

SICK AG WHITEPAPER

HDDM⁺ – INNOVATIVE TECHNOLOGIE VON SICK FÜR DIE DISTANZMESSUNG

2017-11

AUTOR

Dr. Thorsten Theilig
Head of Product Unit Long Range Distance Sensors
bei der SICK AG in Waldkirch / Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Dieses Whitepaper beschreibt die vielfältigen Vorteile der optischen Distanzmesstechnik HDDM⁺ in unterschiedlichen Anwendungen. HDDM⁺ (High Definition Distance Measurement Plus) ist ein hochauflösendes Lichtlaufzeitverfahren zur berührungslosen Distanzmessung, das sowohl in Distanzsensoren als auch in 2D- oder 3D-LiDAR-Sensoren eingesetzt wird. Die Technologie ist für den Innen- und Außenbereich geeignet, für die Distanzmessung zu diffus reflektierenden Objekten und zu retroreflektierenden Reflektoren. Die Reichweite von Distanzsensoren mit HDDM⁺ beträgt bis zu 1,5 km auf retroreflektierende Folie. Bei HDDM⁺ handelt es sich im Gegensatz zu Technologien wie „single pulse“ oder Phasenkorrelation um ein statistisches Messverfahren. D. h., zur Berechnung eines Distanzwerts wertet der Sensor die Echos mehrerer Laserpulse statistisch aus. Mit HDDM⁺ lassen sich zudem Sensoren mit Multi-Echo-Fähigkeit realisieren. Sind mehrere Echos vorhanden, lässt sich das relevante Nutzecho identifizieren und für die Auswertung auswählen. Dies ermöglicht Distanzmessungen mit hoher Messsicherheit, auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen.

Inhaltsverzeichnis

Technologiegrundlagen	2
Optische Distanz- und LiDAR-Sensoren	2
Lichtlaufzeitmessung	2
Messverfahren Phasenkorrelation	3
Optische Pulslaufzeitmessung	3
Messverfahren HDDM+	4

Technologiegrundlagen

Optische Distanz- und LiDAR-Sensoren

Optische Distanzsensoren sowie 2D- und 3D-LiDAR-Sensoren (engl. LiDAR = Abk. für: light detection and ranging) kommen in den unterschiedlichsten Industrien und Anwendungen zum Einsatz. So reicht das Anwendungsspektrum von der Distanzmessung im Mikrometerbereich, z. B. in der Qualitätskontrolle der Elektronikfertigung, über die mehrdimensionale Objekterfassung und Positionsbestimmung mit 2D- und 3D-LiDAR-Sensoren im Maschinen- und Anlagenbau bis hin zur Positionsbestimmung von Brückenkranen oder schienenengebundenen Fahrzeugen. Je nach Distanzbereich, Anforderungen an die Mess- und Wiederholgenauigkeit und Umgebungsbedingungen werden unterschiedliche, für die jeweilige Anwendungssituation optimal geeignete Messprinzipien eingesetzt.

Lichtlaufzeitmessung

Die Lichtlaufzeitmessung (engl.: time-of-flight measurement; ToF, engl.: time-of-flight) ist ein indirektes Verfahren, um die Distanz zu einem Messobjekt zu bestimmen. Dabei sendet der Sensor einen Lichtstrahl in Richtung Messobjekt. Bei diesem Lichtstrahl handelt es sich in der Regel um Laserlicht mit Wellenlängen im sichtbaren Bereich oder im nahen Infrarot. Der Sensor empfängt das Licht, das das Messobjekt reflektiert. Aus der Laufzeit des Lichts wird mit Kenntnis der Lichtgeschwindigkeit die Distanz zwischen Sensor und Messobjekt berechnet.

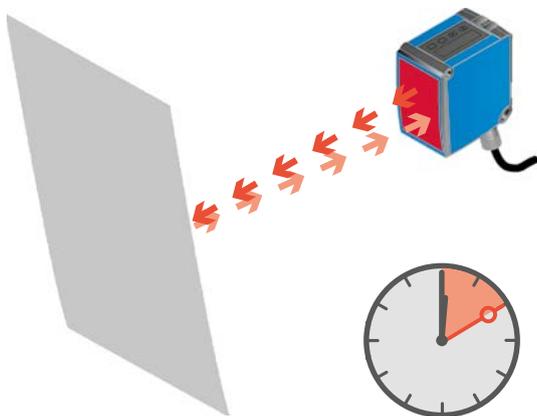


Abb. 1: Prinzipielle Darstellung der Lichtlaufzeitmessung.

