



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 23 088 A1** 2004.12.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 23 088.2**

(22) Anmeldetag: **16.05.2003**

(43) Offenlegungstag: **02.12.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G01B 11/00**
G01D 5/26

(71) Anmelder:

Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut, DE

(74) Vertreter:

Maikowski & Ninnemann, Pat.-Anw., 10707 Berlin

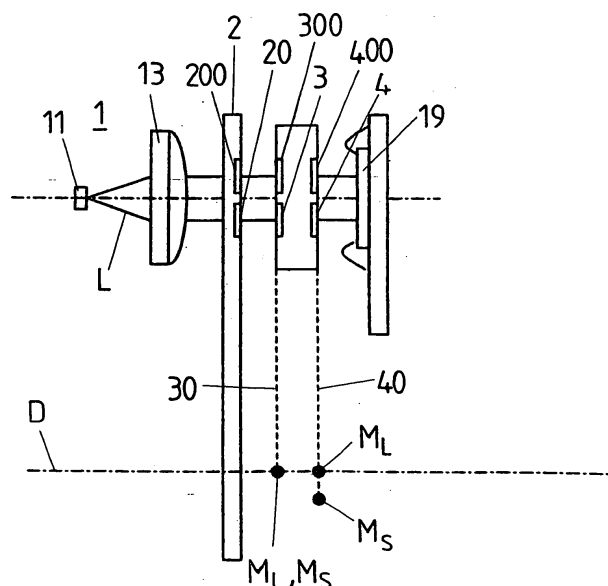
(72) Erfinder:

Benner, Ulrich, 83308 Trostberg, DE; Mayer, Elmar, Dr., 83365 Nußdorf, DE; Holzapfel, Wolfgang, Dr., 83119 Obing, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Positionsmesseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Positionsmesseinrichtung mit einer Maßverkörperung, die mindestens eine entlang einer Geraden oder entlang einer gekrümmten Linie erstreckte Messteilung aufweist, mit einer Abtasteinrichtung zum Abtasten der Messteilung mittels einer Lichtquelle, mit einer Empfangseinheit der Abtasteinrichtung, mittels der von einer Lichtquelle ausgesandte und durch die Messteilung modifizierte Lichtstrahlen zur Auswertung empfangbar sind, und mit einer zwischen der Maßverkörperung und der Empfangseinheit angeordneten, durch optische Linsen gebildeten Linsenanordnung zur Erzeugung eines definierten Abbildes der Messteilung auf der Empfangseinheit. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Linsenanordnung (3, 4) zur Erzeugung eines Abbildes (20') der Messteilung (20) ausgebildet ist, das sich entlang einer Linie (G) erstreckt, deren Krümmung verschieden von der Krümmung derjenigen Linie (R) ist, entlang der sich die Messteilung (20) erstreckt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Positionsmesseinrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Eine derartige Positionsmesseinrichtung umfasst eine Maßverkörperung, die mindestens eine entlang einer Geraden oder entlang einer gekrümmten Linie erstreckte Messteilung aufweist; eine Abtasteinrichtung zum Abtasten der Messteilung mittels einer Lichtquelle; eine Empfangseinheit der Abtasteinrichtung, mittels der von der Lichtquelle ausgesandte und durch die Messteilung modifizierte Lichtstrahlen zur Auswertung empfangbar sind; sowie eine zwischen der Maßverkörperung und der Empfangseinheit angeordnete, durch optische Linsen gebildete Linsenanordnung zur Erzeugung eines definierten Abbildes der Messteilung auf der Empfangseinheit.

[0003] Eine solche Positionsmesseinrichtung dient zur Bestimmung der Relativposition zweier zueinander beweglicher Objekte, z. B. zweier zueinander beweglicher Maschinenteile einer Werkzeugmaschine. Hierzu wird die Maßverkörperung mit dem einen und die Abtasteinrichtung mit dem anderen der beiden Objekte verbunden, so dass sich durch Abtasten der Maßverkörperung mittels der Messteilung das Ausmaß der Bewegung der beiden Objekte zueinander entlang der Erstreckungsrichtung der Messteilung (Messrichtung) bestimmen lässt. Mit sogenannten linearen Positionsmesseinrichtungen, bei denen sich die Messteilung entlang einer Geraden erstreckt, lassen sich dabei geradlinige Relativbewegungen der beiden Objekte zueinander messen, während sogenannte Winkelmesseinrichtungen zur Bestimmung der Relativposition zweier zueinander verdrehbarer Objekte dienen. Grundsätzlich kann sich die Messteilung entlang einer beliebigen Linie erstrecken, entlang der die Relativbewegung zweier zueinander beweglicher Objekte ermittelt werden soll.

[0004] Die unterschiedliche Gestaltung der Messteilung linearer Positionsmesseinrichtungen einerseits und von Positionsmesseinrichtungen zur Bestimmung einer Bewegung entlang einer gekrümmten Linie andererseits hat zur Folge, dass die Empfangseinheit (optoelektronischer Detektor), mit der die durch die Messteilung (im Auflicht- oder Durchlichtverfahren) modifizierten Lichtstrahlen zur Auswertung empfangen werden, an die Geometrie der jeweiligen Messteilung angepasst werden muss. Dies gilt insbesondere für die Gestaltung und Rasterung der strahlungsempfindlichen Oberfläche der Empfangseinheit, die in der Regel durch einen geeigneten optoelektronischen integrierten Schaltkreis (Opto-Asic) gebildet wird. Die Verwendung unterschiedlicher op-

toelektronischer Detektoren für unterschiedliche Geometrien der Messteilung hat eine entsprechende Erhöhung der Herstellungskosten zur Folge.

[0005] Aus der EP 0 801 724 B1 ist eine Positionsmesseinrichtung bekannt, bei der zwischen der mittels Licht abzutastenden Messteilung und dem zugeordneten optoelektronischen Detektor ein Analysegitter angeordnet ist, um aus dem durch die Messteilung modifizierten Licht ein resultierendes Streifenmuster zu erzeugen. Dieses Analysegitter ist dabei derart ausgebildet, dass aus dem von einer kreisringförmigen Messteilung modifizierten Licht ein geradlinig erstrecktes Streifenmuster erzeugt wird oder umgekehrt aus dem von einer linearen Messteilung erzeugten Lichtmuster ein kreisringförmig erstrecktes Streifenmuster gebildet wird. Hierdurch lässt sich also beispielsweise bei Abtastung einer kreisringförmigen Messteilung ein vom optoelektronischen Detektor zu empfangendes Streifenmuster erzeugen, das in gleicher Weise geradlinig erstreckt ist, wie das üblicherweise beim Abtasten einer linearen Messteilung erzeugte Streifenmuster. Hierdurch lassen sich die Streifenmuster der Winkelmesseinrichtung einerseits und der linearen Positionsmesseinrichtung andererseits unter Verwendung optoelektronischer Detektoren ein und desselben Typs auswerten.

[0006] Aus der US-PS 5,486,923 ist es bekannt, in einem Positionsmesssystem ein Beugungsgitter als Wellenfront-korrigierende Struktur zu verwenden. Aus der US-PS 4,577,101 ist ein optoelektronisches Winkelmesssystem bekannt, bei dem eine kreisringförmige Messteilung unter Verwendung eines konischen Reflektors und einer zylindrischen Linse auf einen linearen optoelektronischen Detektor abgebildet wird.

Aufgabenstellung

[0007] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Positionsmesseinrichtung der eingangs genannten Art weiter zu verbessern.

[0008] Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch die Schaffung einer Positionsmesseinrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

[0009] Danach ist die Linsenanordnung der Positionsmesseinrichtung, die zur Erzeugung eines definierten Abbildes der Messteilung auf der Empfangseinheit dient, derart ausgebildet, dass sich das erzeugte Abbild entlang einer Linie erstreckt, deren Krümmung verschieden von der Krümmung derjenigen Linie ist, entlang der sich die Messteilung erstreckt. So kann also beispielsweise aus einer linear erstreckten Messteilung ein gekrümmtes Abbild auf der Empfangseinheit erzeugt werden oder aus einer gekrümmten Messteilung eine linear erstreckte Abbild bzw. eine Abbildung mit einer anderen, von der

erstgenannten Krümmung abweichenden Krümmung.

[0010] Die erfindungsgemäße Lösung sieht demnach die Verwendung einer Linsenordnung zur Veränderung der Krümmung des Abbildes gegenüber der Krümmung der Messteilung (wobei in dieser allgemeinen Formulierung auch eine geradlinige Messteilung als Teilung mit unendlicher Krümmung enthalten ist) vor, um derart aus Messteilungen unterschiedlicher Krümmung ein Abbild mit ein und derselben Krümmung zu erzeugen, so dass die Abbilder unterschiedlicher Messteilungen mit ein und demselben Typus einer Empfangseinheit ausgewertet werden können.

[0011] Die erfindungsgemäße Lösung ist insbesondere geeignet für Positionsmesseinrichtungen mit linear erstreckter Messteilung (sogenannte Längensmesssysteme) bzw. Positionsmesseinrichtungen mit entlang eines Ringes, insbesondere eines Kreises, erstreckter Messteilung, also sogenannte Winkelmesssysteme. Letztere müssten sich dabei nicht entlang des gesamten Umfangs des Ringes bzw. Kreises erstrecken; vielmehr kann eine entsprechende Messteilung auch durch ein Winkelsegment gebildet werden, das sich nur entlang eines Abschnittes eines Ringes bzw. Kreises erstreckt.

[0012] Unabhängig davon, ob eine ringartig erstreckte Messteilung einen geschlossenen Ring oder nur einen Abschnitt eines Ringes bildet, wird eine solche Messteilung durch ringartig hintereinander angeordnete Ringsegmente gebildet, die jeweils eine definierte Ausdehnung in radialer Richtung aufweisen und deren Breite (Ausdehnung in Umfangsrichtung des Ringes) in radialer Richtung variiert, nämlich in radialer Richtung nach außen zunimmt. Zur Erstellung eines geradlinig erstreckten Abbildes einer ringartigen Messteilung müssen die durch die Linsenordnung auf der Empfangseinheit gebildeten Abbilder der einzelnen Ringsegmente der Messteilung jeweils eine konstante Breite, d.h. eine konstante Ausdehnung entlang der linearen Erstreckungsrichtung des Abbildes aufweisen. Hierzu kann vorgesehen sein, dass der Abbildungsmaßstab der Linsenordnung in radialer Richtung – bezogen auf die Mittelachse des Ringes, entlang dessen sich die Messteilung voll umfänglich oder nur abschnittsweise erstreckt – variiert, und zwar in radialer Richtung von innen nach außen von einem Wert größer 1 auf einen Wert kleiner 1 abnimmt. Dies lässt sich z.B. dadurch erreichen, dass sich der Abbildungsmaßstab umgekehrt proportional zu dem Abstand eines Punktes der Messteilung von der Mittelachse der Messteilung verhält. Letzteres wird wiederum dadurch ermöglicht, dass die Brennweite der einzelnen Linsen der Linsenordnung in radialer Richtung, bezogen auf die Mittelachse der Messteilung, variiert.

[0013] Ferner ist die Linsenordnung zur Ausführung einer solchen Transformation ausgebildet, dass die Abbilder der Ringsegmente ohne Überlappung und vorzugsweise unmittelbar aneinander grenzend hintereinander angeordnet sind.

[0014] Umgekehrt kann aus einer linear erstreckten Messteilung, die durch entlang einer Geraden hintereinander angeordnete Striche (Segmente konstanter Breite) gebildet wird, ein gekrümmtes, ringartiges Abbild erzeugt werden, indem der Abbildungsmaßstab einer ringartigen Linsenordnung in radialer Richtung, bezogen auf die Mittelachse der Linsenordnung variiert, insbesondere von einem Wert kleiner 1 in radialer Richtung nach außen auf einen Wert größer 1 zunimmt.

[0015] Für die Erzeugung von Abbildern der vorgenannten Art aus einer Messteilung eignet sich insbesondere eine Linsenordnung, die zwei Gruppen von Linsen umfasst, welche in jeweils einer von zwei parallel zueinander erstreckten Ebenen angeordnet sind, wobei die Ebenen derart ausgerichtet sind, dass die durch die Messteilung modifizierten Lichtstrahlen die Ebenen schneiden.

[0016] Hierbei sind die Linsen der beiden Gruppen jeweils paarweise zu einer Zelle zusammengefasst und die Linsen einer Zelle jeweils senkrecht zu den beiden Ebenen derart hintereinander angeordnet, dass zumindest ein Teil der Lichtstrahlen, die eine erste Linse einer Zelle passieren, anschließend zu der zweiten Linse derselben Zelle gelangen und nicht zu einer zweiten Linse einer anderen Zelle der Linsenordnung.

