



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 225 497 A1

4(51) G 01 B 11/02

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 B / 261 535 2

(22) 02.04.84

(44) 31.07.85

(71) VEB Carl Zeiss JENA, 6900 Jena, Carl-Zeiss-Straße 1, DD

(72) Schuchardt, Gerd, Dr. Dipl.-Ing.; Freitag, Hans-Joachim, Dr. Dipl.-Ing.; Thiemer, Rolf; Tzschach, Friedrich, Dipl.-Ing.; Voigt, Lothar, DD

(54) Einrichtung und Verfahren zum Messen und Einstellen von Längen

(57) Die Erfindung betrifft eine Einrichtung und ein Verfahren zum Messen und Einstellen von Längen. Anwendungsgebiet sind translatorische inkrementale Meßsysteme insbesondere auch bei großen Meßlängen ($l > 1$ m). Die Einrichtung besteht aus einer Rasterteilung auf einem Teilungsträger, einer Abtasteinrichtung mit mindestens zwei Empfängeranordnungen und aus einer Auswerteeinrichtung, wobei erfindungsgemäß die beiden Empfängeranordnungen zueinander einen hochgenauen Abstand A aufweisen und dieser Abstand A als Maßverkörperung dient. Die Rasterteilung stellt ein Stützstellensystem dar, wobei die Stützstellen durch das erfindungsgemäße Verfahren während der Messung die eigentlichen metrologischen Informationen zugewiesen werden. Dies erfolgt, indem mittels der zweiten Empfängeranordnung ein Korrekturwert ermittelt und dieser ausgewertet wird und die von der Einrichtung ausgegebene Sekundärsignalfolge aus der Primärsignalfolge unter Einbeziehung der ausgewerteten Korrekturwerte gebildet wird.

Erfindungsansprüche:

