

Laser-Lichtschnitt – eine Schlüsselfunktion in der 3D-Lasermesstechnik

Berührungslose Geometrie- und Konturkontrolle

Lichtschnittverfahren werden in der 3D-Meßtechnik bereits seit über 70 Jahren zur berührungslosen Geometrie- und Konturkontrolle eingesetzt, z.B. bei der Gewindeprofilmessung mit dem Lichtschnittmikroskop von Carl Zeiss aus dem Jahr 1934. Mit der Erfindung des HeNe-Lasers vor über 40 Jahren wurde gleichzeitig das Laser-Lichtschnittverfahren aus der Taufe gehoben.

Der HeNe-Laser generiert ein paralleles Strahlenbündel. Wird ein runder Glasstab senkrecht zur Laserstrahlachse positioniert, so wird die kollimierte Laserstrahlung zu einem Linienfächer mit gaußscher Intensitätsverteilung entlang der Linie geformt. In der industriellen Meßtechnik haben Diodenlaser auf Halbleiterbasis, bedingt durch Ihre geringe Baugröße und das günstigere Preis-Leistungs-Verhältnis, mittlerweile den HeNe-Laser ersetzt. Die Laserstrahlformung der kollimierten Laserdiodenemission zu einem Linienfächer erfolgt bei Standardsystemen nach dem gleichen Prinzip wie oben beschrieben. Allerdings ist der runde Glasstab durch einen Glas- oder Polymerpreßling ersetzt worden. Die Laserlinie ist bei dieser Art von Strahlformung in der Mitte dicker als am Rand. Die Intensitätsverteilung ist gaußförmig. Für ein hochauflösendes und geschwindigkeitsoptimiertes Meßverfahren ist diese Laserlinien-Charakteristik ungünstig, Laserliniengeneratoren mit konstanter Linienbreite und homogener Intensitätsverteilung steigern das Auflösungsvermögen und die Leistungsfähigkeit eines Laser-Lichtschnittsensors.

Laserliniengeneratoren mit dieser vorteilhaften Strahlcharakteristik werden von Schäfter + Kirchhoff in der Ausführung als Mikro- oder Makroliniengenerator entwickelt und gefertigt. Angepaßt an die jeweilige Meßaufgabe steht eine breite Palette von Produkten zur Verfügung. 30 Jahre Erfahrung in der Laserstrahlformung bilden das Rückgrat einer Vielzahl innovativer Laser-Meßsysteme für die industrielle Anwendung, in der Forschung und beim Einsatz im Weltraum.

formung einer in einem Winkel α auf die Objektoberfläche projizierten Laserlinie (vgl. Bild 2 und 3). Das gesuchte Höhenprofil wird aus der Abweichung der Laserlinie von der Nulllage berechnet. Meßbereich und Meßauflösung werden

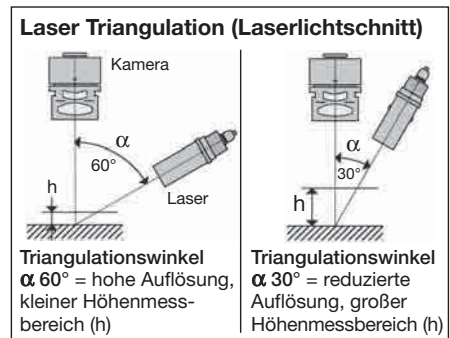


Bild 1: Lasertriangulation (Optikschemata)
Aus dem Versatz des im Winkel α auf die Objektoberfläche einstrahlenden Laserstrahls wird die Objekthöhe am Auftreffpunkt des Lasers bestimmt (s. Bild 2 und 3).

festgelegt durch den Triangulationswinkel α zwischen der Ebene der Laserlinie und der optischen Achse der Kameraoptik (vgl. Bild 1). Je streifender das Laserlicht auf die Objektebene fällt, desto größer ist der bei einer Höhenänderung beobachtete Lateralversatz der Linie. Die Meßauflösung wird gesteigert bei gleichzeitiger Reduzierung des Höhenmeßbereichs. Begrenzend auf die erreichbare Auflösung wirken Faktoren wie die Eigenschaften der Objektoberfläche, die Kamera-Apertur und die Breite und Schärfentiefe der Laserlinie.