[0017] Hierdurch soll ein Übersprechen zwischen verschiedenen Zellen der Linsenordnung verhindert werden.

[0018] Zur Vermeidung des Übersprechens kann alternativ oder ergänzend eine Blendenstruktur dienen, die zwischen den beiden Linsengruppen oder in der Ebene derjenigen Linsengruppe, die die Lichtstrahlen zuletzt passieren, angeordnet ist. Hierbei kann insbesondere jeder Zelle der Linsenordnung eine Öffnung der Blendenstruktur zugeordnet sein. Mittels einer solchen Blendenstruktur können die Lichtstrahlen derart geführt werden, dass solche Lichtstrahlen, die eine erste Linse einer Zelle der Linsenordnung passiert haben, nicht zu einer zweiten Linse einer anderen Zelle der Linsenordnung gelangen.

[0019] Die beiden Linsengruppen sind vorzugsweise jeweils parallel zu der Maßverkörperung und parallel zu der lichtempfindlichen Oberfläche der Abtasteinrichtung angeordnet. Sie bestehen vorzugsweise jeweils aus ringartig hintereinander angeordneten (ringsegmentartigen) Linsen, wobei die Mittelpunkte der beiden Linsengruppen auf einer Geraden (ge-

meinsamen Achse) oder auf einem Kreissegment liegen.

[0020] Ferner kann vorgesehen sein, dass die Linsen-Mittelpunkte der einzelnen Linsen der beiden Linsengruppen in einem zweidimensionalen Raster, bestehend aus mehreren Zeilen, angeordnet sind, oder dass die Linsen-Mittelpunkte jeweils entlang mehrerer konzentrischer Kreislinsen mit unterschiedlichen Radien liegen.

[0021] Hierbei können die Zeilen des zweidimensionalen Rasters im Wesentlichen parallel zur Erstreckungsrichtung der Messteilung verlaufen und die verschiedenen Zeilen in der Erstreckungsrichtung der Messteilung zueinander versetzt angeordnet sein und darüber hinaus die Mittelpunkte der verschiedenen Kreislinsen in azimuthaler Richtung versetzt zueinander angeordnet sein.

[0022] Die Linsen selbst sind vorzugsweise lokal als Zylinderlinsen mit einer definiert orientierten Scheitellinie ausgebildet; insbesondere kann es sich hierbei um zylindersymmetrische Linsen handeln.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die einzelnen Linsen einer Gruppe der Linsenanordnung jeweils senkrecht zur Erstreckungsebene der jeweiligen Linsengruppe gewölbt, wobei sich die Scheitellinien der Linsen in radialer Richtung erstrecken und in einem Punkt schneiden.

[0024] Die Schnittpunkte der Scheitellinien der beiden Linsengruppen können dabei in radialer Richtung derart voneinander beabstandet sein, dass in einer Zelle der Linsenanordnung die Scheitellinien der beiden Linsen dieser Zelle – entlang der optischen Achse betrachtet – jeweils deckungsgleich hintereinander liegen und dass in den weiteren Zellen der Linsenanordnung die Scheitellinien der beiden Linsen jeweils senkrecht zur optischen Achse zueinander versetzt sind. Hierdurch können die einzelnen Ringsegmente einer ringartigen Messteilung, die aufgrund des gewählten, ortsabhängigen Abbildungsmaßstabes in rechteckige Segmente konstanter Breite umgesetzt werden, in der ersten Bildebene ohne Überlapp entlang einer Geraden hintereinander angeordnet werden.

[0025] Hierzu ist weiter vorgesehen, dass sich die zueinander versetzten Scheitellinien der Linsen einer Zelle – entlang der optischen Achse betrachtet – kreuzen, und zwar derart, dass die Schnittpunkte der Scheitellinien der ersten Linsengruppe sowie der zweiten Linsengruppe in radialer Richtung zueinander versetzt sind. Gleichzeitig sind die seitlichen Begrenzungslinien, die die einzelnen Linsen einer ringartigen Linsengruppe in Umfangsrichtung begrenzen – entlang der optischen Achse betrachtet – für die beiden Linsen einer Zelle deckungsgleich angeord-

net, so dass die beiden Linsen einer Zelle – entlang der optischen Achse betrachtet – im Wesentlichen deckungsgleich sind.

[0026] Als optische Linsen können sowohl diffraktive Linsen (auch in Form einer mehrstufigen diffraktiven Struktur) als auch refraktive Linsen dienen.

[0027] Die erfindungsgemäße Ausbildung einer Positionsmesseinrichtung lässt sich sowohl bei solchen Messteilungen anwenden, die in einem Auflichtverfahren abtastbar sind, als auch bei in einem Durchlichtverfahren abtastbaren Messteilungen. Außerdem kann die erfindungsgemäße Ausbildung einer Positionsmesseinrichtung sowohl bei absoluten Messsystemen (Maßverkörperung mit einer absoluten Codespur) als auch bei inkrementellen Messsystemen (Maßverkörperung mit einer periodischen Messteilung) angewandt werden.

[0028] Die Maßverkörperung kann mehrere senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung nebeneinander angeordnete Spuren aufweisen, die zur Positionsmessung mittels Licht abtastbar sind. Dabei kann zumindest ein Teil der Spuren durch eine gemeinsame Linsenanordnung abbildbar sein und/oder es kann zumindest ein Teil der Spuren durch separate Linsenanordnungen abbildbar sein. Dabei können die beiden Linsengruppen jeder Linsenanordnung jeweils auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sein.

Ausführungsbeispiel

[0029] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden bei der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren deutlich werden.

[0030] Es zeigen:

[0031] **Fig. 1** – einen Querschnitt einer Positionsmesseinrichtung für die Winkelmessung, die eine im Durchlichtverfahren optisch abtastbare, ringförmig erstreckte Codespur aufweist sowie eine Linsenanordnung zur Abbildung des durch die Codespur modifizierten Lichtes auf einem optoelektronischen Detektor;

[0032] **Fig. 2a** – ein Ringsegment der Codespur aus **Fig. 1** sowie das Abbild dieses Ringsegmentes;

[0033] **Fig. 2b** – eine weitere Darstellung des Ringsegmentes aus **Fig. 1** sowie von dessen Abbild;

[0034] **Fig. 3a** – mehrere, entlang eines Kreises nebeneinander angeordnete Ringsegmente der Codespur aus **Fig. 1**;

[0035] **Fig. 3b–3d** – Transformationsschritte bei der Erzeugung eines Abbildes der Anordnung aus

Fig. 3a, wobei das Abbild durch linear hintereinander angeordnete Segmente konstanter Breite gebildet wird;

[0036] **Fig. 4a** – eine Draufsicht auf eine Linsengruppe der Linsenordnung aus **Fig. 1**;

[0037] **Fig. 4b** – einen Schnitt durch die Linsenordnung aus **Fig. 1**;

[0038] **Fig. 5** – einen Ausschnitt aus einer Linsengruppe der Linsenordnung aus **Fig. 1** mit einer Blendenstruktur;

[0039] **Fig. 6** – einen Ausschnitt aus einer Weiterbildung der Linsenordnung gemäß **Fig. 1**;

[0040] **Fig. 7** – eine Positionsmesseinrichtung zur Abtastung einer Messteilung im Auflichtverfahren;

[0041] **Fig. 8** – eine Abwandlung der Transformation aus **Fig. 2a**.

[0042] **Fig. 1** zeigt ein Positionsmesssystem für Winkelmessungen (d.h. eine Winkelmesseinrichtung bzw. einen Drehheber) mit einer Maßverkörperung **2** und einer entlang der Messrichtung, d.h. entlang eines Kreisringes, relativ zu der Maßverkörperung **2** beweglichen Abtasteinheit **1** zum Abtasten der Maßverkörperung **2**. Die Maßverkörperung **2** ist hier als Teilscheibe eines absoluten Drehgebers ausgebildet und weist eine Messteilung in Form einer Codespur **20** mit absoluter Positionsinformation (PRC-Spur) auf, die sich kreisringförmig auf der Maßverkörperung **2** um die Drehachse **D** für die Relativbewegung von Abtasteinheit **1** und Maßverkörperung **2** erstreckt.

[0043] In radialer Richtung betrachtet ist neben der Codespur **20** mit absoluter Positionsinformation eine Inkrementalspur **200** vorgesehen, die sich ebenfalls ringförmig um die Drehachse **D** der Positionsmesseinrichtung erstreckt und die durch eine periodische Strichteilung gebildet wird. Bei Bedarf kann die Maßverkörperung **2** noch weitere Spuren aufweisen.

[0044] Die zum Abtasten der beiden Spuren **20**, **200** der Maßverkörperung **2** im Durchlichtverfahren dienende Abtasteinheit **1** weist eine Lichtquelle in Form einer lichtemittierenden Diode sowie auf der der Lichtquelle abgewandten Seite der Maßverkörperung **2** einen fotoelektrischen Detektor **19** auf. Zwischen der Lichtquelle **11** und der Maßverkörperung **2** ist eine Kondensorlinse **13** angeordnet, die die von der Lichtquelle **11** ausgesandten Lichtstrahlen **L** parallelisiert, bevor sie auf die Maßverkörperung **2** auftreffen. Auf der anderen Seite der Maßverkörperung **2** sind zwischen der Maßverkörperung **2** und dem fotoelektrischen Detektor **19** zwei Linsenordnungen **3**, **4** und **300**, **400** angeordnet, die zur Erzeugung eines

Abbildes der durch die Codespur **20** bzw. durch die Inkrementalspur **200** modifizierten Lichtstrahlen **L** auf dem fotoelektrischen Detektor **19** dienen.

[0045] Bei dem gemäß **Fig. 1** im Durchlichtverfahren arbeitenden Positionsmesssystem wird das von der Lichtquelle **11** ausgesandte und mittels der Kondensorlinse **13** parallelisierte Licht beim Durchdringen der lichtdurchlässigen Maßverkörperung **2** durch die Codespur **20** oder durch die Inkrementalspur **200** modifiziert, wobei ein definiertes Lichtmuster erzeugt wird. Das durch die Codespur **2** oder durch die Inkrementalspur **200** modifizierte Licht gelangt anschließend zu der ersten Linsenordnung **3**, **4** bzw. der zweiten Linsenordnung **300**, **400**, die auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind. Die Linsenordnungen **3**, **4** werden jeweils durch zwei Gruppen von Linsen gebildet, welche in jeweils einer von zwei parallel zueinander verlaufenden Ebenen **30**, **40** angeordnet sind. Jede der Linsengruppen **3** bzw. **4** oder **300** bzw. **400** besteht aus einer Mehrzahl in der jeweiligen Ebene **30** bzw. **40** nebeneinander angeordneter Linsen (sogenanntes Mikrolinsen-Array). Die Ebenen, in denen sich die Linsengruppen **3**, **4** bzw. **300**, **400** der beiden Linsenordnungen erstrecken, sind derart angeordnet, dass sie von den an der Maßverkörperung **2** modifizierten Lichtstrahlen **L** im Wesentlichen senkrecht geschnitten werden.

[0046] Bei einem derartigen doppelten Linsen-Array, das aus zwei in einem definierten Abstand voneinander und parallel zueinander angeordneten Linsengruppen **3**, **4** bzw. **300**, **400** besteht, kann jeder Einzellinse einer ersten Linsengruppe **3** bzw. **300** genau eine Einzellinse der zweiten Linsengruppe **4** bzw. **400** zugeordnet werden. Dadurch lässt sich mit Linsen ohne Wellenleiterstruktur ein positiver Abbildungsmaßstab, d.h. ein Abbildungsmaßstab mit einem Wert größer als Null, insbesondere dem Wert Eins, realisieren. Ein solcher Abbildungsmaßstab ermöglicht es wiederum, die Bildbereiche der Einzellinsen mit einer definierten räumlichen Orientierung kontinuierlich aneinander anzuschließen. Dies ermöglicht eine großflächige Abtastung der Maßverkörperung **2** bei gleichzeitig geringer Bauhöhe und somit kompakter Ausbildung des Positionsmesssystems.

[0047] Besonders vorteilhaft ist hierbei eine derartige Ausbildung der Linsenordnung, dass der Abbildungsmaßstab im Mittel den Wert Eins annimmt. Indem für beide Linsengruppen **3**, **4** bzw. **300**, **400** der jeweiligen Linsenordnung das gleiche Raster, d.h., eine übereinstimmende Anordnung der Einzellinsen in der jeweiligen Ebene **30**, **40** verwendet wird, gehen die (entsprechend gerasterten) Bildbereiche des von der Linsenordnung **3**, **4** auf dem Detektor **19** erzeugten Abbildes unmittelbar kontinuierlich ineinander über.

