

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



URKUNDE

über die Eintragung des umstehenden Gebrauchsmusters

Die Voraussetzungen der Schutzfähigkeit wurden nicht geprüft.

DEUTSCHES PATENTAMT



Der Gebrauchsmusterschutz dauert drei Jahre, die mit dem Tag beginnen, der auf die Anmeldung folgt. Die Schutzdauer kann um drei Jahre verlängert werden.

Bei Schutzrechten mit einem Anmeldetag ab dem **01.01.1987**, ist eine weitere Verlängerung um zwei Jahre möglich, bei Schutzrechten mit einem Eingangstag ab dem **01.07.1990** dann nochmals eine solche um zwei Jahre. Insgesamt kann bei Gebrauchsmustern mit Eingangstag ab dem **01.07.1990** somit eine Schutzdauer von zehn Jahren erreicht werden.

Die Höhe der jeweils zu zahlenden Verlängerungsgebühr ist dem Kostenmerkblatt des Deutschen Patentamts zu entnehmen.

Das Gebrauchsmuster ist mit folgenden Angaben in die Gebrauchsmusterrolle eingetragen worden:

Rollnummer 295 06 472.2

Hauptklasse G01B 9/02

Nebenkategorie(n) G01B 11/26

Anmeldetag 15.04.95

Eintragungstag 08.06.95

**Bekanntmachung
im Patentblatt 20.07.95**

Bezeichnung des Gegenstandes

**System zur simultanen Messung der Position der
Geradheitsabweichung und des Rollwinkels**

Name und Wohnsitz des Inhabers

Arnold, Ralf, Dipl.-Phys., 07747 Jena, DE

LBE

Interesse an Lizenzvergabe unverbindlich erklärt

Beschreibung

System zur simultanen Messung der Position, der Geradheitsabweichung und des Rollwinkels

5

Laserinterferometrische Messungen der Position, der Geradheitsabweichung und des Rollwinkels einer linearen Bewegung - beispielsweise zur Kalibrierung von Werkzeugmaschinen - können mit derzeitig bekannten Laserinterferometern nur einzeln, daß heißt nacheinander ausgeführt werden. Die Messung der Position erfolgt dabei meist mit Michelson-Interferometern oder deren Modifikationen (Schüßler:Anordnung, Variation und Ausrichtung von Laserinterferometer-Komponenten. Vortrag, Laserinterferometrie in der Längenmeßtechnik, Handbuch zum Seminar der VDI/VDE-Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik vom 29./30.10.1991 in Düsseldorf, VDI Figurungswerk, Düsseldorf 1991; Hoffer, Fischer:Abnahme von Werkzeugmaschinen mit einem Laser-

10 Meßsystem, Teil 1 u. 2, Feinwerktechnik und Meßtechnik 85(1977) 6 , S. 229-284 und 85(1977) 7, S. 343-353; EP 0 281 385; US 4 802 765; DD 292 696; EP 0 281 385. Die Messung der Geradheit erfolgt mit Anordnungen, die ein oder mehrere Doppelkeilprismen, Doppelkeilprisma-Winkelspiegelkombinationen oder Wollastonprisma-Winkelspiegelkombination (US 3 790 284, Schüßler: Anordnung, Variation und Ausrichtung

20 von Laserinterferometer-Komponenten. Vortrag, Laserinterferometrie in der Längenmeßtechnik, Handbuch zum Seminar der VDI/VDE-Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik vom 29./30.10.1991 in Düsseldorf, VDI Figurungswerk, Düsseldorf 1991) enthalten. Dabei werden die Geradheitsabweichungen in Differenzen der optischen Weglängen der Strahlen in den beiden Interferometerarmen umgewandelt, die

25 dann gemessen werden. Die Messung der Rollwinkels erfolgt über zwei parallel nebeneinander angeordnete Geradheitsmeßoptiken, die auch zu einer Optik im Sinne gemeinsamer Bauteile vereint sein können (US 3 790 284).