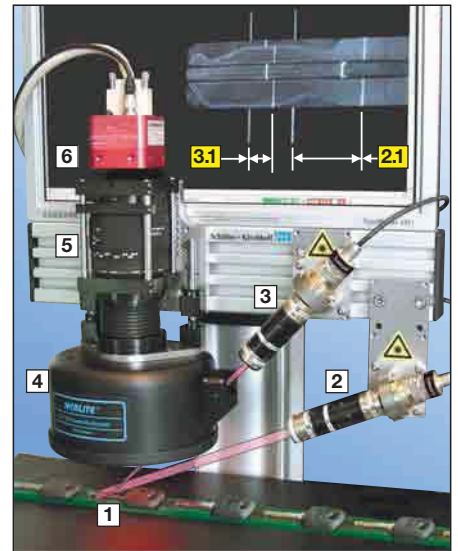


Bild 2: Systemkomponenten für Laser-Lichtschnittmessungen
1 Messobjekt (Sicherheitsschlüssel) 2 und 3 Laserliniengeneratoren 13LTM... 4 Diffuse Zusatzbeleuchtung (optional) 5 Makroobjektiv, 6 Flächenkamera. Mit den Liniengeneratoren 2 und 3 werden unterschiedliche Meßbereiche und Auflösungen realisiert (2.1 und 3.1 bezeichnen die zugehörigen Laserlinien).

der reflektierten Strahlung unabhängig vom Einfallswinkel der auftreffenden Strahlung. Reale technische Oberflächen haben im allgemeinen ein gemischt diffus/spiegeln- des Reflexionsverhalten. Der diffuse Anteil ist nicht isotrop, d.h. je streifender der Einfall der Strahlung, desto weniger Strahlung wird in senkrechter Richtung zur Objektoberfläche gestreut. Beim Laserlichtschnitt begrenzt daher (abhängig von der zur Verfügung stehenden Laserleistung und der Empfindlichkeit der Kamera) das Reflexionsverhalten der Oberfläche den realisierbaren Triangulationswinkel α .

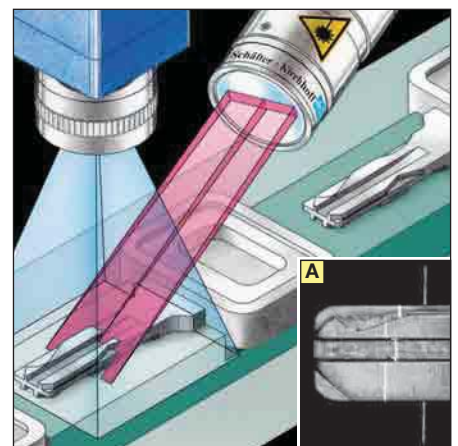


Bild 3: Laser-Lichtschnitt
Laser-Lichtschnitt ist die zweidimensionale Erweiterung der Lasertriangulation. Durch Projektion einer ausgedehnten Laserlinie wird ein Höhenprofil des Meßobjektes gewonnen. Insert A: Von der Flächenkamera aufgenommenes Bild. Der Versatz der Laserlinie gibt die Objekthöhe am Auftreffpunkt der Laserlinie an.

Laserlichtschnitt

Das Laserlichtschnitt-Verfahren ist ein 3D-Verfahren zur Profilmessung in einer Schnittebene. Nach dem Prinzip der Lasertriangulation (Bild 1) registriert eine senkrecht über dem Objekt angeordnete Flächenkamera (CCD- oder CMOS-Matrix) den Lateralversatz bzw. die Ver-

Oberflächeneigenschaften

Voraussetzung für die Anwendung des Laserlichtschnittverfahrens ist eine zumindest anteilig diffus reflektierende Objektoberfläche. Bei einem idealen Spiegels gelangt keine Laserstrahlung in das Objektiv. Bei einer rein diffus streuenden Oberfläche ist die Winkelverteilung

Anforderung an Objektiv und Laserlinie

Um eine weitgehend konstante Signalamplitude auf dem Sensor zu gewährleisten, muss sowohl die Schärfentiefe des Kameraobjektivs, als auch der Schärfentiepenbereich des Laserliniengenerators den gesamten Höhenmessbereich überdecken.

Schärfentiefe von Objektiv und Kamera

Die Schärfentiefe, mit der das Meßobjekt auf den Kamerasensor abgebildet wird, nimmt linear mit der Blendenzahl k , dem Pixelabstand Δy und quadratisch mit dem Abbildungsmaßstab β (=Bildfeld/Sensorgroße) zu. Für den Schärfentiepenbereich $2z$ gilt die Beziehung

$$2z = 2 \Delta y k \beta (1+\beta)$$

Änderungen von bis zu $\pm z$ um den optimalen Objektstand haben keinen Einfluß auf die Schärfe der Bildaufnahme.

Berechnungsbeispiel:

Pixelabstand $\Delta y = 0,010$ mm
 Blendenzahl $k = 8$
 Abbildungsmaßstab $\beta = 3$
 $2z = 2 \times 0,010 \times 8 \times 3 \times (1+3) = 1,92$ mm

Bei fester Abbildungsgeometrie vergrößert ein Abblenden des Objektivs den Schärfentiepenbereich.