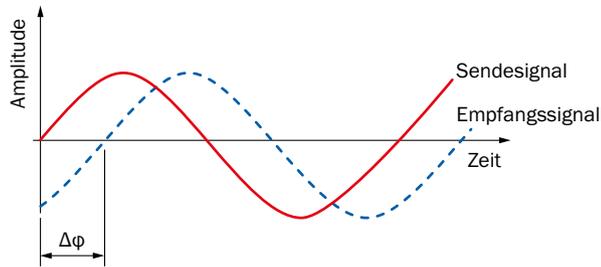
Die Distanzmessung ist praktisch unabhängig von den Oberflächeneigenschaften des Messobjekts. Die Lichtlaufzeitmessung eignet sich somit sowohl für die eindimensionale Distanzmessung als auch für die mehrdimensionale Messung mit LiDAR-Sensoren, die Flächen oder Raumwinkel erfassen.

Nahezu alle derzeit weltweit in industriellen Anwendungen eingesetzten LiDAR-Sensoren arbeiten nach folgendem Prinzip: Der Laserstrahl des Sensors erfasst die in seinem Scanbereich vorhandenen Objekte; die Empfangseinheit des Sensors misst das reflektierte Licht. Mit Kenntnis des Winkels, unter dem der Sensor den Laserstrahl aussendet und empfängt, und der Lichtlaufzeit wird ein Abbild des Erfassungsbereichs erstellt.

Infrarotlicht der bei der Lichtlaufzeitmessung häufig verwendeten Wellenlängen von 850 nm und 905 nm ist für den Menschen unsichtbar. Dies ist in vielen Anwendungen von großem Vorteil. So sind z. B. 2D-LiDAR-Sensoren, die auf Infrarotbasis arbeiten, zur Sicherung von Kunstwerken in Museen im Einsatz. Auch in Arbeitsumgebungen wirkt das unsichtbare Laserlicht nicht störend. Zur Ausrichtung eines Infrarot-Distanzensors auf das Messobjekt wird zumeist ein sichtbarer Ausrichtlaser zugeschaltet. Die Scanbereiche von Infrarot-basierten LiDAR-Sensoren werden häufig mithilfe externer Infrarotsichtgeräte visualisiert. Bei der Distanzmessung mit sichtbarem Licht kann der Messlaser direkt zur mechanischen Ausrichtung des Sensors verwendet werden.

Messverfahren Phasenkorrelation

Beim Messverfahren Phasenkorrelation sendet der Sensor einen kontinuierlichen amplitudenmodulierten Lichtstrahl aus. Die Distanz zwischen Sensor und Messobjekt wird aus der Phasenverschiebung der Modulation zwischen dem ausgesendeten und dem empfangenen Licht ermittelt.



$$s = \frac{a \cdot \lambda + R \cdot \lambda}{2}$$

a = Anzahl der Wellenlängenperioden

λ = Wellenlänge: $\lambda = c_0 / f$

(c_0 = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, f = Frequenz)

R = Bruchteil einer einzelnen Wellenlänge: $R = \Delta\phi / 2\pi$

($\Delta\phi$ = Phasenverschiebung)

s = Distanzmesswert

Abb. 2: Funktionsprinzip des Messverfahrens Phasenkorrelation.

Das Messverfahren Phasenkorrelation eignet sich insbesondere für die hochgenaue und schnelle Distanzmessung zu Objekten, die sich kontinuierlich längs der Laserachse bewegen. Diese Art der axialen Objektverfolgung ist z. B. bei der Positionsbestimmung von Regalbediengeräten in voll automatisierten Hochregallagern zu finden. Der Distanzsensor bewegt sich zumeist mit dem Regalbediengerät und misst die Distanz zu einem ortsfesten Reflektor am Ende der Regalgasse.

