassende Oberfläche auftreffen muss (weitestgehend winkelunabhängig). Auch kleinere Beschädigungen von nicht sichtbaren Markierungen auf Objekten sind unkritisch.

Solche Taster widerstehen selbst großen Erschütterungen, da sie keine bewegten Teile integrieren. Außerdem überzeugen sie durch eine hohe Verschmutzungskompensation. Weiterhin sind Abstandsänderungen zum Prüfobjekt unkritisch und auch der Hintergrund hat keinen Einfluss auf die Abfrage-sicherheit solcher Geräte.

Die Materialien oder Markierungsmittel für die Detektion müssen auf jeden Fall lumineszierende Stoffe enthalten, damit der optische Sensor überhaupt arbeitet.

Lasersensoren

Lasersensoren werden bevorzugt dort eingesetzt, wo hohe Anforderungen an Auflösung, Wiederholgenauigkeit, Zuverlässigkeit, Schalthäufigkeit, Schaltfrequenz und Tast- bzw. Reichweite gestellt werden. Der Einsatz dieses Sensors mit seinem kleinen, sehr fokussierten und damit räumlich eng begrenzten Laserlichtfleck ermöglicht ein ungewöhnlich breites Einsatzspektrum.

Da die Sender solcher Sensoren der Laserklasse 1 oder 2 gemäß EN 60825 entsprechen, sind keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen beim Umgang mit den Geräten erforderlich.

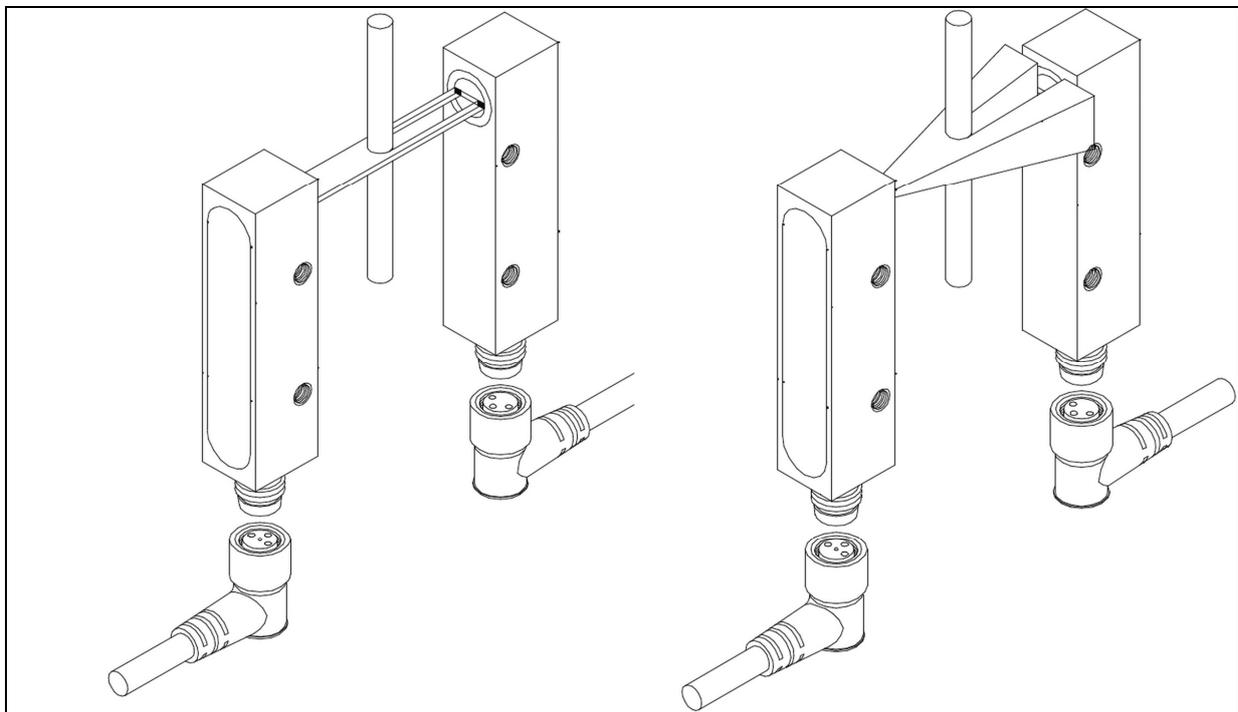


Abb. 19: Links eine Laser-Lichtschanke, rechts eine konventionelle Lichtschanke.