[0048] Eine Besonderheit bei der in **Fig. 1** darge-

stellten Positionsmesseinrichtung besteht darin, dass der photoelektrische Detektor **19** keine kreisringförmig strukturierte Oberfläche aufweist, sondern vielmehr eine linear, geradlinig strukturierte Sensorfläche, wie sie bei so genannten Längenmesssystemen, d.h. bei Positionsmesssystemen mit einer linear erstreckten Messteilung (in Form einer Codespur oder einer Inkrementalspur) verwendet wird. D.h., der photoelektrische Detektor **19** wird durch einen Opto-ASIC gebildet, der mit seiner linear strukturierten Oberfläche primär für den Einsatz bei Längenmesssystemen vorgesehen ist. Indem ein solcher ASIC zusätzlich auch bei Winkelmesssystemen bzw. Drehgebern verwendet wird, kann dieser entsprechend kostengünstig in größeren Stückzahlen hergestellt werden. Dies reduziert die Herstellungskosten für Positionsmesssysteme.

[0049] Zur Verwendung eines linear strukturierten photoelektrischen Detektors **19** bei einem Positionsmesssystem für die Winkelmessung gemäß **Fig. 1** ist es erforderlich, aus dem durch die kreisringförmige Codespur **20** bzw. die kreisringförmige Inkrementalspur **200** gebildeten Lichtmuster ein geradlinig erstrecktes Abbild auf dem photoelektrischen Detektor **19** zu erzeugen, wie nachfolgend anhand der **Fig. 2a** und **2b** sowie der **Fig. 3a** und bis **3d** dargelegt werden wird. Hierzu dient eine geeigneten Ausbildung der Linsenanordnungen **3, 4** bzw. **300, 400**.

[0050] **Fig. 2a** zeigt ein Ringsegment **21**, der ringförmigen Codespur **20** aus **Fig. 1**. Zur Bildung einer ringförmigen Codespur **20** ist die Ausdehnung $a(r)$ jedes Ringsegmentes **21** in Umfangsrichtung U der Codespur **20** abhängig von dem Abstand r von der Drehachse D der Positionsmesseinrichtung.

[0051] Zur Erzeugung eines linear erstreckten Abbildes aus einer aus Ringsegmenten **21** gemäß **Fig. 2a** bestehenden Codespur **20** müssen die einzelnen Ringsegmente **21** in rechteckförmige Abbilder **21'** mit ortsunabhängiger Breite b überführt werden, wie in **Fig. 2a** dargestellt. Dabei wird der Abbildungsmaßstab so gewählt, dass die Breite b des rechteckförmigen Abbildes **21'** eines Ringsegmentes **21** der Breite $a(r_0)$ des Ringsegmentes bei dem Radius r_0 entspricht, der in radialer Richtung r betrachtet die Mitte des Ringsegmentes **20** angibt. Mit anderen Worten ausgedrückt ist der Wert r_0 so gewählt, dass von dem Wert r_0 ausgehend die Ringsegmente **21** sich in radialer Richtung um den gleichen Betrag nach außen und nach innen (d.h. weg von der Drehachse D bzw. hin zu der Drehachse D) erstrecken. Die Punkte mit dem Abstand r_0 von der Drehachse D bezeichnen somit die gekrümmte Mittellinie der Ringsegmente **21** und damit der ringförmigen Codespur **20** insgesamt.

[0052] Zur Schaffung eines rechteckförmigen Abbildes **21'** aus einem Ringsegment **21** gemäß **Fig. 2a** ist

wird vorliegend eine Abbildung herangezogen, bei der die Bereiche des Ringsegmentes **21**, die innerhalb der durch den mittleren Radiuswert r_0 definierten Mittellinie liegen, verbreitert werden, während diejenigen Bereiche des jeweiligen Ringsegmentes **21**, die außerhalb der durch den mittleren Radius r_0 definierten Mittellinie liegen, in ihrer Ausdehnung $a(r)$ reduziert werden. Auf der durch den mittleren Radius r_0 definierten Mittellinie selbst soll die Ausdehnung $a(r_0)$ des Ringsegmentes **21** bei der Transformation unverändert bleiben, d.h. sie soll der Breite b des bei der Transformation erzeugten, rechteckförmigen Abbildes **21'** entsprechen. Dies entspricht einer Abbildung mit einem radiusabhängigen Maßstab, der radiusabhängig um einen mittleren Wert 1 schwankt. Speziell für die Transformation der Ringsegmente eines Kreisringes auf ein rechteckförmiges Abbild eignet sich der Abbildungsmaßstab $\beta(r) = r_0/r$. Selbstverständlich kann auch eine andere Bezugslinie als die durch den mittleren Radius r_0 definierte Mittellinie für die Transformation verwendet werden. Nachfolgend wird jedoch weiterhin beispielhaft von dem mittleren Radius r_0 des Ringsegmentes **21** als Bezugspunkt ausgegangen werden.

[0053] Die tatsächliche, radiusabhängige Variation des Abbildungsmaßstabes $\beta(r)$ ist in der Praxis sehr klein. Bei einem typischen Spurradius (entsprechend dem mittleren Abstand r_0 der Ringsegmente **21** von der Drehachse D) von $r_0 = 20$ mm und einer Spurhöhe (entsprechend der radialen Ausdehnung der Ringsegmente **21**) von 1 mm variiert der Abbildungsmaßstab $\beta(r)$ zwischen 0.975 und 1.025.

[0054] **Fig. 2b** zeigt nochmals ein Ringsegment **21**, das sich in radialer Richtung r von einem inneren Radius r_1 bis zu einem äußeren Radius r_2 erstreckt und einen mittleren Radius r_0 aufweist und das im Umfangsrichtung U des entsprechenden Kreisringes eine variable, radiusabhängige Breite aufweist. Alle Punkte dieses Ringsegmentes **21** lassen sich beschreiben durch einen Ortsvektor $r = r(r, \varphi)$, d.h. jeder Ortsvektor r eines Kreissegmentes **21** wird dargestellt durch den Radius r sowie die Winkellage φ des jeweiligen Punktes. Bezeichnet man mit φ_0 denjenigen Winkel, auf dem die in radialer Richtung verlaufende Winkelhalbierende des Ringsegmentes **21** liegt (d.h., dass sich das Ringsegment **21** von dieser Winkelhalbierenden aus in Umfangsrichtung U sowohl im Uhrzeigersinn als auch entgegen dem Uhrzeigersinn jeweils um einen identischen Betrag $\delta\varphi/2$ erstreckt), so lässt sich jeder Ortsvektor r wie folgt schreiben:

$$r = r(r, \varphi) = r(r, \varphi - \varphi_0 + \varphi_0).$$

[0055] Zur Abbildung eines Ringsegmentes **21**, das durch die oben angegebenen Ortsvektoren r beschrieben wird, auf ein rechteckförmiges Abbild **21'** mit konstanter Breite b müssen alle Punkte des Ring-

segmentes **21**, die jeweils in radialer Richtung verlaufen, in zwei parallele Begrenzungslinien mit konstantem Abstand b überführt werden. Eine entsprechende Transformation von einem Punkt r des Ringsegmentes **21** auf einen Punkt r' des rechteckförmigen Abbildes **21'** ist in **Fig. 2b** dargestellt. Diese Transformation lässt sich formulieren als

$$r(r, \varphi) = r(r, \varphi - \varphi_0 + \varphi_0) \rightarrow r'(r, \varphi) = r(r, (\varphi - \varphi_0) \cdot (r_0/r) + \varphi_0)$$

[0056] Hierbei bezeichnen r und φ die Koordinaten eines jeweiligen Punktes r oder r' des Ringsegmentes **21** bzw. des Abbildes **21'** und φ_0 bezeichnet die Winkellage der radial erstreckten Mittellinie sowohl des Ringsegmentes **21** als auch des Abbildes **21'**, d.h. die Winkelhalbierende bleibt bei der Transformation unverändert, ebenso wie die Punkte r mit dem mittleren Radiuswert $r = r_0$.

[0057] Die Transformation findet unter Erhaltung des Radiuswertes r statt, erfolgt also tangential, indem Winkel, die im Ringsegment **21** ($\varphi - \varphi_0$) betragen, beim Radiuswert r auf Winkelwerte vom Betrage $(\varphi - \varphi_0) \cdot (r_0/r)$ im Abbild **21'** verkleinert/vergrößert werden, je nachdem, ob $r > r_0$ oder $r < r_0$ ist.

[0058] Mit $(\varphi - \varphi_0) = \pm \delta\varphi/2$ könnte man auch schreiben:

$$r(r, \delta\varphi/2) = r(r, \pm \delta\varphi/2 + \varphi_0) \rightarrow r'(r, \delta\varphi/2) = r(r, (\pm \delta\varphi/2) \cdot (r_0/r) + \varphi_0)$$

[0059] In sämtlichen Figuren sind die Vektorpfeile der Vektoren r , r' usw. aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht bis zur Drehachse D der Positionsmesseinrichtung durchgezogen. Ausgangspunkt der Vektoren soll aber in jedem Falle diese Drehachse D sein.

[0060] Jeder Ortsvektor R des Ringsegmentes wird also dargestellt durch die Koordinaten r und φ , wobei r den radialen Abstand des jeweiligen Punktes von der Drehachse D der Positionsmesseinrichtung angibt und φ den Winkel in Umfangsrichtung bezeichnet.

[0061] Anhand der **Fig. 2a** und **2b** wurde zunächst eine Transformation erläutert, der jedes einzelne Ringsegment **21** der Codespur **20** unterzogen werden – muss, um aus der kreisringförmig erstreckten Codespur **20** ein linear erstrecktes Abbild auf dem fotoelektrischen Detektor **19** (vgl. **Fig. 1**) zu erzeugen. Die Transformation der einzelnen Ringsegmente **21** in rechteckförmige Abbilder **21'** genügt jedoch noch nicht zur Erzeugung eines linear erstreckten Abbildes der Codespur **20** insgesamt. Hierzu ist es ferner erforderlich, die einzelnen rechteckförmigen Abbilder **21'** derart linear hintereinander anzuordnen, dass sie ohne Überlapp aneinander anschließen. Dies wird nachfolgend anhand der **Fig. 3a** bis **3d** erläutert.

[0062] **Fig. 3a** zeigt mehrere Ringsegmente **21** der Codespur **20**, die in Umfangsrichtung U der Codespur hintereinander angeordnet sind und die jeweils die anhand der **Fig. 2a** und **2b** erläuterte Geometrie aufweisen. **Fig. 3b** zeigt nochmals die Ringsegmente **21** aus **Fig. 3a**, und zwar vor einem Hintergrundraster H mit rechteckförmigen Rastabschnitten konstanter Breite, in denen die einzelnen Ringsegmente **21'** zur Erzeugung der gewünschten, rechteckförmigen Abbilder **21'** angeordnet werden müssen. Die Breite der einzelnen Rastabschnitte der Hintergrundrasterung H ist dabei so gewählt, dass sie der Breite b der Ringsegmente **21** auf der Höhe der Spurradius r_0 entsprechen, entsprechend der anhand **Fig. 2b** bereits erläuterten Zuordnung $b = a(r_0)$.

[0063] **Fig. 3c** zeigt die Abbilder **21'** der Ringsegmente **21** vor dem Hintergrundraster H , die durch eine Transformation der einzelnen Ringsegmente **21** in rechteckförmige Abbilder **21'** erzeugt worden sind. Anhand **Fig. 3c** wird deutlich, dass die gemäß **Fig. 2a** und **2b** durch Transformation aus den einzelnen Ringsegmenten **21** erzeugten Abbilder **21'** nicht linear hintereinander, sondern winklig zueinander angeordnet sind und sich entlang des Spurradius r_0 schneiden. Benachbarte rechteckförmige Abbilder **21'** sind jeweils um einen Winkel $\delta\phi$ zueinander verkippt, der der Winkelerstreckung der einzelnen Ringsegmente **21** in Umfangsrichtung U entspricht, vgl. **Fig. 2b**.

[0064] Die Aufgabe besteht nur darin, die rechteckförmigen Abbilder **21'** derart zu verkippen, dass sie anschließend in dem Hintergrundraster H entlang einer Geraden G geradlinig hintereinander angeordnet sind, vgl. **Fig. 3d**. Hierzu wird eines der rechteckförmigen Abbilder **21'** als zentrales, unverkipptes Rechteck definiert und alle anderen rechteckförmigen Abbilder **21'** müssen um ein Vielfaches des Kippwinkels $\delta\phi$ um ihren jeweiligen Schwerpunkt derart verkippt werden, dass sie parallel zu dem als unverkippt definierten zentralen Abbild erstreckt sind.