Eine große Blendenzahl k hat negative Auswirkungen auf die Signalamplitude, die um einen Faktor 2 pro Blendenstufe abnimmt, auf die optische Auflösung des Objektivs und auf den Speckleeffekt (s. Tab. 1 bzw. Abschnitt Laserspeckle). Bei Applikationen mit großem Höhenmeßbereich werden daher im Allgemeinen der Kamerasensor und das Objektiv in Scheimpflug-Anordnung relativ zur Einstrahlenebene des Lasers angebracht (Details hierzu siehe S. 4). Auch bei kleiner Blendenzahl kann so eine über den gesamten Meßbereich nahezu konstante Signalamplitude gewährleistet werden, wobei allerdings auf eine durchgehend scharfe Abbildung der Objektoberfläche verzichtet werden muß.

Blendenzahl k	Schärfentiefe (mm)	Optische Auflösung (μm)	Relative Signalamplitude
2,8	0,7	31	100 %
4	1,0	32	50 %
5,6	1,3	33	25 %
8	1,9	36	12,5 %
11	2,6	40	6,3 %
16	3,8	49	3,1 %
22	5,3	62	1,6 %

Tabelle 1: Schärfentiefe und Auflösungsvermögen – Die Blendenzahl des Objektivs bestimmt die Schärfentiefe, die optische Auflösung und die relative Signalamplitude der Abbildung. Die angegebenen Werte gelten für den Abbildungsmaßstab 1:3 und einen Pixelabstand von 10 μm .

Schärfentiefe einer Laserlinie

Die Laserlinie wird auf einen festen Arbeitsabstand fokussiert. Bei abweichenden Abständen wird die Linie breiter und die Leistungsdichte sinkt. Als Schärfentiefe einer Laserlinie wird der Bereich um den Nenn-Arbeitsabstand bezeichnet, in dem sich die Linienbreite um nicht mehr als einen Faktor 1,41 vergrößert. Man unterscheidet zwei Typen von Laserliniengeneratoren (vgl. Bild 4): Laser-Mikroliniengeneratoren erzeugen dünne Laserlinien mit senkrecht zur Linie gaußförmigem Intensitätsprofil. Der Schärfentiepenbereich einer Laserlinie mit Breite B (auf dem 13,5%-Niveau) und Wellenlänge λ ist gegeben durch den sogenannten Rayleigh-Bereich $2z_R$:

$$2z_R = \frac{\pi B^2}{2 \lambda}$$

Laser-Makroliniengeneratoren erzeugen Laserlinien mit erweitertem Schärfentiepenbereich. Bei gleichem Arbeitsabstand sind Makrolaserlinien breiter als Mikrolinien (Faktor 2-5). Laser-Makrolinien haben bei gleichem Arbeitsabstand einen gegenüber Laser-Mikrolinien um etwa 7 bis 35-fach vergrößerten Schärfentiepenbereich.

Linienbreite

Innerhalb der beiden Typenreihen Mikro- bzw. Makroliniengenerator ist die Breite der Laserlinie proportional zum Arbeitsabstand.

Wegen des physikalischen Zusammenhangs zwischen der Breite und der Schärfentiefe der Laserlinie legt die von der Applikation geforderte Schärfentiefe die minimale Breite der Laserlinie fest.

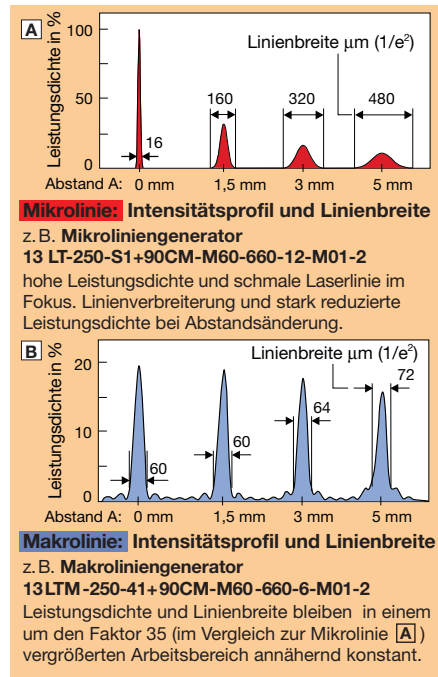


Bild 4: Vergleich von Laser-Mikroliniengeneratoren und Laser-Makroliniengeneratoren..

Haupt-Störeinfluß: Laserspeckle

Laserspeckle sind Interferenzerscheinungen, die aufgrund der Kohärenz der Laserstrahlung z.B. bei der Reflexion an einer rauhen Oberfläche entstehen. Laserspeckle stören die Kantenschärfe und die Homogenität der Laserlinien. Quer zur Linienrichtung wird der Intensitätsschwerpunkt stochastisch verschoben. Die Granularität der Speckle hängt dabei von der Blendeneinstellung des Objektivs ab, mit der das Objekt beobachtet wird. Bei einer kleinen Blendenzahl erscheinen Speckle mit hoher Ortsfrequenz, bei einer großen Blendenzahl grobe, besonders störende Speckle (vgl. Bild 5). Da eine diffus reflektierende und somit auch optisch rauhe Objektoberfläche eine Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist (s.o.), sind Laserspeckle beim Laserlichtschnitt grundsätzlich nicht zu vermeiden.