Lasersensoren (Abb. 19, links) ermöglichen sehr große Reichweiten. Dabei ist es bei Einweg-Systemen unerheblich, wo die Unterbrechung des Lichtstrahls erfolgt. Auf den Empfänger des Sensors trifft eine exakte Schattenprojektion des zu detektierenden Objektes auf, was bedeutet, dass der Abstand der Messobjekte vom Sender bzw. Empfänger in weiten Teilen das Messsignal nicht beeinflusst. Ebenso verhält es sich mit den Sensoren selbst. Da eine gegenseitige Beeinflussung kaum stattfindet, können mehrere Sensoren auf engem Raum betrieben werden.

Der sichtbare Laserstrahl ermöglicht eine einfache Justierung der Geräte, wobei sich mit seinem extrem kleinen Durchmesser selbst Objekte in der Größe eines Haars erkennen lassen. Blenden und Optiken sorgen zudem für eine gleichmäßige Lichtverteilung im Laserstrahl sowie eine scharfe Strahlbegrenzung.

Bei allen diesen positiven Eigenschaften zeigen Lasersensoren aber auch Nachteile: So lassen sich transparente Objekte mit ihnen nur schwer erfassen. Sehr raue Oberflächenstrukturen wie etwa Rohgussteile oder sandgestrahlte Bauelemente wiederum streuen den Laserstrahl derart stark, dass es bei tastenden Systemen zu Problemen kommen kann. Bei Materialien mit gekrümmten oder glänzenden Oberflächen muss der Sensorlichtstrahl bei Laser-Tastern möglichst senkrecht auftreffen. Außerdem ist darauf zu achten, dass bei bestimmten Sensorausführungen der Laserstrahldurchmesser nicht über den gesamten Arbeitsbereich konstant ist, wie Abb. 20 zeigt.

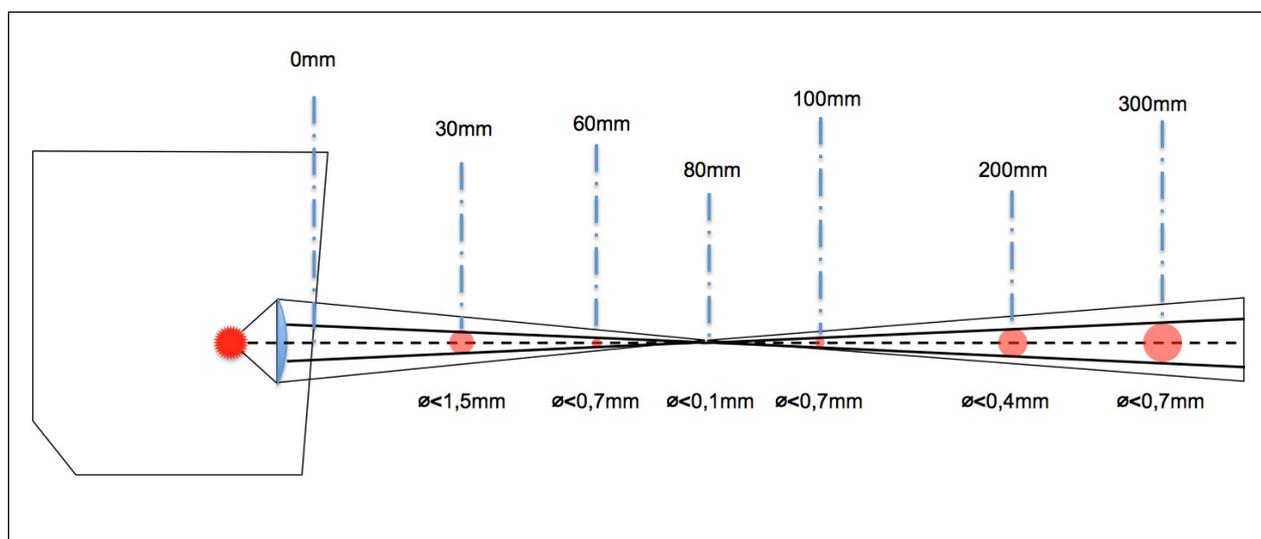


Abb. 20: Die kleinsten Objekte können im Bereich des Laserstrahlfokus erfasst werden.
An dieser Stelle ist auch die Positionier- und Wiederholgenauigkeit am größten.