1. Einrichtung zum Messen und Einstellen von Längen, bestehend aus einer Rasterteilung auf einem Teilungsträger, aus einer Abtasteinrichtung mit mindestens zwei Empfängeranordnungen und aus einer Auswerteeinrichtung, **gekennzeichnet dadurch**, daß mindestens eine zweite Empfängeranordnung zur ersten Empfängeranordnung bezüglich der Teilungsrichtung einen hochgenauen Abstand A aufweist und der Abstand A die Basis für den metrologischen Anschluß der Einrichtung bildet.
2. Einrichtung nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß eine weitere Empfängeranordnung zur ersten Empfängeranordnung entgegengesetzt zur Teilungsrichtung vorhanden ist, und daß der Abstand zwischen dieser und der ersten Empfängeranordnung dem Abstand A entspricht.
3. Einrichtung nach Punkt 1 und 2, bei der die Rasterteilung aus mindestens 2 quasi-identischen Teilungsmarkengruppen zusammengesetzt ist, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Abstand A gleich einem ganzzahligen Vielfachen einschließlich dem Einfachen der Breite der Teilungsmarkengruppen ist.
4. Einrichtung nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Abstand A realisiert wird durch eine Materialstrecke, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient sehr klein ist.
5. Einrichtung nach Punkt 1 und 2, bei der die Rasterteilung von der Abtasteinrichtung mit optoelektronischen Mitteln abgetastet wird, **gekennzeichnet dadurch**, daß zur Einrichtung Bezugsflächen gehören, die in ihrem Reflexionsvermögen oder ihrer Transparenz abschnittsweise gradientenfrei sind bezüglich der Teilungsrichtung der Rasterteilung und über deren Abschnitten mindestens die an der Ableitung der Korrektursignale beteiligten optoelektronischen Kanäle der ersten und zweiten Empfängeranordnung bezüglich ihrer Nullpunktlage und der Signalteilheit vor jeder Messung anschließbar sind.
6. Einrichtung nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Bezugsflächen der Abtasteinrichtung zugeordnet sind und damit an beliebiger Stelle des Arbeitsbereiches der Einrichtung die optoelektronischen Kanäle anschließbar sind.
7. Verfahren zum Messen und Einstellen von Längen für eine Einrichtung, bestehend aus einer Rasterteilung auf einem Teilungsträger, aus einer Abtasteinrichtung mit mindestens zwei Empfängeranordnungen, die zueinander einen Abstand A aufweisen, und bestehend aus einer Auswerteeinrichtung, wobei von mindestens einer ersten Empfängeranordnung in bekannter Weise eine den Relativlagen zwischen Rasterteilung und Abtasteinrichtung zugeordnete Primärsignalfolge abgeleitet wird, **gekennzeichnet dadurch**, daß von mindestens einer zweiten Empfängeranordnung, die im Abstand A von der ersten Empfängeranordnung in der Abtasteinrichtung bezüglich der Teilungsrichtung angebracht ist, Korrektursignale in Wechselwirkung mit der Primärsignalfolge abgeleitet werden, die zwecks einer Korrektur der Primärsignale von der Auswerteeinrichtung mindestens beim ersten Überfahren des jeweiligen Bereiches der Rasterteilung während eines Meß- bzw. Positioniervorganges bei einer voranschreitenden Relativbewegung zwischen Rasterteilung und Abtasteinrichtung auf einem Weg B, der gleich dem Abstand A ist, jeweils mindestens einmal ausgewertet werden und wobei diese ausgewerteten Korrekturwerte ein Maß sind für die Differenz des Weges B zu dem wegäquivalenten Wert der Primärsignalfolge, der sich bei einer Bewegung der ersten Empfängeranordnung auf die Position der zweiten Empfängeranordnung ergibt, und daß von der Auswerteeinrichtung die Primärsignalfolge so ausgewertet wird, daß die für alle, auf eine beliebige Anfangsposition bezogenen Relativlagen von der Einrichtung abgegebene Sekundärsignalfolge aus der Primärsignalfolge unter Einbeziehung der von mindestens einer zweiten Empfängeranordnung abgeleiteten und von der Auswerteeinrichtung ausgewerteten Korrekturwerte gebildet wird.
8. Verfahren nach Punkt 7, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Abstand A, der die Basis für den metrologischen Anschluß der Einrichtung bildet, hinsichtlich seines hochgenauen Anschlusses an die Längeneinheit bestimmt wird, indem durch einen Vergleich der Anzeige der Einrichtung mit einem Eichnormal über einen bestimmten Verfahrensweg eine Rechengröße ermittelt und in der Auswerteeinrichtung gespeichert wird und im Rahmen eines Auswertalgorithmus den Anschluß der Einrichtung an die Längeneinheit gewährleistet.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Anwendungsgebiet der Erfindung sind translatorische inkrementale Meßsysteme, insbesondere auch zum Einsatz bei großen Meßlängen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Zum Messen und Einstellen von Längen und Winkeln ist es bekannt, inkrementale Meßsysteme zu verwenden. Hierbei besteht das Meßsystem aus mindestens einer als Längen- oder Winkelmeßverkörperung dienenden Rasterteilung auf einem Teilungsträger und aus einer Abtasteinrichtung, die zueinander beweglich sind und von denen eine den Relativlagen zwischen Rasterteilung und Abtasteinrichtung entsprechende Signalfolge abgeleitet wird. Diese elektrischen Ausgangssignale des Meßsystems werden einer elektronischen Auswerteschaltung zugeführt.

Die Genauigkeit des Meßsystems hängt in hohem Maße von der Genauigkeit der Rasterteilung des Teilungsträgers und vom Teilungsträger selbst ab. Es sind daher mehrere Lösungen bekannt, die die Technologie zum Aufbringen von hochgenauen Rasterteilungen, die Meßtechnologie zur Qualitätssicherung und die Ermittlung von Korrekturwerten betreffen (US-PS 3 100 345, DE-AS 1 05 15 19, DE-AS 1 26 69 86, CH-PS 47 40 49, DE-AS 1 15 56 11 u. a.). Die Aufwände für die Herstellung hochgenauer Rasterteilungen wachsen unter Beibehaltung der hohen Genauigkeitsanforderungen bei größer werdenden Meßlängen stark an.

Die bei der Herstellung der Rasterteilung erbrachte Genauigkeit einschließlich der ermittelten Korrekturwerte bezieht sich auf den bei der Herstellung gegebenen Zustand des Teilungsträgers. Wenn Alterungserscheinungen und Deformationen des Teilungsträgers beim Anwender auftreten, beeinträchtigt dies die erreichbare Genauigkeit. Daraus leiten sich bisher einerseits hohe Anforderungen an die Teilungsträger einschließlich Langzeitstabilität und andererseits anspruchsvolle Einbaubedingungen ab. Bekannte Meßsysteme verwenden als Teilungsträger Materialien, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient vergleichsweise groß ist (Glas, Stahl; $\alpha \approx 10 \mu\text{m}/\text{K} \cdot \text{m}$). Dadurch ist die Anzeige des Positionswertes abhängig von der jeweiligen Umgebungstemperatur, wenn nicht zu deren Kompensation wiederum spezielle Korrekturen vorgesehen werden.