Eine Reduzierung des Effektes ist jedoch möglich durch

- die Verwendung von Laserstrahlquellen mit verminderter Kohärenzlänge (z.B. Superlumineszenz-Dioden)
- Relativbewegung zwischen Objekt und Sensor, möglichst unter Nutzung einer ohnehin vorhandenen Objektivbewegung (z.B. Profilmessung von Eisenbahnschienen während der Fahrt).
- Verkleinerung des Specklemusters durch große Kameraobjektiv-Aperturen, soweit die erforderliche Schärfentiefe dies zuläßt (vgl. Bild 5).

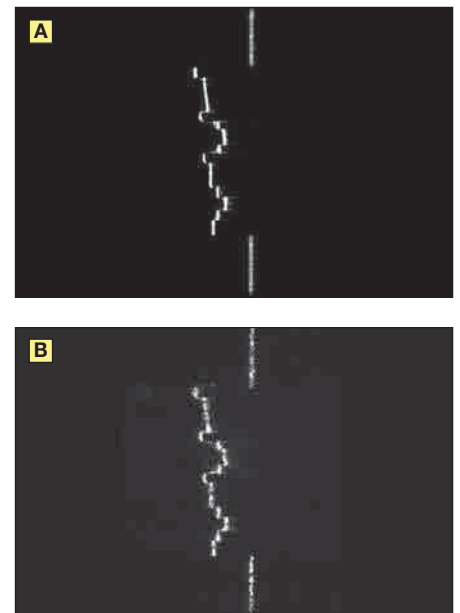


Bild 5: Laserlichtschnitt eines Schlüsselprofils – Objektivblende und Laserspeckling

A: Aufnahme mit kleiner Blendenzahl ($k=2,8$)
B: Aufnahme mit großer Blendenzahl ($k=22$). Die Blende des abbildenden Objektivs wirkt als Ortsfrequenzfilter. Bei kleiner Blendenzahl erscheint ein weniger störendes, hochfrequentes Specklemuster. Bei großer Blendenzahl verursachen die Speckle Brüche und Lücken in der Linienkontur.

Dome Illuminator für diffuse Beleuchtung

Die vorgestellte Applikation erforderte eine parallel zur 3D-Profilmessung durchzuführende Kontrolle der Außenkontur und der Oberfläche. Hierfür wurde das Meßobjekt mit einem „Dome Illuminator“ gleichmäßig diffus beleuchtet. Die von einem LED-Ringlicht emittierte Strahlung gelangt dabei indirekt über eine diffus reflektierende Kuppel zum Objekt.

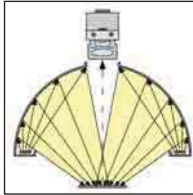


Bild 6: Prinzip des Dome Illuminators

Oben in der Kuppel befindet sich eine Öffnung für die Kamera, aus dieser Richtung fällt kein Licht auf das Objekt (s. Bild 6). Schatten und Glanz werden weitgehend vermieden. Da die Verhältnisse annähernd denen einer natürlichen Beleuchtung an einem bewölkten Tag entsprechen, wird diese Art der Beleuchtung auch als Cloudy Day Illumination bezeichnet.

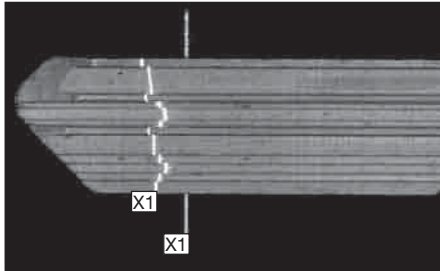


Bild 7: Die diffuse Beleuchtung hebt die Kontur und die Oberflächentextur des Schlüssels hervor. [X1]: Kontur der Laserlinie

Optical Engineering

Bei einer Laserlichtschnitt-Applikation mit hohen Anforderungen kommt der Systemkonfiguration eine besondere Bedeutung zu. Dieses „Optical Engineering“ umfaßt die Auswahl und die konstruktive Anordnung der verwendeten Komponenten Kamera, Objektiv und Laserliniengenerator nach optischen Gesichtspunkten. Die Berücksichtigung der optischen Gesetzmäßigkeiten und ihrer Wechselwirkungen führt, innerhalb des physikalisch Möglichen, zu optimalen Bildaufnahmen. Aufwändige Bildvorverarbeitungsalgorithmen werden vermieden. Bei Objekten mit weitgehend diffus reflektierenden Oberflächen und bei geringen Anforderungen an die Meßgenauigkeit können, z.B. im Schulversuch, erste Schritte auch mit einer Kamera und einem Linienlaser aus dem Elektronik-Versandhauskatalog unternommen werden. Diese einfachen Linienlaser arbeiten in der Regel nach dem Eingangs erwähnten Glasstab-Prinzip und erzeugen Laserlinien mit gaußförmiger Intensitätsverteilung entlang der Linie. Bei hohen Anforderungen kommen Laserlinien mit weitgehend konstanter Intensitätsverteilung und Linienbreite zum Einsatz.