Laser-Messsysteme zur Abstandsermittlung



Abb. 21: Die Abstandsmessung bei Laser-Messsystemen erfolgt nach dem Triangulationsprinzip.

Laser-Distanz-Sensoren (Abb. 21) sind sehr präzise und können daher den Abstand zu einem Objekt in sehr feinen Schritten auflösen. Sie eignen sich daher insbesondere für Messvorgänge an kleinen und schnell bewegten Objekten. Selbst Objekte mit häufig wechselnden Farben können mit diesen Geräten über eine Distanz von bis zu 1m sicher vermessen werden.

Die Distanzmessung kann mithilfe eines im Sensor integrierten Diodenarrays durchgeführt werden. Wie bereits auf den Seiten 17 bis 18 zum Thema Hintergrundausblendung ausgeführt, werden hierbei über einen Microcontroller 128 und mehr Dioden einzeln ausgelesen. Durch die hohe Anzahl an Dioden und einer internen Bestimmung des Schwerpunktes der Intensitätsverteilung (vgl. Abb. 14 auf Seite 17) über eine Sub-Pixel-Berechnung (8192 Sub-Pixel) kann die Lage des Objektes genau bestimmt werden. Diese Position wird dann als abstandsproportionales Analogsignal ausgegeben.

Für die Detektion von Objekten mit porösen oder rauen Oberflächen wurden spezielle Laser-Distanz-Sensoren mit besonderen Lichtstrahlgeometrien entwickelt. Durch die Verwendung einer feinen Laserlinie bei solchen Geräten haben wechselnde Beschaffenheiten der Objektoberflächen einen wesentlich geringeren bis gar keinen Einfluss auf die Zuverlässigkeit und Präzision einer Distanzmessung.

Um den Einfluss von stark unterschiedlichen Reflexionseigenschaften oder Objektfarben auf die Messungen zu verringern, verfügen die Sensoren über einen integrierten Regelkreis. Dieser reguliert die Leistung der Laserdiode des Gerätes in Abhängigkeit von den Oberflächeneigenschaften eines Objektes bzw. der Qualität des Empfängersignals. Bei dunklen Oberflächen hat die Diode daher eine hohe Intensität und bei hellen Oberflächen eine geringe Intensität. Auf diese Weise können die Messergebnisse nahezu farbusabhängig gebildet werden. Durch integrierte Teach-Optionen kann der genutzte Messbereich außerdem innerhalb des werkseitigen Messbereichs auf kleinere Grenzen eingestellt werden. Hierdurch erhalten Strom und Spannungsausgang eine neue, individuelle Kennlinie (siehe auch Abb. 23 auf Seite 26).



Abb. 22: Laser-Messsystem zur Abstandsmessung nach dem Phasenvergleichsprin-

Neben dem Einsatz eines integrierten Diodenarray wird bei größeren Messdistanzen auf ein anderes Messprinzip zurückgegriffen. Grund hierfür ist die wachsende Messungenauigkeit bei größeren Entfernungen, die sich auch dem oben beschriebenen Triangulationsprinzip ergeben.

Bei dem sogenannten „Phasenvergleichsverfahren“ wird die Sendelichtquelle (Laser-LED) mit einer festgelegten Frequenz getaktet, d.h. in festen Intervallen ein- und ausgeschaltet. Damit ergibt sich für den Sendelichtstrahl eine definierte Phasenlage. Der getaktete oder gepulste Lichtstrahl wird von dem Sensor abgestrahlt, durchläuft den Raum bis zum Objekt, wird von diesem reflektiert, und erreicht die im Sensor integrierte Empfangseinheit. Bedingt durch die vom Lichtstrahl zurückgelegte Wegstrecke zwischen Sensor und Objekt erfährt das Empfangssignal eine distanzabhängige Phasenverschiebung (Abb. 23) Diese wird im Gerät bestimmt und in ein abstandsproportionales Messsignal umgewandelt.