Optische Pulslaufzeitmessung

Bei der Pulslaufzeitmessung sendet der Sensor kurze Lichtpulse aus, die das Messobjekt teilweise reflektiert. Der Sensor ermittelt die Zeitdifferenz zwischen Senden und Empfangen des Pulses und errechnet daraus die Distanz zwischen Sensor und Objekt. Bei der Pulslaufzeitmessung unterscheidet man zwischen deterministischen und statistischen Verfahren. Bei deterministischen Pulslaufzeitsystemen („single pulse“) sendet der Sensor einzelne Laserpulse aus und ermittelt aus der Laufzeit jedes Pulses einen Distanzwert. Statistische Pulslaufzeitsysteme hingegen senden in kürzester Zeit eine Serie an Pulsen aus. Aus den empfangenen Echos einer Serie wird mit statistischen Methoden ein Distanzwert errechnet. Somit lässt sich auch bei Verlust einer oder mehrerer Echos einer Serie aufgrund von Störungen im Messpfad ein valider Distanzwert mit hoher Messsicherheit ermitteln.

Im Unterschied zum Messverfahren Phasenkorrelation, bei dem ein kontinuierlicher Lichtstrahl verwendet wird, enthalten die Einzelpulse der Pulslaufzeitsysteme eine um mehrere Größenordnungen höhere Spitzenleistung. Damit können Pulslaufzeitsysteme prinzipbedingt robuster gegenüber Fremdlicht – wie es typischerweise in Außenanwendungen auftreten kann – ausgelegt werden.

Messverfahren HDDM+

HDDM+ (High Definition Distance Measurement Plus) ist ein hochauflösendes Lichtlaufzeitverfahren zur berührungslosen Distanzmessung, das sowohl in Distanzsensoren als auch in 2D- oder 3D-LiDAR-Sensoren eingesetzt wird. Als Weiterentwicklung der bewährten HDDM-Technologie ist HDDM+ für den Innen- und Außenbereich geeignet, sowie für die Distanzmessung zu diffus reflektierenden Objekten und zu retroreflektierenden Reflektoren. Die Reichweite von Distanzsensoren mit HDDM+ beträgt bis zu 1,5 km auf retroreflektierende Folie. Bei HDDM+ handelt es sich im Gegensatz zu Technologien wie „single pulse“ oder Phasenkorrelation um ein statistisches Messverfahren. D. h., zur Berechnung eines Distanzwerts wertet der Sensor die Echos mehrerer Laserpulse statistisch aus.

Mit HDDM+ lassen sich zudem Sensoren mit Multi-Echo-Fähigkeit realisieren. In manchen Anwendungen empfängt der Sensor aufgrund von Mehrfachreflexionen des Lichtstrahls mehrere Echos. Mögliche Ursachen solcher (Stör-)Echos sind z. B. Schutzscheiben, durch die gemessen wird, Regen, Schnee, Nebel oder Staub.