Laser-Liniengenerator 13LT...

für die 3D-Kontrolle von Meßobjekten mit kleinem Höhenprofil (z.B.: Sicherheitsschlüssel)



Bild 8: Semitelezentrische Laserlinie mit konstanter Linienlänge

Spezifikation:
 Linienbreite: ab 11 µm (1/e²)
 Linienlänge: 15 mm
 Spektralbereich: typ. 660 nm, optional 390-1600 nm
 Laserleistung: bis 55 mW (660 nm)
 Integrierte Elektronik für die Laserleistungsregelung
 Laserausgangsleistung mit Potentiometer einstellbar
 Ganzmetallgehäuse, Durchmesser 25/28 mm

Laser-Mikroliniengenerator 13LT...

Best.-Code

13LT-165-S-1+90CM-M60-660-55-M25-P-6 für einen Mikro-Liniengenerator mit einer Wellenlänge von 660 nm, Arbeitsabstand 160 mm und Laserleistung 55 mW.

Bestell-Code	Strahlparameter				
	Fächer-Winkel (°)	Linienlänge L (mm)	Linienbreite B (mm)	Arbeitsabstand A (mm)	Rayleigh Range (mm)
13LT-165-S-1	0°	15	0,011	160	0,15
13LT-250-S-1	0°	15	0,016	243	0,3
13LT-330-S-1	0°	15	0,019	323	0,6
13LT-500-S-1	0°	15	0,028	493	1,4
13LT-1000-S-1	0°	15	0,057	993	5,4
13LT-2000-S-1	0°	15	0,114	1993	21,7
13LT-4000-S-1	0°	15	0,227	3993	86,9

Laser-Makroliniengenerator 13LTM...

Laserlinie mit erweitertem Schärfentieftbereich

Best.-Code

13LTM-165-41+90CM-M60-660-23-M25-P-6 für einen Makro-Liniengenerator mit einer Wellenlänge von 660 nm, Arbeitsabstand 160 mm und Laserleistung 23 mW.

Bestell-Code	Strahlparameter				
	Fächer-Winkel (Deg.)	Linienlänge L (mm)	Linienbreite B (mm)	Arbeitsabstand A (mm)	Schärfentieftbereich (mm)
13LTM-165-41	0°	15	0,040	153	5,18
13LTM-250-41	0°	15	0,061	238	11,66
13LTM-330-41	0°	15	0,081	318	20,70
13LTM-500-41	0°	15	0,121	488	46,70
13LTM-1000-41	0°	15	0,243	988	187
13LTM-2000-41	0°	15	0,485	1988	746
13LTM-4000-41	0°	15	0,970	3988	2986

Weitere Informationen und Maßbilder: <http://www.SuKHamburg.de>

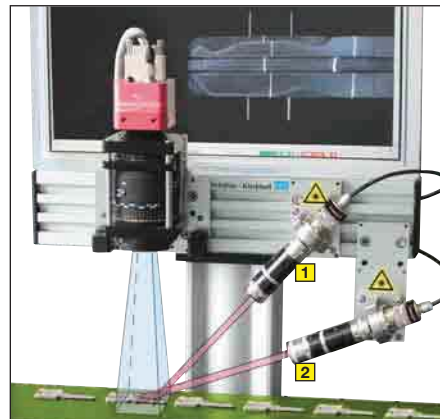


Bild 9: 3D-Konturkontrolle eines Schlüsselprofils mit Laser-Makroliniengeneratoren 13LTM-... 1 und 2

Laser-Liniengenerator 13LR...

für die 3D-Kontrolle von Meßobjekten mit großem Höhenprofil (z.B.: Eisenbahnschiene)



Bild 10: Laserlinie mit homogener Intensitätsverteilung und konstanter Linienbreite

Spezifikation:
 Linienbreite: ab 26 µm (1/e²)
 Linienlänge: 26 bis 3000 mm (abh. vom Arbeitsabstand)
 Spektralbereich: typ. 660 nm, optional 390-1600 nm
 Laserleistung: bis 100 mW (660 nm)
 Integrierte Elektronik für die Laserleistungsregelung
 Laserausgangsleistung mit Potentiometer einstellbar
 Ganzmetallgehäuse, Durchmesser 25/28 mm

Laser-Mikroliniengenerator 13LR...