Eine andere Methode der Messung der Geradheit und der Rollwinkeländerung einer linearen Bewegung ist die Verwendung des Laserstrahls als idealisierte Gerade in Verbindung mit der Messung der Geradheitsabweichung oder der Rollwinkelveränderungen mit ein oder mehreren Quadrantenempfängern, CCD-Matrixelementen oder
5 CCD-Zeilen als Geradheitssensor - im weiteren Strahlagesensoren - (Heberling, Heider: Möglichkeiten zur Verbesserung der Genauigkeit optoelektronischer Meß- u. Positioniersysteme. Technisches Messen 59(1992)11, S. 454-458)

Bei allen diesen Messungen entsprechend des gegenwärtigen Standes der Technik ergibt
10 sich die Notwendigkeit, die entsprechenden Größen nacheinander an zeitlich separaten Bewegungsabläufen zu messen. Der daraus resultierende Zeitaufwand ist erheblich. Ebenfalls erheblich ist der fertigungstechnische Aufwand der Herstellung der komplizierten und hochpräzisen Optiken zur Geradheits- und Rollwinkelmessung. Die Größe dieser Optiken limitiert gleichzeitig den Meßbereich. Darüber hinaus ergeben sich
15 Meßfehler aus der Zuordnung der Geradheits- und Rollwinkelmessungen zur Position, die entweder aus dem zeitlichen Meßregime oder aus der Steuerung des zu vermessenden Objektes gewonnen wird.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist es, die Position einer Linearbewegung, die
20 Geradheitsabweichungen von der Idealgerade und die Rollwinkelveränderungen während der Bewegung simultan zu messen. Die der Erfindung zugrunde liegende Idee besteht in einer Kombination beider, oben genannter Meßprinzipien. Die Position des sich linear bewegenden Objektes wird mit einem Laserinterferometer gemessen. Gleichzeitig erfolgt die Messung der Geradheitsabweichung und/oder des Rollwinkels durch an das Objekt
25 angebrachte Strahlagesensoren.

Die durch die Erfindung erreichbaren Vorteile bestehen in den geringeren Herstellungskosten der Meßgeräte, der Gewinnung genauerer Meßwerte und in der Zeitersparnis bei

der Messung. Darüber hinaus sind dadurch Geradheitsmessung in der gesamten, senkrecht zum Laserstrahl stehenden Ebene über von der Größe der Meßoptik unabhängige Entfernungen möglich.

5 Einige vorteilhafte Ausführungsbeispiele der Erfindung sollen nachfolgend beschrieben werden. Figur 1 zeigt den optischen Teil eines dem Stand der Technik entsprechenden Differentialtripelprismeninterferometer. Der von der Lichtquelle kommende Strahl 1 wird mit Hilfe eines Strahlteilers 2 - möglich ist je nach Meßsystem ein Intensitäts- oder Polarisationsstrahlteiler - in beide Interferometerarme aufgeteilt. Der Lichtstrahl 12 ge-
 10 langt im ersten Interferometerarm zum Tripelreflektor 5, er wird von dort als Strahl 11 zum Strahlteiler 3 zurückgeworfen. Der Lichtstrahl 12 des zweiten Interferometerarms gelangt über den Winkelreflektor 4 - das kann zum Beispiel ein Dachkantprisma sein - zum Tripelreflektor 6 und als Strahl 13 wieder zum Strahlteiler zurück. Im Strahlteiler vereinigen sich beide Strahlen 11 und 13 und verlassen als Strahl 2 die Anordnung in
 15 Richtung Detektor mit Auswerteeinheit. Meßgröße ist die Differenz der durch die Pfeile 9 gekennzeichneten linearen Translationen.

Zur zusätzlichen simultanen Messung der Geradheitsabweichung der zu messenden linearen Translation wird der die zu messende Bewegung ausführende Tripelreflektor
 20 durch einen modifizierten Reflektor entsprechend Figur 3 ersetzt. Im Folgenden stehe der Reflektor 6, Figur 1 fest, der Reflektor 5 Figur 1 wird durch den Reflektor nach Figur 3 ersetzt. Der auf den Tripelreflektor 18 einfallende Strahl 12 wird durch die teildurchlässige Schicht 14 und die beiden undurchlässigen Schichten 17 als Strahl 13 (analog Figur 1) zurückgeworfen. Er dient zur Vermessung der Translation. Der durch
 25 die teildurchlässige Schicht 14 und den zur Vermeidung von Richtungsänderungen vorhandenen, am Reflektor 18 befestigten transparenten Keil 15 transmittierte Teil des Strahles 12 fällt auf den Strahlagesensor 16, der elektrisch mit der Auswerteeinheit verbunden ist. Bewegt sich nun die in Figur 3 dargestellte Einheit anstelle des Tripelre-

