

Mehrachsanordnungen ZLM 800

I Mehrachsanordnungen ZLM 800

Der Lasermesskopf bietet soviel Leistung, dass mehrere Interferometer betrieben werden können. Der Laserstrahl kann dann durch 50%, 33% oder 25% Intensitätsstrahlenteiler auf bis zu 6 voneinander unabhängige Messsysteme aufgeteilt werden. Durch die Auswerteeinheit AE 800 werden die Signale separat für jeden Kanal über spezielle Software verarbeitet. (ZLM Handbuch Software ZLM D-F1 bis F4)

Die Abbildung 1 gibt einen möglichen Aufbau eines Zweiachssystems mit Planspiegelinterferometern wieder. Bei diesem Aufbau sind zwei lange Planspiegel im Winkel von 90° auf einem X-Y-Kreuztisch angeordnet. Die ausgegebenen Koordinaten gelten unter strenger Beachtung des Abbé-schen-Prinzips für den Kreuzungspunkt der beiden Lasermesslinien. In diesem Kreuzungspunkt können z.B. die Achse eines Mikroskops senkrecht zur Messebene oder ein 3D-Taster angeordnet sein. Dadurch wird ein Höchstmaß an Genauigkeit auch bei evtl. Kippbewegungen des Kreuztisches erreicht.

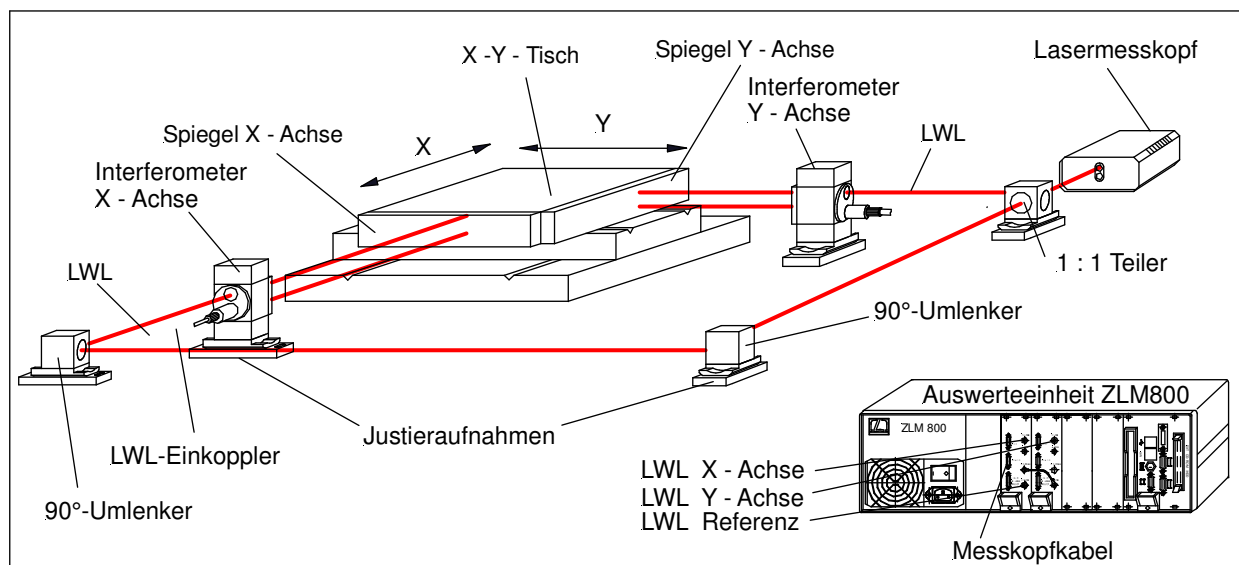


Abb.1 : Zweiachsaufbau an einem X-Y-Kreuztisch

1. Optischer Aufbau

Das Baukastensystem ZLM 700/800 gestattet es, eine Vielzahl von Varianten gemäß dem Bedarfsfall aufzubauen. So lässt sich die Anordnung Abb. 1 z.B. um eine Z-Achse oder ein Winkelinterferometer zur Kippwinkelbestimmung erweitern.

1.1. Optikmodule zur Strahlenführung und Strahlenteilung

Bei der Strahlführung von Mehrachssystemen besteht die Möglichkeit, jeweils einen Laserstrahl in den Lasermesskopf zurückzuführen. Für weitere Achsen muss die Rückführung vom Interferometer über Lichtwellenleiter erfolgen. Für den Fall, dass der Laserstrahl in den Lasermesskopf zurückgeführt werden soll, sind Bauelemente erforderlich, die zwei Laserstrahlen im Abstand von 15mm (Standardmaß) führen können. Daher ergeben sich zwei Gruppen von Bauelementen:

- **Optik-Module für Doppelstrahl**
- **Optik-Module für Einzelstrahl**

1.1.1. 90° Umlenker

Das Bauelement besteht aus einem unter 45° stehenden Spiegel. Der 90°-Winkel muss durch Verkippung des Bauelementes justiert werden. Die Spiegelschicht ist polarisationsneutral, d.h. die Polarisation des Laserstrahles bleibt erhalten.

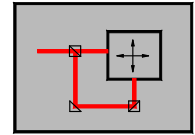


Abb. 2:
90° Umlenker 110
 für Doppelstrahl,
 dielektrisch polarisationsneutrale
 Spiegelschicht
Bestell-Nr. 269302-4011.024

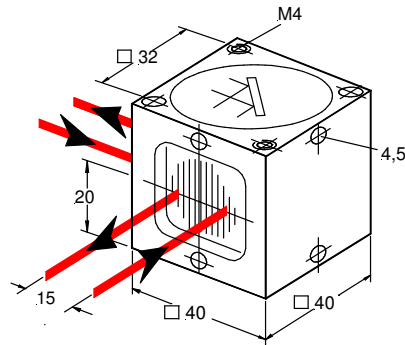
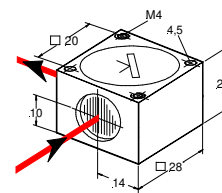


Abb. 3:
90° Umlenker 205
 für Einzelstrahl,
 dielektrisch polarisationsneutrale
 Spiegelschicht
Bestell-Nr. 269302-4012.424



1.1.2. Intensitätsstrahlenteiler

Die Aufteilung eines Laserstrahles erfolgt durch Intensitätsstrahlenteiler. Dabei soll die zur Verfügung stehende Laserstrahlleistung auf möglichst gleiche Anteile für die einzelnen Messachsen aufgeteilt werden. Durch Kombination mit Bauelementen, die unterschiedliche Teilungsverhältnisse haben, lässt sich dies erreichen. Intensitätsteiler mit höherem Anteil Reflexion zur Transmission lassen sich nur mit Metallschichten herstellen. Für diese Anwendung ist zu beachten, dass die Intensitätsanteile polarisationsabhängig sind. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Teilungsverhältnisse polarisationsbezogen auf die einzelnen zum ZLM 700/800 gehörenden Bauelemente aufgeführt.

Abb. 4:
Intensitätsteiler A
 für Doppelstrahl
Bestell-Nr. siehe Tabelle 1

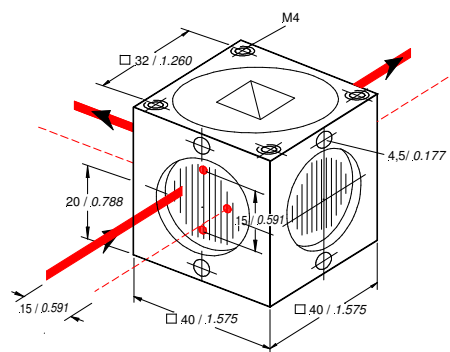
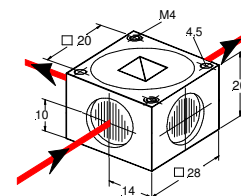
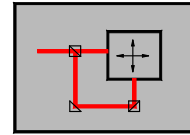


Abb. 5:
Intensitätsteiler B
 für Einzelstrahl
Bestell-Nr. siehe Tabelle 1





Teilungs- verhältnis	Artikel-Nr.	R / % (Reflexion)	T / % (Transmission)	Bestell-Nr.
mit dielektrischer, polarisationsneutraler Beschichtung				
A 1:1	201	⊥ 50 50	⊥ 50 50	269302-4011.424
A 1:2	212	⊥ 33 33	⊥ 67 67	269302-4017.824
A 1:3	211	⊥ 25 25	⊥ 75 75	269302-4017.624
B 1:1	203	⊥ 50 50	⊥ 50 50	269302-4012.124
B 1:2	210	⊥ 33 33	⊥ 67 67	269302-4017.924
B 1:3	209	⊥ 25 25	⊥ 75 75	269302-4017.724
mit Metallbeschichtung				
A 2,5:1	207	⊥ 72 61	⊥ 21 32	269302-4011.724
A 4:1	202	⊥ 80 70	⊥ 14 24	269302-4011.824
B 2,5:1	208	⊥ 72 61	⊥ 21 32	269302-4012.324
B 4:1	204	⊥ 80 70	⊥ 14 24	269302-4012.224

Tabelle 1: Übersicht Intensitätsstrahlenteiler

1.1.3. Interferometer

In der Abb. 1 wird ein Aufbau gezeigt, bei dem das Interferometer aus den nachfolgend aufgeführten Standard-Bauelementen zusammengestellt ist.

Abb. 6:
Polarisationsstrahlenteiler 101
Bestell-Nr. 269302-4010.124

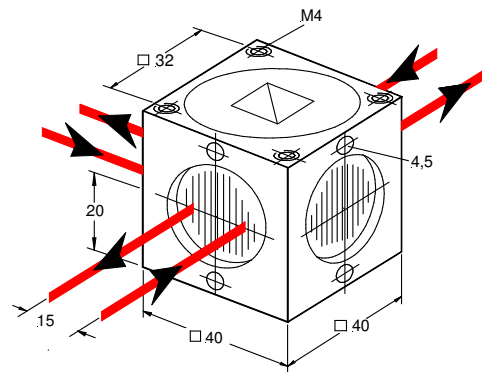
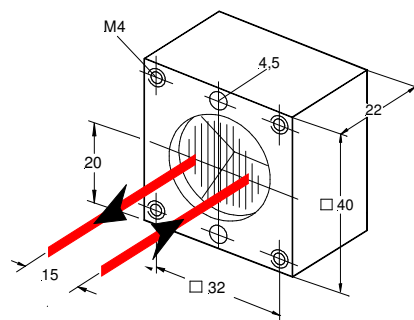


Abb. 7:
Tripelreflektor 102
Bestell-Nr. 269302-4010.224



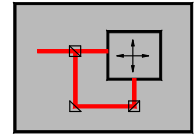


Abb. 8:
 $\lambda/4$ – Platte 104
Bestell-Nr. 269302-4010.424

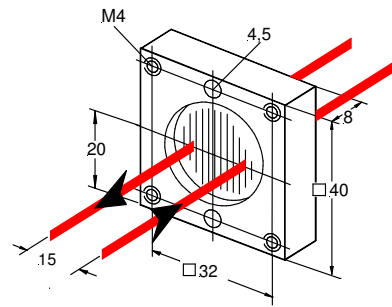


Abb. 9:
Lichtwellenleiteranschluss 222
für Polarisationsstrahlenteiler 101
Bestell-Nr. 269302-4015.724

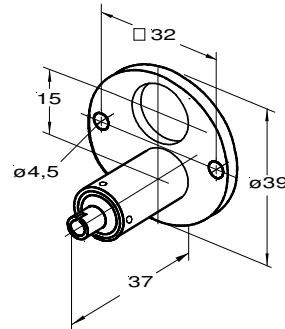


Abb. 10:
Winkelinterferometer 114
Bestell-Nr. 269302-4015.324

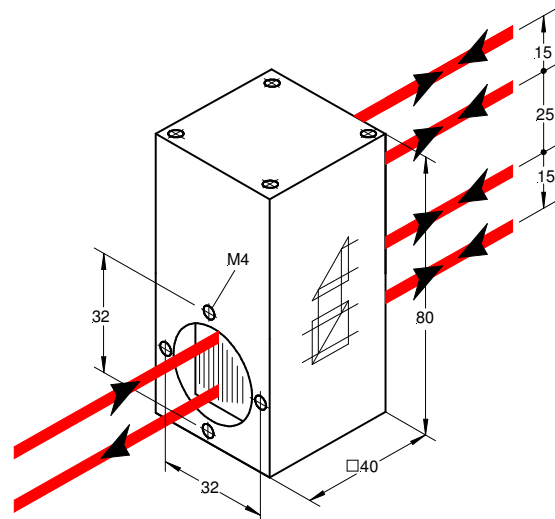


Abb. 11
Winkelinterferometer

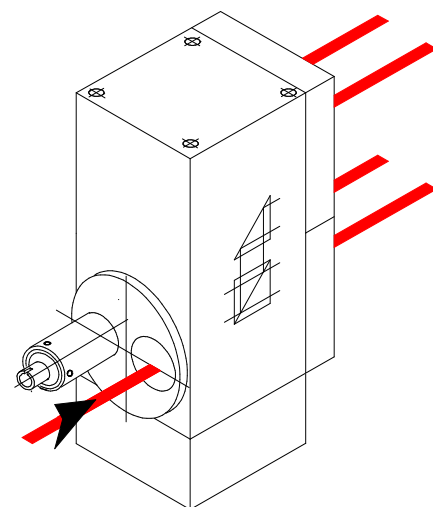
Bestehend aus:

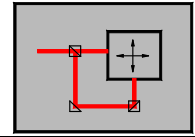
Winkelinterferometer 114
Bestell-Nr. 269302-4015.324

Tripelreflektor 102
Bestell-Nr. 269302-4010.224

$\lambda/4$ – Platte 104 2 Stück
Bestell-Nr. 269302-4010.424

Lichtwellenleiteranschluss 222
Bestell-Nr. 269302-4015.724





In Abb. 12a,b,c wird eine Messanordnung dargestellt, bei der eine bewegliche Messebene gegenüber einer feststehenden Referenzebene verschoben wird. Gemessen wird die genaue Position, sowie die Verkippung der Messebene gegenüber der Referenzebene in zwei Achsen. Je nach Anforderung kann zwischen verschiedenen Interferometertypen gewählt werden.