Best.-Code

13LR25S500+55CM-660-100-M25-T12-P-6 für einen Mikro-Liniengenerator mit einer Wellenlänge von 660 nm und 100 mW Laserleistung.

Bestell-Code	Strahlparameter				
	Fächer-Winkel (°)	Linienlänge L (mm)	Linienbreite B (mm)	Arbeitsabstand A (mm)	Rayleigh Range (mm)
13LR 12S250	12°	52	0,035	248	8
13LR 12S500	12°	103	0,058	496	31
13LR 25M125	24°	55	0,035	248	8
13LR 25S250	24°	109	0,058	496	31
13LR 40S250	40°	180	0,087	245	8
13LR 40S500	40°	357	0,173	492	31
13LR 40S1000	40°	698	0,347	973	125

Laser-Makroliniengenerator 13LRM...

Laserlinie mit erweitertem Schärfentieftbereich

Best.-Code

13LRM25S500-1,5+55CM-660-53-M25-T12-P-6 für einen Makro-Liniengenerator mit einer Wellenlänge von 660 nm und Laserleistung 53 mW.

Bestell-Code	Strahlparameter				
	Fächer-Winkel (Deg.)	Linienlänge L (mm)	Linienbreite B (mm)	Arbeitsabstand A (mm)	Schärfentieftbereich (mm)
13LRM12S250-1,5	12°	52	0,16	236	83
13LRM12S500-1,5	12°	103	0,32	412	330
13LRM25S250-1,5	25°	55	0,16	238	83
13LRM25S500-1,5	25°	109	0,32	413	330
13LRM40S250-1,5	40°	180	0,16	240	83
13LRM40S500-1,5	40°	357	0,32	415	330
13LRM40S1000-1,5	40°	698	0,64	968	1330

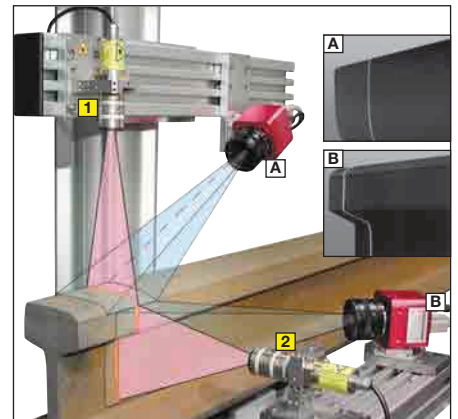
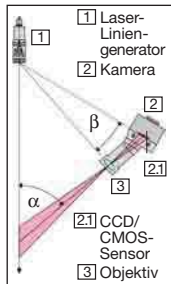


Bild 10: 3D-Konturkontrolle eines Schienenprofils mit Laser-Makroliniengeneratoren 13LRM-... 1 und 2

Laserlichtschnitt in Scheimpflug-Anordnung

Bei einer normalen Abbildung sind Objekt-, Objektiv- und Bildebene (Sensor oder Film) parallel zueinander. Beim Laserlichtschnitt steht die vom Laser markierte Objektebene prinzipbedingt nicht parallel zur Objektiv-ebene. Die von Theodor Scheimpflug 1904 formulierte Bedingung gibt an, wie die Bildebene (d.h. der Sensor) zu neigen ist, um eine scharfe Abbildung einer schräg stehenden Objektebene zu erreichen: Die Objektebene wird scharf auf eine Bildebene abgebildet, wenn sich Objekt- Bild- und Objektiv-ebene in der gleichen Schnittgerade treffen. Bild 12 zeigt die entsprechende Anordnung beim Laserlichtschnitt. Aufgrund perspektivischer Verzerrung besteht ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen der Höhendifferenz h und der Peak-Position auf dem Kamerasensor x (gemessen jeweils ab der optischen Achse des Objektivs).



Es gilt
$$h = \frac{A \times \cos \beta}{A' \sin \alpha - x \cos(\alpha - \beta)}$$
 mit
 A : Objektabstand, d.h. Abstand zwischen Laserlinie und Objektiv-Hauptebene H
 A' : Bildabstand, d.h. Abstand des Sensors von der Objektiv-Hauptebene H' (jeweils auf der optischen Achse des Objektivs)
 α : Winkel zwischen der Ebene der Laserlinie und der optischen Achse des Objektivs
 β : Winkel zwischen der Objektiv- und der Sensorebene
 Die dem Pixelabstand Δx entsprechende Höhenänderung Δh berechnet sich aus
$$\Delta h = \frac{A A' \times \cos \beta \sin \alpha}{(A' \sin \alpha - x \cos(\alpha - \beta))^2} \Delta x$$

Bild 12: Optikschemata der Scheimpflug-Anordnung

3D-Meßmanipulator Optik-Anordnung nach Scheimpflug



Anwendung: 3D-Meßmanipulator für die Inspektion und Geometrie-Kontrolle von Speiseleitungen in Druck- und Siedewasser-Reaktoren.

