

SICK AG WHITEPAPER

FUNKTIONSWEISE UND VARIANTEN VON LiDAR-SENSOREN

2018-07

AUTOR

Harald Weber
Head of Product Unit Ranging LiDAR sensors
bei der SICK AG in Waldkirch / Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Abhandlung zeigt die Vielzahl von LiDAR-Anwendungen. LiDAR-Sensoren werden als 1D-, 2D- oder 3D-Variante weltweit in industriellen Fertigungen, in Verkehrssystemen oder Logistikbereichen eingesetzt. Durch die Zunahme der Automatisierung und die zunehmende Verbreitung von fahrerlosen Transportsystemen werden sie schon in naher Zukunft eine immer wichtigere Rolle für die funktionale Sicherheit und das berührungslose Erkennen und Bewerten von Objekten spielen.

Zu den neuesten LiDAR-Vertretern gehören z. B. die Sensorfamilien Dx1000, TiMxxx, MRS1000, MRS6000 oder NAV von SICK. Sie ergänzen das Portfolio, welches mit LMS1xx, LMS5xx, LD-MRS und LD-LRS schon besteht.

Inhaltsverzeichnis

Was bedeutet LiDAR?	2
LiDAR-Sensoren als 1D-, 2D- oder 3D-Variante	2
Messen mit Laser – unterschiedliche Messverfahren	4
Messverfahren bei 1D-, 2D- oder 3D-Sensoren	9

Einleitung

LiDAR-Sensoren sind seit Jahrzehnten weltweit in der Industrie im Einsatz. Die Sensoren schützen Personen und machen automatisierte Abläufe erst möglich. Das betrifft sowohl Innen- als auch Außenbereiche. Hafenautomatisierung, Verkehrsmanagementsysteme oder Objektschutzanlagen sind nur einige beispielhafte Anwendungsgebiete.

Im Folgenden wird die grundsätzliche Funktionsweise der verschiedenen LiDAR-Varianten erläutert. Darüber hinaus zeigen ausgewählte Beispiele Anwendungsmöglichkeiten der berührungslosen, oft unsichtbaren Laserscanner. Aus diesen Beispielen erschließt sich die Wichtigkeit von LiDAR-Anwendungen für Industrie 4.0.

Was bedeutet LiDAR?

Sensoren, deren Funktionsweise auf der berührungslosen Abstandmessung durch Laser beruht, sind aus der Welt der Automatisierung heute nicht mehr wegzudenken. Begonnen hat diese Entwicklung als sogenannte TOF-Messtechnik. TOF (Time of Flight), zu Deutsch Lichtlaufzeit, wird mittlerweile in der Regel durch die genaueren Begrifflichkeiten LADAR oder das am meisten gebrauchte LiDAR ersetzt. LADAR (Laser Detection and Ranging) oder LiDAR (Light Detection and Ranging) sind bewusst angelehnt an das populär benutzte RADAR, das für Radio Detection and Ranging steht.

LiDAR-Sensoren als 1D-, 2D- oder 3D-Variante

In ihrer einfachsten Ausführung arbeiten LiDAR-Sensoren in Distanzmessgeräten und Sensoren als punktförmige Abstandmesssysteme. Für die direkte Abstandmessung werden sie hierbei auf ein natürliches Ziel oder einen Reflektor gerichtet. Sensoren, die auf dieser Basis in einer Dimension (Distanz) arbeiten, sind sogenannte eindimensionale, also 1D-Sensoren.

Bewegt man den Messstrahl bzw. rotiert diesen in einer Ebene, so erhält man eine Aussage zu Abstand und Winkel, folglich in zwei Dimensionen. Für eine solche Messung eingesetzte Sensoren werden üblicherweise als 2D-Laserscanner oder 2D-LiDAR-Sensoren bezeichnet. Sie ermitteln Messwerte in einer sequenziellen Reihenfolge mit üblicherweise gleichem zeitlichen Abstand der Messungen.

In der dritten Dimension arbeitet man mit LiDAR-Sensoren, wenn diese geschwenkt werden. Dann erhält man sowohl Informationen über Abstand und Position in x-Richtung als auch über die Positionen in y- und z-Richtung. Die gleiche Information über die unterschiedlichen Raumparameter erhält man, wenn mehrere Sende- oder Empfangssysteme in unterschiedlichen horizontalen Winkeln in einem Sensor scannend bewegt werden. Diese bezeichnet man heute als Mehrlagenscanner.