Abb. 12a zeigt eine Ausführung mit Winkelinterferometern.

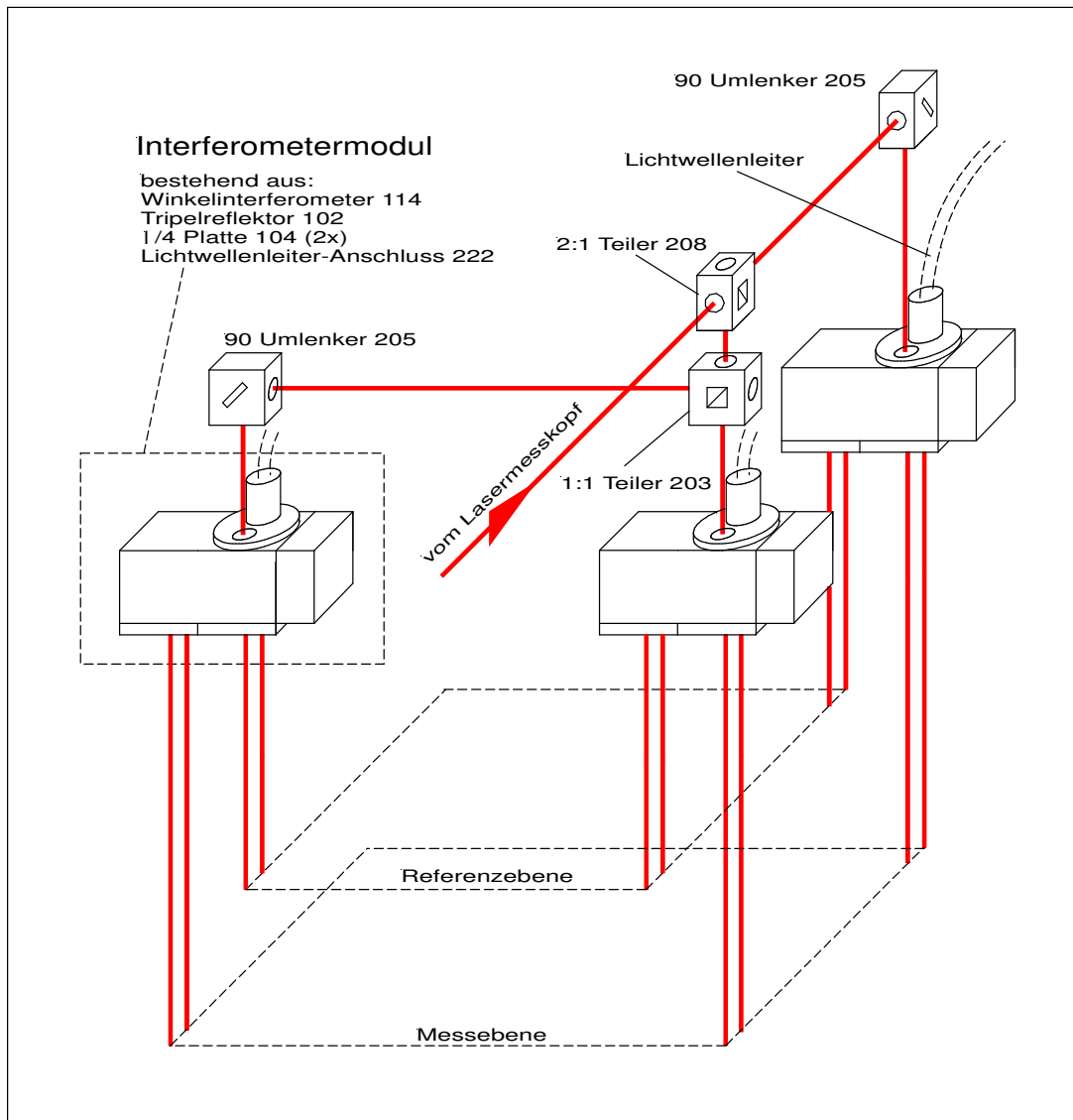


Abb. 12a: Mehrachsanordnung mit Winkelinterferometern

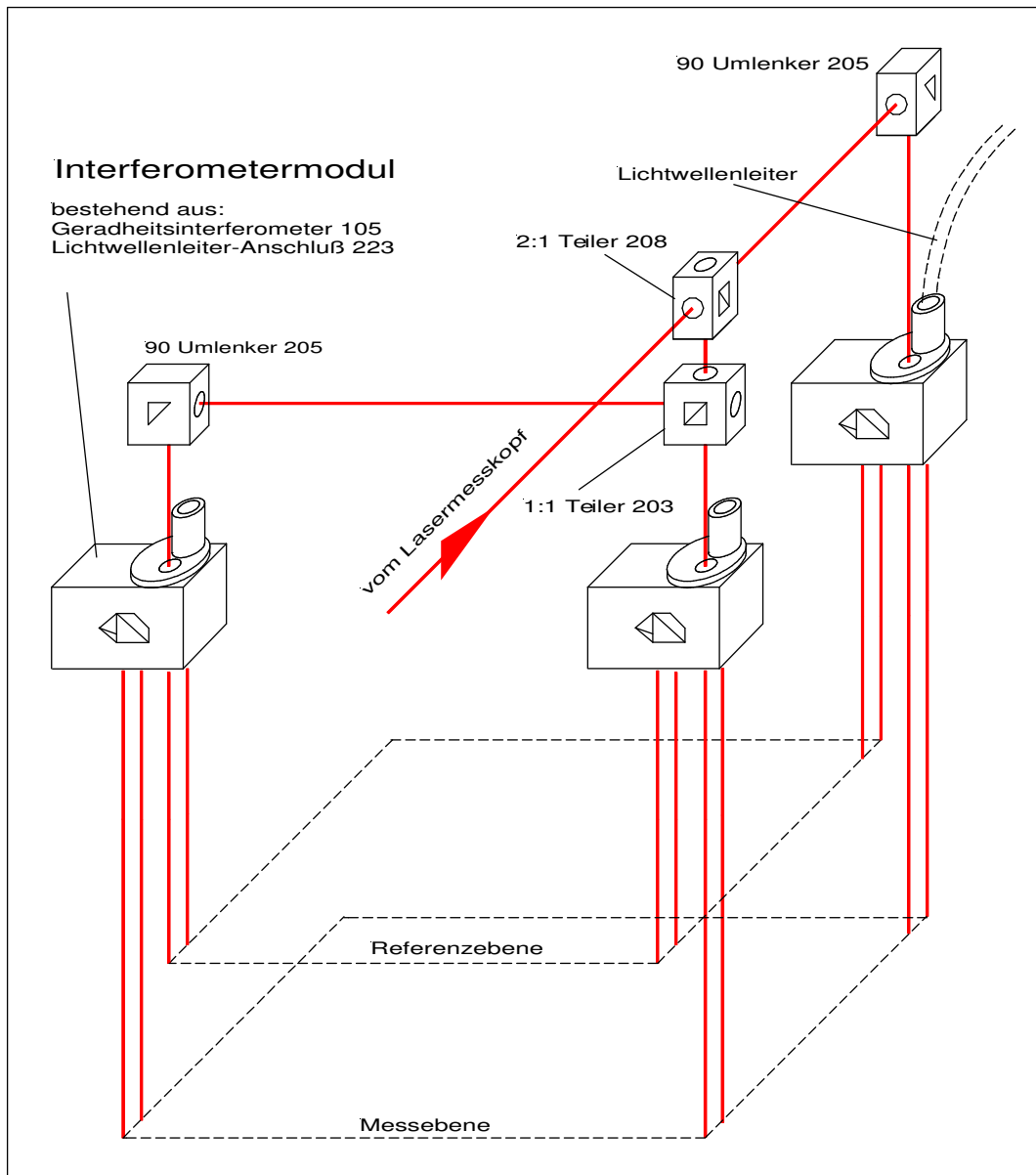
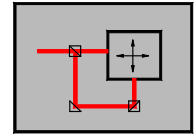


Abb. 12b: Mehrachsanordnung mit Differentialinterferometern

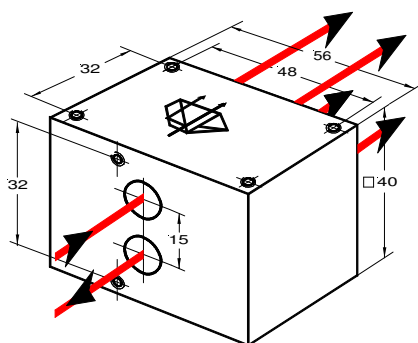
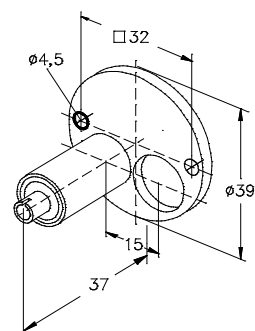


Abb. 13

Differentialinterferometer 128
Bestell-Nr. 269302-4012.824



Lichtwellenleiteranschluss 223
 für Differentialinterferometer 128
Bestell-Nr. 269302-4015.824

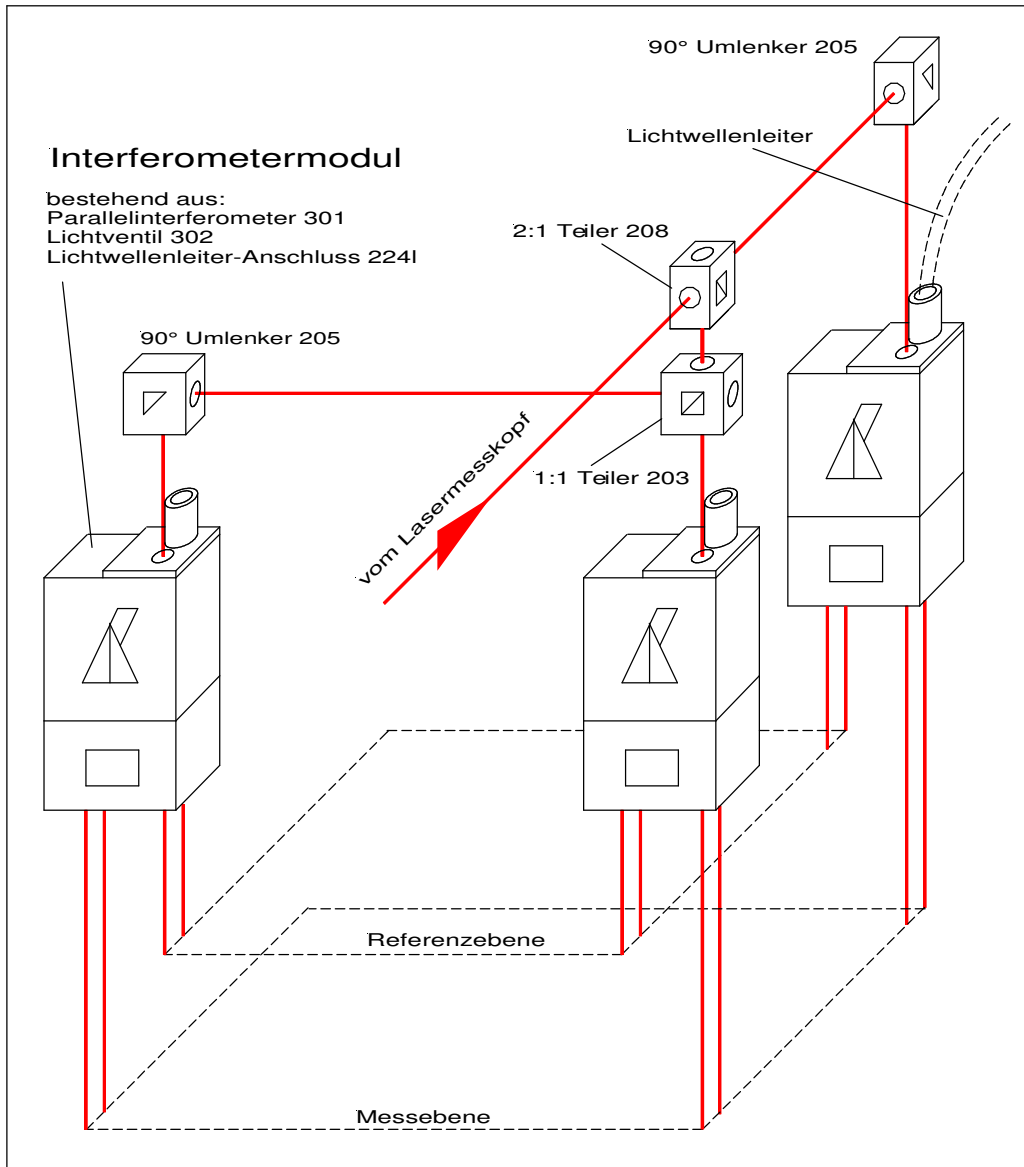
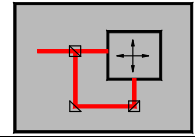