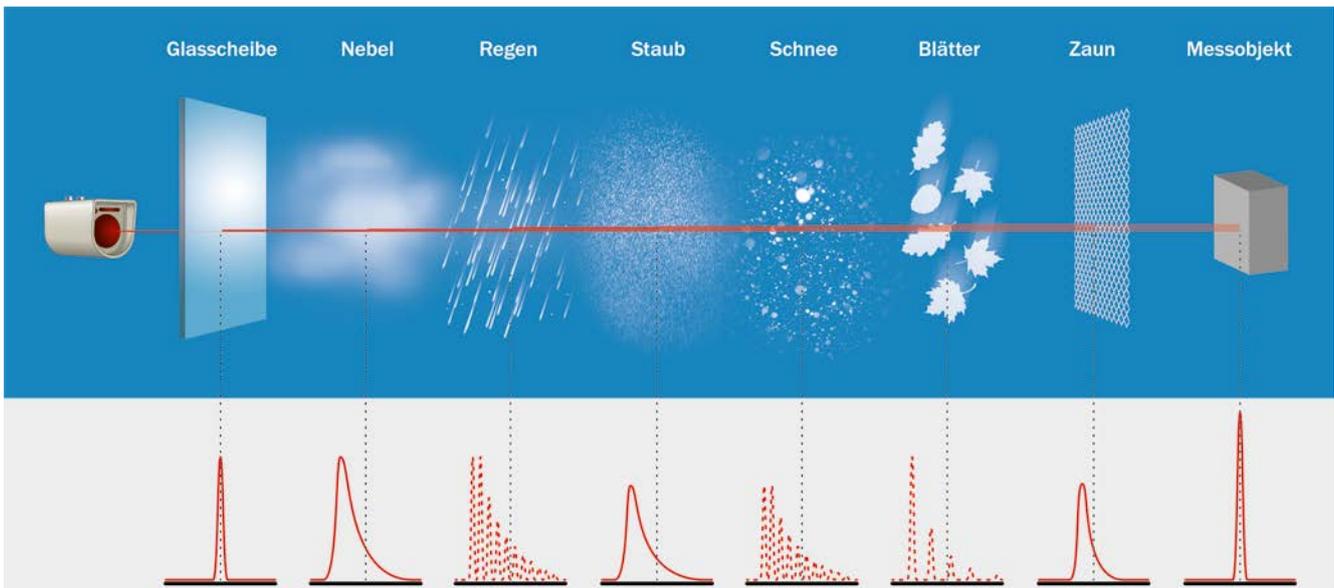


Abb. 3: Die Grafik zeigt sinnbildlich die Multi-Echo-Fähigkeit der SICK-Distanzsensoren Dx1000, die mit jeder Messung bis zu 8 Echos aufgrund von Reflexionen entlang der Messstrecke unterscheiden können.

In der Regel repräsentiert nur eines der empfangenen Echos die reale Distanz zwischen Sensor und Messobjekt. Die übrigen Echos können zu Fehlmessungen führen. Im Distanzsensor Dx1000 und 3D-LiDAR-Sensor MRS1000 erlaubt es die Multi-Echo-Fähigkeit der Technologie HDDM+ bei Vorhandensein mehrerer Echos das relevante Nutzecho zu identifizieren und nur dieses auszuwerten und an die angeschlossene Steuerung zu übermitteln. Die unerwünschten Echos lassen sich ausblenden.

Im Beispiel des Distanzsensors Dx1000 erlaubt die Benutzeroberfläche SOPAS ET, die erfassten Echos als Funktion der Objektdistanz am PC grafisch anschaulich darzustellen und das Nutzecho auszuwählen. Dazu kann eine „Region of Interest“ (ROI) definiert werden. Echos, die innerhalb der ROI liegen, werden ausgewertet; Echos außerhalb werden verworfen. So lassen sich Distanzmessungen auf entfernte Messobjekte durch einen Gitterzaun hindurch realisieren, indem die ROI so eingestellt wird, dass das Nutzecho des Messobjekts innerhalb und das Echo des Zauns außerhalb der ROI liegen. Zudem lässt sich das erste oder das letzte der vorhandenen Echos innerhalb der ausgewählten ROI für die Auswertung auswählen.

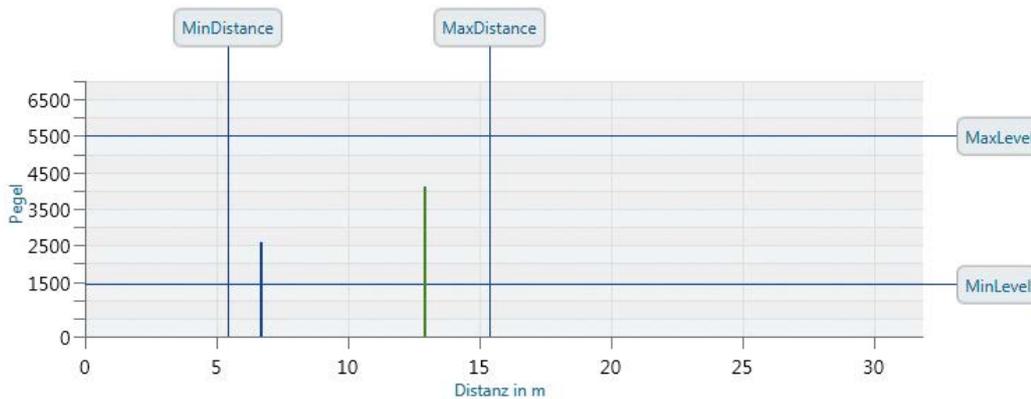


Abb. 4: Grafische Anzeige und Einstellung der Region of Interest des SICK-Distanzsensors Dx1000.