flektors 5 (Figur 1) translatorisch in Richtung 9 (Figur 1), so können die Position des Reflektors 5 längs des Strahls 12 und Geradheitsabweichung (Querabweichungen) senkrecht von der Richtung des Strahls 12 simultan gemessen werden.

5 Zur simultanen Messung der Position, der Geradheitsabweichung und des Rollwinkels der Bewegung des Reflektors 5 (Figur 1) ersetzt man den als feststehend angenommenen Reflektor 6 (Figur 1) durch die Anordnung entsprechend Figur 4. Diese Anordnung ist bis auf das Fehlen des Strahllagesensors 16 (Figur 3) identisch mit der in Figur 3 gezeigten Anordnung. Dadurch wird erreicht, daß der auf die Anordnung gemäß Figur 4
10 einfallende Strahl in die Teilstrahlen 11 und 19 geteilt wird. Der Teilstrahl 11 transmittiert in der in Figur 1 dargestellten Art und Weise zur Auswerteeinheit. Der Teilstrahl 19 hingegen steht zur Detektion der Strahlage der nachfolgend (Figur 5) beschriebenen Anordnung zur Verfügung.

15 Der Reflektor 5 (Figur 1) wird durch die in Figur 5 beschriebene Anordnung ersetzt. Die in der Figur 5 bezeichneten Elemente 12 bis 18 entsprechen denen der Figur 3 in Aufbau und Funktion. Ein zusätzlich vorhandener, mit der elektrischen Auswerteeinheit verbundener Strahllagesensor 21 ist über einen Halter 20 an der aus den Teilen 14 bis 18 bestehenden Einheit fixiert. Dadurch kann zusätzlich zur positionsmessenden Inter-
20 ferometerfunktion des Reflektors 18 mit Hilfe der Strahllagesensoren 16 und 21 die Lage der Gesamteinheit entsprechend Figur 5 zu den Strahlen 12 und 19 detektiert werden. Alle an den beiden Strahllagesensoren detektierten Änderungen der Strahlage lassen sich in einen auf beiden Sensoren parallel wirkenden Anteil der Geradheitsabweichung und auf einen senkrecht zu Geradheitsabweichung und Strahlrichtung liegenden Anteil der
25 Änderung des Rollwinkels aufspalten. Dabei bildet vorteilhaft, aber nicht notwendigerweise einer der beiden Strahlen die Rollwinkelachse.

Ein weiteres, dem Stand der Technik entsprechendes Ausführungsbeispiel der Positionsmessung zeigt Figur 2. Der auf das dort dargestellte Differentialspiegelinterferometer einfallende, von der Lichtquelle kommende Strahl 1 besteht aus zwei orthogonal in und senkrecht zur Papierebene polarisierten Anteilen. Diese werden durch den Polarisationsstrahlteiler 3 zerlegt. Ein Anteil gelangt als Strahl 12 in den einen Interferometerarm, worin er durch Reflexion am Spiegel 5 in sich selbst zurückgeworfen wird. Der durch die zweimalige Transmission der $\lambda/4$ -Platte 8 in der Polarisationssebene um 90° gedrehte Strahl 12 reflektiert am Strahlteiler 3 und gelangt nach Reflexion am Tripelreflektor 7 als Strahl 13 wieder in den einen Interferometerarm. Nach erneuter Reflexion am Spiegel 5 verläßt der durch doppelte Einwirkung der $\lambda/4$ -Platte 8 erneut polarisationsgedrehte Strahl als ein Anteil des Strahls 2 das Interferometer in Richtung Auswerteeinheit. Der andere Anteil des einfallenden Strahls 1 reflektiert am Strahlteiler 3 und Reflektor 4. Er gelangt als Strahl 10 in den anderen Interferometerarm, worin er durch Reflexion am Spiegel 6 in sich selbst zurück geworfen wird. Der durch die zweimalige Transmission der $\lambda/4$ -Platte 8 in der Polarisationssebene um 90° gedrehte Strahl 10 transmittiert den Strahlteiler 3 und gelangt nach Reflexion am Tripelreflektor 7 als Strahl 11 wieder in den einen Interferometerarm. Nach erneuter Reflexion am Spiegel 6 verläßt der durch doppelte Einwirkung der $\lambda/4$ -Platte 8 erneut polarisationsgedrehte Strahl nach Reflexion am Reflektor 4 und am Strahlteiler 3 als anderer Anteil des Strahls 2 das Interferometer in Richtung Auswerteeinheit. Vor der Auswerteeinheit werden beide Strahlanteile des Strahls 2 mittels eines unter 45° zwischen beiden Polarisationssebenen stehenden Polarisators zur Interferenz gebracht. Dadurch kann die Differenz der Verschiebung beider Reflektoren längs der Achse 9 bestimmt werden.