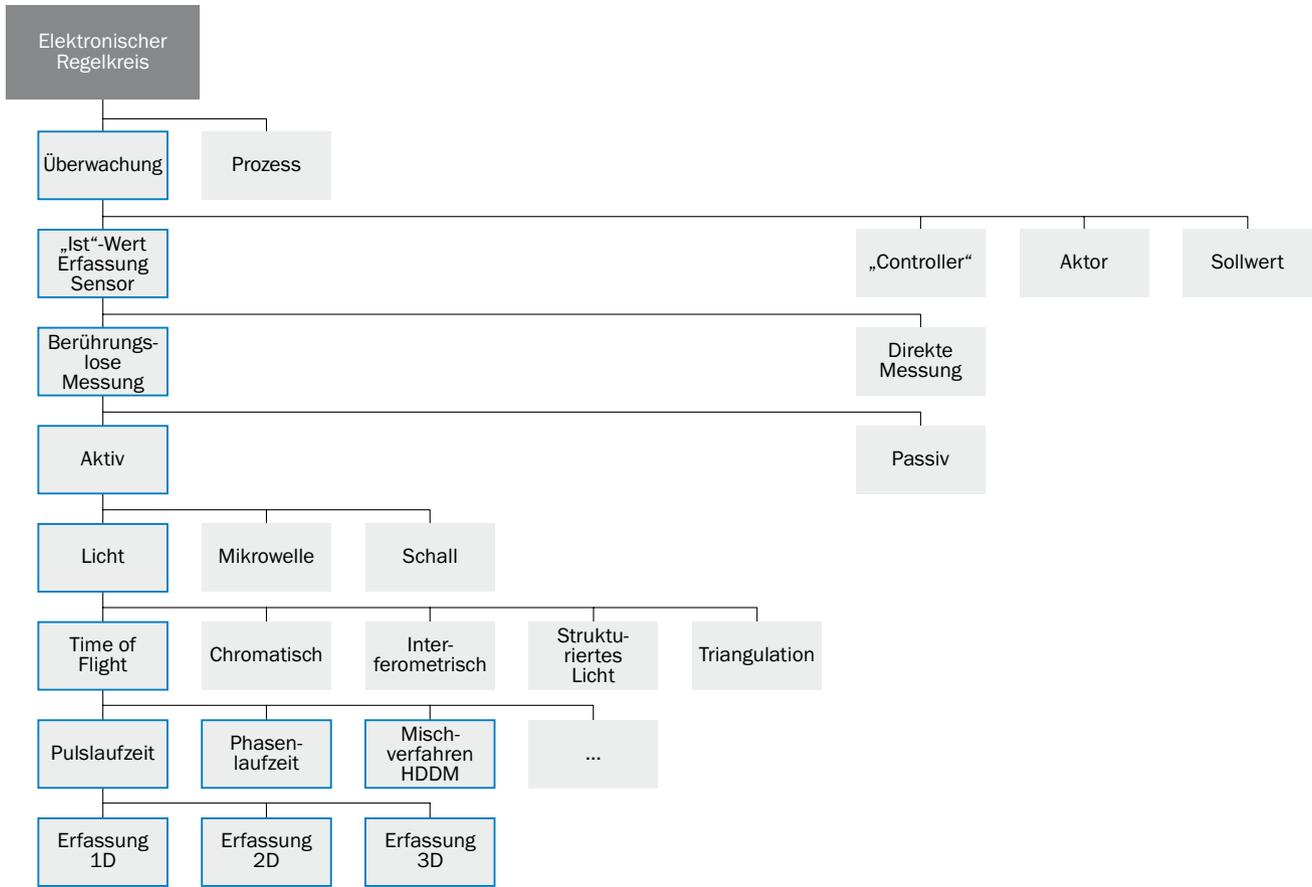


Abb. 1: Struktureller Aufbau elektronischer Regelkreis

LiDAR-Sensoren werden meistens in klassischen industriellen Regelkreisen verwendet. Die Verwendung von Sensoren auf Basis von LiDAR in Anwendungen der Qualitätssicherung wird an anderer Stelle beleuchtet.

Regelkreis

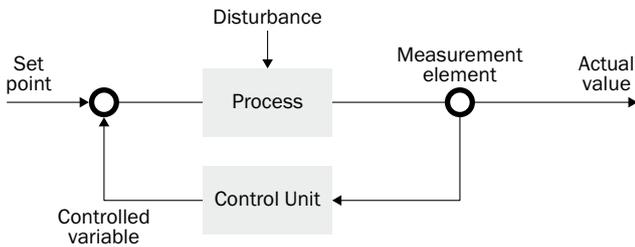


Abb. 2: Prinzipschaltbild Regelkreis

Im klassischen Regelkreis bieten LiDAR-Sensoren den Vorteil, dass diese den Istwert, erfasst durch das Measurement Element, am Ausgang des Arbeitsprozesses berührungslos erfassen. In einem berührungslos messenden Verfahren erfüllen sie die Anforderung, keinen mechanischen oder sonstigen Druck auf das Messobjekt auszuüben. So wird ein rückwirkungsfreier Vorgang ermöglicht und für die nachfolgende Regelkreisschleife ein zuverlässig nachvollziehbares Messergebnis zur Verfügung gestellt.

Messen mit Laser – unterschiedliche Messverfahren

Einen Laser zu verwenden bedeutet, das Messobjekt aktiv zu beleuchten. Mit einer aktiven Beleuchtung kann in jeglicher Messsituation der Vorteil genutzt werden, dass der Empfänger des Sensors auf die Sendequelle abgestimmt wird. Der Sensor ist unabhängig von externen Lichtquellen und kann bei Nacht, unter Tage, in Tunneln etc. mit der gleichen Effizienz verwendet werden wie bei Einsätzen im Außenbereich oder bei künstlichem Licht.

Die Verwendung von gebündeltem, kohärentem Licht eines Lasers bringt weitere Vorteile mit sich. So lässt sich z. B. das Sendesignal zur Erfassung eines Objekts räumlich scharf abgrenzen. Hierbei ist es wichtig, dass die Sensoren augensicher ausgeführt sind und den jeweiligen gesetzlichen Bestimmungen zu den zulässigen emittierten Leistungen entsprechen. Die Fokussierung von Sendelasern ermöglicht im 2D- und 3D-Bereich feine Auflösungen, um Objekte in großer Entfernung oder mit feinen Strukturen abzutasten.

Zum Messen mit Lasern als Sendequelle gehört die Verwendung eines entsprechend geeigneten Empfangselements. Sender und Empfänger, sowie die Auswerteeinheit mit einer hohen zeitlichen Auflösung, bilden das Herzstück des LiDAR-Sensors. Die nachfolgenden elektronischen Schaltungen sind für die Verwendung der gewonnenen Messdaten relevant. Hier fließen Daten zur mechanischen Ausrichtung der Sende- und Empfangseinheiten und der hinsichtlich der Anwendung des Sensors relevanten leistungstechnischen Abstimmung zusammen.

Ein berührungsloses Messverfahren erfordert, dass das Messobjekt entsprechend dem Messprinzip des Sensors physikalisch erfassbar ist. Bei der Verwendung von Laser bedeutet dies ein störungsfreies Strahlen des Lasers zum und vom Objekt in der direkten „line of sight“. Dabei besteht ein großer Vorteil der berührungslosen Lasermessung darin, dass sie bei nahezu jeder Art der Beschaffenheit des Messobjekts funktioniert. Dies ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten der berührungslosen Erfassung durch Laser in der industriellen Welt. Laserbasierte Messsensoren finden z. B. Verwendung in der Logistik, etwa bei Förderprozessen, bei der Erfassung von Verkehrsflüssen auf Straßen oder bei der Automatisierung von Be- und Entladevorgängen an Containern in Häfen.

Die reflektierte Lichtleistung eines Laserpulses hängt unmittelbar vom Abstand und der Beschaffenheit des Messobjekts ab. Durch die rechtwinklige, flächige Ausbreitung des Laserpulses in Senderichtung, der Divergenz, wird abhängig von der Entfernung pro Flächeneinheit weniger Lichtleistung auf das Objekt eingestrahlt. Die gleichen Ausbreitungsbedingungen gelten für das reflektierte Licht. Auch sind die zu betrachtenden Oberflächen nicht notwendigerweise so ausgerichtet, dass das gesamte reflektierte Licht in Richtung des Sensors zurückgestrahlt wird. In der Regel kommt nur ein Bruchteil des reflektierten Lichts im Empfänger des LiDAR-Sensors an.

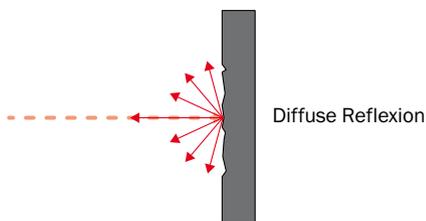


Abb. 3: Reflexion des Lichtstrahls an der Oberfläche des Objekts

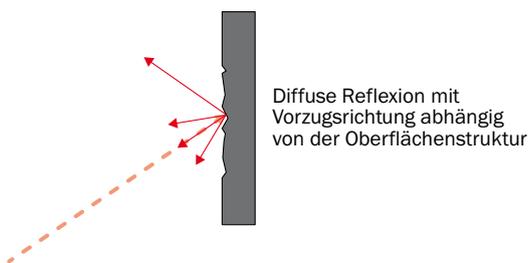


Abb. 4: Reflexionswinkel

Die Reflexion am Objekt hängt direkt von der Objektbeschaffenheit ab. Das beschreibt die sogenannte Remission. Glanz und Reflexionseigenschaft des Objekts bestimmen diesen Wert. Die Remission wird in Prozentwerten nach der Kodak-Standard-Tabelle angegeben. Steinkohle hat ca. 5 %, mattes schwarzes Schuhleder ca. 10 %, eine weiße Gipswand ca. 90 % Remission. Retroreflektoren, die das in Richtung Strahlquelle gerichtete Licht reflektieren, erreichen Remissionswerte von bis zu 10.000 %, Reflexionsfolie immerhin noch 3.000 %. Die Reflexionseigenschaften von Objekten, die sowohl direkt vor dem Sensor als auch in großen Entfernungen zu ihm detektiert werden, bilden eine Herausforderung hinsichtlich der Dynamik des Empfängers des Sensors. Durch optimales Aufeinander-Abstimmen von Lasersender, Energie des Pulses und Sensitivität des Empfängers können LiDAR-Sensoren auch Objekte in großer Entfernung mit niedriger Remission zuverlässig messen.