Abb. 12c: Mehrachsanordnung mit Parallelinterferometern

Abb. 14
Parallelinterferometer 301
 („Kösters“-Interferometer)
Bestell-Nr. 269302-4013.324

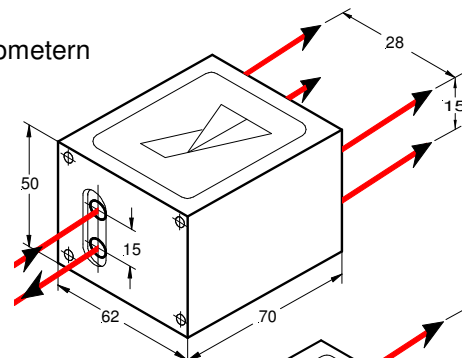
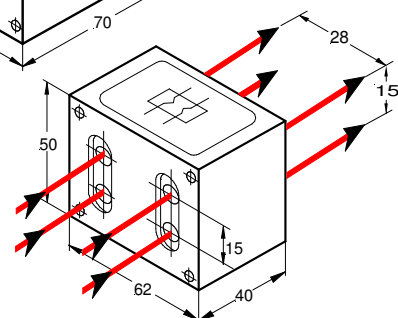


Abb. 15
Lichtventil 302
 (nur in Verbindung mit Parallelinterferometer
 anwendbar)
Bestell-Nr. 269302-4013.424



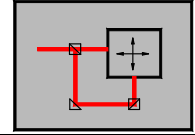
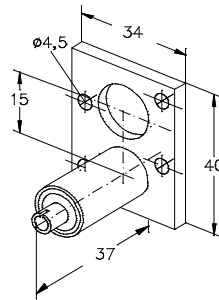


Abb. 16:
Lichtwellenleiteranschluss 224
 für Parallelinterferometer
Bestell-Nr. 269302-4015.924



1.2. Funktionsbeschreibung Parallelinterferometer

Der aus dem Lasermesskopf austretende Teilstrahl mit den orthogonal polarisierten Moden der Frequenzen f_1 und f_2 gelangt zur Interferometeranordnung (Abb. 17). Die polarisationsteilende Schicht des „Kösters“-Prismas spaltet den Lichtstrahl in einen Messstrahl mit der Frequenz f_1 und einen Referenzstrahl mit der Frequenz f_2 . Beide Teilstrahlen gelangen zum Lichtventil. Damit beide Strahlen an der polarisationsteilenden Schicht des Lichtventils durchgelassen werden, müssen sie senkrecht zur Reflexionsebene schwingen. Deshalb muss der waagrecht schwingende Strahl durch eine $\lambda/2$ -Platte um 90° gedreht werden. Danach werden beide Strahlen an den $\lambda/4$ -Platten in zirkular polarisiertes Licht transformiert. Nach der Reflexion an den Planspiegeln werden die $\lambda/4$ -Platten wieder durchlaufen, so dass sich eine Drehung der Schwingungsebenen um 90° ergibt. Im Lichtventil werden die Strahlen nun reflektiert und über das Tripelprisma seitlich versetzt. Dadurch gelangen die zum Planspiegel zurücklaufenden Strahlen in eine parallelversetzte Ebene. Nach der Reflexion am Planspiegel laufen die Strahlen in der versetzten Ebene in sich zurück. Durch die $\lambda/4$ -Platten werden die Schwingungsebenen um 90° gedreht.

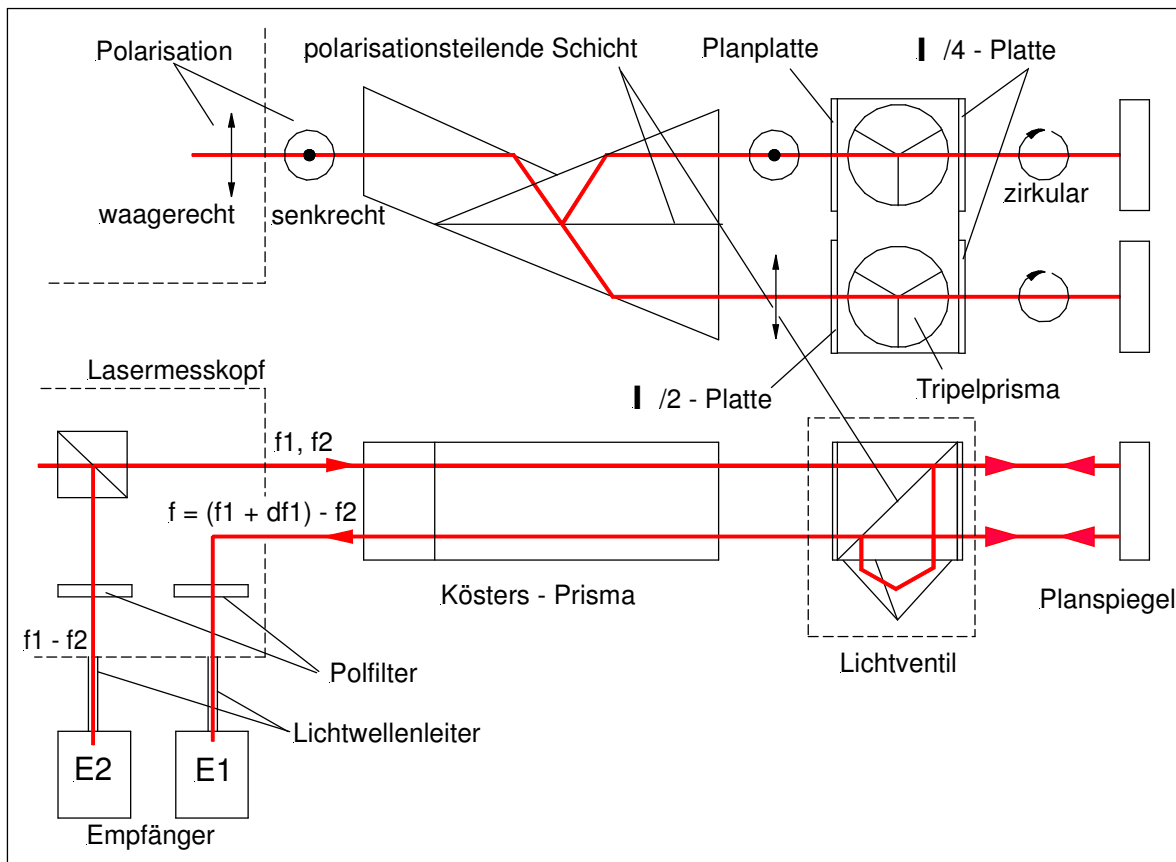
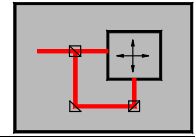


Abb. 17: Funktionsprinzip des Parallelinterferometers



Die Strahlen werden am Lichtventil durchgelassen und gelangen zum Kösters-Prisma. Durch die $\lambda/2$ -Platte wird die Schwingungsebene des einen Strahles wieder in seine Ausgangslage gedreht, so dass beide Strahlen wieder, diesmal in der versetzten Ebene, in sich zurücklaufen und zum Empfänger in der Auswerteeinheit AE 800 gelangen. Die interferometrische Teilung und Zusammenführung der Strahlen erfolgt an der polarisationsteilenden Schicht des Kösters-Prismas. Die Strahlanordnung ist so, dass beide Strahlen gleiche Wege zurücklegen. (Der optische Weg der $\lambda/2$ -Platte wird durch eine Planplatte ausgeglichen.) Ein großer messtechnischer Vorteil dieser Anordnung liegt in der Strahlensymmetrie. Werden die Planspiegel nicht bewegt, detektiert der Empfänger E1 die Differenzfrequenz des Lasers $f_1 - f_2 = 640$ MHz, die gleich dem im Laserkopf detektierten Referenzsignal E2 ist. Werden ein oder beide Planspiegel gegeneinander verschoben, dann entsteht, aufgrund der sich ändernden optischen Weglängen, zwischen den Teilstrahlen eine Dopplerverschiebung $\pm df_1$. Entsprechend detektiert der Empfänger E1 eine Messfrequenz $+df_1$ oder $-df_1$ je nach Bewegungsrichtung des Messspiegels. Beide detektierten Signale (E1 und E2) werden im Hochfrequenzteil der Auswerteeinheit miteinander verglichen. Als Ergebnis erhält man die durch den Dopplereffekt erzeugte Frequenzverschiebung $\pm df_1$, die ein Maß für die gesuchte Messspiegelverschiebung ist und dem vierfachen Weg der Verschiebung des Messspiegels entspricht. Der vierfache Weg des Laserstrahles bei Bewegung des Messspiegels im optischen Aufbau plus der Phaseninterpolation ergibt eine gesamte Auflösung von 1,25nm.

1.3. Justieraufnahmen für Optikmodule

Zur justierbaren Montage der Optikmodule dienen folgende Vorrichtungen:

Abb. 18:
Justieraufnahme 588
 für Optikmodule - Doppelstrahl
Bestell-Nr. 269302-4009.025

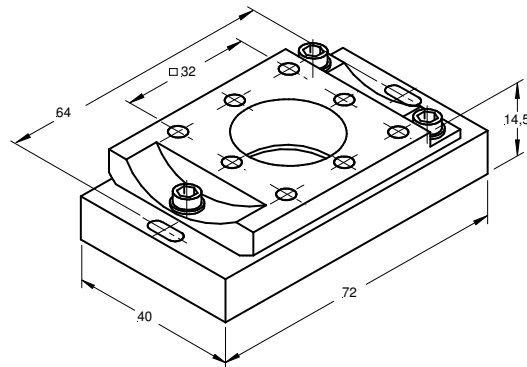
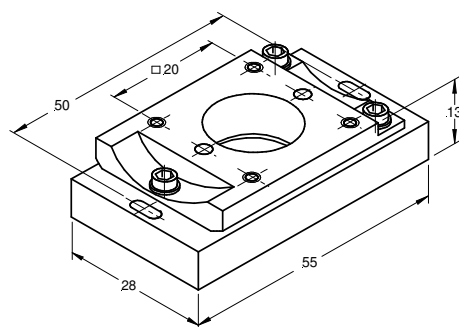
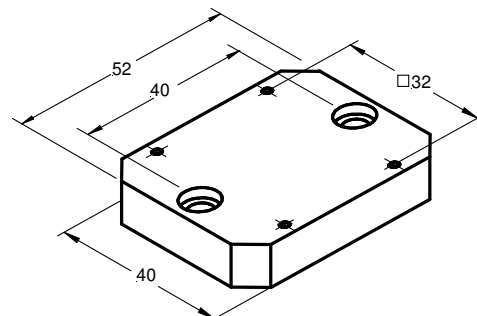


Abb. 19:
Justieraufnahme 589
 für Optikmodule - Einzelstrahl
Bestell-Nr. 269302-4009.125



Abstandsstück
Bestell-Nr. 269302-4025.510

Abb. 20:
Zwischenplatte zur Befestigung des
 Parallelinterferometers mit der
 Justieraufnahme 588
Bestell-Nr. 269302-4006.510



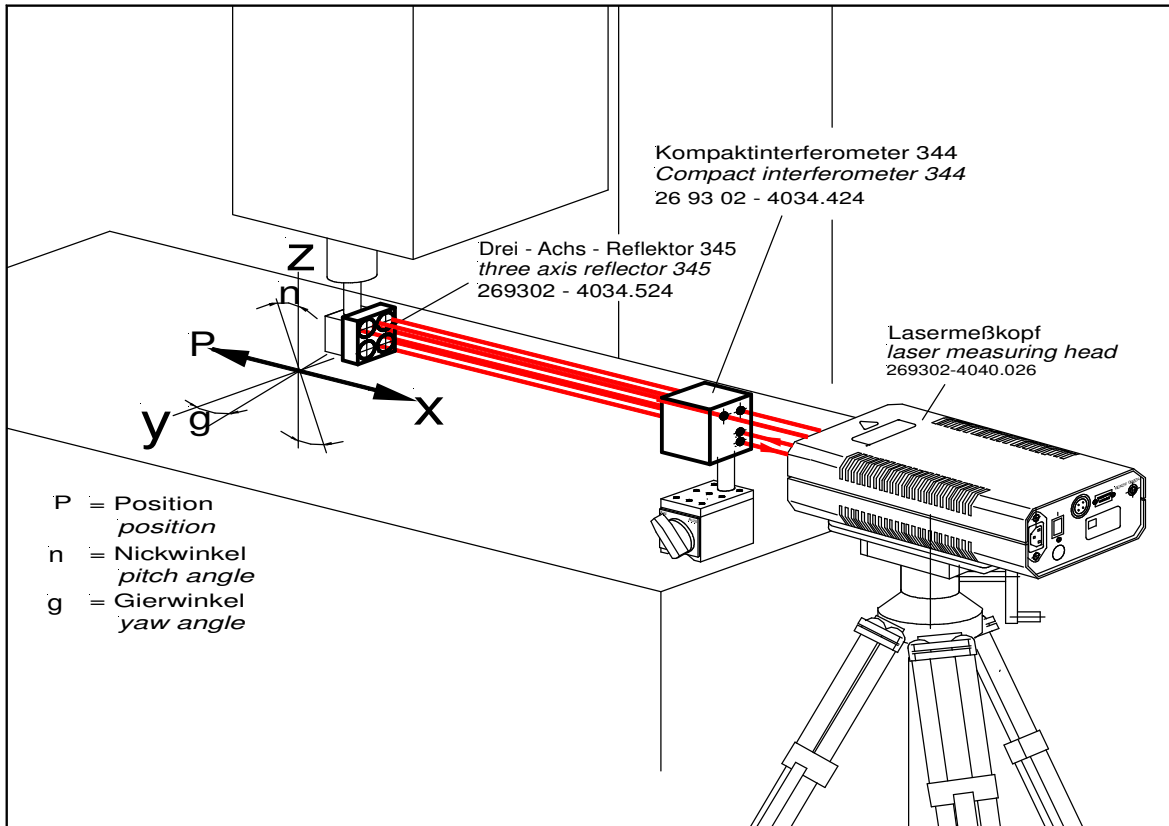
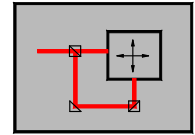