Zur zusätzlichen simultanen Messung der Geradheitsabweichung der zu messenden linearen Translation wird der die zu messende Bewegung ausführende Spiegel durch einen modifizierten Spiegel entsprechend Figur 6 ersetzt. Im Folgenden stehe der Spiegel 6, Figur 2 fest, der Spiegel 5, Figur 2 wird durch die Anordnung nach Figur 6 ersetzt. Der

auf die Anordnung nach Figur 6 einfallende Strahl 12 wird durch die teildurchlässige Schicht 14 in sich zurückgeworfen (analog Figur 2). Nach Passieren der Elemente 8, 3 7 3 8 gelangt er als Strahl 13 erneut zur Anordnung nach Figur 6, wo er an der undurchlässigen Schicht 17 in sich zurückreflektiert wird. Er dient zur Vermessung der Translation. Der durch die teildurchlässige Schicht 14 und die als Basismaterial der Beschichtungen und als Halter des Strahlagesensors 16 dienende transparente Planplatte transmittierte Anteil des Strahles 12 fällt auf den Strahlagesensor 16, der elektrisch mit der Auswerteeinheit verbunden ist. Bewegt sich nun die in Figur 6 dargestellte Einheit anstelle des Reflektors 5 (Figur 2) translatorisch in Richtung 9 (Figur 2), so können die Position des Reflektors längs des Strahls 12 und Geradheitsabweichung (Querabweichungen) senkrecht von der Richtung des Strahls 12 simultan gemessen werden.

Zur simultanen Messung der Position, der Geradheitsabweichung und des Rollwinkels der Bewegung des Reflektors 5 (Figur 2) ersetzt man den als feststehend angenommenen Reflektor 6 (Figur 2) durch die Anordnung entsprechend Figur 7. Diese Anordnung ist bis auf das Fehlen des Strahlagesensors 16 (Figur 6) identisch mit der in Figur 6 gezeigten Anordnung. Dadurch wird erreicht, daß der auf die Anordnung gemäß Figur 7 einfallende Strahl 10 in den rücklaufenden Teilstrahl 10 und den transmittierenden Strahl 19 geteilt wird. Der Teilstrahl 10 transmittiert in der in Figur 2 dargestellten Art und Weise zur Auswerteeinheit. Der Teilstrahl 19 hingegen steht zur Detektion der Strahlage der nachfolgend (Figur 8) beschriebenen Anordnung zur Verfügung.

Der Reflektor 5 (Figur 2) wird durch die in Figur 8 beschriebene Anordnung ersetzt. Die in der Figur 8 bezeichneten Elemente 12 bis 14, 17, 17 und 22 entsprechen denen der Figur 6 in Aufbau und Funktion. Ein zusätzlich vorhandener, mit der elektrischen Auswerteeinheit verbundener Strahlagesensor 23 ist an der Planplatte 22 fixiert. Dadurch kann zusätzlich zur positionsmessenden Interferometerfunktion des Reflektors mit Hilfe