Bei der Abstandmessung mit Lasern wird auf dem direkten Weg zunächst der kürzeste Abstand zwischen Objekt und Sensor erfasst. Dies ist ein großer Vorteil, da es bei der Messung mit Lichtgeschwindigkeit zu keiner zusätzlichen Ablenkung und damit zu keiner zusätzlichen „Vergrößerung“ kommen kann. In wenigen Anwendungsfällen ist dies jedoch auch ein Nachteil. Die Vermessung von Objekten, die hinter einer Glasscheibe oder Folienverpackung platziert sind, kann schwierig sein. LiDAR-Sensoren „schauen“ nicht um die Ecke und üblicherweise nicht durch Objekte hindurch, auch wenn das im Sinne der Applikation gewünscht wäre. Transparente Objekte sind in den meisten Fällen Ursache für Störungen im Messwert, werden aber in der Anwendung oftmals z. B. durch Multi-Echo-Technologie zuverlässig ausgefiltert.

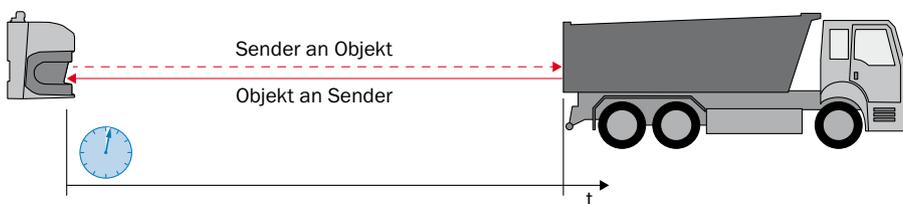


Abb. 5: Abstandvermessung mit Pulslaufzeitmessung

Die Auswahl des geeigneten Messverfahrens optimiert den LiDAR-Sensor für die jeweilige Anwendung.

Messverfahren Phasenkorelation

Das Phasenkorelationsverfahren wird auch im Whitepaper HDDM⁺ (8022026) beschrieben. Es gehört zu den klassischen Abstandmessverfahren. Hierbei wird einem kontinuierlichen Laserstrahl ein Signal mit einer bestimmten Frequenz aufgeprägt. Der Phasenlaufzeitunterschied zwischen Sendestrahl und Empfangsstrahl wird sodann im Empfänger erfasst und in der Auswerteeinheit ausgewertet. Der Phasenunterschied korreliert mit dem Abstand zwischen Sensor und Objekt. Ein systematischer Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Messung des Phasenunterschieds nach einer Phasendifferenz von mehr als 360° keine eindeutige Aussage zum Abstand mehr zulässt. Man spricht hier auch von einem Eindeutigkeitsbereich von < 360°. Eine Lösung bei eindimensionalen Systemen sind Sensoren, die verschiedene Frequenzen unterschiedlicher Wellenlänge durchschalten und durch logische Vergleiche der Messwerte eine große Reichweite und zudem eine hohe Genauigkeit erreichen.

Messverfahren Pulslaufzeit

Zum Erfolg der LiDAR-Sensoren für Reichweiten bis zu mehreren Hundert Metern hat das Pulslaufzeitverfahren geführt. Es gibt mittlerweile Sensoren, die über einen Zähler Lichtlaufzeiten in einem Bereich von wenigen Zentimetern auflösen können. Das Pulslaufzeitverfahren verwendet die reine Laufzeit eines Lichtpulses zwischen Sender, Objekt und Empfänger. Reflektiert ein Objekt den Laserpuls, so hat die Messung den kürzesten Abstand zwischen Objekt und Sensor erfasst. Durch die Messung mit Lichtgeschwindigkeit sind die Messwerte durch LiDAR-Sensoren auf Basis des Pulslaufzeitverfahrens äußerst robust und verfügbar.

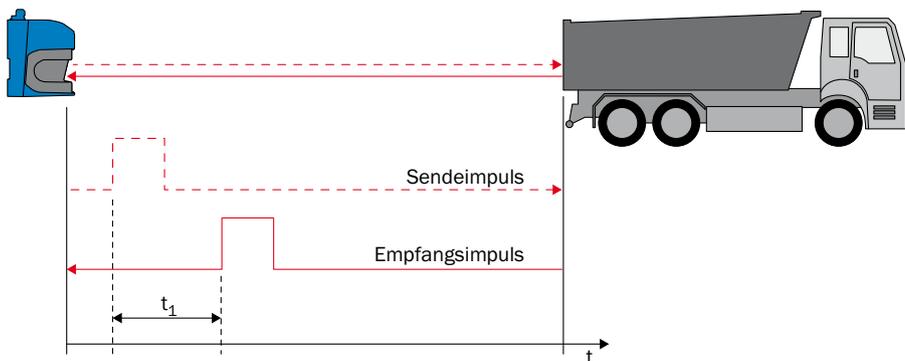


Abb. 6: Funktionsprinzip der Laufzeitmessung

Messverfahren HDDM+ (Statistische Auswertung):

High Definition Distance Measurement Plus (HDDM+) ist ein statistisches Verfahren. Es wird im Whitepaper HDDM+ (8022026) näher beschrieben. Bei diesem Verfahren nutzt man den Effekt vieler Einzelpulse, die anhand des bekannten Sendemusters wieder zusammengruppiert werden und mithilfe statistischer Verfahren Informationen zu Abstand und Echosignal liefern.

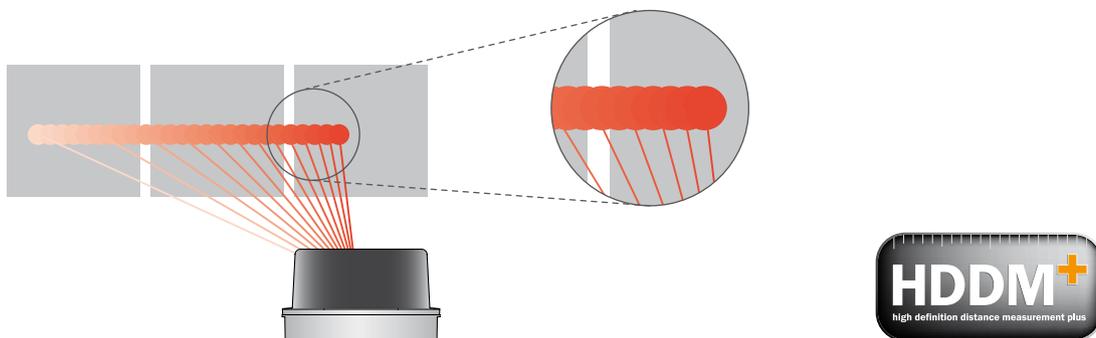


Abb. 7: Lückenlose Abtastung des Scanbereichs am Beispiel des SICK-LiDAR-Sensors MRS1000