Abb. 21: Gleichzeitige Positions-, Nickwinkel- und Gierwinkelmessung in einer Achsrichtung

Abb. 22
Kompaktinterferometer 344
Bestell-Nr. 269302-4034.424

1, 2 und 3 sind drei Interferometerausgänge

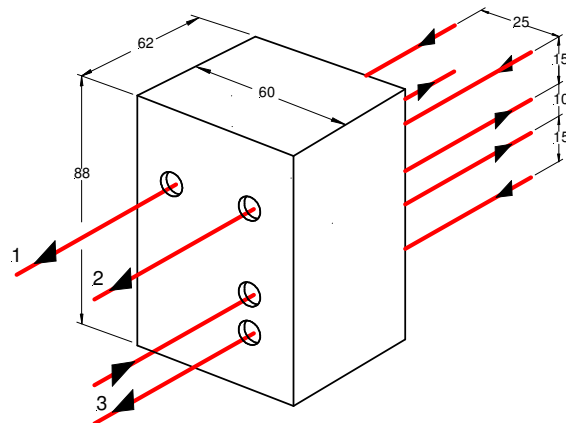
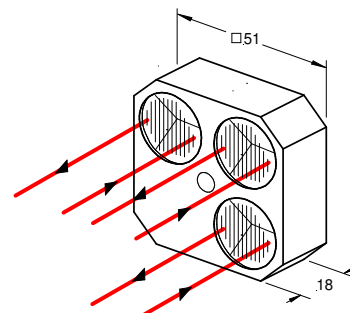
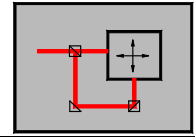


Abb. 23
3-Achs-Reflektor 345
Bestell-Nr. 269302-4034.524





2. Auswerteeinheit AE 800

2.1. AE 800cPCI/PXI

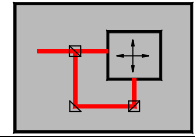
Die wesentlichsten Bestandteile der Auswerteeinheit sind :

- 19"-3HE Gehäusesystem für 1 bis 4 Achse (optional 6 – 8 Achsen)
- cPCI/PXI-Backplane für 8 Slots (optional bis 24)
- 1 bis 4 Interpolatorbaugruppen - je nach Anzahl der Interferometer)
- cPCI/PXI Prozessoreinschub Pentium M 1,2 GHz mit Betriebssystem WINDOWS XP
- 1 Steuereinheit mit RS232 und CENTRONICS Interface
- Schnittstellen für:
 - Tastatur, Maus, Monitor
 - Ethernet, LAN, USB1/2, RS 232, IEEE 488 optional externes Laufwerk
- Hardwareschnittstellen der Interpolatorbaugruppe:
 - 32 bit Echtzeitzählsignale (15ns)
 - AQB - Zählereingang für z.B. Heidenhain-Maßstäbe (20MHz)
 - AQB - Zählerausgang für Motion control (10MHz)
 - 16 x 12 bit ADC - Eingänge
 - externer Trigger in / Trigger out
 - externe Nullung

Abb. 25 zeigt die Ansicht und die Anschlussplätze der Auswerteeinheit AE 800cPCI/PXI. Die Schnittstellen der Vorderfront können unterteilt werden in Schnittstellen für den Datenaustausch mit anderen Einheiten und in Schnittstellen, die für den Betrieb des Lasermesssystems notwendig sind.

2.1.1 Schnittstellen für den Betrieb des Lasermesssystems

Lasermesskopf	Messkopfkabel zum Lasermesskopf, (für Bildschirmdarstellung der Qualität der Justierung von Referenz- u. Messstrahl)
AUK	AUK Anschlusskabel
IF - in	Anschlüsse der Gradientenlichtwellenleiterkabel der einzelnen Interferometerachsen (je Einschub/Achse 1x)
Ref - in	Anschluss des Gradientenlichtwellenleiters des Referenzstrahls des Lasermesskopfes
Ref - in/out	Anschlüsse der Kabel für das Referenzsignal des Lasermesskopfes der einzelnen Messkassetten



2.1.2. Schnittstellen für den Datenaustausch

Tastatur Anschluss und Maus Anschluss Monitor Anschluss	6-pin Mini-DIN Buchse (PS/2) und Maus Anschluss
IDE Schnittstelle	externer Anschluss für ein weiteres EIDE-Gerät (Festplatte, CD-Laufwerk)
Serielle Schnittstellen	Datenaustausch mit externen Einheiten (2 serielle Ports RS232) zu übergeordnetem Rechner
IEEE 488 oder SCSI	Datenaustausch mit externen Einheiten (optional)
IF32 Achse (optional)	32 Bit-Echtzeitschnittstelle für Bereitstellung eines aktuellen Positionszählwertes im Zweierkomplement mit Reset- und Triggerfunktion
A-Q-B Zählereingang 2. Zähler	Zählung der digitalen Impulse eines Heidenhain-Maßstabes (0, 90°, 180°, 270°)
A-Q-B Zählerausgang	serielle Bereitstellung der Laser-Positionsdaten (0, 90°, 180°, 270°) zur Motion control

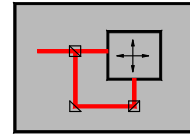
Im "Handbuch für die Software" sind die für den Anwender wichtigen Schnittstellen und die Funktionsweise der Einheit beschrieben.

2.2. AE 800 PCI

Für Standard PCs, Industrie PCs und portable PCs besteht die Möglichkeit der Bestückung mit

AE 800 PCI/Master	für die erste Messachse und
AE 800 PCI/Slave	für jede weitere Messachse

Anschlussbedingungen und Schnittstellen sind übereinstimmend mit der cPCI/PXI -Variante.



2.3. Grundausrüstung


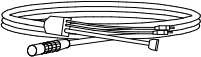


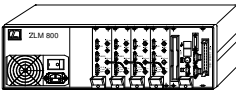
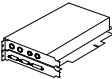
<p>Lasermesskopf 269302-4040.026</p>		<p>Anzahl: 1</p>												
<p>Messkopfkabel 269302-5041.524</p>		<p>Anzahl: 1</p>												
<p>Gradienten-Lichtwellenleiter 212.678</p>		<p>Anzahl: 1 pro Achse</p>												
<p>Geräteanschlusskabel (DIN-Standard) 146.250</p>		<p>Anzahl: 1</p>												
<p>Auswerteeinheiten AE 800:</p> <p>AE 800cPCI-PXI</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">1 Messachse</td> <td style="width: 15%;">.../1S</td> <td style="width: 55%;">269302-5070.126</td> </tr> <tr> <td>2 Messachsen</td> <td>.../2S</td> <td>269302-5070.226</td> </tr> <tr> <td>3 Messachsen</td> <td>.../3S</td> <td>269302-5070.326</td> </tr> <tr> <td>4 Messachsen</td> <td>.../4S</td> <td>269302-5070.426</td> </tr> </table>	1 Messachse	.../1S	269302-5070.126	2 Messachsen	.../2S	269302-5070.226	3 Messachsen	.../3S	269302-5070.326	4 Messachsen	.../4S	269302-5070.426		<p>Anzahl: 1</p>
1 Messachse	.../1S	269302-5070.126												
2 Messachsen	.../2S	269302-5070.226												
3 Messachsen	.../3S	269302-5070.326												
4 Messachsen	.../4S	269302-5070.426												
<p>oder</p> <p>AE 800 PCI</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">1 Messachse</td> <td style="width: 15%;">.../Master</td> <td style="width: 55%;">269302-5071.026</td> </tr> <tr> <td>für jede weitere Messachse</td> <td>.../Slave</td> <td>269302-5071.526</td> </tr> </table>	1 Messachse	.../Master	269302-5071.026	für jede weitere Messachse	.../Slave	269302-5071.526		<p>Anzahl: 1 Anzahl: 1 pro Achse</p>						
1 Messachse	.../Master	269302-5071.026												
für jede weitere Messachse	.../Slave	269302-5071.526												

Abb. 24 Grundausrüstung - Mehrachssysteme

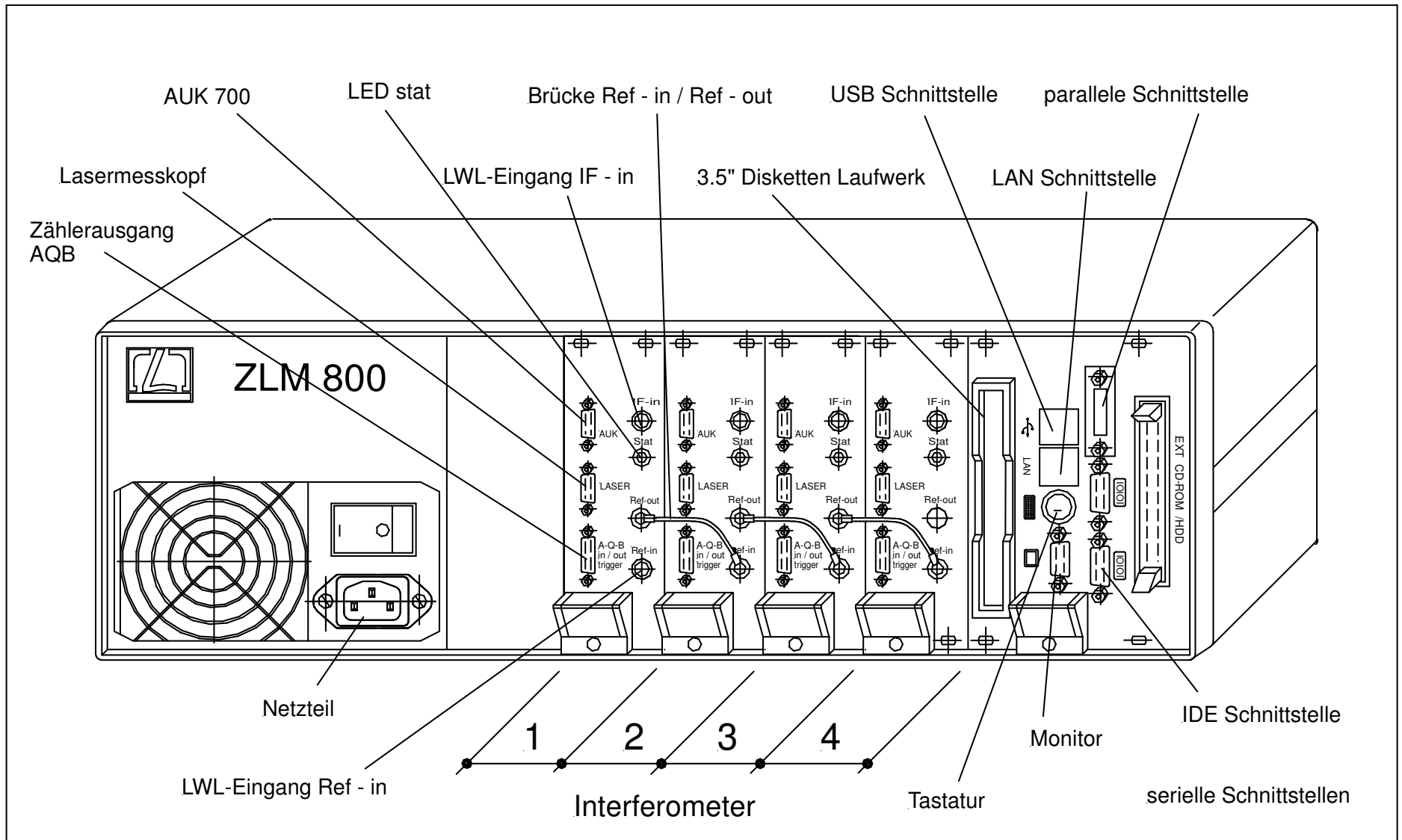
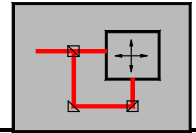
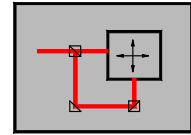