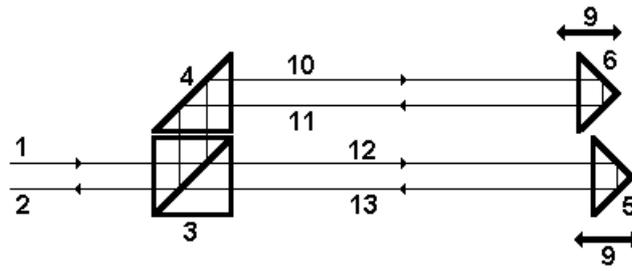
der Strahlagesensoren 16 und 23 die Lage der Gesamteinheit entsprechend Figur 8 zu den Strahlen 12 und 19 detektiert werden. Die Aufteilung der von den Sensoren detektierten Abweichungen erfolgt in der oben beschriebenen Art und Weise.

Ansprüche

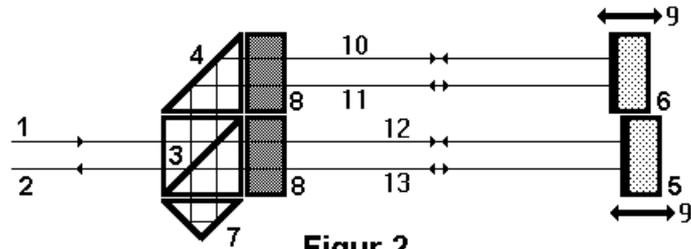
1. System zur interferometrischen Messung der Position eines Objekts bei Bewegung entlang einer Achse sowie zur simultanen nichtinterferometrischen Messung der Geradheitsabweichung und beziehungsweise oder des Rollwinkels bei Bewegung entlang dieser linearen Achse, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Position und beziehungsweise oder des Rollwinkels mit Hilfe eines oder mehrerer, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des interferometrischen Meßlichtes angeordneter, meßlichtempfindlicher und am zu messenden, bewegten Objekt angebrachter Strahlagesensoren erfolgt.
2. Meßsystem entsprechend Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Strahlagesensor ein Quadrantenempfänger, ein oder mehrere, flächenhaft angeordnete CCD- oder Fotodiodenzeilen oder eine zweidimensionale CCD- oder Diodenmatrix Verwendung findet.
3. Meßsystem entsprechend Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur simultanen Erfassung der Position und der Geradheitsabweichung der Bewegung eines geradlinig bewegten Objektes nur ein Strahlagesensor erforderlich ist
4. Meßsystem entsprechend Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Geradheitsabweichung der Veränderung des Orts des Auftreffens des Meßlichts auf den Strahlagesensor entspricht.
5. Meßsystem entsprechend Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur simultanen Erfassung der Position und des Rollwinkels der Bewegung eines geradlinig bewegten Objektes entlang einer Achse mindestens zwei Strahlagesensoren erforderlich sind.

6. Meßsystem entsprechend Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur ebenfalls simultanen Erfassung der Geradheitsabweichung kein weiterer Strahlagesensor erforderlich ist.
- 5 7. Meßsystem entsprechend Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß Veränderungen des Rollwinkels aus gegensinnigen Lageänderungen der Auftrefforte des Meßlichts in der Ebene der Strahlagesensorn und relativ zu den Strahlagesensoren ermittelt werden.
8. Meßsystem entsprechend Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß Veränderungen
10 der Geradheit der Bewegung des zu messenden, bewegten Objektes aus gleichsinnigen Lageänderungen der Auftrefforte des Meßlichts in der Ebene der Strahlagesensoren und relativ zu den Strahlagesensoren ermittelt werden.
9. Meßsystem entsprechend der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß sich die
15 ebenen Lichtwellen des Meß- und des Referenzstrahles des Interferometers zur Positionsmessung des bewegten Objektes unmittelbar vor Erreichen des Reflektors und unmittelbar nach Verlassen des Reflektors parallel zur Achse der Bewegung ausbreiten.
10. Meßsystem entsprechend Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der bewegte, im
20 Meßarm des Interferometers lokalisierte Lichtreflektor ein bezüglich des Meßlichts teildurchlässiger, den oder die Strahlagesensoren tragender Reflektor ist.
11. Meßsystem entsprechend Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der nichtbewegte, im Referenzarm des Interferometers lokalisierte Lichtreflektor ein
25 bezüglich des Meßlichts teildurchlässiger Reflektor ist.