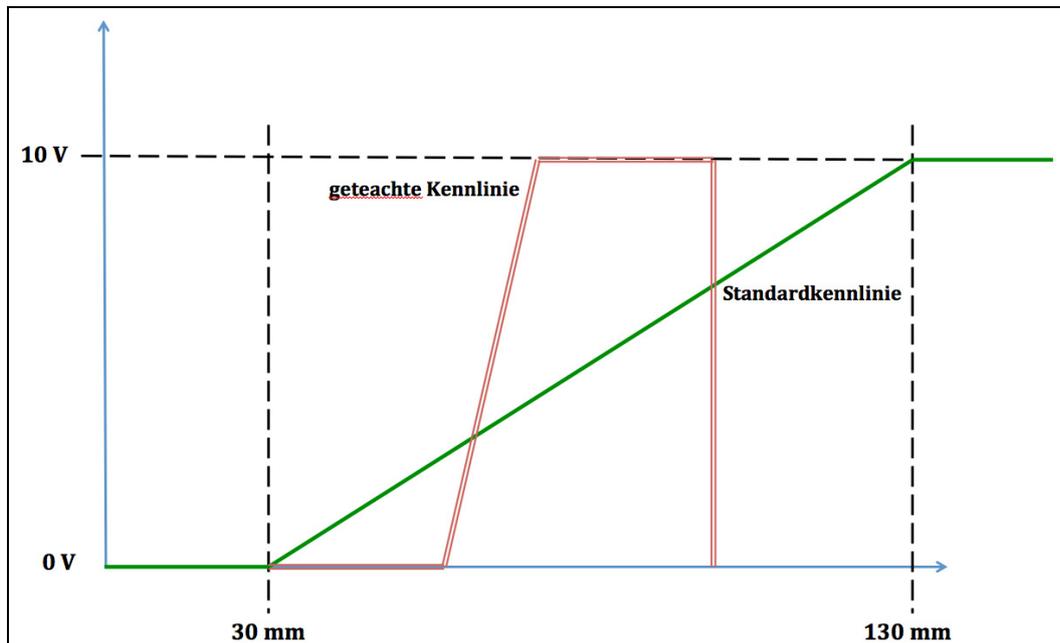


Abb. 23: Durch die vom Lichtstrahl zurückgelegte Entfernung zwischen Sensor und Objekt ergibt sich eine abstandsproportionale Phasenverschiebung zwischen Sende- (rot) und Empfangssignal (grün).

Sicherheitslichtgitter (Unfallschutzlichtgitter)

Entsprechend den Normen IEC 61496-1 und IEC 61496-2 (Sicherheit von Maschinen – Berührungslos wirkende Schutzvorrichtungen, Teil 1 und Teil 2) eignen sich diese Lichtgitter (Lichtvorhänge) zur Absicherung von Gefahrenbereichen. Zur Verfügung stehen dabei Auflösungen für den Finger- (14mm), Hand- (30mm) und Körperschutz (>40mm).

Mit Sicherheitslichtschranken lassen sich Gefahrenbereiche zuverlässig absichern ohne sie zu verbauen. Hierbei können auch große Bereiche, in denen potenzielle Gefahren für Personen drohen, abgesichert werden. Selbst mehrere Seiten einer Anlage lassen sich durch entsprechende Umlenkspiegel absichern. Alle Systeme sind zudem selbstüberwachend und somit eigensicher.

Die Nachteile von Sicherheitslichtschranken bestehen darin, dass Sender und Empfänger stets aufeinander ausgerichtet sein müssen und jeweils eine eigene Spannungsversorgung benötigen. Des Weiteren kann es aufgrund der Verwendung von nicht sichtbarem Infrarotlicht zu ungewollten Betätigungen kommen, insbesondere wenn man Sender und Empfänger in großem Abstand zueinander montiert hat.

Kamerasensoren



Abb. 24: Kamerasensor OC53 von ipf electro-

Kamerasensoren (Abb. 24) sind komplette, softwaregestützte Bildverarbeitungseinheiten in einem kompakten Metallgehäuse, das Optik, Beleuchtung und Elektronik integriert. Die Einsatzbereiche dieser Geräte liegen zwischen der klassischen Sensorik wie z. B. der Einweg-Systeme sowie -taster und der industriellen Bildverarbeitung. Kamerasensoren lassen sich demnach überall dort einsetzen, wo automatisch montiert, gefördert, sortiert oder verpackt wird.

Die integrierte Beleuchtung solcher Geräte kann aus Infrarot- oder Weißlicht bestehen. Für eine rückseitige Beleuchtung von Bauteilen zur Bewertung im Durchlichtbetrieb werden flächige Hintergrundleuchten eingesetzt.