Damit lassen sich Distanzmessungen selbst auf spiegelnde Oberflächen realisieren. Ein Beispiel stellt die Füllstandmessung von flüssigem Aluminium dar. Bei Fehlen eines Oxidfilms auf dem flüssigen Aluminium wird der Laser des Distanzsensors durch die spiegelartige Oberfläche gerichtet reflektiert. Eine direkte Reflexion des Lichtstrahls in die Empfangsoptik führt bei konventionellen Laserdistanzsensoren in der Regel zu Fehlmessungen und Störungen. Um dies zu vermeiden, wird der Distanzsensor in der Regel wenige Winkelgrade aus der Oberflächennormalen heraus ausgerichtet. Dennoch empfängt der Sensor ein Echo vom Messobjekt. Da jedoch ein beträchtlicher Teil des Lichtstrahls durch die spiegelnde Oberfläche an der Empfangsoptik des Sensors vorbei in den Hintergrund reflektiert wird, empfängt der Sensor in der Regel ein zweites Echo, das von einer Hintergrundreflexion, z. B. an einer Hallendecke, herrührt. Bei einem konventionellen Distanzsensor mit Lichtlaufzeittechnologie führt die gleichzeitige Erfassung von zwei Echos in den meisten Fällen zu Fehlmessungen oder gar Störungen. Mit der Multi-Echo-Technologie von HDDM⁺ hingegen lässt sich das Stör-echo identifizieren, durch geeignete Einstellung der ROI ausblenden und damit eine Distanzmessung mit hoher Messsicherheit auf die spiegelnde Oberfläche realisieren.

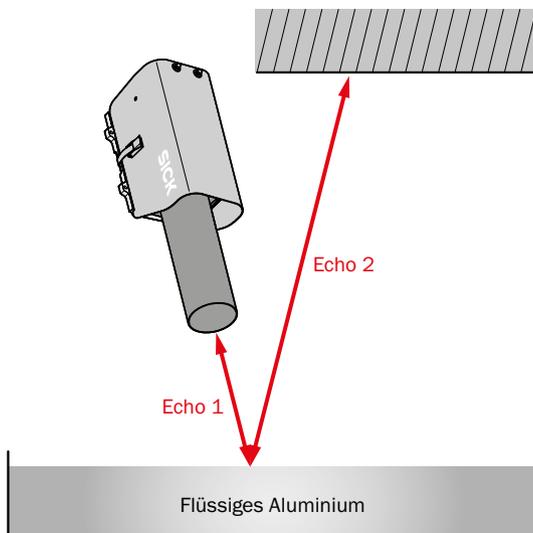


Abb. 5: Mehrfach-Echo-Situation bei Distanzmessung auf flüssige Aluminiumoberfläche.

In den LiDAR-Sensoren LMS1000, MRS1000 und TiM100 erlaubt die Multi-Echo-Fähigkeit der Technologie HDDM⁺ eine außerordentlich präzise Darstellung von Objektkanten. Streift der Messlaser mit seinem endlich großen Lichtfleck die Objektkante, erzeugt ein dahinter liegendes Objekt in der Regel ein zweites Echo. Die Multi-Echo-Fähigkeit von HDDM⁺ unterbindet zuverlässig die Vermischung der beiden Echos und liefert ein genaues Abbild der Objektkante.

Mit HDDM+ ausgestattete Distanz- und LiDAR-Sensoren eignen sich in besonderer Weise für den Einsatz im Außenbereich. Dazu gehört eine hohe Robustheit gegenüber Fremdlicht, Niederschlag, Nebel oder Staub im Messpfad. Die Unempfindlichkeit gegenüber Fremdlicht resultiert aus der statistischen Auswertung der Echos. Falsche Echos aufgrund eines hohen Fremdlicht-induzierten Stroms der Fotodiode, die bei Single-pulse-Messverfahren zu Fehlmessungen führen können, werden effektiv herausgefiltert. Für eine störungsfreie Messung bei Regen oder Schnee lassen sich aufgrund der Multi-Echo-Fähigkeit zudem kurzzeitige Reflexionen des Messlasers effektiv herausfiltern. Darüber hinaus erlaubt die Technologie HDDM+ die effektive Unterdrückung von unerwünschten Reflexionen aufgrund von Nebel oder Staub im Messbereich.