12. Meßsystem entsprechend der Ansprüche 10 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß die teildurchlässigen Reflektoren Planspiegel, Tripelspiegel oder Tripelprismen mit teildurchlässigen Flächenanteilen der reflektierenden Flächen sind.

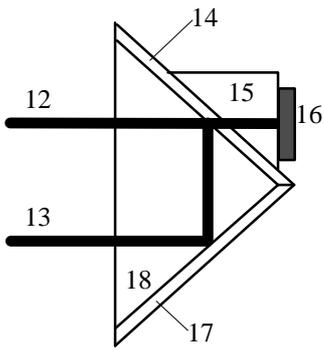


Figur 1

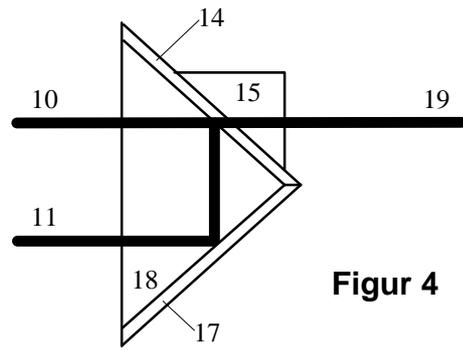


Figur 2

5



Figur 3



Figur 4

10

12

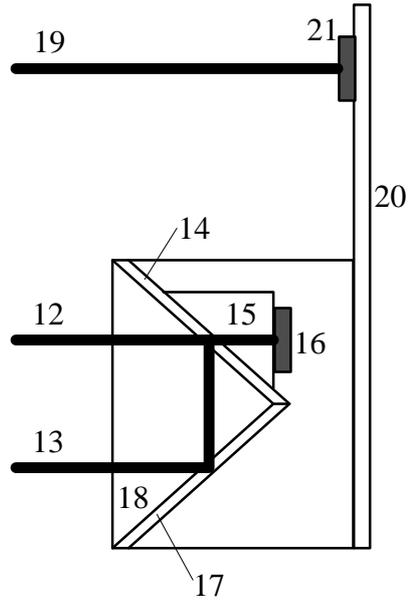


Figure 5

5

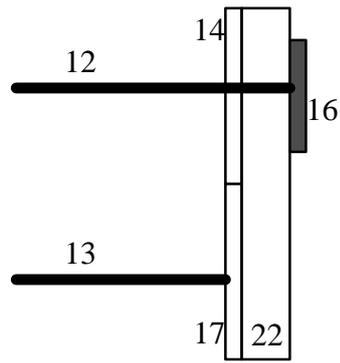


Figure 6

10

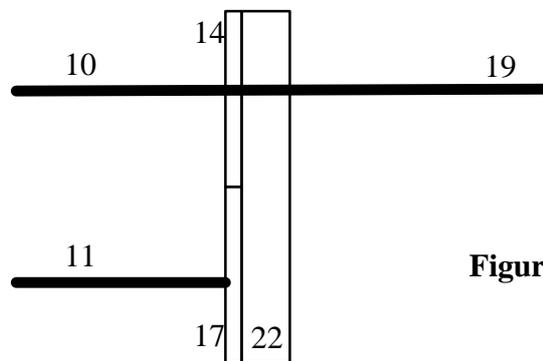
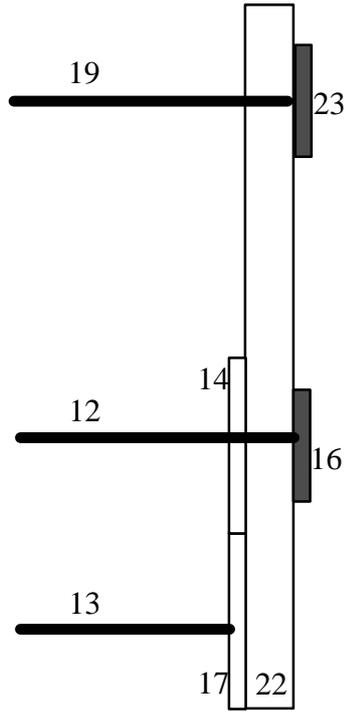


Figure 7

15



Figur 8