Abb. 25 Auswerteeinheit AE 800cPCI/PXI



3. Aufbau und Justierung von Mehrachssystemen

3.1. Funktionsvoraussetzungen

Damit das Laser-Weg-Meßsystem einwandfrei funktioniert, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Die **Aufspaltung des Laserstrahles** auf die einzelnen Achsen ist mittels Intensitätsteilerwürfel so vorzunehmen, dass jede Achse möglichst den gleichen Lichtanteil bekommt. In Abb. 26 ist eine Auswahl von Varianten dargestellt, die das ZLM-Baukastensystem ermöglicht. (Intensitätsteilerwürfel siehe Abb. 4/5 Seite I-2 und Tabelle 1 Seite I-3)

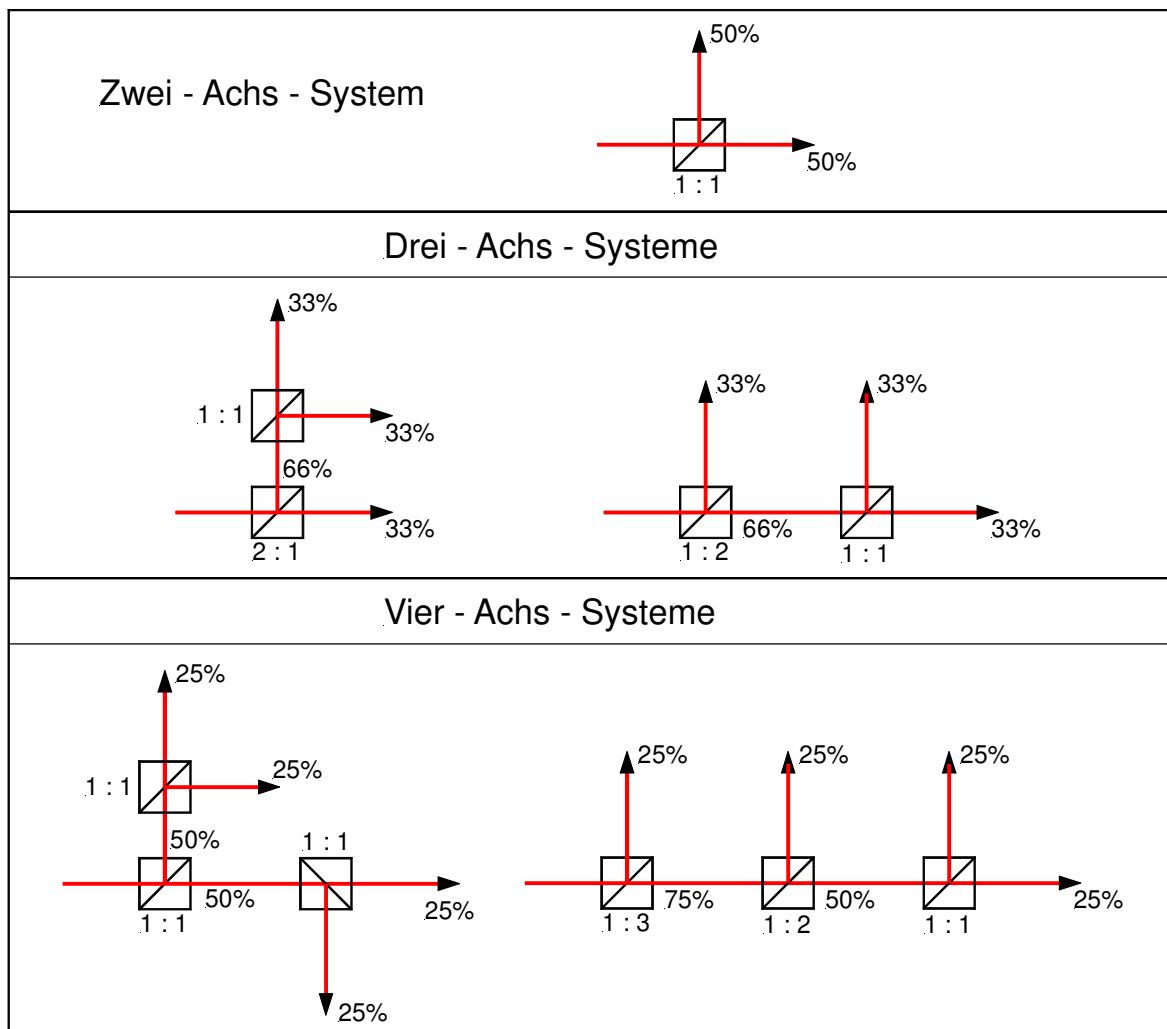


Abb. 26 Auswahl möglicher Strahlauflösungsvarianten von Mehrachssystemen

2. Die **Überdeckung:** Für jede Achse gilt: Messstrahl und Referenzstrahl müssen zur Interferenz gebracht werden, deshalb müssen beide Strahlen zur Überdeckung gebracht werden (Abb. 27).
Der Grad der Überdeckung ist für die Signalbildung in der elektronischen Auswerteeinheit von Bedeutung. An der Lichtwellenleiter-Einkopplung kann man die Projektion des Laserstrahles mittels eines weißen Papierstreifens beobachten. Die Koinzidenz von Mess- und Referenzstrahl erkennt man durch wechselndes Abdecken des Messstrahlenganges und Vergleich mit dem Referenzstrahlengang. Die Summenlichtleistung am Interferometerausgang muss mindestens **20 µW** betragen. Davon je **50% vom Referenzkanal** und **50% vom Messkanal**.

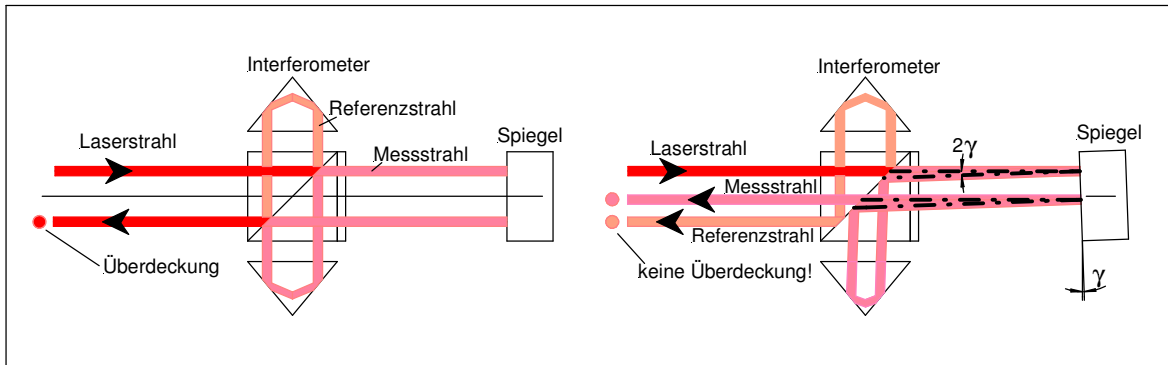
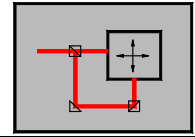
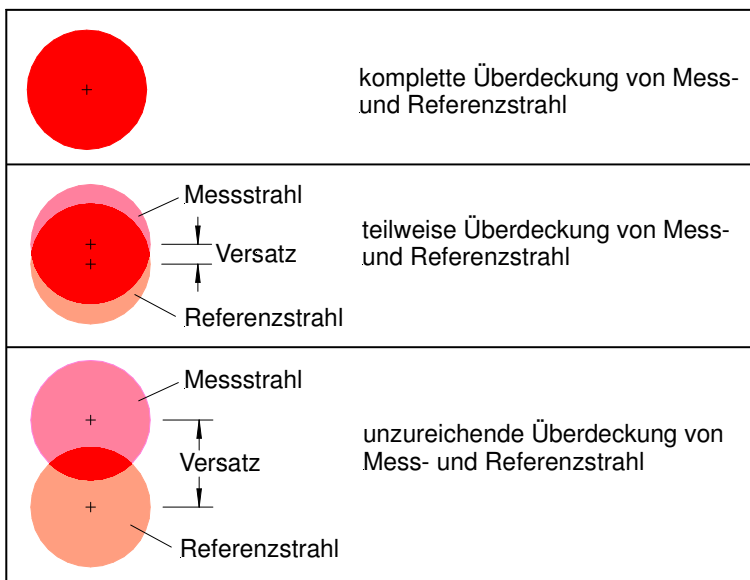


Abb. 27 Überdeckung Mess- und Referenzstrahl



Idealfall!

Bei leichtem Versatz (bis 20%) ist die Funktion noch gewährleistet

Keine Funktion!

Unten rechts im Bildschirmfenster erscheint rot: „kein Lichtsignal“

Auswerteeinheit: LED Lichtsignalanzeige leuchtet rot

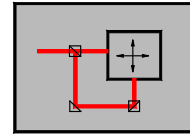
Abb. 28 Grad der Überdeckung

- Für die einzelnen Achsen muss der zugehörige **Laserstrahl parallel zur Bewegungsrichtung**, in der die Messung erfolgen soll, justiert werden. Sind als Reflektoren Planspiegel vorgesehen, so sind diese senkrecht zum Laserstrahl auszurichten. Abweichungen der Richtung des Laserstrahles zur Bewegungsrichtung der Messachse ergeben den „**Cosinusfehler**“. Da die Verschiebung des Reflektors, (ob Planspiegel- oder Tripelreflektor), genauer gesagt dessen zentralsymmetrischer Punkt, mit der Maschine entlang dessen Achsrichtung erfolgt, erscheint die Lasermessstrecke x_L kleiner als der Verschiebeweg x_M . Es gilt der Zusammenhang:

$$x_L = x_M \cdot \Delta\rho \quad (< x_M)$$

Der resultierende „Cosinusfehler“ leitet sich daraus als Näherung und Fehler zweiter Ordnung ab:

$$\Delta x_{\text{cos}} = x_L - x_M = x_M \cdot \Delta\rho^2/2$$



Die folgende Tabelle 2 gibt für verschiedene Ausrichtfehler $\Delta\rho$ (in Winkelsekunden bzw. mrad) eine Übersicht über die erforderliche Ausrichtung (in mm/m) und die beiden daraus resultierenden Wirkungen. Diese sind der Messfehler $\Delta X/X$ sowie der Strahlenversatz V für den rücklaufenden Strahl gegenüber seinem normalen Verlauf.

Während im Allgemeinen schon eine einfach zu erreichende Parallelausrichtung von 0,5 mm/m einen relativen Messfehler $\Delta X/X = 0,12 \cdot 10^{-6} = 0,12 \mu\text{m/m}$ sicherstellt, kann der Strahlversatz V von 1mm pro 1m Messstrecke bei größeren Verschiebewegen schon Probleme bei der Signalbildung verursachen. (siehe Abb. 27).

Ausrichtfehler		zugehörige Ausricht-Anforderung mm/m	Wirkung	
$\Delta\rho$ "	$\Delta\rho$ mrad		Meßfehler $\Delta X/x$	Strahlversatz $\frac{V}{\text{mm/m}}$
412	2	2	$-2 \cdot 10^{-6}$	4
206	1	1	$-0,5 \cdot 10^{-6}$	2
103	0,5	0,5	$-0,12 \cdot 10^{-6}$	1
21	0,1	0,1	$-0,005 \cdot 10^{-6}$	0,2
10	0,05	0,05	$-0,001 \cdot 10^{-6}$	0,1

Tabelle 2: Einfluss von Ausrichtfehler auf Messfehler („Cosinusfehler“)

Komparator-Fehler: Entsprechend dem Abbé-schen Prinzip soll die Laser-Messlinie x_L fluchtend zur prüfenden Maschinenachse x_M liegen. In vielen Anwendungsfällen ist dies jedoch praktisch nicht möglich, so dass durch Kippen der Führungen ein Komparatorfehler auftreten kann. Es handelt sich hier um einen Fehler erster Ordnung (z.B. ergibt ein Winkelunterschied von $\Delta\rho = 5''$ zwischen den Messpositionen x_1 und x_2 und einen Parallelabstand von 100 mm einen Längenfehler von $2,5 \mu\text{m}$).

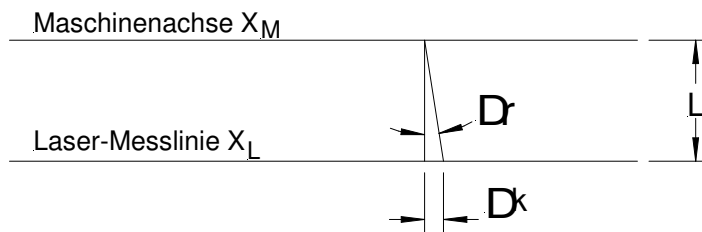


Abb. 21 zeigt eine Messanordnung, bei der an einer Maschine gleichzeitig zur Position Gier- und Nickwinkel mit gemessen werden, um damit den Komparator-Fehler zu korrigieren.