Auswertung mehrerer Empfangspulse im Messstrahl

Da in der Praxis weder ein Laserpuls unendlich kurz noch ein Lichtfleck in der Ausbreitungsrichtung unendlich gebündelt (klein) sein kann, entstehen physikalische Effekte, welche sich Sensoren nutzbar machen, um einen Messwert zu berechnen. Der bekannteste Effekt sind die rücklaufenden Echosignale, die für eine Mehrfachauswertung genutzt werden können. Ist der Laserspot größer als das zu messende Objekt, trifft ein Teilspot auf eine Kante, dann wird ein Teil des Lichtpulses von der Oberfläche des ersten Messobjekts reflektiert und ggf. zusätzlich ein Teil von der dahinterliegenden Oberfläche. Dieser Effekt ist mehrfach möglich und weitere Messungen entstehen. Ziel ist es nun, ein Verfahren zu entwickeln, das diesen scheinbaren Störeffekt für die Anwendung nutzbar macht. Der Kunde erhält vom Sensor Distanz- und Echowerte über die reflektierten Echos im jeweiligen Winkel. Sinnvoll sind bei 1D-Sensoren bis zu acht, bei scannenden Sensoren bis zu fünf Echos. Die Ausgabe mehrerer Echos ermöglicht den Einsatz von LiDAR-Sensoren im Außenbereich. Eine zuverlässige Filterung von Störmesswerten, die durch Regen, Schnee, Staub oder Hagel im Sichtbereich entstehen, ist dadurch möglich.

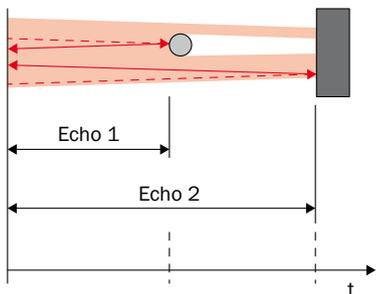


Abb. 8: Objekt kleiner als Laserstrahldurchmesser

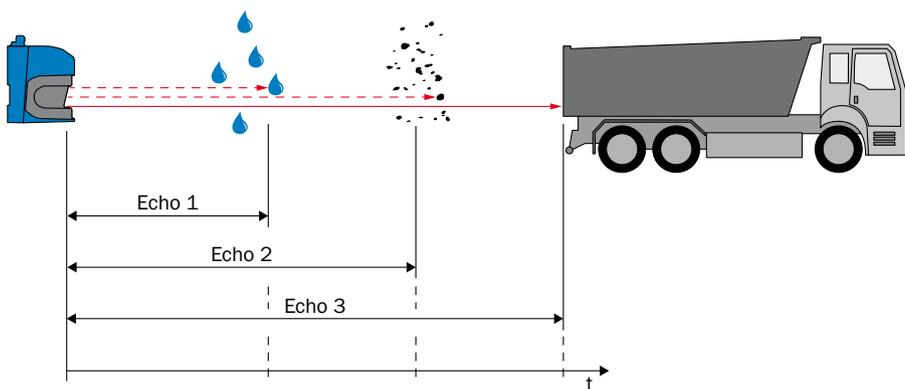


Abb. 9: Effekte von Mehrfachechos im Messstrahl

LiDAR-Sensoren können einen Messwert bzw. bei Multi-Echo-Systemen mehrere Messwerte unterschiedlicher Abstände pro Winkelschritt erfassen. Dieser Messwert kann der internen Auswertung oder der externen Datenausgabe zugeleitet werden. Wird ein Messwert auf einem Winkel erfasst, ist über das Pulslaufzeitverfahren sichergestellt, dass sich auf diesem Messstrahl ein Objekt befindet. Wird ein LiDAR-Sensor an Fahrzeugen angebracht, kann man bei zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen nicht davon ausgehen, dass sie auf das gleiche Objekt treffen. Eine Bewertung, ob der Messwert Teil der Applikation darstellt oder verworfen werden sollte, da er z. B. aufgrund eines durch den Sichtbereich fallenden Teils entstanden ist, muss in der nachfolgenden Applikation erfolgen. Bei einem messenden Lasersensor hat der Nutzer die Freiheit, den für seine Applikation passenden Filter zu bauen. Außerdem verfügen Sensoren oft über konfigurierbare Filter, die zuschaltbar sind. Um den Zeitpunkt der Messung festzustellen, enthalten die Datenscans der Sensoren Zeitstempel, die mit externen Datenquellen synchronisiert werden können.

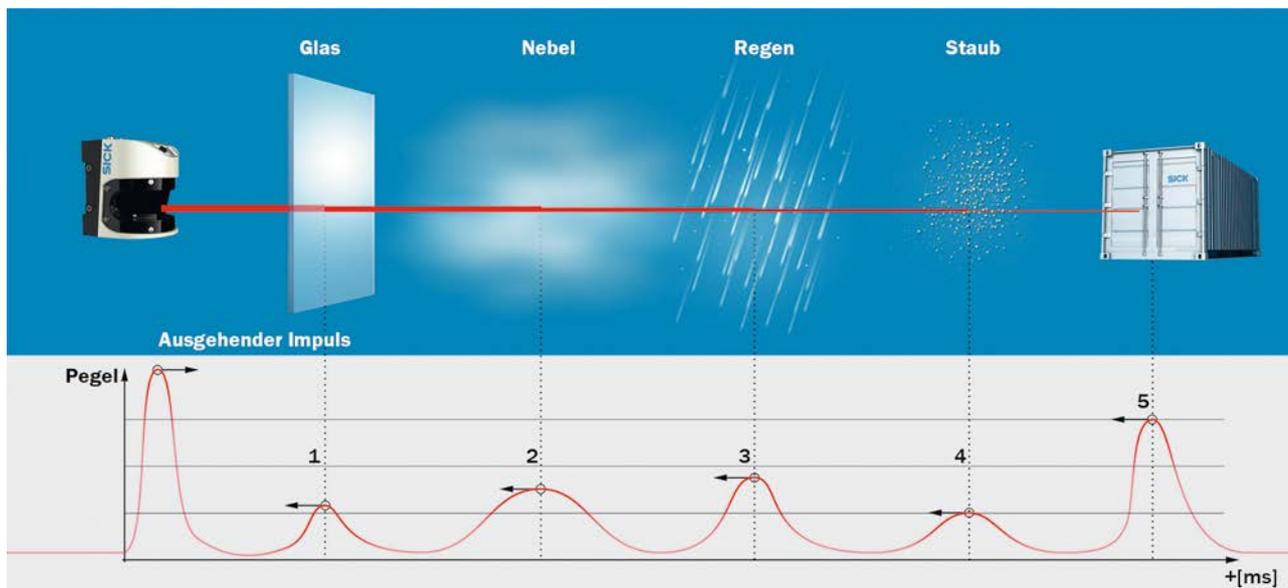


Abb. 10: Multi-Echo-Analyse LMS5xx

Messverfahren bei 1D-, 2D- oder 3D-Sensoren

Linear messende Sensoren (1D)

Distanzsensoren wie Dx1000 nutzen die lineare, eindimensionale Ausdehnung in Richtung des Messobjekts, um Distanzen und Distanzänderungen auf natürliche Ziele (bis 100 % Remission) oder Reflektoren festzustellen. Dabei sind bei Messungen auf Reflektoren Reichweiten bis 1.500 m (DL1000) erzielbar. Mithilfe von linear messenden Sensoren werden z. B. Großkrane in einer genauen Entfernung positioniert, um Greif- und Abladevorgänge zu ermöglichen. Eine entsprechend der Anwendung erfolgende Optimierung der Messzykluszeit sorgt dafür, dass große Entfernungen und schnelle Distanzänderungen zuverlässig und äußerst präzise erfasst werden. Genaueres kann man in der Betriebsanleitung des Dx1000 (DE: 8019330, EN: 8019329) – eines typischen 1D-Sensors mit modernem Messverfahren – nachlesen.