[0065] In den **Fig. 3a** bis **3d** wurden die Erzeugung rechteckförmiger Abbilder **21'** aus den Ringsegmenten **21** und das anschließende Verkippen der Abbilder **21'** zur Erzeugung einer linearen Anordnung entlang einer Geraden G als zwei separate, hintereinander ablaufende Transformationsschritte dargestellt. Eine solche Transformation wird nachfolgend näher erläutert werden. Es ist jedoch ebenso möglich, eine Transformation von einer ringartigen Codespur **20** zu einem linear erstreckten Abbild **20'** zu wählen, bei der die Bildung rechteckförmiger Abbilder **21'** und die lineare Anordnung der Abbilder **21'** hintereinander nicht durch separate Transformationsschritte erzeugt werden, sondern vielmehr unmittelbar zusammenhängen. Dies resultiert aus der Freiheit bei der Wahl der Abbildung, die von der ringförmigen Codespur **20** zu dem linear erstreckten Abbild **20'** führt.

[0066] Für die gesamte Abbildung, die aus der ringartigen Codespur **20** das längserstreckte Abbild **20'** erzeugt, gilt, dass der Abbildungsmaßstab $\beta(r) = r_0/r$ sein soll. Denn nur mit diesem Abbildungsmaßstab wird die gewünschte Erzeugung rechteckförmiger Abbilder **21'** aus den einzelnen Ringsegmenten **21** der Codespur **20** erreicht. Der Abbildungsmaßstab $\beta(r)$ setzt sich multiplikativ zusammen aus den Abbildungsmaßstäben $\beta_1(r)$ und $\beta_2(r)$ der ersten bzw. zweiten Linsengruppe **3** bzw. **4** der der Codespur zugeordneten Linsenanordnung. Es gibt offensichtlich eine Vielzahl von Möglichkeiten, um durch multiplikative Verknüpfung der Abbildungsmaßstäbe $\beta_1(r)$ und $\beta_2(r)$ zweier Abbildungen den Abbildungsmaßstab $\beta(r) = r_0/r$ einer Gesamtabbildung zu erhalten. Im Sinne des anhand der **Fig. 3a** bis **3d** beschriebenen Ausführungsbeispiels sei nachfolgend $\beta_2(r) = -1$ und dementsprechend $\beta_1(r) = -r_0/r$. Demnach wird aus den einzelnen Segmenten **21** der ringförmigen Codespur **20** schon bei der ersten Abbildung mittels der hierfür vorgesehenen, in einer Ebene **30** angeordneten Linsengruppe **3** aus jedem Ringsegment **21** ein rechteckförmiges Abbild **21'** erzeugt, entsprechend den **Fig. 3b** und **3c**. Es besteht dann jedoch die anhand **Fig. 3c** erläuterte Verkippung der Abbilder **21'** zueinander, die sich für jedes rechteckförmige Abbild **21'** als ein ganzzahliges Vielfaches des vorstehend definierten Winkels $\delta\phi$ bezüglich eines zentralen Referenzabbildes **21'** darstellen lässt. Dabei hat der n -te Nachbar des als unverkippt definierten Abbildes **21'** gegenüber diesem jeweils den Kippwinkel $n \cdot \delta\phi$.

[0067] Damit die zweite Abbildung den Kippwinkel jedes rechteckförmigen Abbildes **21'** auf den Wert Null korrigiert, müssen die Scheitellinien der Linsen der zweiten Linsengruppe **4** definierte Bedingungen erfüllen, die nachfolgend anhand der **Fig. 4a** und **4b** näher erläutert werden.

[0068] Ausgangspunkt für die nachfolgenden Ausführungen unter ergänzender Bezugnahme auf die **Fig. 4a** und **4b** ist das Problem, wie die einzelnen Linsen der beiden Linsengruppen **3, 4** der der Codespur **20** zugeordneten Linsenanordnung ausgebildet sein müssen und wie diese Linsen in der jeweiligen Ebene **30** bzw. **40** zu einer Gruppe zusammengefasst sein müssen, damit die vorstehend erläuterte Abbildung einer ringförmig erstreckten Codespur **20** auf ein linear erstrecktes Abbild **20'** durchgeführt werden kann.

[0069] Wie bereits anhand der **Fig. 1** erläutert, wird zur Abbildung der Codespur **20** auf den fotoelektrischen Detektor **19** eine Linsenanordnung **3, 4** verwendet, die aus zwei in jeweils einer Ebene **30** bzw. **40** angeordneten Linsengruppen (Mikrolinsen-Arrays) besteht, die vorzugsweise senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet sind und sich sowohl parallel zu dem Codeträger **2** als auch parallel zu der strahlungsempfindlichen Oberfläche des fotoelektrischen Detektors **19** erstrecken. Diese parallele An-

ordnung der einzelnen Bestandteile der Positionsmesseinrichtung erleichtert die Montage. Bei einer derartigen Anordnung muss zur Erzielung des gewünschten Abbildungsmaßstabes $\beta(r) = r_0/r$ mittels der bekannten, paraxialen Abbildungsgleichungen die Ortsabhängigkeit der Brennweiten f_1 und f_2 der ersten und zweiten Abbildung bzw. der ersten Linsengruppe **3** und der zweiten Linsengruppe **4** bestimmt werden, d.h., $f_1 = f_1(r)$ und $f_2 = f_2(r)$. Sofern der ortsabhängige Abbildungsmaßstab, wie vorstehend erläutert, insbesondere mittels der ersten Abbildung realisiert wird, ist die Abhängigkeit vom Radius r (d.h. dem Abstand von der Drehachse D) insbesondere bei der Brennweite f_1 der ersten Abbildung zu berücksichtigen.

[0070] Vorzugsweise erfolgt eine Abbildung der Strukturen der Maßverkörperung **2** nur in Teilungsrichtung, d.h. in Erstreckungsrichtung der Messteilung, also in Umfangsrichtung U ; und in radialer Richtung r wird statt dessen eine Schattenprojektion verwendet. Die verwendeten Linsen **41** ähneln dann Zylinderlinsen, deren abbildende Achsen in Umfangsrichtung U orientiert sind, vgl. die Darstellung eines Ausschnittes der zweiten Linsengruppe **4** in **Fig. 4a**. Die Linsen **41** besitzen eine vom Radius r abhängige Brennweite f_2 und werden vorliegend als modifizierte Zylinderlinsen bezeichnet. Wie anhand **Fig. 4a** deutlich wird, sind die einzelnen Linsen **43** jeweils als Ringsegmente ausgebildet und entlang einer Umfangsrichtung U hintereinander angeordnet. Anstelle im wesentlichen zylinderförmiger Linsen können z.B. auch in der Draufsicht im wesentlichen rechteckförmige, elliptische oder radial-symmetrisch ausgebildete Linsen verwendet werden.

[0071] Die abbildenden Richtungen der Linsen **41** sind in **Fig. 4a** durch Pfeile angedeutet. Die Scheitellinien **43** der zylinderartig aus der Ebene herausgewölbten Linsen **41** verlaufen senkrecht zu der Abbildungsrichtung und treffen sich in einem gemeinsamen Schnittpunkt M_S , der außerhalb der Drehachse D bzw. Mittelachse der Positionsmesseinrichtung liegt, vgl. **Fig. 1**. Die radialen Begrenzungslinien **45** der einzelnen Linsen **41** treffen sich ebenfalls in einem gemeinsamen Mittelpunkt M_L , wobei dieser Schnittpunkt M_L mit der Drehachse D zusammenfällt, vergleiche **Fig. 1**.

[0072] Die Linsen der ersten Linsengruppe **3** der Linsenanordnung **3, 4** sind in der zugehörigen Ebene **30** in entsprechender Weise ausgebildet und angeordnet wie die Linsen **41** der zweiten Linsengruppe **4**. Es handelt sich also ebenfalls um modifizierte Zylinderlinsen, die jeweils ringsegmentartig ausgebildet und entlang einer Umfangsrichtung U nebeneinander angeordnet sind. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sich bei der ersten Linsengruppe **3** die Scheibenlinien der Linsen sowie die Linsenbegren-

zungslinien (Übergangslinien von der einen Linse zur nächsten) in ein und demselben Punkt $M_S = M_L$ schneiden, vgl. **Fig. 1**.

[0073] Zu beachten ist, dass bei der Bestimmung der Brennweiten $f_1(r)$ und $f_2(r)$ stets der radiale Abstand r von der Drehachse D der Positionsmesseinrichtung verwendet und dass diese Berechnung entlang der Scheitellinie der jeweiligen Achse erfolgt. Durch die vorstehend erwähnten Konstruktionsvorschriften für die einzelnen modifizierten Zylinderlinsen der beiden Linsengruppen **3, 4**, wobei die Brennweiten $f_1(r)$ und $f_2(r)$ zu den gewünschten Abbildungsmaßstäben $\beta_1(r)$ und $\beta_2(r)$ führen müssen, wird sichergestellt, dass jedes Paar von Einzellinsen der beiden Linsengruppen **3, 4**, das jeweils aus einer Linse der ersten Linsengruppe **3** und einer entlang der optischen Achse dahinter angeordneten Linse der zweiten Linsengruppe **4** besteht, ein zugehöriges, entzerrtes Teilbild eines Ringsegmentes **21** der kreisringförmig erstreckten Codespur **20** erzeugt. Diese einzelnen Teilbilder (rechteckförmige **Abb. 21'** der Ringsegmente **21**) müssen aber gemäß den **Fig. 3c** und **3d** derart zueinander positioniert und orientiert werden, dass ein durchgehendes, entlang einer Geraden erstrecktes, entzerrtes Gesamtbild **20'** entsteht. Dazu müssen die nachfolgend anhand der **Fig. 1** und **4b** erläuterten weiteren Konstruktionsvorschriften eingehalten werden.

[0074] Die Lichtstrahlen, die von der Codespur **20** ausgehend auf die Scheitellinien **33a, 33b** von Linsen **31a, 31b** der ersten Linsengruppe **3** treffen, werden in Umfangsrichtung U nicht abgelenkt. Die für eine geradlinige Anordnung der Abbilder erforderliche Ablenkung in Umfangsrichtung, die durch den Vergrößerungsmaßstab $\beta(r)$ in jeder radialen Position r vorgegeben ist, muss durch den Versatz in Umfangsrichtung der Scheitellinien **43a, 43b** der entsprechenden Linsen **41a, 41b** der zweiten Linsengruppe **4** erreicht werden.

[0075] In **Fig. 4b** sind dabei zwei Zellen **31a, 41a** und **31b, 41b** der Linsenanordnung **3, 4** dargestellt, wobei jede Zelle **31a, 41a** bzw. **31b, 41b** eine erste Linse **31a** bzw. **31b** aus der ersten Linsengruppe **3** und eine entlang der optischen Achse dahinter angeordnete zweite Linse **41a** bzw. **41b** aus der zweiten Linsengruppe **4** umfasst. In **Fig. 4b** ist ferner für jede der Zellen **31a, 41a** ein Objekt O (repräsentativ für einen Teil der abzubildenden Codespur **20**) dargestellt, das über ein Zwischenbild (zwischen den beiden Linsen **31a, 41a** bzw. **31b, 41b** der jeweiligen Zelle) auf ein Bild O' abgebildet wird.

[0076] Wie anhand **Fig. 3c** deutlich wird, sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel die durch die erste Abbildung mit einem Abbildungsmaßstab $\beta(r) = r_0/r$ erzeugten Abbilder **21'** (Zwischenbilder der Gesamtabbildung) für radiale Abstände $r < r_0$ von der

Drehachse D der Positionsmesseinrichtung einander überlappend angeordnet, während sie für radiale Abstände $r > r_0$ voneinander beabstandet sind. Dementsprechend müssen die Zwischenbilder in dem Bereich unterhalb der mittleren Umfangslinie r_0 (d.h. für $r < r_0$) bezüglich der unverkippten, zentralen Referenzlinse nach außen versetzt werden, um eine überlappungsfreie Aneinanderreihung zu erzielen. Umgekehrt müssen oberhalb der mittleren Umfangslinie r_0 , d.h. für $r > r_0$, die entsprechenden Bereiche der rechteckförmigen Zwischenbilder **21'** (vgl. **Fig. 3c**) nach innen, zu dem zentralen Referenz-Abbild hin versetzt werden. Dies bedeutet, dass die Scheitellinien **43a, 43b** der Linsen **41a, 41b** der zweiten Linsengruppe – entlang der optischen Achse betrachtet – für $r < r_0$ bezüglich der entsprechenden Scheitellinien **33a, 33b** der jeweils zugehörigen Linsen **31a, 31b** in Umfangsrichtung nach außen verschoben sein müssen und für $r > r_0$ in Umfangsrichtung nach innen versetzt werden müssen. Dies wird dadurch erreicht, dass sich die Scheitellinien der Linsen der zweiten Linsengruppe **4** in einem Schnittpunkt M_S schneiden, der in radialer Richtung von dem entsprechenden Schnittpunkt M_S der Linsen der ersten Linsengruppe **3** beabstandet ist. Dabei fällt vorliegend der Schnittpunkt M_S der Scheitellinien der Linsen der ersten Linsengruppe **3** mit dem Schnittpunkt der Linsenbegrenzungslinien M_L und mit der Drehachse D der Positionsmesseinrichtung zusammen, vgl. **Fig. 1**. Demgegenüber liegt der Schnittpunkt M_S der Scheitellinien der Linsen der zweiten Linsengruppe **4** außerhalb der Drehachse, und zwar, von den entsprechenden Linsen der Linsengruppe **4** her gesehen, in radialer Richtung hinter der Drehachse D . Hierdurch lässt sich erreichen, dass sich die Scheitellinien **33a, 43a** bzw. **33b, 43b** der Linsen **31a, 41a** bzw. **31b, 41b** einer Zelle – entlang der optischen Achse betrachtet – jeweils in einem Punkt mit dem Radius r_0 kreuzen, entsprechend der obigen Vorgabe für das Verschieben der Scheitellinien der Linsen der zweiten Linsengruppe **4** bezüglich der Scheitellinien der Linsen der ersten Linsengruppe in Umfangsrichtung nach außen oder nach innen, je nachdem, ob $r < r_0$ oder $r > r_0$.