4. **Die Polarisation des Laserstrahles** muss bei der Anordnung und Ausrichtung der einzelnen optischen Bauelemente berücksichtigt werden. Der aus dem Lasermesskopf austretende Strahl besteht aus zwei Moden F1 und F2, die zueinander senkrecht polarisiert sind. Sie bilden ein „Polarisationskreuz“, dessen Bezugsbasis die Standfläche des Lasermesskopfes ist. Der Strahlanteil F1 ist senkrecht zur Standfläche, der Strahlanteil F2 ist parallel zur Standfläche polarisiert. Bei der Konzipierung von Mehrachsaufbauten mit Strahlverzweigungen und Umlenkungen ist darauf zu achten, dass keine Verdrehung der Polarisationsrichtungen zur Einbaulage der Interferometer auftritt.

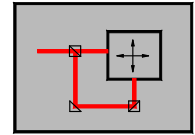
Ist das Interferometer zum Polarisationskreuz verdreht, gibt es keine exakte Trennung der Moden F1 und F2. Ein Fehlbetrag von F2 vermischt sich mit F1 und umgedreht. Es entstehen:

$$F1 - \Delta F1 + \Delta F2 \quad \text{und} \quad F2 - \Delta F2 + \Delta F1$$

auf den beiden Kanälen F1 und F2, (Mess- und Referenzkanal), siehe Abb. 29.

Die Modenvermischung führt zu Signalverschlechterung bis hin zum Funktionsausfall.

Bei kleinen Verdrehungswinkeln sind die übergreifenden Lichtintensitäten sehr gering (Tabelle 3).



$$\Delta I_{F1} = I_{F1} - I_{F1} \cdot \cos^2 \Delta\varphi \quad \text{und} \quad \Delta I_{F2} = I_{F2} - I_{F2} \cdot \cos^2 \Delta\varphi$$

Verdrehung des Polarisationskreuzes $\Delta\varphi$	15'	30'	45'	1°	1°30'	2°
Übergreifende Lichtintensitäten	0,0014%	0,014%	0,034%	0,06%	0,14%	0,24%

Tabelle 3: Prozentuale Anteile der übergreifenden Lichtintensitäten bei Verdrehung des „Polarisationskreuzes“

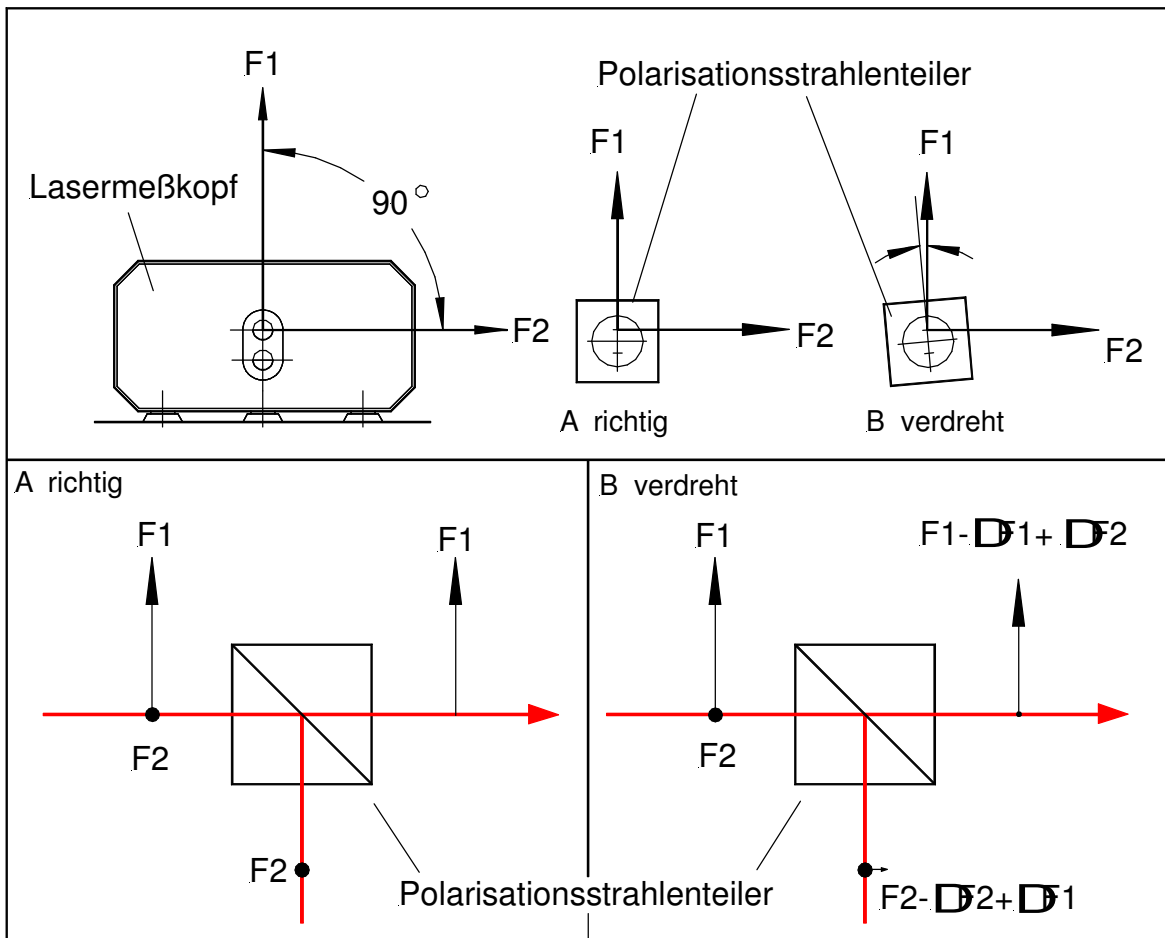
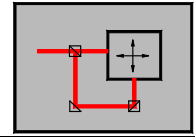


Abb. 29 Modenvermischung durch Verdrehung des Interferometers zum „Polarisationskreuz“

Anmerkung: Bei der Konzipierung von Mehrachssystemen ist darauf zu achten, dass die Laserstrahlführung vom Lasermesskopf über die Optikmodule innerhalb einer Ebene oder mehreren Ebenen immer rechtwinkelig erfolgen sollte, da raumschräge Anordnungen zu Verdrehungen und Verfälschung des Polarisationskreuzes führen können.

Die Parallelität der Optikmodule zur Auflagefläche des Lasermesskopfes sollte

$$\Delta\varphi \leq 30' \quad \text{sein.}$$



3.2. Varianten für die Montage und Justierung der Optikmodule

Mit den Justieraufnahmen 588 und 589 (siehe Abb. 18/19 Seite I-9) lassen sich die Optikmodule in zwei Ebenen justieren.

Die Abb. 30 und 31 zeigen mögliche Einbauvarianten sowie die Lage der Justierebenen für den Einsatz mit Strahlführungsmodulen (die Abb. 32 und 33 zeigt für die Verwendung mit Interferometern).

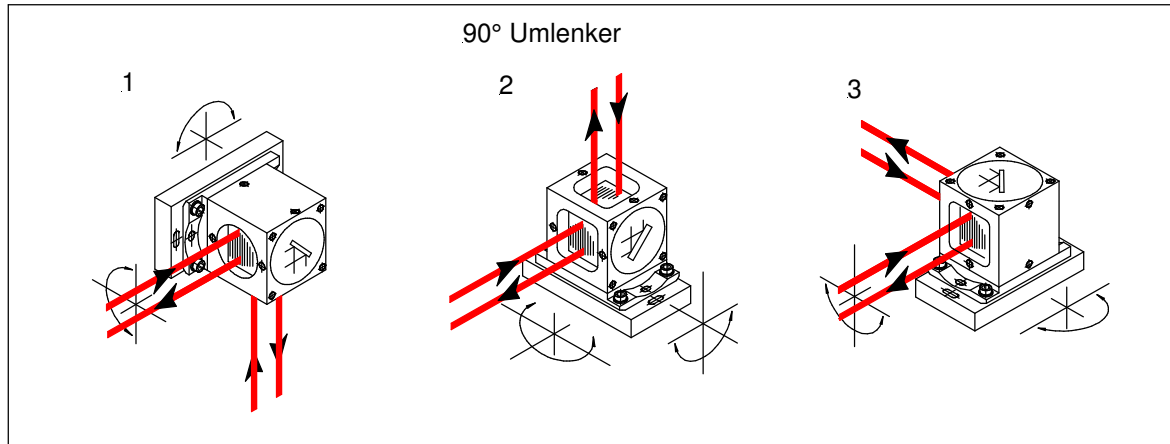


Abb. 30 Einbau und Justiermöglichkeiten von Modulen Größe A (□40) zur Strahlungsführung

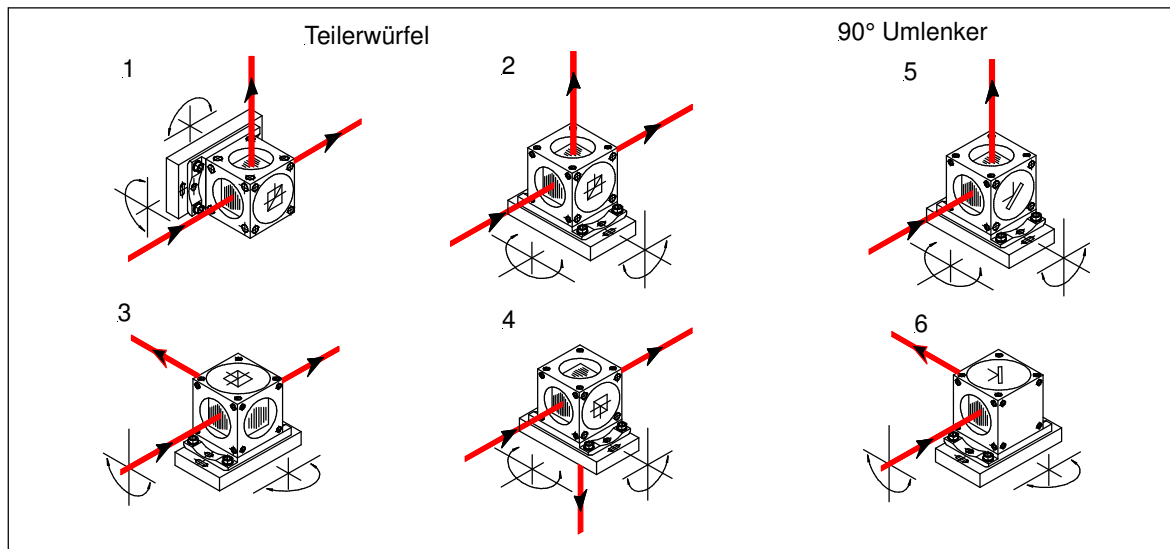


Abb. 31 Einbau und Justiermöglichkeiten von Modulen Größe B (□28) zur Strahlungsführung

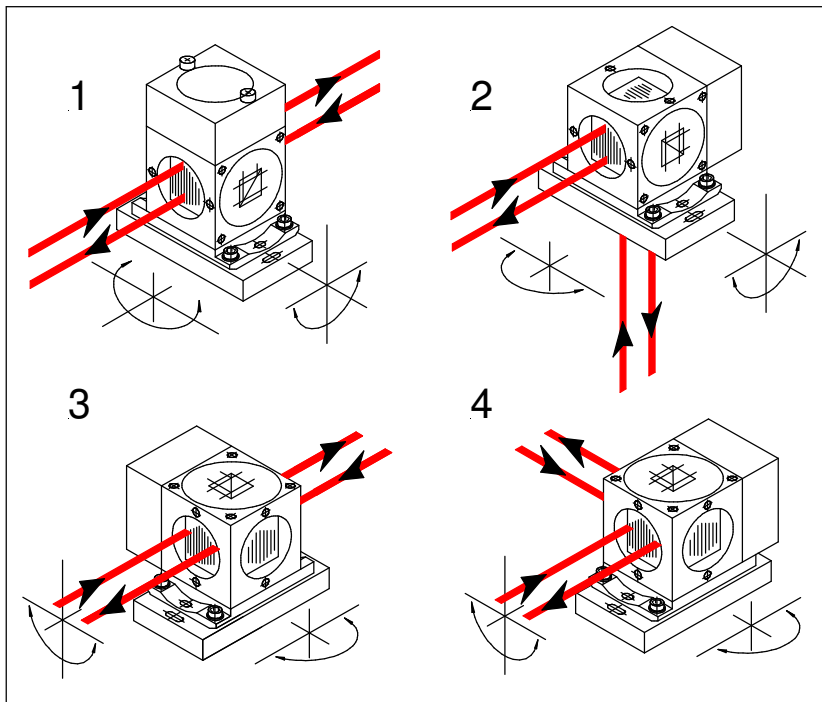
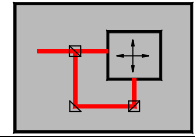


Abb. 32
Einbau und Justiermöglichkeiten
für Interferometer mit
Tripelreflektoren:

- Justieraufnahme 588
- Polarisationssteiler 101
- Tripelreflektor 102

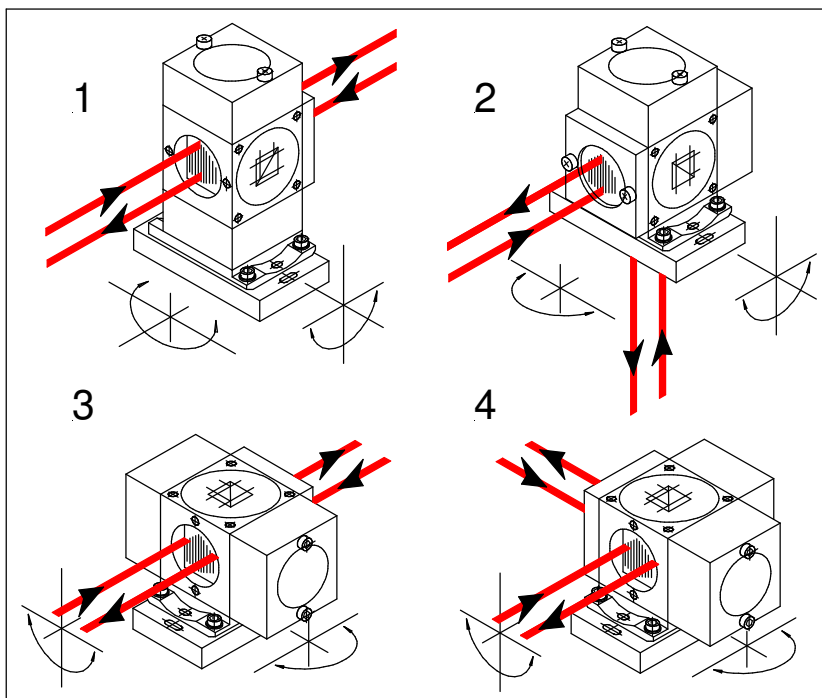
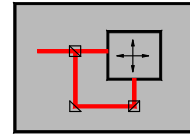


Abb. 33
Einbau und Justiermöglichkeiten
für Planspiegelinterferometer

- Justieraufnahme 588
- Polarisationssteiler 101
- 2x Tripelreflektor 102
- $\lambda/4$ Platte 104



3.3. Beschreibung des Montage- und Justiervorgangs

3.3.1. Beschreibung des Zwei-Achs-Systems am Beispiel Abb. 1

Der Messaufbau besteht aus einem X-Y Tisch, der auf zwei übereinanderliegenden und rechtwinklig zueinander angeordneten Führungen besteht. Auf dem Tisch sind zwei Spiegel 90° zueinander angebracht, die auf gleicher Höhe liegen. Die Länge der Spiegel entspricht der Führungslänge.

Das Messsystem besteht aus zwei Interferometern, eines für die X-Achse und eines für die Y-Achse. Der aus dem Lasermesskopf austretende Strahl wird vom 1:1 Teiler in zwei Strahlen geteilt. Diese werden über zwei 90°-Umlenker zu den Interferometern geleitet. Als Messreflektoren dienen die beiden Planspiegel auf dem X-Y Tisch. Als Referenzreflektoren werden Tripelreflektoren verwendet, die an der jeweiligen Interferometergruppe befestigt sind. (Der Typ des Interferometers ist im Kapitel B Planspiegel-Interferometer Seite B-1 als 2.Variante beschrieben.)

Zur Rückführung des Laserlichtes vom Interferometer sind Lichtwellenleiter (LWL) vorgesehen. Diese werden in die LWL-Einkopplungen am Interferometer gesteckt und zur Auswerteeinheit geführt.

Der Referenz-LWL kommt vom Lasermesskopf.

3.3.2. Montage und Justierablauf des Zwei-Achs-Systems

Die Montage und Justierung eines Messaufbaues erfolgt zweckmäßigerweise in folgenden Schritten:

**Erster Schritt:
Montage der
Planspiegel-
reflektoren**

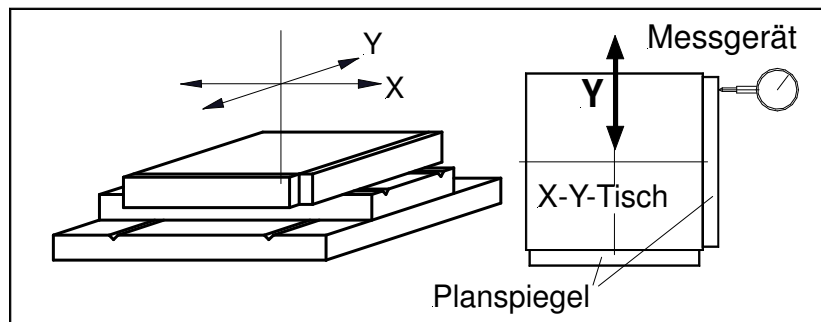
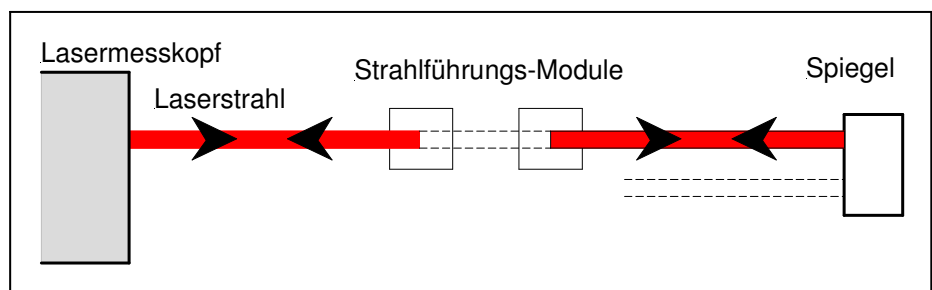


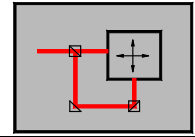
Abb. 34 Schema „X-Y-Tisch mit Planspiegelreflektoren“

Die beiden Planspiegel sind möglichst genau rechtwinklig zu den Bewegungsachsen des X-Y-Tisches auszurichten. Dabei können mechanische oder berührungslose Tastmessgeräte angewendet werden. Bei mechanischer Antastung ist zu beachten, dass die Bereiche außerhalb der Apertur für die Laserstrahlen verwendet werden. (Tische mit Spiegeln, die nicht justierbar sind, müssen von vornherein mit der erforderlichen Genauigkeit gearbeitet sein.)

**Zweiter Schritt:
Justierung der
Strahl-
führungs-
module**



A
A
Abb. 35 Schema „Lasermesskopf-Strahlführungs-module-Spiegel“



Mehrachsanordnungen ZLM 800

Zunächst werden der Lasermesskopf und die strahlführenden Optikmodule, 1:1 Teiler und 90° Umlenker, montiert (siehe Abb. 36a).

- Die für den Einbau erforderlichen im konstruktiven Konzept festgelegten maßlichen Angaben für die Strahlenführung sind konsequent einzuhalten.
- Die Auflageflächen des Lasermesskopfes und der Optikmodule müssen parallel zueinander sein. (Überprüfen mittels Richtwaage, Neigungsmesser)
- Die Auftreffpunkte des Laserstrahles auf die Bauelemente, in der Abb 36a mit „1, 2, 3, 4 und 5“ gekennzeichnet, müssen in einer Ebene liegen.

Anleitung: Die Lage der Auftreffpunkte des Laserstrahles 1 bis 5 werden bei gleicher Basishöhe mittels Lochblenden entsprechender Höhe, durch die der Laserstrahl mittig verlaufen soll, bestimmt (Abb. 37). Ist die Basishöhe an den Auftreffpunkten unterschiedlich, müssen die Lochblendenabstände auf die entsprechende Höhe einstellbar sein. Die Strahlhöhe zwischen Blendenort 1 und 3 wird durch Kippen des Lasermesskopfes erreicht, zwischen 1 und 2 durch Kippen des 1:1 Teilers, zwischen 3 und 4 durch Kippen des 90° Umlenkers 3 und zwischen 4 und 5 durch Kippen des 90° Umlenkers 4.

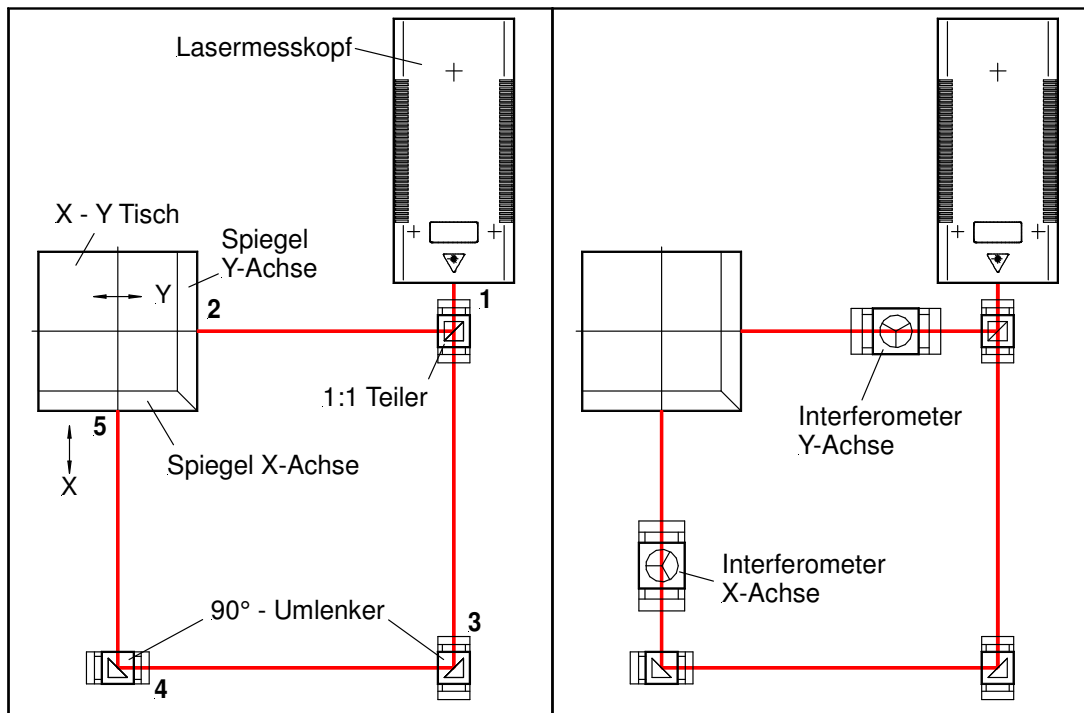
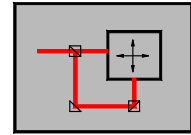


Abb. 36 a

Abb. 36 b



Mehrachsanordnungen ZLM 800

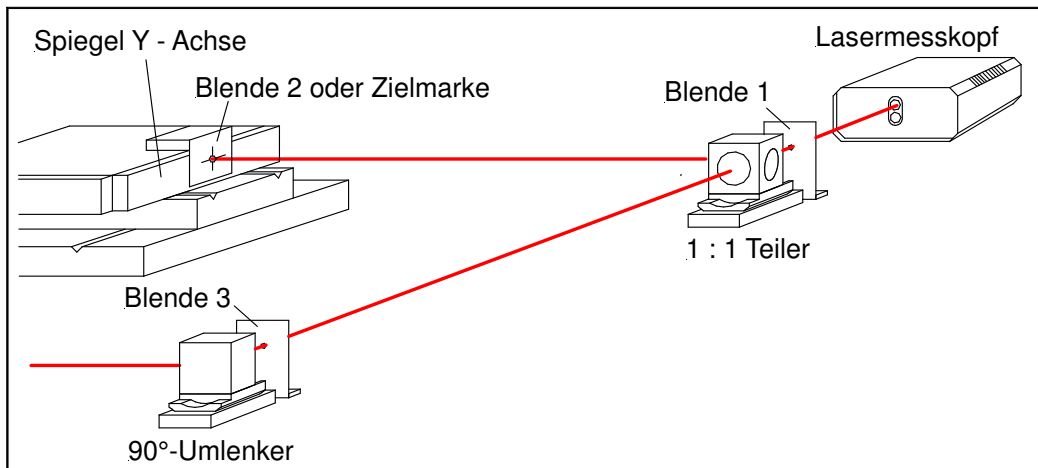


Abb. 37 Höhenjustierung mit Blenden

- Die Strahlrichtungen vom 1:1 Teiler zum Spiegel Y-Achse und vom 90°-Umlenker (4) zum Spiegel X-Achse müssen zu den Bewegungsrichtungen parallel verlaufen.

Anleitung: (Abb. 36) Wir beginnen mit dem 1:1 Teiler und richten ihn zur Y-Achse aus, (Planspiegel X-Achse abdecken). An der maßlich festgelegten Stelle, wo der Laserstrahl auf den Spiegel treffen soll, wird eine Zielmarke (z.B. ein Stück Papier mit Strichkreuz) angebracht (Abb.37). In der hinteren Endlage des Tisches (langer Abstand) wird der Laserstrahl durch Verstellung des 1:1 Teilers auf die Zielmarke gerichtet. Der Tisch wird in die vordere Endlage gebracht und dabei der Laserfleck auf der Zielmarke beobachtet. Gibt es eine Auslenkung des Laserfleckes Δm , ist am 1:1 Teiler nachzujustieren (Abb. 38).



Tipp

Diese Justierung kann nur schrittweise annähernd (iterativ) erfolgen. Es sollte abwechselnd Kippen und Parallelverschieben um jeweils den halben Betrag der Ablage durchgeführt werden. In der vorderen Endlage (kurzer Abstand) Parallelverschieben, in der hinteren Endlage (langer Abstand) Kippen.