In der Fläche messende Sensoren (2D)

Die Entwicklung von 2D-Sensoren hatte das Ziel, die herausragenden Eigenschaften der Messung mit Laser beizubehalten und diese in einem in der Fläche messenden Sensor zu nutzen. Die hierbei verwendete Methode, einen Laserstrahl über einen drehenden Spiegel abzulenken, erscheint einfach. Dennoch steckt die Herausforderung im Detail. Viele scannende Sensoren sind koaxial messende Systeme. Dabei sitzt der Sendestrahl in der Mitte des Empfangsstrahls. Dieser wird nun über einen Drehspiegel abgelenkt. Alle beschriebenen Eigenschaften, die die Messung mit Laser so herausragend machen, bleiben dabei erhalten, etwa die große Reichweite und die Fähigkeit zum Messen auch extrem dunkler Objekte.

Bei LiDAR-Sensoren wird die sequenzielle Schussfolge der Laserpulse mit der Rotationsfrequenz des Motors und der gewünschten Winkelauflösung synchronisiert. Üblicherweise bestimmen die maximale Schussfrequenz der Laserquelle und die gewünschte Winkelauflösung die Drehgeschwindigkeit des Motors. Es können während einer Umdrehung nicht mehr Pulse erzeugt werden, als die Laserbeschaltung zulässt.

Herausragend bei scannenden Sensoren sind auch die Winkelauflösung und die Winkeltreue der Schlussfolge sowie die hohe Messfrequenz (Umdrehungsgeschwindigkeit der Motoren).

Für die Ablenkung eines Laserstrahls über einen Spiegel ist hohe mechanische Präzision erforderlich.

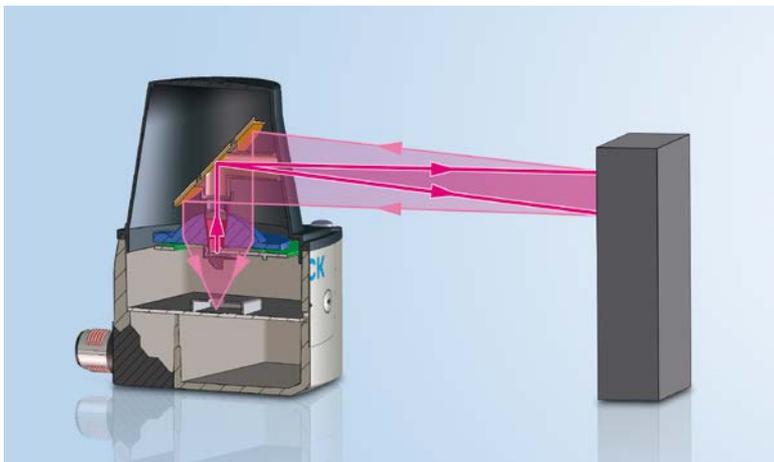


Abb. 11: Funktionsprinzip 2D-LiDAR-Sensor

Man schaut von der Seite auf das Sendepolygon und das empfangene Licht auf dem Empfangspolygon wird über eine Sammellinse in den seitlichen Empfänger geleitet. Mit einem Polygon erhält man bei niederen Motorfrequenzen hohe Scanraten, da bei der Ablenkung mit einem Spiegel jede Polygonfacette einen Scan produziert. Physikalisch ergibt sich eine Einschränkung des Sichtbereiches, je nach Anzahl der Facette und des mechanischen Aufbaus, auf unter 100 Grad oder 70 Grad beim LMS4000.

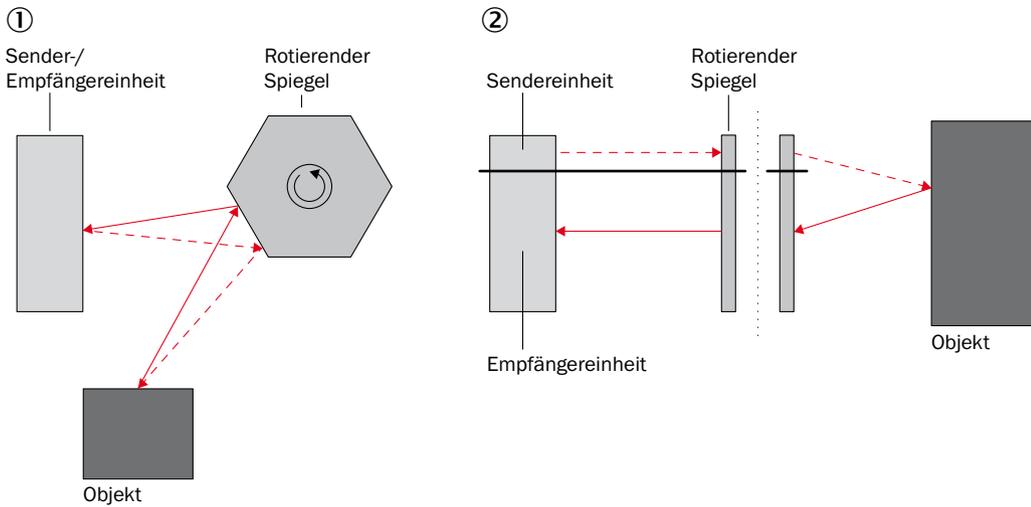


Abb. 12: Aufbau LMS4000, ① = Ansicht von oben; ② = Ansicht von der Seite

Wie beschrieben ist die Scanfrequenz ein wichtiges Feature der LiDAR-Sensoren. Eine Erhöhung dieser Abtastfrequenz erreicht man durch das Verwenden mehrerer Sender und Empfänger. Beim LMS1000, dem neuesten LiDAR-Sensor von SICK, werden vier Sende-Empfangs-Module in einer kreuzförmigen Anordnung (von oben betrachtet) um die eigene Achse rotiert. Es entstehen praktisch vier Lasersensoren, die in einem Phasenabstand von 90 Grad zueinander die gleiche Ebene abscannen. Dreht der Motor mit 50 Hz (20 ms pro volle Umdrehung), so wird jetzt jeder 90-Grad-Sektor in $\frac{1}{4}$ der 20 ms überstrichen. Die komplette 360-Grad-Umdrehung ist durch vier Module, die jeweils nur 90 Grad überstreichen müssen, abgedeckt. Das heißt, die 360-Grad-Sichtbereiche werden in 5 ms überstrichen oder anders ausgedrückt: Der Sensor arbeitet mit einer 200-Hz-Abtastrate.