[0077] Anhand der Schnittdarstellung in **Fig. 4b** durch zwei Zellen **31a, 41a** und **31b, 41b** der Linsenanordnung **3, 4** für einen bestimmten Radius r wird der Versatz δs_n bzw. δs_{n-1} der Scheitellinien **43a, 43b** der zweiten Linsen **41a, 41b** der jeweiligen Zelle bezüglich der Scheitellinien **33a, 33b** der ersten Linsen **31a, 31b** der jeweiligen Zelle deutlich. Dieser Versatz ist für einen bestimmten Radius r jeweils abhängig von dem Abstand der entsprechenden Zelle von derjenigen Zelle, die zur Abbildung des als Referenzsegment dienenden, nicht zu verkippenden Zwischenbildes (entsprechend dem zentralen Zwischenbild **21'** in **Fig. 3c**) dient. Hieraus ergibt sich ein entsprechender Versatz des Abbildes O' eines Objektes O δs_n bzw. δs_{n-1} senkrecht zur optischen Achse bezüglich des jeweils abzubildenden Objektes O . Durch diesen ra-

diusabhängigen Versatz der in **Fig. 3c** dargestellten Zwischenbilder **21'** nach innen (für große Radien) bzw. nach außen (für kleine Radien) erhält man schließlich die lineare Anordnung der rechteckförmigen Abbilder **21'** entlang einer Geraden g , entsprechend **Fig. 3d**.

[0078] Im Ergebnis verläuft für die n -te Zelle der Linsenanordnung **3, 4** – von derjenigen Zelle aus betrachtet, mittels der das als Referenzelement definierte, zentrale, nicht zu verkippende rechteckförmige Zwischenbild **21'** (vgl. **Fig. 3c**) abgebildet wird – die Scheitellinie **43a** der zweiten Linse **41a** genau entlang der Winkelhalbierenden von $n \cdot \delta\phi$ durch den Schnittpunkt aus der mittleren Umfangslinie bei $r = r_0$ und der Linie $\phi = n \cdot \delta\phi$. Dies ist eine unmittelbare Folge des Abbildungsmaßstabes $\beta_2(r) = -1$ für die zweite Abbildung.

[0079] Liegt dem zweiten Abbildungsmaßstab $\beta_2(r) = c$ ein Wert $c \neq 1$ zugrunde, so müsste die Scheitellinien der jeweiligen zweiten Linse entlang einer Linie verlaufen, deren Neigung zwischen 0° und $n \cdot \delta\phi$ im Verhältnis $c:1$ steht. Falls der Abbildungsmaßstab $\beta_2(r)$ nicht konstant (radiusunabhängig) sein sollte, dann wäre die Scheitellinie der zweiten Linse nicht mehr als Gerade darzustellen, sondern würde entlang einer gekrümmten Linie verlaufen.

[0080] Weitere Konstruktionsvorschriften für die Linsenanordnung betreffen die Linsenbegrenzungslinien, vgl. die Linsenbegrenzungslinien **45** für die Linsen **41** der zweiten Linsengruppe **4** in **Fig. 4a**. Für die Erzeugung einer definierten Abbildung der Codespur **20** auf dem fotoelektrischen Detektor **19** muss das Übersprechen zwischen benachbarten Zellen der Linsenanordnung (vgl. **Fig. 4b**) verhindert werden. Das heißt, solche Lichtstrahlen, die zunächst eine erste Linse **31a** einer Zelle **31a, 41a** passieren, sollen anschließend zu der zweiten Linse **41a** derselben Zelle gelangen, nicht aber zu einer zweiten Linse **41b** einer benachbarten Zelle **31b, 41b**. Ein Verschieben der Linsenbegrenzungslinien **45** (vgl. **Fig. 4a**) der Linsen **41** der zweiten Linsengruppe relativ zu den Linsen der ersten Linsengruppe (entsprechend der vorstehend erläuterten Verschiebung der Scheitellinien der Linsen) würde das Übersprechen noch verstärken. Die Linsenbegrenzungslinien beider Linsengruppen sollten daher übereinstimmen, also – entlang der optischen Achse betrachtet – übereinander liegen und sich insbesondere nicht kreuzen. Dies bedeutet, dass die Schnittpunkte M_L der Linsenbegrenzungslinien der ersten Linsengruppe **3** und der zweiten Linsengruppe **4** in radialer Richtung auf gleicher Höhe liegen. Vorliegend liegen beide Mittelpunkte M_L auf der Drehachse D der Positionsmesseinrichtung. Es sind also entlang der radialen Richtung ausschließlich die Schnittpunkte M_S der Scheitellinien der Linsen nicht aber die Schnittpunkte der Linsenbegrenzungslinien M_L zueinander versetzt. Das heißt,

bezüglich ihrer äußeren Begrenzungslinien sind die Linsen – bei Betrachtung entlang der optischen Achse, also senkrecht zur Erstreckungsebene **30, 40** der beiden Linsengruppen **3, 4** – deckungsgleich. Unterschiede bestehen lediglich in der Krümmung der Linsen der ersten und zweiten Linsengruppe **3, 4** aus der jeweiligen Ebene **30, 40** heraus und damit auch in dem Verlauf der entsprechenden Scheitellinien der Linsen.

[0081] Für eine Reduktion des Übersprechens kann gemäß **Fig. 5** ferner eine Blendenstruktur **5** vorgesehen sein, bestehend aus Blendenelementen **51**, die jeweils zwischen benachbarten Einzellinsen **41** der zweiten Linsengruppe **4** angeordnet sind, also die radial verlaufenden Linsenbegrenzungslinien überdecken.

[0082] Um einen Helligkeitsabfall (Vignettieren) im Bereich der seitlichen, Linsenbegrenzungslinien zu vermeiden, können, wie anhand **Fig. 6** beispielhaft für Linsen **31, 32** der ersten Linsengruppe **3** dargestellt, der abzubildenden Codespur **20** Linsengruppen **3, 4** zugeordnet seien, die jeweils mehrere, in radialer Richtung nebeneinander angeordnete ringförmige Mikrolinsen-Arrays umfassen, welche jeweils um eine halbe azimutale Linsenbreite zueinander versetzt sind, so dass die Linsen-Mittelpunkte (Schwerpunkte) der einzelnen Linsen **31, 32** usw. entlang mehrerer (vorliegend entlang zweier) konzentrischer Kreislinien angeordnet sind.

[0083] Die vorstehend beschriebene Konstruktion der Linsengruppen kann sowohl mit refraktiven als auch mit diffraktiven Linsen ausgeführt werden. Hierbei ist, z.B. mittels Prägetechnik, auch eine Kombination mehrstufiger diffraktiver Strukturen mit refraktiven Linsen niedriger Scheitelhöhe möglich. Als Träger der Linsengruppen dient vorzugsweise ein Kunststoffsubstrat.

[0084] Die oben anhand einer im Durchlichtverfahren arbeitenden Positionsmesseinrichtung dargestellten Maßnahmen lassen sich in gleicher Weise auch bei im Auflichtverfahren arbeitenden Positionsmesssystemen anwenden. Bei solchen Positionsmesssystemen wird gemäß **Fig. 7** das von einer Lichtquelle **11** ausgesandte und mittels einer Kondensorlinse **13** parallelisierte Licht L von der entsprechenden Codespur **20** der Maßverkörperung **2** reflektiert und dann mittels einer aus zwei Linsengruppen **3, 4** bestehenden Linsenanordnung, auf den fotoelektrischen Detektor **19** abgebildet, wobei die beiden Linsengruppen **3, 4** in jeweils einer von zwei zueinander parallelen Ebenen **30, 40** angeordnet sind.

[0085] Dabei erfolgt die Beleuchtung der Maßverkörperung **2** vorzugsweise in axial-radialer Richtung, so dass dann in dieser Richtung auch die Abbildung der entsprechenden Codespur **20** durch Parallelpro-

jektion erfolgt. Ferner gestattet die genannte Beleuchtungsrichtung eine vergleichsweise große Freiheit bei der Wahl der auszuleuchtenden bzw. abzubildenden Fläche. Eine große Objektweite der ersten Abbildung verstärkt diesen Vorteil.

[0086] Für einen möglichst kompakten Aufbau der Anordnung sind kleine Beleuchtungswinkel zu wählen, wodurch die Geometrie der Anordnung sich dem ausführlich erläuterten Durchlichtfall annähert. Jedoch verbleibt ein gewisser Versatz einander entsprechender, entlang der optischen Achse hintereinander angeordneter Radien r , r'' usw. (bezogen auf die Drehachse des Winkelmesssystems), da die optische Achse nicht parallel zur Drehachse verläuft, sondern geneigt zu dieser, entsprechend dem Beleuchtungswinkel des parallelisierten Lichtes, das nicht senkrecht, sondern unter einem von der senkrechten abweichenden Beleuchtungswinkel auf die Maßverkörperung **2** fällt.

[0087] Untersuchungen an linearen Messsystemen (Längenmesssystemen), bei denen eine linear erstreckte Messteilung auf einen linear erstreckten fotoelektrischen Detektor abgebildet wird, haben gezeigt, dass eine optimale Abbildungsoptik erreicht wird, wenn sich die beiden Linsengruppen **3**, **4** parallel zu der Maßverkörperung **2** und der strahlungsempfindlichen Oberfläche des fotoelektrischen Detektors **19** erstrecken. Es ist davon auszugehen, dass dies in entsprechender Weise für den Fall gilt, dass – wie hier – eine ringförmig erstreckte Messteilung **20** auf einen linear erstreckten fotoelektrischen Detektor **19** abgebildet wird.

[0088] Die vorstehend anhand der **Fig. 1** bis **6** für das Durchlichtverfahren beschriebenen Maßnahmen können somit in entsprechender Weise bei einer im Auflichtverfahren arbeitenden Anordnung gemäß **Fig. 7** eingesetzt werden, besonders hinsichtlich des Verlaufs der Scheitellinien und der seitlichen, radial erstreckten Begrenzungslinien der Linsen, wobei den entlang der optischen Achse hintereinander angeordneten Punkten jeweils der gleiche Radius r zugeschrieben wird, obwohl die optische Achse nicht parallel zu der Drehachse D verläuft. Die radialen Koordinaten r der einzelnen Punkte beziehen sich dann also nicht mehr auf den Abstand von der Drehachse der Positionsmesseinrichtung, sondern vielmehr auf den Abstand von einer künstlich definierten Mittelachse, die parallel zu der optischen Achse verläuft, so dass entlang der optischen Achse hintereinander angeordnete Punkte die gleiche radiale Koordinate r aufweisen.

[0089] Wie anhand des Durchlichtverfahrens erläutert, werden auch hier hinsichtlich der Geometrie der Linsen lediglich die Scheitellinien und die Linsenbegrenzungslinien vorgegeben, während die Krümmung der Linsen unter den gegebenen Randbedin-

gungen, insbesondere hinsichtlich des radiusabhängigen Abbildungsmaßstabes, mittels eines Optimierungsprogrammes (Computerprogramm) bestimmt wird.