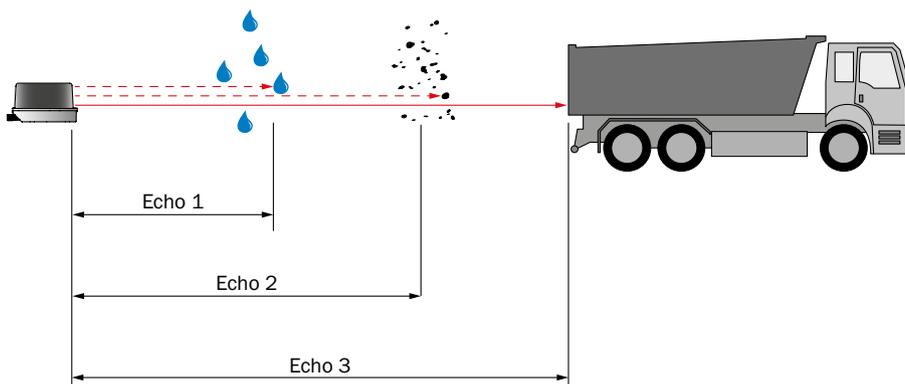


Abb. 6: Prinzipielle Darstellung der Multi-Echo-Fähigkeit der SICK-LiDAR-Sensoren LMS1000 und MRS1000 bei Staub, Regen, Schnee oder Nebel entlang der Messstrecke.

Im Hafen lassen sich z. B. Kollisionen von rädergeführten Portalkranen (rubber tired gantry, RTG) durch die permanente Überwachung des Fahrbereichs mit einem 3D-LiDAR-Sensor MRS1000 vermeiden. Die Multi-Echo-Technologie erlaubt die zuverlässige Unterscheidung zwischen Störechos aufgrund von Regen oder Nebel und den Echos von Containern und anderen Hindernissen im Fahrbereich. So lassen sich Kollisionen zuverlässig vermeiden und es lässt sich gleichzeitig eine hohe Verfügbarkeit erreichen.

HDDM+ erlaubt es zudem, die Reichweite eines Distanzsensors durch geeignete Wahl der Messzykluszeit an die individuelle Applikation anzupassen. Stand der Technik ist eine minimale Messzykluszeit von 1 ms für hochdynamische Anwendungen. Liegt das Hauptaugenmerk der Messung auf einer großen Reichweite und bestmöglicher Wiederholgenauigkeit, so lässt sich das durch eine Verlängerung der Messzykluszeit erreichen. Damit lassen sich bei der Distanzmessung auf natürliche Messobjekte je nach Remission des Messobjekts Reichweiten von mehreren hundert Metern realisieren. Reflektoren wie die Reflexionsfolie „Diamond Grade“ erkennt der Distanzsensor DL1000 selbst im Abstand von eineinhalb Kilometern sicher. Mit demselben Sensor ist eine Distanzmessung bis zu einem minimalen Abstand von 20 cm möglich. Mit der Technologie HDDM+ ist es möglich, trotz extrem unterschiedlicher Signalpegel zuverlässig ein rauscharmes Distanzsignal zu ermitteln.