Ist an der Zielmarke kein Abwandern mehr feststellbar ($\Delta m=0$), ist der 1:1 Teiler zur Y- Achse eingestellt. Er wird in dieser Lage fixiert.

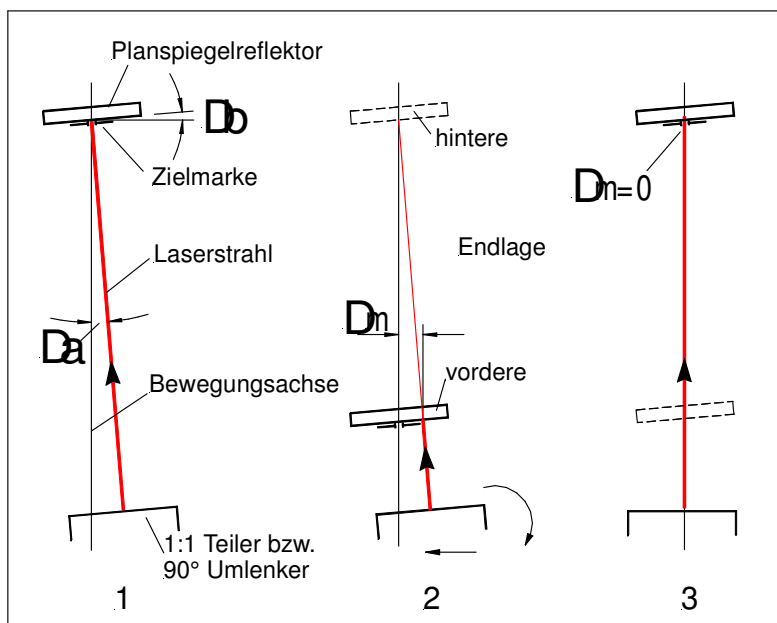
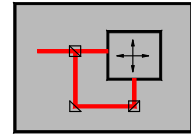


Abb. 38
Justierung der Strahlrichtung
des Laserstrahles zur Bewegung-
richtung der Achsen
des X-Y-Tisches



Zur Justierung der X-Achse wird eine Zielmarke an die maßlich festgelegte Stelle angebracht. Die beiden 90° Umlenker, die ja bereits in Strahlhöhe eingestellt sind, werden so vormontiert, daß der Laserstrahl in seitlicher Richtung mittig verläuft. Die weitere Einstellung erfolgt mit 90° Umlenker 4.

Der Ablauf ist gleich dem bei der Y-Achse, nur dass mit dem 90° Umlenker 4 justiert wird. Ist an der Zielmarke kein Abwandern mehr feststellbar ($\Delta m=0$), ist der 90° Umlenker zur X- Achse eingestellt. Er wird in dieser Lage fixiert.

Die Planspiegelreflektoren können zu den Bewegungsachsen verkippt sein ($\Delta\beta$), dann sind die reflektierten Strahlen um $2\Delta\beta$ ausgelenkt. (siehe Abb. 39)

- Die von den Planspiegelreflektoren reflektierten Laserstrahlen müssen in sich zurücklaufen

Anleitung: Vor den Lasermesskopf wird eine Blende angebracht, zentrisch zum austretenden Laserstrahl. (siehe Abb. 37). Die Zielmarken an den Spiegeln werden wieder entfernt.

Die Position des Auftreffflecks des von jedem der Spiegel reflektierten Laserstrahles auf der Blendenrückseite wird beobachtet. Dabei ist es zweckmäßig den jeweils andern Strahlengang abzudecken.

Zwischen vorderer und hinterer Endlage entsteht eine Ablage des Laserstrahles von Δn . Durch Kippen des Planspiegels um $\Delta\beta$ muss erreicht werden, dass die rücklaufenden Strahlen wieder zentrisch durch die Blende verlaufen.

Damit wird die Ablage von $\Delta n = 0$ gestellt (Abb. 39).

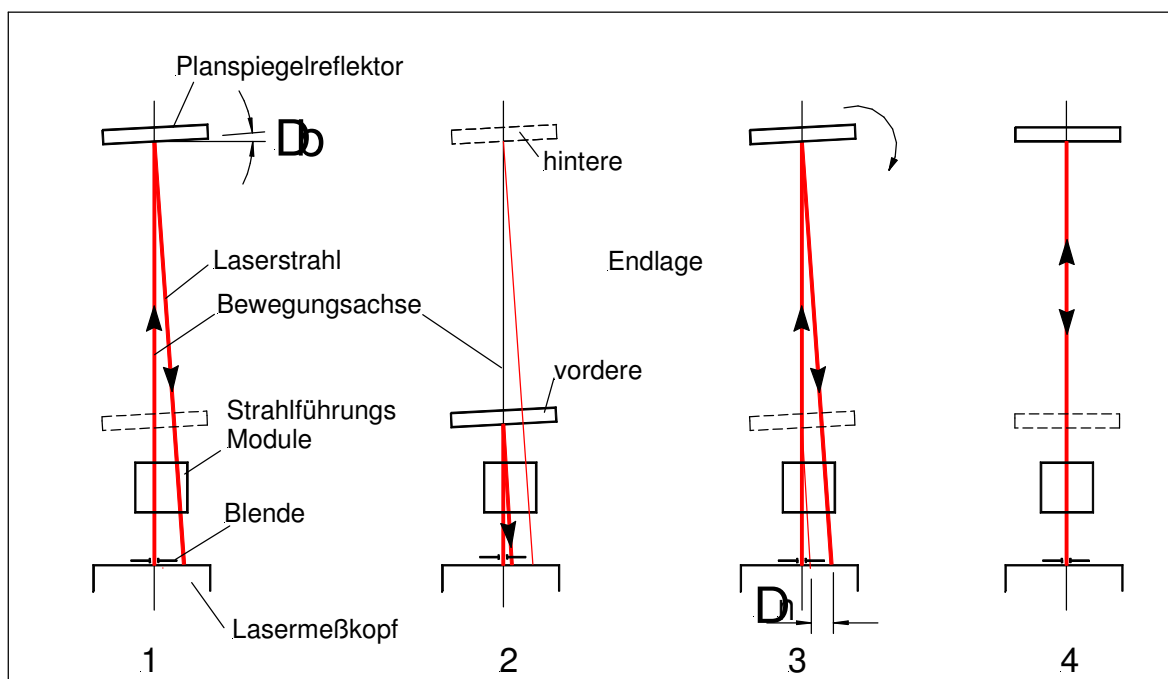
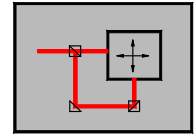


Abb. 39 Justierung des Planspiegelreflektors zur Bewegungsachse

Bei Tischsystemen mit Planspiegelreflektoren, die nicht justierbar sind, ist es erforderlich, den Fehler $\Delta\beta$ bei der Bearbeitung möglichst gering zu halten. Es muss sich von selbst ergeben, dass nach der Justierung der Parallelität des auf die Spiegel auftreffenden Laserstrahls zur jeweiligen Bewegungsachse der reflektierte Strahl genau in sich zurückläuft. Geschieht das nicht, muss auf Kosten der Parallelität nachjustiert werden.

Wichtig! Vorrang hat in jedem Fall die Justierung des rücklaufenden Strahles $\Delta n = 0$ gegenüber der Parallelitätsjustierung.



Der zurücklaufende Strahl ist entscheidend für die Überdeckung. (siehe Kap. 3.1. Pkt. 2, Seite I-13/14). Die Abweichung von der Parallelität führt zum „**Cosinusfehler**“. (siehe Kap. 3.1. Pkt. 3, Seite I-14).

**Dritter Schritt
Justierung der
Interferometer**

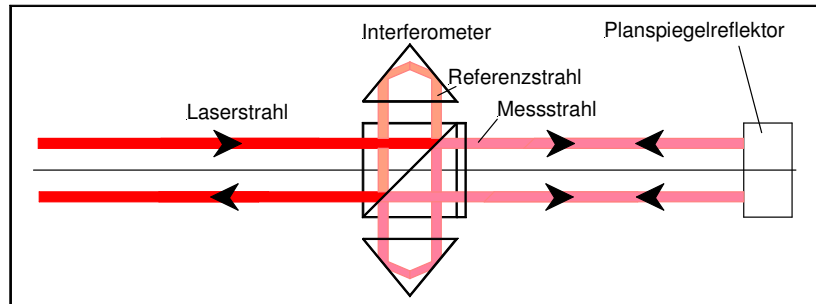


Abb. 40 Planspiegelinterferometer

Es ist zweckmäßig, die Interferometer zunächst ohne die Lichtwellenleiter-Einkopplungen zu montieren, da sich der rückläufige Laserstrahl dann besser beurteilen lässt. An Stelle der LWL-Einkopplung wird eine Hilfsblende montiert. Mit deren Hilfe werden die Interferometer in die richtige Lage gerückt. Der rückläufige Strahl lässt sich mittels Papierstreifen am Interferometerausgang beobachten.

Die Fehlertoleranzen der Interferometer können dazu führen, dass die im „**2. Schritt**“ erzielten Justiergenauigkeiten etwas verlorengehen. Deshalb muss eine Feinjustierung vorgenommen werden.

Feinjustierung:

- Wiederholung der Justierung auf Parallelität des Laserstrahles zur Achsbewegungsrichtung
Der Vorgang wird genauso durchgeführt, wie im „**2. Schritt**“ beschrieben.
- Wiederholung der Justierung des rücklaufenden Strahles
Als Beurteilungskriterium des rücklaufenden Strahles dient die Überdeckung am Interferometer, sonst wird genauso verfahren wie im „**2. Schritt**“ beschrieben.

Mess- und Referenzstrahl müssen sich im gesamten Bereich zwischen vorderer und hinterer Endlage überdecken. (siehe Kap. 3.1. Pkt. 2, Seite I-13/14)



Achtung Rückkopplung!

Bei einer absolut genauen Justierung kann es zu Rückkopplungen kommen. D.h. von den Planspiegeln reflektiertes Licht gelangt zurück in das Laserrohr und stört die Regelung der Wellenlängenstabilität. (LED grün am Lasermesskopf flackert oder wird rot.)

Maßnahmen: Laserstrahl einen winzigen Betrag aus der Ideallage verstellen.

**Vierter Schritt
Justierung der
LWL-Einkopplung**

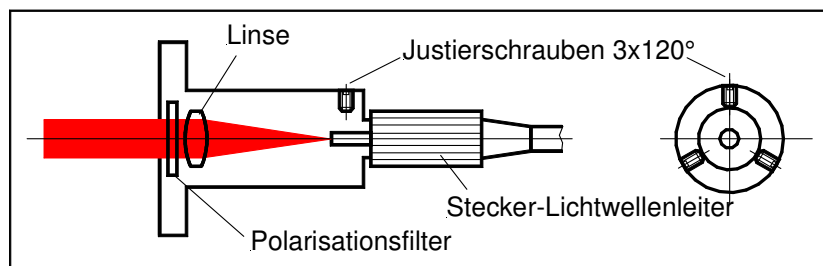
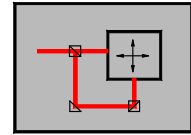


Abb. 41 Schema LWL-Anschluss mit Justierschrauben



Der Lichtwellenleiteranschluss wird ans Interferometer montiert, der Lichtwellenleiter (LWL) angeschraubt. Mit den drei um 120° versetzten Justierschrauben wird der Stecker des LWL in den Fokuspunkt des Laserstrahles gerückt. Der Lichtaustritt am anderen Ende des LWL wird geprüft, entweder mit Laserleistungsmesser oder visuell. Bei der visuellen Prüfung ist wichtig:



Achtung

NICHT in den Laserstrahl blicken!

Die Projektion des austretenden Laserstrahles auf ein weißes Blatt Papier dient der visuellen Kontrolle. Der Projektionsfleck soll gleichmäßig ausgeleuchtet sein und maximale Helligkeit aufweisen. Die Justierung ist abgeschlossen, wenn das Maximum der Lichtleistung erreicht ist und beim wechselseitigen Abdecken von Messstrahl und Referenzstrahl gleiche Leistungsanteile (ca. 50%) und gleichmäßige Ausleuchtung vorhanden sind. Die Summenleistung soll mindestens **20 µW** betragen.

Damit ist die Justierung abgeschlossen und das Gerät kann in Betrieb genommen werden.

Zusammenfassende Übersicht der Justierschritte

1. Schritt	
Beschreibung	Ergebnisse
Montage und Justierung der Planspiegelreflektoren auf den X-Y – Tischsystem	Die Spiegelachsen müssen im rechten Winkel zu den Bewegungsachsen der Führungsbahnen liegen.
2. Schritt	
Beschreibung	Ergebnisse
Montage und Justierung des Lasermesskopfes und der Strahlenführungsmodule	Der Laserstrahl muss senkrecht auf die Planspiegelreflektoren auftreffen und daher parallel zu den Bewegungsachsen der Führungsbahnen verlaufen.
3. Schritt	
Beschreibung	Ergebnisse
Montage und Justierung der Interferometer	Mess- und Referenzstrahl müssen sich überdecken. Es darf keine Rückkopplung auftreten.
4. Schritt	
Beschreibung	Ergebnisse
Montage und Justierung der LWL-Einkopplungen	Am LWL-Ausgang muss Maximum der Lichtleistung sein.