[0090] Die vorstehend beschriebenen Maßnahmen können gemäß **Fig. 8** ferner verwendet werden, um eine ringartig erstreckte Messteilung mit Ringsegmenten **61** mit einem vergleichsweise großen Krümmungsradius r_1 bzw. mit Ringsegmenten **71** mit einem vergleichsweise kleinen Krümmungsradius r_2 in eine ringartig erstreckte Abbildung zu transformieren, dessen Segmente **81** einen von der abzubildenden Messteilung unterschiedlichen Krümmungsradius r_A aufweisen. Im Fall einer Messteilung mit sehr großem Krümmungsradius ermöglicht dies eine Verkleinerung des Krümmungsradius und im Fall einer Messteilung mit sehr kleinem Krümmungsradius kann z.B. eine Vergrößerung des Krümmungsradius erreicht werden. Hierzu sind die Abbildungsmaßstäbe der beiden Teilabbildungen, die durch die beiden Linsengruppen **3**, **4** definiert werden, so zu wählen, dass aus den einzelnen Ringsegmenten der Messteilung keine rechteckigen Segmente konstanter Breite, sondern vielmehr andere, ringartige Segmente mit abweichender Krümmung erzeugt werden.

[0091] Schließlich kann in Umkehrung der vorstehend beschriebenen Maßnahmen auch eine linear erstreckte Messteilung derart transformiert werden, dass auf dem fotoelektrischen Detektor ein ringartig erstrecktes Abbild erzeugt wird. Auch hierfür sind die Abbildungsmaßstäbe der beiden Teilabbildungen entsprechend zu wählen.

Patentansprüche

1. Positionsmesseinrichtung mit
 - einer Maßverkörperung, die mindestens eine entlang einer Geraden oder entlang einer gekrümmten Linie erstreckte Messteilung aufweist,
 - einer Abtasteinrichtung zum Abtasten der Messteilung mittels einer Lichtquelle,
 - einer Empfangseinheit der Abtasteinrichtung, mittels der von einer Lichtquelle ausgesandte und durch die Messteilung modifizierte Lichtstrahlen zur Auswertung empfangbar sind und
 - einer zwischen der Maßverkörperung und der Empfangseinheit angeordneten, durch optische Linsen gebildeten Linsenanordnung zur Erzeugung eines definierten Abbildes der Messteilung auf der Empfangseinheit,**dadurch gekennzeichnet,**
- dass die Linsenanordnung (**3**, **4**) zur Erzeugung eines Abbildes (**20'**) der Messteilung (**20**) ausgebildet ist, das sich entlang einer Linie (G) erstreckt, deren Krümmung verschieden von der Krümmung derjenigen Linie (R) ist, entlang der sich die Messteilung (**20**) erstreckt.

2. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Messteilung (20) entlang zumindest eines Teiles eines Ringes, insbesondere entlang eines Kreisringes, erstreckt.

3. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich das Abbild (20') der Messteilung (20) entlang einer Geraden (g) oder entlang zumindest eines Teiles eines Ringes, insbesondere eines Kreisringes erstreckt, dessen Krümmung von der Krümmung der Messteilung (20) verschieden ist.

4. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Messteilung entlang einer Geraden erstreckt und dass sich das Abbild der Messteilung entlang einer Linie mit endlicher Krümmung erstreckt.

5. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Messteilung (20) durch ringartig hintereinander angeordnete Ringsegmente (21) gebildet wird, die jeweils eine definierte Ausdehnung in radialer Richtung aufweisen.

6. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite (a) der Ringsegmente (21), nämlich deren Ausdehnung in Umfangsrichtung (U), in radialer Richtung variiert, insbesondere in radialer Richtung nach außen zunimmt.

7. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Linsenordnung (3, 4) auf der Empfangseinheit (19) gebildeten Abbilder (21') der Ringsegmente (21) jeweils eine konstante Breite (b), nämlich eine konstante Ausdehnung in Erstreckungsrichtung des Abbildes (20') aufweisen.

8. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 1 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Messteilung (20) durch geradlinig hintereinander angeordnete Segmente gebildet wird.

9. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Linsenordnung (3, 4) auf der Empfangseinheit (19) gebildeten Abbilder der Segmente jeweils als Ringsegmente ausgebildet sind, deren als Ausdehnung in Umfangsrichtung definierte Breite in radialer Richtung variiert, insbesondere in radialer Richtung nach außen zunimmt.

10. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abbildungsmaßstab (β) der Linsenordnung (3, 4) in radialer Richtung, bezogen auf eine Achse, insbesondere die Mittelachse (D) der sich ent-

lang eines Ringes erstreckenden Messteilung (20) oder die Mittelachse (M_L - M_L) der Linsenordnung, variiert.

11. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 2 oder 3 und Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abbildungsmaßstab (β) von einem Wert größer Eins in radialer Richtung nach Außen auf einen Wert kleiner Eins abnimmt.

12. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 4 und Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abbildungsmaßstab (β) von einem Wert kleiner Eins in radialer Richtung nach Außen auf einen Wert größer Eins zunimmt.

13. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennweite (f) der einzelnen Linsen (31, 41) der Linsenordnung (3, 4) in radialer Richtung bezogen auf die Achse (D) der Messteilung (20) variiert.

14. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsenordnung zur Ausführung einer solchen Transformation ausgebildet ist, dass die einzelnen Abbilder (21') ohne Überlapp nebeneinander angeordnet sind.

15. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Abbilder (21') ohne Überlapp jeweils unmittelbar aneinandergrenzend angeordnet sind.

16. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsenordnung (3, 4) eine Mehrzahl in einer Ebene (30, 40) angeordneter Linsen (31, 41) umfasst und dass die Ebene (30, 40) derart ausgerichtet ist, dass die durch die Messteilung (20) modifizierten Lichtstrahlen (L) die Ebene (30, 40) schneidet.

17. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsenordnung (3, 4) zwei Gruppen (3; 4) von Linsen umfasst, die jeweils einer von zwei parallel zueinander erstreckten Ebenen (30, 40) zugeordnet sind.

18. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsen der beiden Gruppen (3, 4) jeweils paarweise zu einer Zelle (30a, 41a; 30b, 41b) zusammengefasst sind und dass die Linsen einer Zelle (31a, 41a; 31b, 41b) jeweils senkrecht zu den beiden Ebenen (30, 40) hintereinander angeordnet sind, wobei zumindest ein Teil der Lichtstrahlen (L), die eine erste Linse (31a, 31b) einer Zelle (31a, 41a; 31b, 41b) passiert haben, anschließend zu der zweiten Linse (41a, 41b) der Zelle (31a, 41a; 31b, 41b) gelangen.

19. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass im Wesentlichen sämtliche Lichtstrahlen (L), die die erste Linse (**31a**, **31b**) einer Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) passiert haben, anschließend zu der zweiten Linse (**41a**, **41b**) dieser Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) gelangen.

20. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlen (L), die die erste Linse (**31a**, **31b**) einer Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) passiert haben, nicht zu einer zweiten Linse (**41b**, **41a**) einer anderen Zelle (**31b**, **41b**; **31a**, **41a**) gelangen.

21. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Linsenanordnung (**3**, **4**) eine Blendenstruktur (**5**) zugeordnet ist.

22. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenstruktur (**5**) in der Ebene (**40**) derjenigen Linsengruppe (**4**) angeordnet ist, die die Lichtstrahlen (L) zuletzt passieren.

23. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Blendenstruktur zwischen den beiden Linsengruppen (**3**, **4**) angeordnet ist.

24. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 18 und Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) eine Öffnung der Blendenstruktur zugeordnet ist.

25. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 20 und einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlen mittels der Blendenstruktur derart geführt werden, dass solche Lichtstrahlen (L), die die erste Linse (**31a**, **31b**) einer Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) passiert haben, nicht zu einer zweiten Linse (**41b**, **41a**) einer anderen Zelle (**31b**, **41b**; **31a**, **41a**) gelangen.

26. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Gruppen (**3**, **4**) von Linsen parallel zueinander ausgerichtet sind.

27. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Gruppen (**3**, **4**) von Linsen jeweils parallel zu der Maßverkörperung (**2**) und zu der lichtempfindlichen Oberfläche (**19**) der Abtasteinrichtung (**1**) angeordnet sind.

28. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittelpunkte (M_L) der beiden Linsengruppen (**3**, **4**) auf einer gemeinsamen Geraden oder auf einem Kreissegment liegen.

29. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsen-Mittelpunkte der einzelnen Linsen der beiden Linsengruppen (**3**, **4**) in einem zweidimensionalen Raster bestehend aus mehreren Zeilen angeordnet sind.

30. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsen-Mittelpunkte der einzelnen Linsen der beiden Linsengruppen (**3**, **4**) jeweils entlang mehrerer konzentrischer Kreislinien mit unterschiedlichen Radien liegen.

31. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeilen des zweidimensionalen Rasters im Wesentlichen parallel zur Erstreckungsrichtung der Messteilung verlaufen und die verschiedenen Zeilen in der Erstreckungsrichtung der Messteilung zueinander versetzt angeordnet sind.

32. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittelpunkte der verschiedenen Kreislinien in azimuthaler Richtung versetzt zueinander angeordnet sind.

33. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsen lokal als Zylinderlinsen mit einer definiert orientierten Scheitellinie ausgebildet sind.

34. Positionsmesseinrichtung nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsen als zylindersymmetrische Linsen ausgebildet sind.

35. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Linsen (**31**, **41**) jeweils senkrecht zur Erstreckungsebene (**30**, **40**) der jeweiligen Linsengruppe (**3**, **4**) gewölbt sind und dass die Scheitellinien (**43**) der Linsen (**31**, **41**) sich in radialer Richtung erstrecken.

36. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass die Scheitellinien (**43**) sich in einem Punkt (M_S) schneiden.

37. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 26 und 36, dadurch gekennzeichnet, dass die Schnittpunkte (M_S) der Scheitellinien der beiden Linsengruppen (**3**, **4**) in radialer Richtung voneinander beabstandet sind.

38. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 18 und 37, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Zelle der Linsenanordnung (**3**, **4**) die Scheitellinien der beiden Linsen dieser Zelle – entlang der optischen Achse

se betrachtet – deckungsgleich hintereinander angeordnet sind und dass in den weiteren Zellen (**31a**, **41a**, **31b**, **41b**) der Linsenordnung (**3**, **4**) die Scheitellinien (**33a**, **43a**; **33b**, **43b**) der beiden jeweiligen Linsen (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) senkrecht zur optischen Achse zueinander versetzt sind.

39. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass sich die zueinander versetzten Scheitellinien (**33a**, **43a**; **33b**, **43b**) der Linsen einer Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) – entlang der optischen Achse betrachtet – kreuzen.

40. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Scheitellinien derart kreuzen, dass die Schnittpunkte (M_S) der Scheitellinien der ersten Linsengruppe (**3**) bzw. der zweiten Linsengruppe (**4**) in radialer Richtung zueinander versetzt sind.

41. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass die seitlichen Begrenzungslinien (**45**), die die einzelnen Linsen (**31**, **41**) in Umfangsrichtung (U) begrenzen, entlang der optischen Achse betrachtet, für die beiden Linsen (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) einer Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) deckungsgleich sind.

42. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Linsen (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**) einer Zelle (**31a**, **41a**; **31b**, **41b**), entlang der optischen Achse betrachtet, im Wesentlichen deckungsgleich sind.

43. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als optische Linsen diffraktive oder refraktive Linsen dienen.

44. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Linsen als mehrstufige diffraktive Struktur ausgebildet sind.

45. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messteilung (**20**) in einem Auflichtverfahren abtastbar ist oder dass die Messteilung (**20**) in einem Durchlichtverfahren abtastbar ist.

46. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlen (L) aus der Lichtquelle (**11**) vor dem Auftreffen auf die Maßverkörperung (**2**) mittels mindestens einer optischen Linse (**13**) parallelisiert wird.

47. Positionsmesseinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Maßverkörperung mehrere senkrecht

zur Erstreckungsrichtung der Messteilung nebeneinander angeordnete Spuren aufweist.

48. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der verschiedenen Spuren durch eine gemeinsame Linsenordnung abgebildet wird.

49. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der Spuren durch getrennte Linsenordnungen abgebildet wird.

50. Positionsmesseinrichtung nach Anspruch 17 und 49, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Gruppen der getrennten Linsenordnungen jeweils auf einem gemeinsamen Substrat gefertigt sind.

51. Positionsmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 47 bis 49, dadurch gekennzeichnet, dass die Maßverkörperung eine Absolutspur aufweist, die durch die Linsenordnung abgebildet wird.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

FIG 1

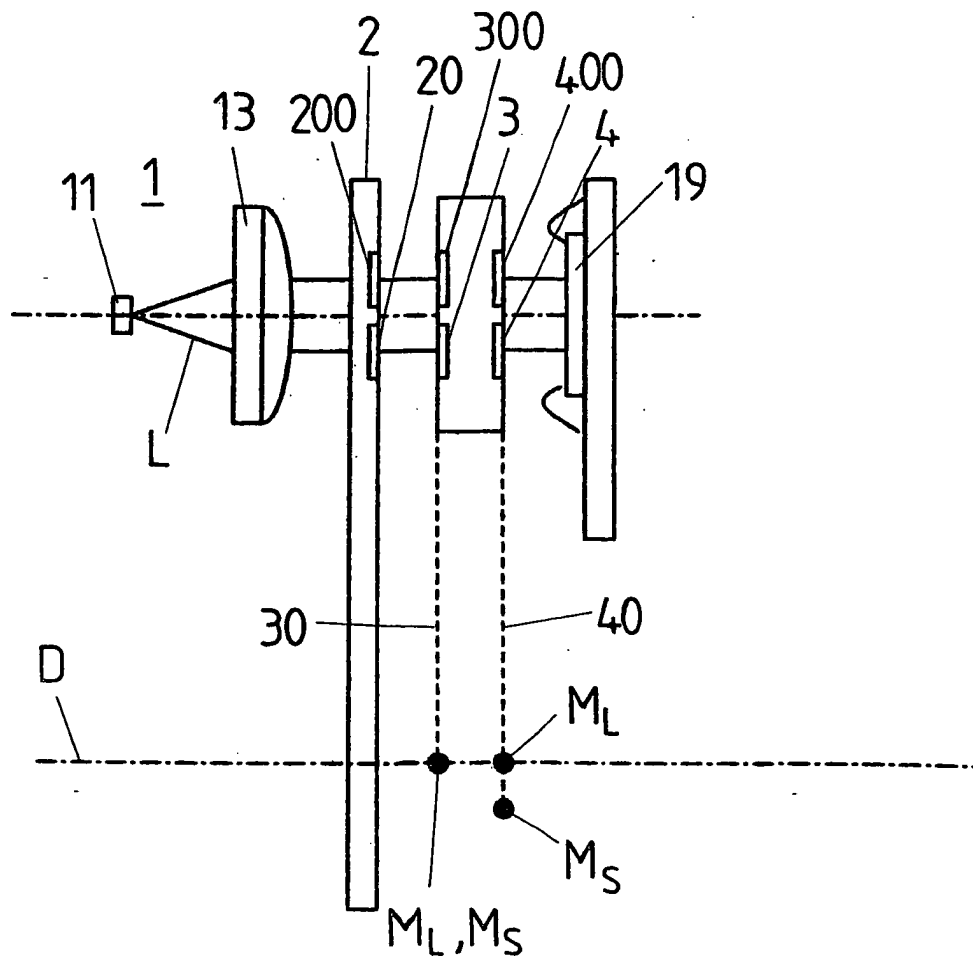


FIG 2A

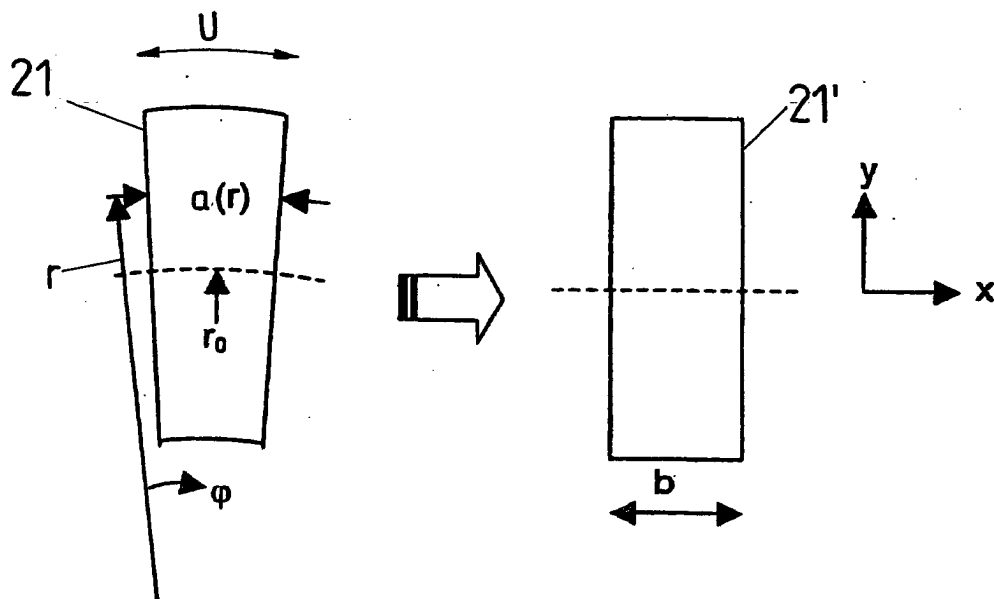


FIG 2B

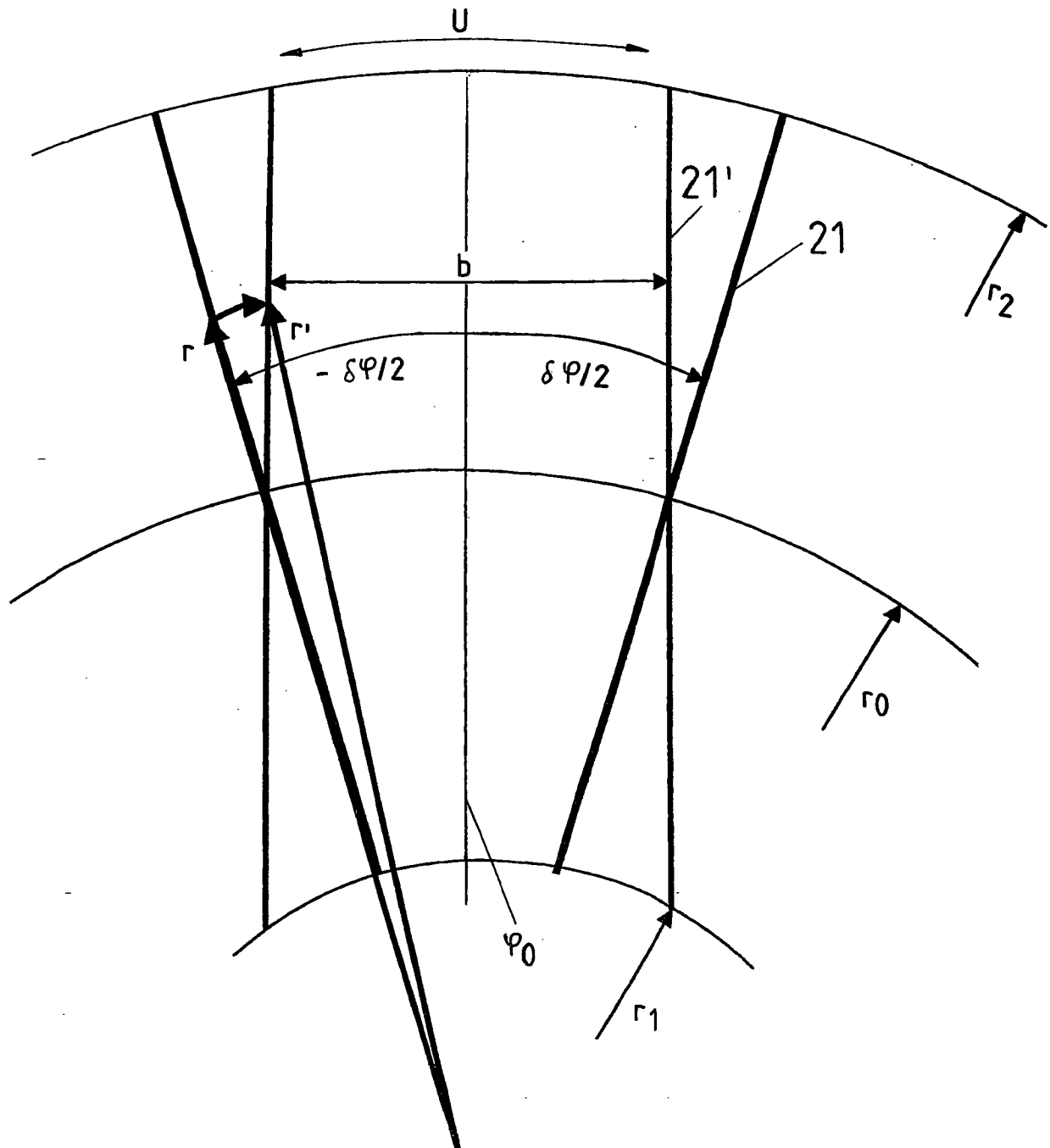


FIG 3A