Mit den von Schäfter + Kirchhoff entwickelten Meßmanipulator ITDM 190/330 wird die personenfreie Inspektion und Geometrie-Kontrolle in kontaminierten Bereichen durchgeführt.



Meßverfahren: Laser-Lichtschnittverfahren

Für die Erweiterung des Meßbereichs und eine hohe Ortsauflösung sind im Meßkopf 2 Kameras nach Scheimpflug angeordnet. Weitere Sensoren ermitteln die Azimutlage und die Z-Koordinate.

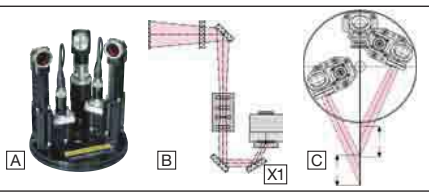


Bild 13:

- A) Meßkopf nach dem Laser-Lichtschnittverfahren, Kameras und Laser-Liniengenerator in Scheimpflug-Anordnung
- B) Optikschemata mit Strahlumlenkung. Die Scheimpflug-Bedingung wird durch die Anordnung des Umlenkspiegels X1 realisiert.
- C) Hohe Ortsauflösung durch den Einsatz von zwei sich im Meßbereich überlagernden Kamera-Systemen.

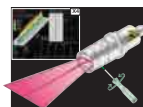
Laserlinien-, Mikrofokussgenerator und Strahlquellen mit Faseroptik für die optische Meßtechnik

Für die 3D-Lasermess-technik nach dem Laserlichtschnittverfahren und anderen Applikationen hat Schäfter + Kirchhoff ein an die Meßaufgaben angepaßtes Lieferprogramm an Laser-Liniengeneratoren. Die Baureihen mit der Kennung 13LR... 13LT... und 13LN... zeichnen sich durch Laserlinien mit homogener Intensitätsverteilung, konstanter Linienbreite und hoher Randintensität aus.

Für die punktuelle Beleuchtung mit Laserspots $\leq 0,001$ mm werden Laser-Mikrofokussgeneratoren eingesetzt.

Laserstrahlquellen mit Faseroptik haben alle Vorteile der Glasfasertechnik. Das emittierte Strahlprofil ist rotationsförmig mit gaußscher Intensitätsverteilung. Als Zubehör gibt es refraktive und diffraktive Strahlformungsoptiken für die Generierung von Laserlinien und Gitterstrukturen.

Detaillierte Informationen finden Sie in den PDF-Datenblättern auf unserer Website: <http://www.SuKHamburg.de>



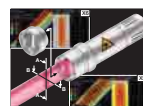
Laser-Mikroliniengenerator 13LR... + 55CM...
 Laserlinie mit homogener Intensitätsverteilung und konstanter Linienbreite
 Linienbreite ab 0,018 mm. Fächerwinkel 12°, 25° und 40°. Gehäuse-Ø 25/28 mm.



Laser-Mikroliniengenerator 13LT... + 90CM...
 Semitelezentrische Laserlinie, konstante Linienlänge, Randintensität typ. 80 %, Linienbreite 6 µm FWHM. Typ 13LTM... mit erweitertem Schärfentiefebereich.



Laser-Mikroliniengenerator 13LN... + 90CM...
 Laserlinie: Linienbreite 0,003 mm (FWHM) Randintensität 80%, Linienlänge 18 mm, Arbeitsabstand 47 mm, Gehäuse-Ø 25/28 mm.



Laserdiode-Kollimator flatbeam® 90CM-M90...
 Telezentrischer Laserstrahl
 Intensitätsverteilung rechteckförmig
 Applikation: Schattenkante und Laser-Diffraktion



Laser-Mikrofokussgenerator 13MC... + 95CM...
 Rotations-symmetrischer Laserspot
 Strahl-Ø > 0,001 mm, gaußförmige Intensitätsverteilung



Laser Patternengenerator 13P... + 95CM...
 strukturierte Beleuchtung für 3D Objektvermessung. Diffraktive Strahlformungsoptik zur Generierung von Gitter, Kreuzraster und beliebiger Figur und Flächenfüllung

Laserstrahlquellen mit Faseroptik 390 – 2300 nm



Laserdiode-Strahlquellen 58FCM...
 mit Singlemode LWL u. FC-APC-Stecker
 Spektralbereich 300-2300 nm.
 Integrierte Elektronik für die Laser-Leistungsregelung. Einstellung der Ausgangsleistung mit Potentiometer. Interlock, Schlüsselschalter, Betriebsspannung +5V.



Anwendungen: Laser for Adjustment and Alignment
 Justier- und Pilotlaser. Laserstrahl mit optimierter Beamwaist für konstanten Strahl-Ø bei großer Meßstrecke. Fasergekoppelte Strahlquelle 58FCM... und Faserkollimatoren der Serie 60FC... für kollimierte Strahl-Ø von 0,6 bis 25 mm.