Bei in der Fläche messenden LiDAR-Sensoren ist der Aspekt der Winkelauflösung in der Scanebene relevant. Er beinhaltet die Information, ob die Fläche lückenlos abgetastet wird. Hierzu bieten eine Vielzahl an Sensoren für die jeweilige Applikation ein Optimum an Winkelauflösung. Der LMS511 kann beispielsweise die Winkelauflösung variieren – unter Zuhilfenahme der Scanfrequenz. Seine Spotausdehnung ist größer als die Winkelauflösung des Sensors und ermöglicht somit eine flächendichte Abtastung des Scanbereichs. Der funktionierende Scanabstand reicht bei den unterschiedlichen Scannern von 10 m bis 80 m. Dies gilt auch bei herausfordernden Rückstrahleigenschaften, wie zum Beispiel einer Remission von nur 10 %.

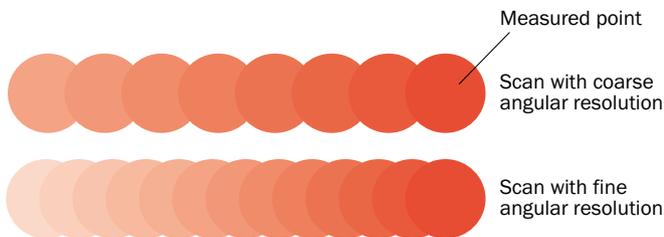


Abb. 13: Beispiel LMS5xx

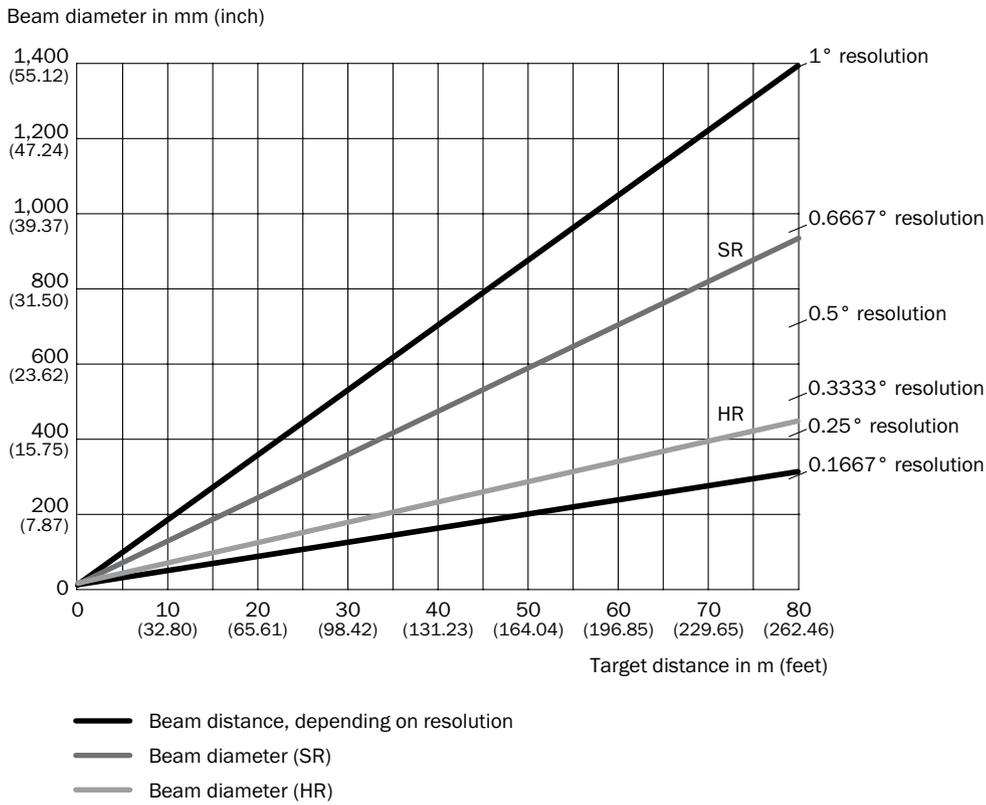


Abb. 14: Strahldurchmesser und Abstand zwischen den Messpunkten des LMS500 bei 0 m bis 80 m

Im Raum messende Sensoren (3D)

Ausgehend vom beschriebenen Prinzip der in der Fläche messenden LiDAR-Sensoren, stellt sich die Frage, wie Objekte in drei Dimensionen gemessen werden können.

Um aus den Messdaten eines 2D-LiDAR-Sensors ein 3D-Bild zu erzeugen, braucht man neben dem Standard-Ausgabetelegramm der Daten den mechanischen Anbringungspunkt des Sensors in der Koordinatenwelt des Nutzers. Die Scans werden durch Zeitstempel und Indizierung so ausgegeben, dass der Nutzer eine logische, zeit- und ortsrichtige Darstellung der sequenziell ausgegebenen Scans erstellen kann. Damit ergibt sich bei bewegten Objekten unter einem fix an einem Rahmen oder Mast angebrachten Sensor eine 3D-Darstellung. Logischerweise braucht man in diesem Fall den Geschwindigkeitsvektor der Eigenbewegung des Objekts, um die Scanfrequenz der Aufnahme mit dem tatsächlichen Abstand einzelner Scans auf dem Objekt zu synchronisieren. Damit ist auch die Länge der unter dem Sensor durchlaufenden Objekte messbar. Das geschieht zum Beispiel in Mautsystemen, die mit Lasersensoren genaue Aussagen zur Fahrzeugklasse liefern, oder in Volumenmesssystemen, in denen die Größen von Fahrzeugen oder von Objekten mit Überbreite vermessen werden.



Abb. 15: Vermessung des Lkw-Profiles mit drei 2D-LiDAR-Sensoren

Auf Basis der Informationen, die die Messdaten des Sensors liefern, kann auch jeder SICK-Lasersensor selbst „bewegt“ werden. Entweder geschieht dies an Schwenkeinrichtungen oder „3D-Abstandbilder“ der Objekte entstehen über Linearachsen. Die Objekte stehen in dieser Art von Anwendung üblicherweise still. Beispiele hierfür sind Volumenmesssysteme oder automatische Verladeeinrichtungen, wie sie bei der Containerverladung zum Einsatz kommen. SICK-Sensoren halten aufgrund ihres robusten Designs Bewegungsabläufen wie Schwenken, Beschleunigen oder Abbremsen problemlos stand.

Mehrlagenscanner

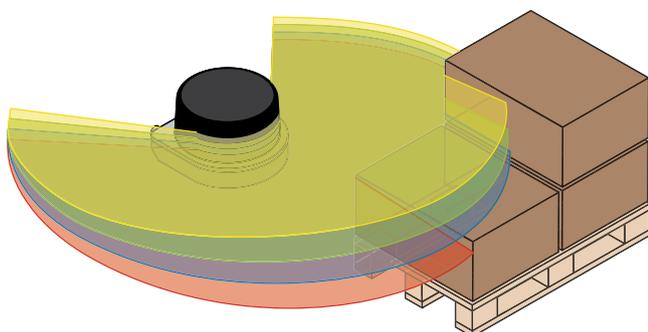


Abb. 16: LiDAR-Sensor mit 4 Scan-Ebenen

Die neuesten Geräteklassen von 3D-LiDAR-Sensoren bieten noch mehr. Durch mehrere Sender und Empfänger oder eine Kombination aus beiden ergibt sich die Möglichkeit, Sensoren herzustellen, die mehrere Lagen simultan oder winkelversetzt abscannen. Das bedeutet, dass die Sensoren der Gerätegeneration LD-MRS oder MRS1000 sowie MRS6000 zusätzlich zu der horizontal ausgerichteten 2D-Lage, die bei einem horizontal eben ausgerichteten Sensor die 0°-Lage ist, noch weitere, nach oben oder unten gekippte Lagen abdecken.