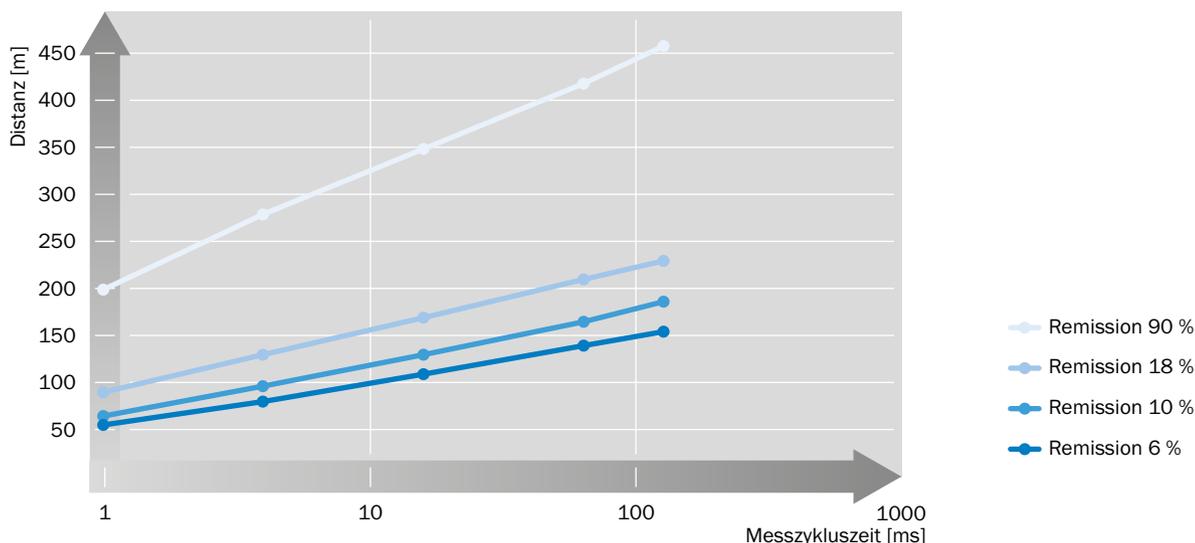


Abb. 7: Durch Einstellung der Messzykluszeit lässt sich bei dem SICK-Distanzsensor DT1000 die Reichweite bei der Messung auf natürliche Messobjekte (d. h., keine retroreflektierenden Objekte) an die jeweilige Anwendung anpassen. Die Remission ist ein (objektabhängiges) Maß für die Reflexion des Messlasers am Messobjekt.

HDDM⁺ eignet sich insbesondere auch für die Messung auf heiße Oberflächen, wie sie z. B. bei der Füllstandmessung von flüssigem Stahl oder bei der Positionsbestimmung von Stahlbrammen beim Stranggießen auftreten. Objekte mit Temperaturen ab ca. 700 °C senden je nach Emissionsgrad einen signifikanten Anteil ihrer Wärmestrahlung im nahen Infrarot aus. Bei konventionellen Infrarotlicht-basierten Lichtlaufzeitverfahren kann dies zu Fehlmessungen oder sogar zum Versagen des Sensors führen.

Während das Messverfahren Phasenkorrelation in erster Linie für die axiale Objektverfolgung geeignet ist, lassen sich mit HDDM⁺ sowohl sich kontinuierlich verändernde Distanzen als auch sprunghafte Distanzänderungen erfassen. Sprunghafte Distanzänderungen treten z. B. bei seitlichem Einfahren von Objekten in den Messlaser eines Distanzsensors oder bei der Objekterfassung mit einem LiDAR-Sensor auf, bei der der Messlaser die im Erfassungsbereich vorhandenen Objekte überstreicht. Bei einem LiDAR-Sensor, der auf dem deterministischen Pulslaufzeitverfahren basiert, wird jedem einzelnen Laserpuls ein Distanzwert zugeordnet. Im Unterschied dazu führen bei LiDAR-Sensoren mit der Technologie HDDM⁺ eine Vielzahl von Laserpulsen pro Winkelsegment zu einer Überlappung der Laserlichtflecke und damit zu einer lückenlosen Abtastung des Scanbereichs.

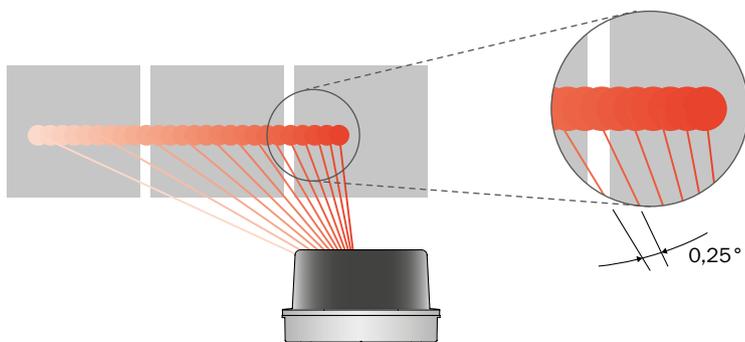


Abb. 8: Lückenlose Abtastung des Scanbereichs am Beispiel des SICK LiDAR-Sensors MRS1000.

REFERENZEN

→ www.sick.com/micron-to-mile