AFM - Atomic Force Microscopy
 Abbildung von Oberflächentopographien mit atomarer Auflösung. Fasergekoppelte Strahlquelle 62LFCM... mit Faserkollimator 60FC... und Mikrofokus-Optik 5M... Strahlquellen mit reduzierter Kohärenzlänge: 61LFCM... und 48-0-TOW2...

Komponenten für die 3D-Meßtechnik nach dem Laser-Lichtschnittverfahren

Applikation hierzu: Sicherheitsschlüssel, Bild 2, S. 1



Laser-Makroliniengenerator 13LTM...
Best.-Code 13LTM-165-41+90CM-M60-660-23-M25-P-6

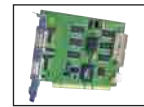
Semitelezentrische Laserlinie mit hoher Randintensität und konstanter Linienlänge.

Die telezentrisch emittierte Laserstrahlung erzeugt beim Auftreffen auf das Meßobjekt annähernd konstante Reflexionsverhältnisse über den ganzen Meßbereich. Dies ergibt gegenüber Laserlinien mit divergentem Fächerwinkel einen besseren Signalverlauf auf dem Kamera-Sensor, verbessert die Meßgenauigkeit und reduziert den Aufwand für die Bildverarbeitung. Linienlänge, Linienbreite und Schärfentiefebereich der Laserlinie sind an die Meßaufgabe angepaßt.

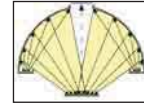
www.SuKHamburg.de/download/m3_de.pdf



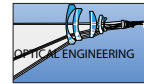
CMOS-Kamera
 • Megapixelkamera mit CameraLink Schnittstelle
 Photonfocus AG
www.photonfocus.com



Framegrabber
 • microEnable III
 CameraLink / 64 Bit PCI
 Fa. Silicon Software
www.silicon-software.de



Dome Illuminator
 Nerlite™
www.nerlite.com
 Distributor: Fa. SVS-Vistek
www.svs-vistek.com



Optical Engineering
 Optik für die Bildaufnahme und Beleuchtungstechnik sowie optische Geräte werden bei Schäfter + Kirchhoff seit mehr als 40 Jahren entwickelt und gefertigt. Für externe Bildverarbeiter berechnen oder optimieren wir die Systemkonfiguration und liefern Komponenten und Baugruppen wie Laserstrahlquellen und CCD-Zeilenkameras oder komplette Systemlösungen.

Option: Lasertriangulation mit CCD Zeilenkameras



CCD-Zeilenkameras sind Halbleiterkameras mit einer lichtempfindlichen Zeile, die je nach Typ bis zu 10680 einzeln adressierbare Bildelemente (Pixel) von 4 – 25 µm Breite hat. Der eindimensionale Bildaufnehmer (Sensor) ist bis zu 60 mm lang.

Das Bild einer CCD-Zeilenkamera ist ein Helligkeitschnitt über das Objekt. Die Bildaufnahme-frequenz (Zeilenfrequenz) beträgt bis zu 120 kHz. Diese mehr als tausendfach schnellere Auslesefrequenz des Zeilensensors gegenüber einem CCD-Flächensensors prädestiniert die CCD-Zeilenkamera für den Aufbau schneller Meßgeräte für die Lasertriangulation und einer Vielzahl innovativer opto-elektronischer Meß- und Sensorsysteme für die Fertigung und Qualitätskontrolle.

Die CCD-Zeilenkameras von Schäfter + Kirchhoff haben ein modulares Schnittstellenkonzept. Sie sind mit den Schnittstellen LVDS, CameraLink und USB 2.0 lieferbar. Passend zur LVDS-Variante gibt es das PC-Interface SK9192D mit PCI-Bus und das Software-Paket Sk91PCI-WIN-LX mit Treibern für die Betriebssysteme Windows XP/2000 und Linux sowie mit einem SDK für die Entwicklung eigener Anwendungen.

Weitere Informationen siehe unsere Website www.SuKHamburg.de

OPTICS, METROLOGY AND PHOTONICS BY Schäfter + Kirchhoff GmbH

40 years of experience and a lot of production know-how are the base of many advanced optical products and optoelectronic and mechanical system designs.

<p>Orbital Tube Welding Head 160-VIS</p> <p>International Patents: Germany DE 33 39 182 Europe EU 0 160 687</p>	<p>IORT Electron Applicator</p> <p>German Patent: DE 39 00 884</p>	<p>CCD Line Scan Camera System</p>	<p>Laser Beam Coppler</p>	<p>Flatbeam®-Laser 670</p>	<p>Laser Diode Systems in space</p>
--	---	---	----------------------------------	-----------------------------------	--