3D-LiDAR-Sensor MRS1000

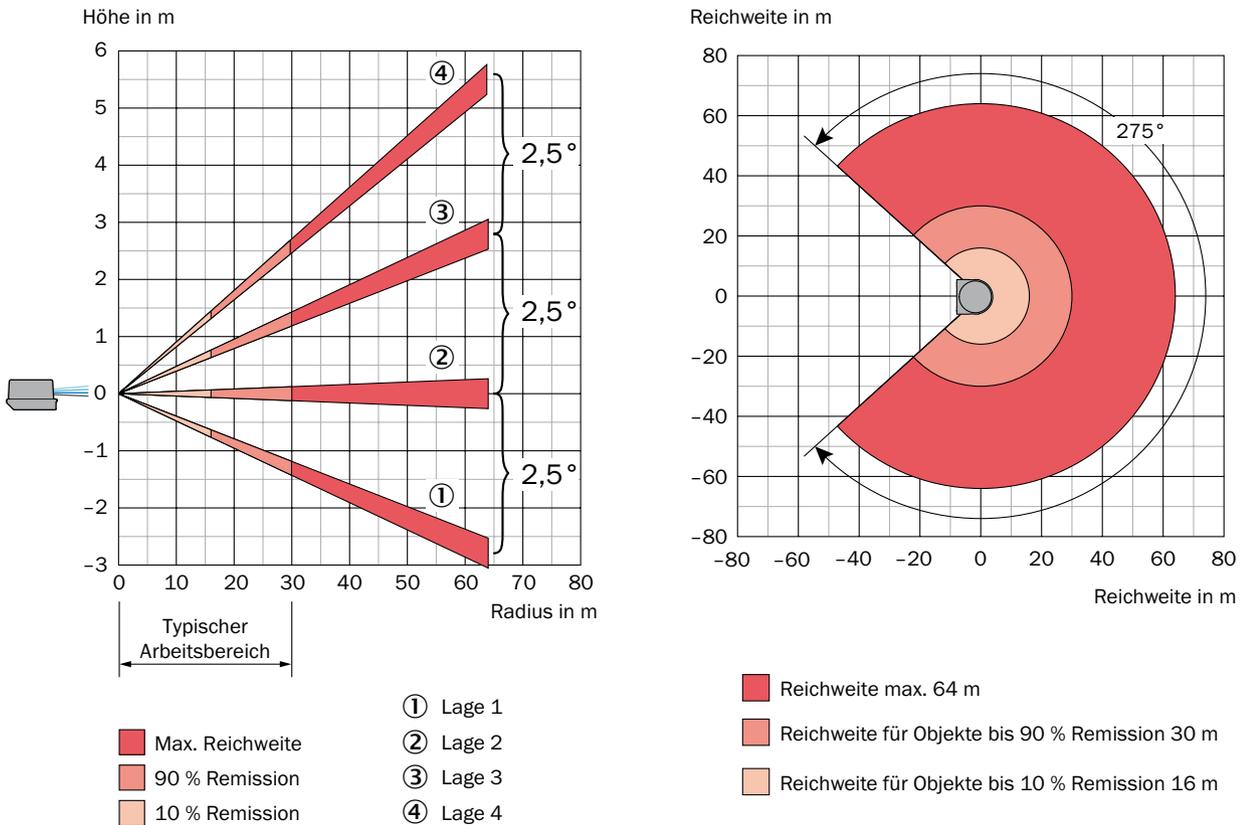


Abb. 17: Beispieldiagramm: MRS1000

Der Vorteil für den Nutzer ist offensichtlich. Durch eine Drehung ergeben sich mehr Messpunkte. Zu diesen müssen Informationen hinsichtlich Abstand, Winkel in der horizontalen Ebene und Winkel in den Ebenen des dreidimensionalen Raums erfasst werden. Aus diesen drei Werten der Raumkoordinate lassen sich die Positionen eines Messpunktes X, Y, Z in dem Ursprungskordinatensystem feststellen. Dieser Messwert weist in hohem Maße die gleiche, für Sensoren der SICK AG übliche Verfügbarkeit auf wie schon die 1D- oder 2D-Sensoren der SICK AG. Der MRS1000 hat zum Beispiel vier Lagen welche jeweils um 2,5° gekippt sind. Hierbei werden in derselben Zeit mehr Messpunkte erfasst als bei 2D-Sensoren. Der mechanische Mehrlagenaufbau führt zusätzlich zu einer höheren Abtastgeschwindigkeit.

Bei Mehrlagensystemen gibt es verschiedene Ausführungsweisen. Bei dem MRS1000 entsteht die Lagenverkipfung interner Send- und Empfangsmodule. Dadurch überstreicht, mit einer 90°-Drehung, jedes Modul einen Sektor. Objekte, welche in mehr als einer Lage zu sehen sind, werden dadurch in einem Viertel der Zeit einer kompletten Umdrehung erfasst.

Bei 3D-Sensoren und dem Messprinzip, das mit einer Ablenkung des „Blickwinkels“ des Send-Empfangs-Pfades durch einen Spiegel funktioniert, bleiben die Vorteile des Messens mit Laser erhalten. Orientiert man die Module noch in unterschiedlichen Winkeln, lassen sich beim Messen von Objekten zusätzlich zu Abstand und Winkel der Scanrichtung noch die Winkel in der Ebene Objekte, also die x-, y- und z-Koordinaten im Raum, feststellen. Für die Messung in jeder Ebene bleiben die Vorteile der hohen Empfindlichkeit und der hohen Reichweite erhalten.

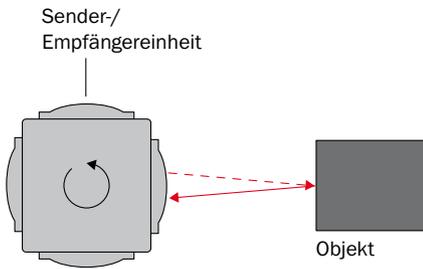


Abb. 18: Aufbau MRS1000

Der MRS1000 erreicht bei einer Entfernung von ca. 16 m eine laterale Abdeckung von ca. 2 m. Die gekippten Lagen beschreiben die Hüllkurve eines Kegels.

Befestigt man den Sensor an einem fahrerlosen Fahrzeug, zum Beispiel einem AGV oder einem AGC, das sich in einem Gang bewegt, so tastet der Sensor Objektflächen im Vorbeifahren ab. Eine Veränderung der Abtastbereiche ergibt sich durch eine mögliche Verkipfung des Sensors. Die Lagenverkipfung im Nahbereich unter fünf Metern wird zu einem ca. 0,5 m breiten Abtastscan. Damit trägt man dem Wunsch Rechnung, im Nahbereich schnell reagieren zu können, da dann auch kleine Objekte mit jeder Lage abgetastet werden. Durch die um 90 Grad versetzte Anordnung der Sende-Empfangs-Module geschieht das viermal schneller als mit der Drehfrequenz des Einzelmoduls.