Parametriert werden die Kamerasensoren mit Hilfe einer Windows-Software oder mit einem sogenannten Web-Interface. Die Software verfügt über vielfältige Prüfwerkzeuge wobei die Softwareoberfläche intuitiv bedienbar ist, um die Handhabung der Kamerasensoren in der Praxis so einfach wie möglich zu gestalten. Das Web-Interface lässt sich frei gestalten, damit der Nutzer einen einfachen Zugang zu den für ihn erforderlichen Sicht- und Einstelloptionen erhält.

Nach der Parametrierung arbeitet ein Kamerasensor völlig autonom, also „Stand-Alone“. Das Gerät lässt sich mit bis zu mehr als 255 abgespeicherten Prüfprogrammen in der Produktion bei Bedarf sehr schnell an wechselnde Produkte anpassen. Dabei spielt die Lage der zu kontrollierenden Bauteile keine Rolle. Die Programme können über digitale Eingänge von außen, z. B. über eine SPS, umgeschaltet werden.

Pro Programm ist es möglich, bis zu 32 Prüfpunkte zu kontrollieren, wobei zur Bewertung der jeweiligen Bauteile unterschiedliche Prüffunktionen bzw. Werkzeuge zur Verfügung stehen. Die Inspektionsergebnisse werden der übergeordneten Steuerung über digitale Schaltausgänge signalisiert. Durch die verstellbare Fokussierung des Kamerasensors und die Wahl zwischen zwei vordefinierten Objektivbrennweiten kann das System zudem optimal an die mechanischen Gegebenheiten vor Ort in einer Produktion angepasst werden.

Ein Kamerasensor ersetzt bis zu 255 x 32 konventionelle Sensoren und gewährleistet eine 100-prozentige Produktionskontrolle mit gleichbleibender Prüfqualität, wobei die Prüfbilder zur Dokumentation der Fertigungsqualität abgespeichert werden können.

Diesem breiten Spektrum an Vorzügen stehen allerdings auch einige, wenn auch wenige Nachteile gegenüber. So sollte ein Kamerasensor beim Einsatz vor Fremdlichteinflüssen geschützt werden. Darüber hinaus ist das Prüffeld eines Kamerasensors nicht beliebig groß und seine Auflösung begrenzt.

„Sehen“ kann ein solcher Sensor außerdem nur Graustufen, so dass zuverlässige Prüfergebnisse nur bei ausreichenden Kontrasten zu erzielen sind.

Wie zu dem Bereich Farbsensorik hat ipf electronic auch dem Thema Kamerasensoren unter der Überschrift „[Was ist beim Einsatz von Kamerasensorik zu beachten?](#)“ ein eigenes White Paper gewidmet.

Infrarotsensoren



Abb. 25: Infrarotsensoren nehmen eine Sonderstellung ein.

Infrarotsensoren (Abb. 25) nehmen innerhalb der optischen Sensoren eine Sonderstellung ein. Sie erfassen die von Objekten abgestrahlte Infrarotstrahlung über einen Detektor, der die Strahlung in ein elektrisches Signal umwandelt. Dieses Signal wird verstärkt und in einen linearisierten Messwert transformiert, der proportional zur Objekttemperatur ist. Der Messwert kann als Analogsignal oder als Schaltsignal beim Überschreiten vordefinierter Grenzen ausgegeben werden. Der Sensor schaltet demnach, wenn sich innerhalb seines Erfassungsbereiches ein Objekt mit einer ausreichenden Infrarotstrahlung (Temperatur) befindet.

Infrarotsensoren werden hauptsächlich in Bereichen eingesetzt, in denen herkömmliche Taster nicht verwendet werden können, weil deren Schaltabstand zu gering ist, sie durch die Wärmestrahlung des Objektes gestört werden oder aufgrund der Umgebungsbedingungen zu stark verschmutzen würden.

Zusätzlich zur Abfrage, ob ein Objekt am Ort der Detektion vorhanden ist oder nicht, können mit solchen Sensoren heutzutage auch Temperaturmessungen vorgenommen werden. Zu berücksichtigen ist dabei allerdings das jeweilige Material, an dem die Messungen durchgeführt werden sollen, da verschiedene Werkstoffe über unterschiedliche Wärmesignaturen verfügen.

Dieses White Paper ist urheberrechtlich geschützt. Die Verwendung des Textes (auch in Auszügen) sowie der Bildmaterialien in diesem Dokument ist nur mit schriftlicher Genehmigung der ipf electronic gmbh gestattet. Änderungen vorbehalten.