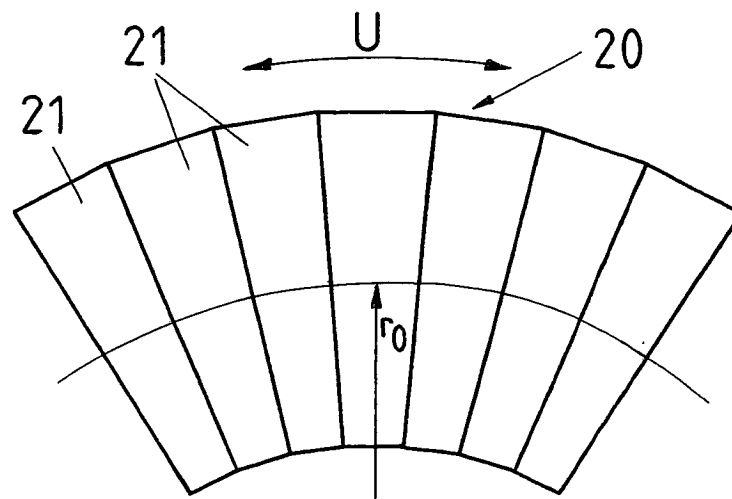


FIG 3B

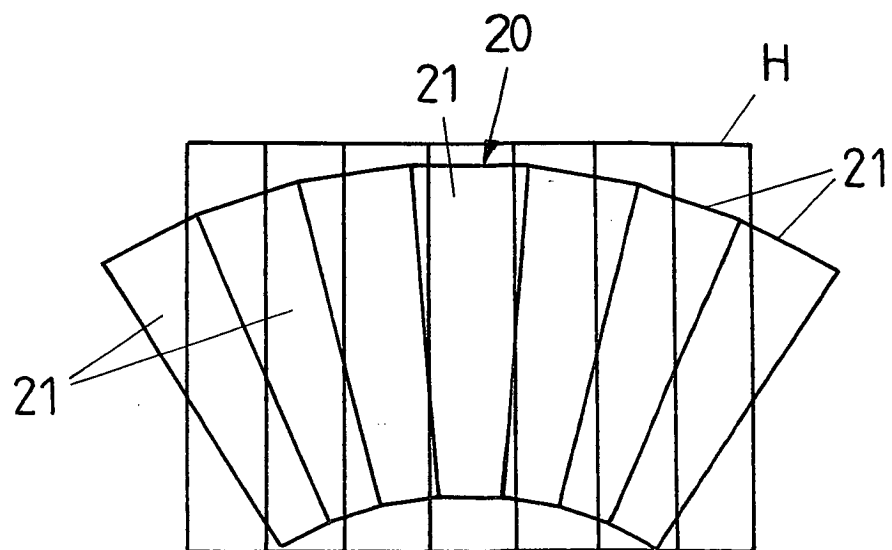


FIG 3C

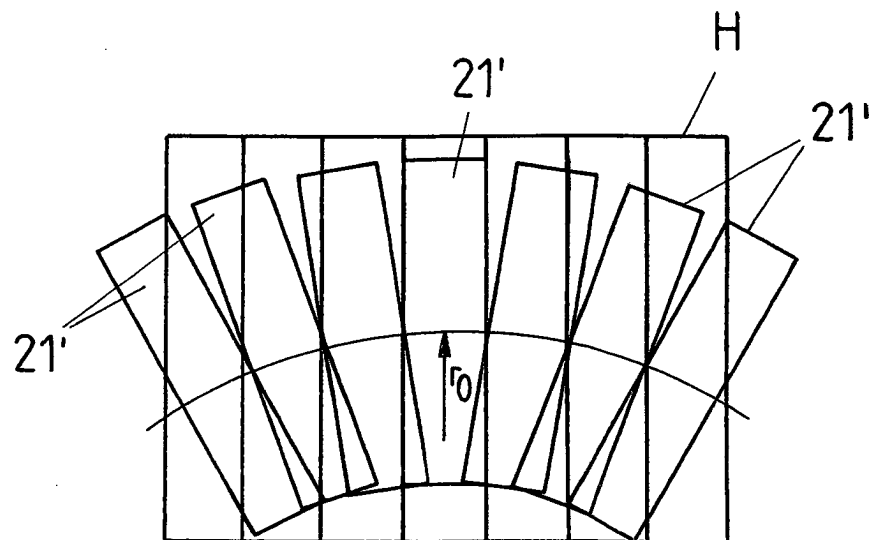


FIG 3D

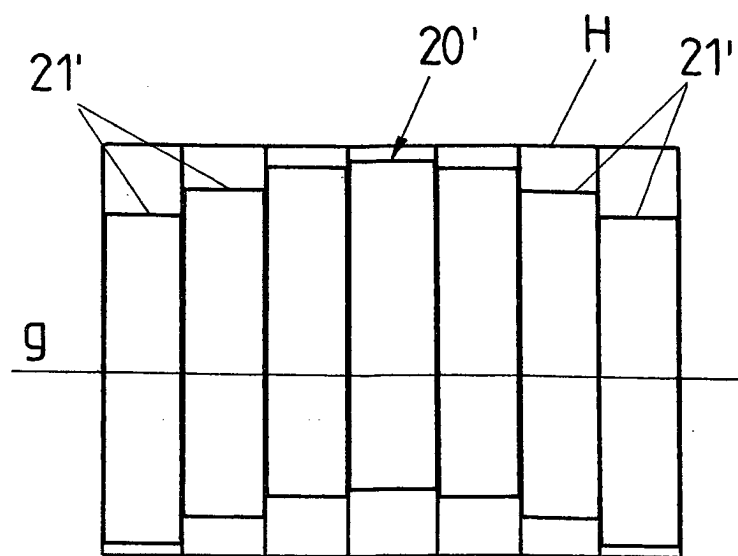


FIG 4A

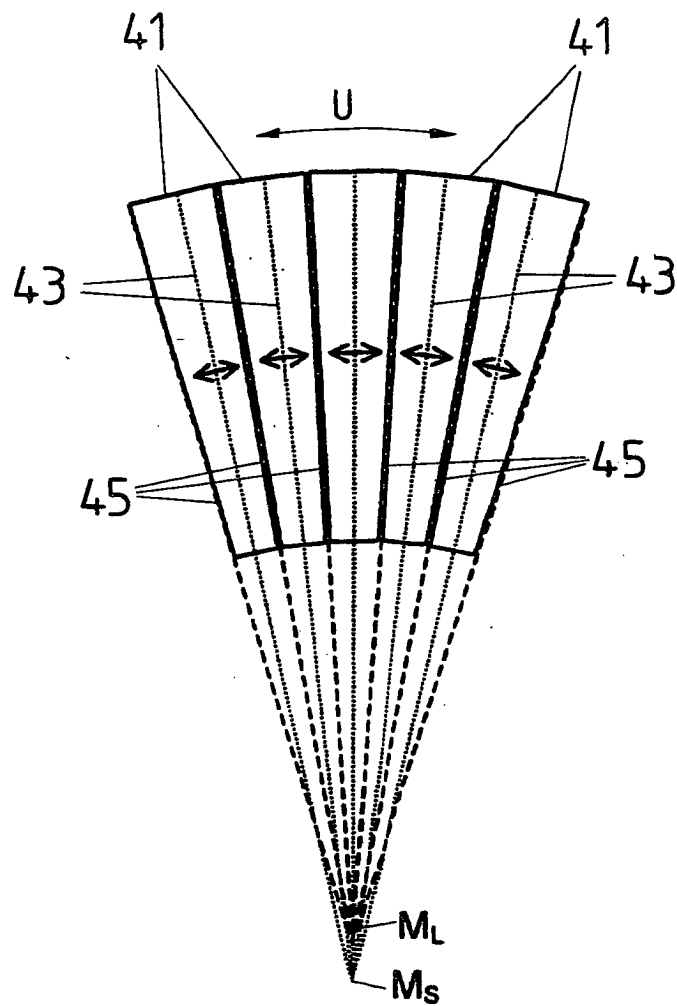


FIG 4B

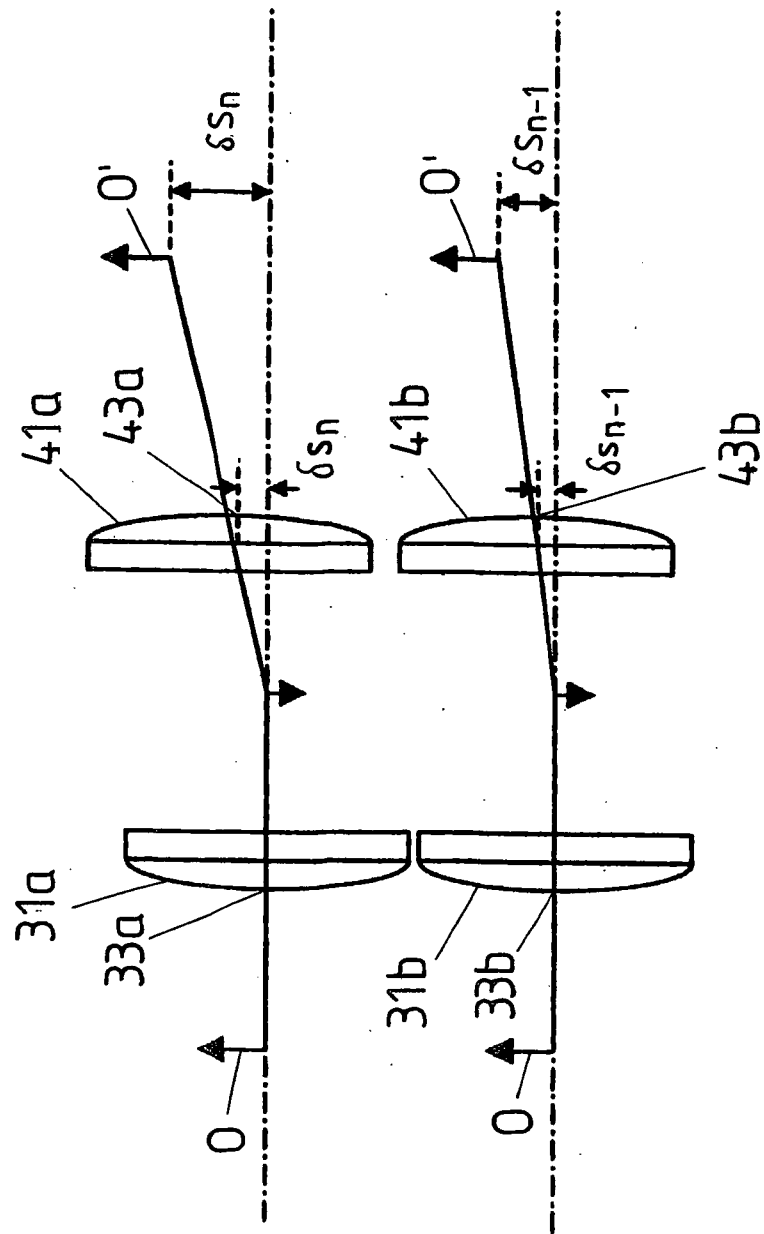


FIG 5

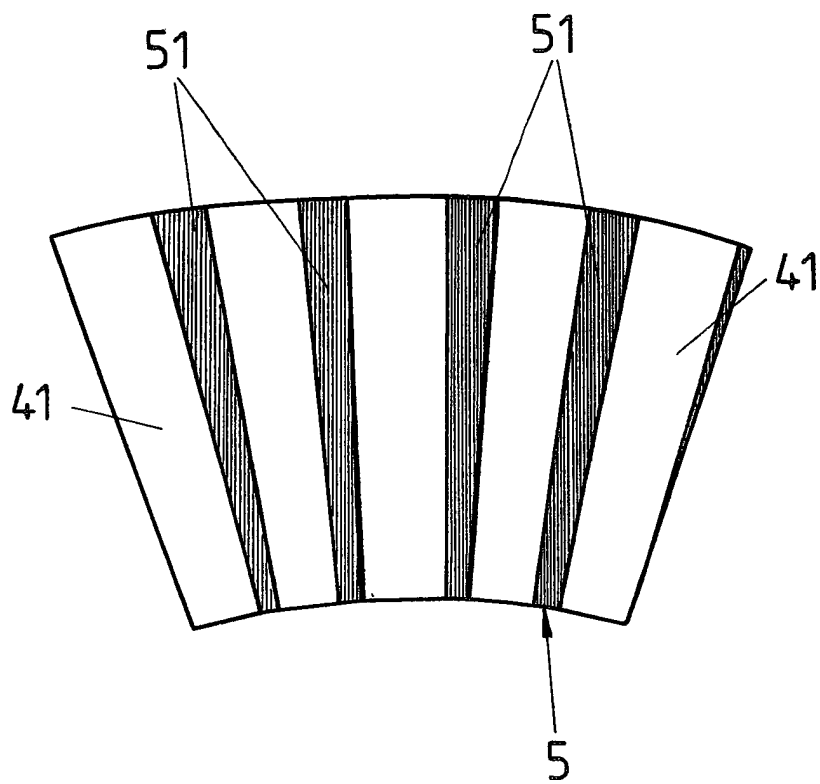


FIG 6

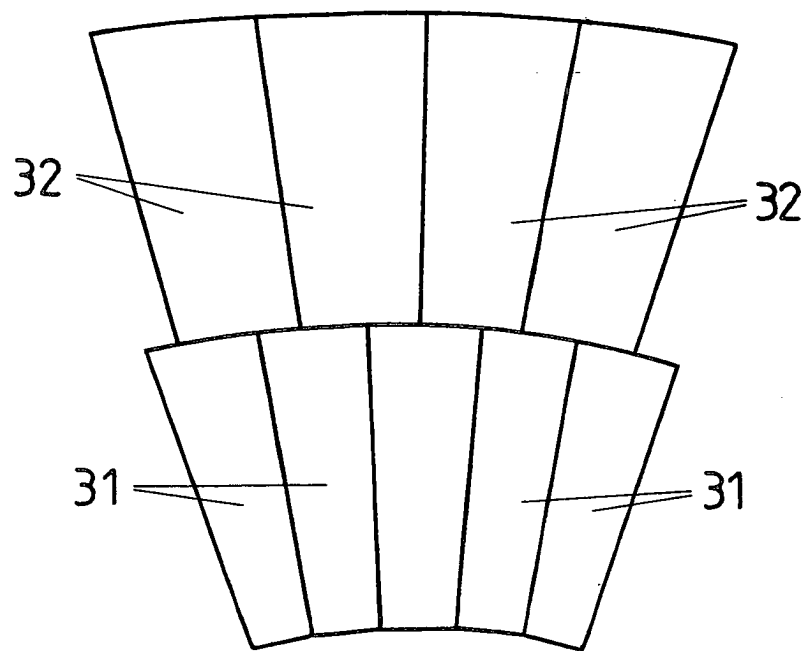


FIG 7

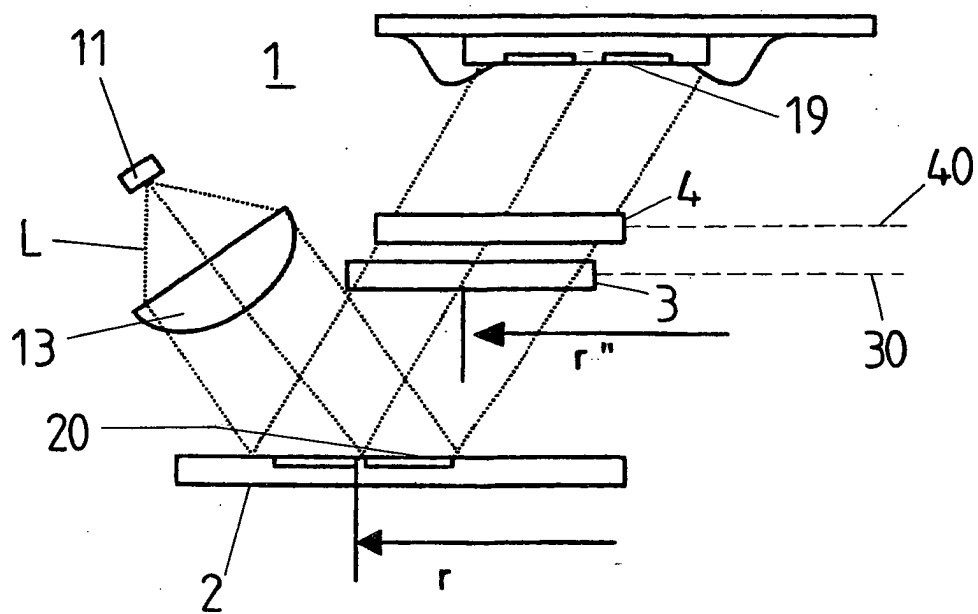


FIG 8