3D-LiDAR-Sensor MRS6000

Bei dem MRS6000 nutzt man den Effekt des Polygonspiegels und ordnet mehrere Sender übereinander an. Dies ist ein alternatives Prinzip, um bei einem Scanner mehr als eine Messebene zu erzeugen. Mit jedem Spiegelpolygon kippt man das Sendepaket von jeweils 6 Strahlen und erhält dadurch über die komplette Umdrehung des Polygons mit 4 Polygonseiten 24 Lagen. Der MRS6000 bietet ein lückenloses Abtasten des gesamten horizontalen Öffnungswinkels. Er hat einen horizontalen Öffnungswinkel von 120 Grad und einen vertikalen Öffnungswinkel von 15 Grad.

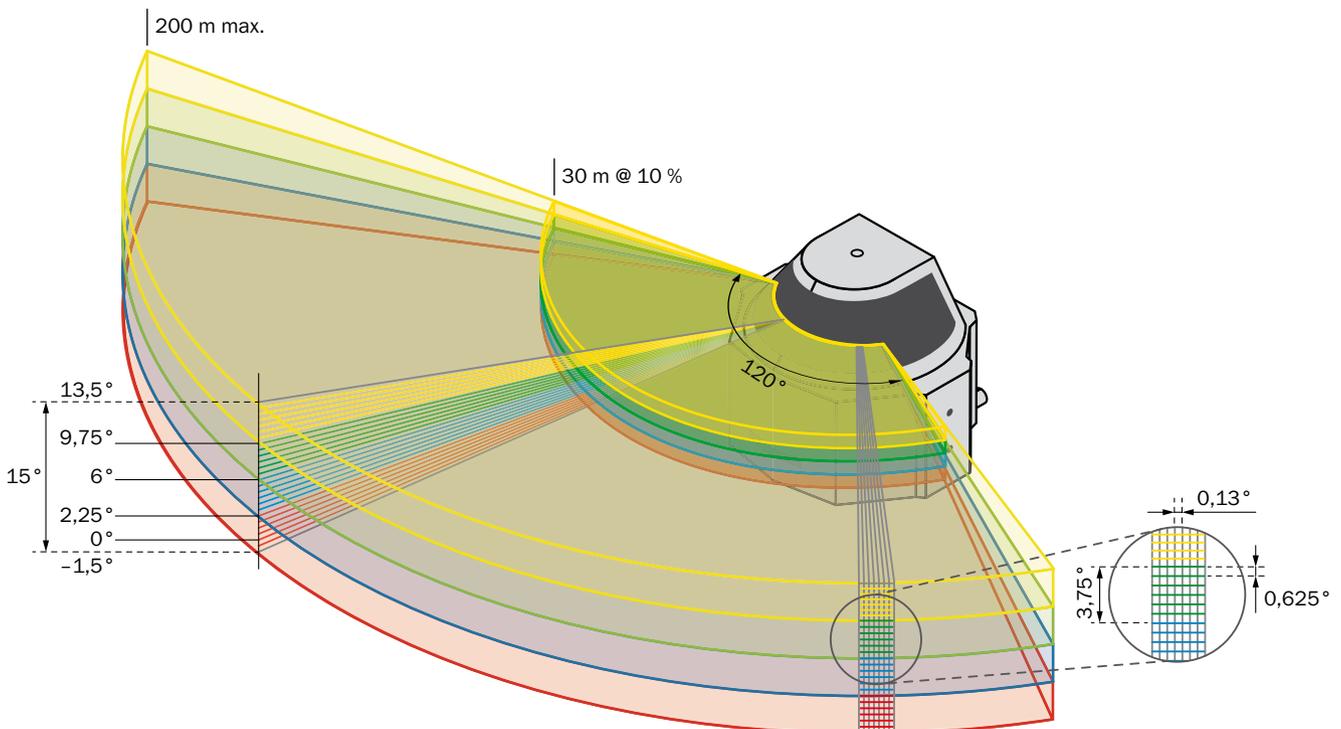


Abb. 19: Funktionsprinzip, 3D-Darstellung

3D-LiDAR-Sensor LD-MRS

Der Mehrlagenscanner LD-MRS deckt mit vier bis acht Lagen große Reichweiten bis zu 100 m ab, der MRS1000 Reichweiten bis zu 30 m Abtastentfernung für AGVs.

Bei den Sensoren der Serie LD-MRS werden zwei übergeordnete Laserdioden als Sendeelemente verwendet. Das Empfangssignal wird zusätzlich auf je zwei Empfangselemente aufgeteilt. Dadurch wird aus dem LD-MRS ein Sensor mit vier Lagen. Der mechanische Aufbau ist dem Polygonscanner MRS6000 ähnlich, wobei hier das Polygon aus zwei Facetten, der Vorder- und Rückseite des Umlenkspiegels, besteht.

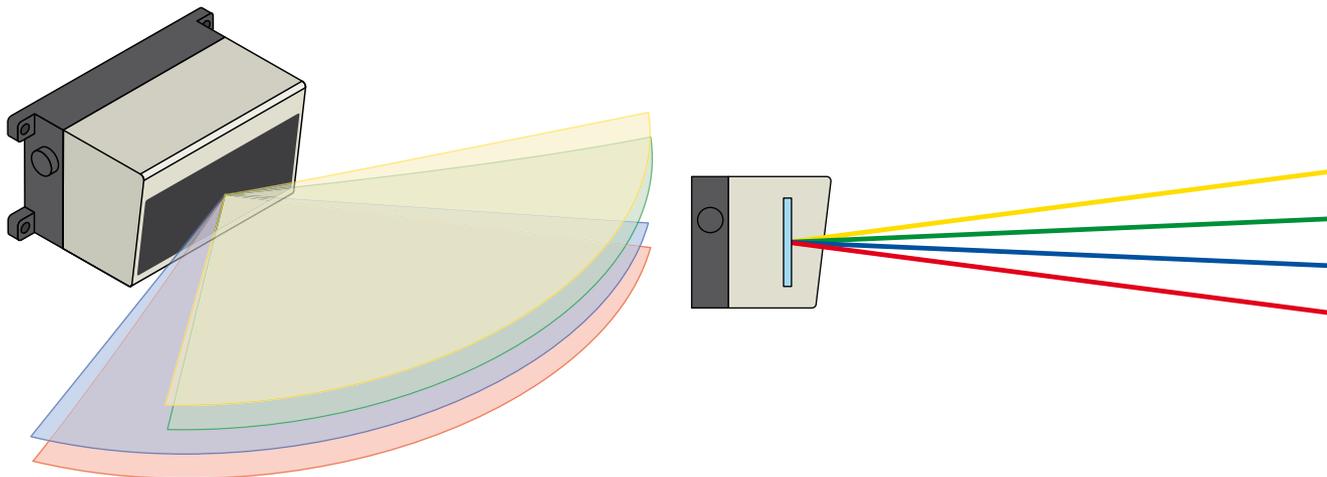


Abb. 20: Lagenaufbau des LD-MRS

REFERENZEN

→ www.sick.com/2D_LiDAR_sensors

→ www.sick.com/3D_LiDAR_sensors