Ziel der Erfindung

Unter Beibehaltung der Genauigkeit des Meßsystems soll eine Reduzierung der Anforderungen an die gesamte Rasterteilung, dabei insbesondere an den Teilungsträger sowie an die Technologie zum Aufbringen der Rasterteilung und deren Meßtechnologie erfolgen. Dabei soll die Systemgenauigkeit unabhängig sein von Alterungserscheinungen, Deformationen des Teilungsträgers und Temperatureinflüssen.

Die Lösung soll insbesondere auch für große Meßlängen ($l > 1\text{ m}$) geeignet sein.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zum Messen und Einstellen von Längen, bestehend aus einer Rasterteilung auf einem Teilungsträger, wobei die Rasterteilung nicht als Maßverkörperung dient, weiterhin bestehend aus einer Abtasteinrichtung und aus einer Auswerteinrichtung, und ein für diese Einrichtung geeignetes Meßverfahren zu schaffen. Die Aufgabe löst eine Einrichtung, bei der in der Abtasteinrichtung mindestens zwei Empfängeranordnungen vorgesehen sind, erfindungsgemäß dadurch, daß mindestens eine zweite Empfängeranordnung bezüglich der Teilungsrichtung zur ersten Empfängeranordnung einen hochgenauen Abstand A aufweist und der Abstand A die Basis für den metrologischen Anschluß der Einrichtung bildet. Es ist dabei vorteilhaft, wenn der Abstand A durch eine Materialstrecke realisiert wird, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient sehr klein ist.

Die Aufgabe löst weiterhin ein Verfahren erfindungsgemäß dadurch, daß von der zweiten Empfängeranordnung, die im Abstand A von der ersten Empfängeranordnung in der Abtasteinrichtung bezüglich der Teilungsrichtung angebracht ist, Korrektursignale in Wechselwirkung mit einer den Relativlagen zwischen Rasterteilung und Abtasteinrichtung entsprechenden Primärsignalfolge abgeleitet werden, die zwecks einer Korrektur der Primärsignalfolge von der Auswerteinrichtung bei einer voranschreitenden Relativbewegung zwischen Rasterteilung und Abtasteinrichtung auf einem Weg B, der gleich dem Abstand A ist, jeweils mindestens einmal ausgewertet werden und wobei diese ausgewerteten Korrekturwerte ein Maß sind für die Differenz des Weges B zu dem wegäquivalenten Wert der Primärsignalfolgen, der sich bei einer Bewegung der ersten Empfängeranordnung auf die Position der zweiten Empfängeranordnung ergibt und daß von der Auswerteinrichtung die Primärsignalfolge so ausgewertet wird, daß die für alle, auf eine beliebige Anfangsposition bezogenen Relativlagen von der Einrichtung abgegebene Sekundärsignalfolge aus der Primärsignalfolge unter Einbeziehung der von mindestens einer zweiten Empfängeranordnung abgeleiteten und von der Auswerteinrichtung ausgewerteten Korrekturwerte gebildet wird.

Erfindungsgemäß ist die Rasterteilung nicht als die eigentliche Maßverkörperung zu verwenden, sondern nur als Stützstellen, denen während der Messung die eigentlichen metrologischen Information laufend zugewiesen werden. Die eigentliche Maßverkörperung liegt in dem hochkonstant zu haltenden Abstand A zwischen zwei Empfängeranordnungen, von denen die erste Empfängeranordnung, ausgehend von einer definierten Ausgangsstellung nach dem Prinzip bekannter Rastersysteme Primärsignale liefert, deren positionsäquivalente Zuordnung abhängig von der fehlerbehafteten Rasterteilung ist. Diese Primärsignale sind jedoch nicht die Ausgangssignale der erfindungsgemäßen Einrichtung. Mittels der zweiten Empfängeranordnung wird durch Auswertung des von ihr erzeugten Signals eine Information gewonnen, welchen Abstand die von der ersten und der zweiten Empfängeranordnung abgetasteten Abschnitte der Rasterteilung voneinander haben, bezogen auf den Abstand A der beiden Empfängeranordnungen. Wenn man das Signal der zweiten Empfängeranordnung bei einer voranschreitenden Bewegung genau dann abfragt, wenn die erste Empfängeranordnung z. B. bei optoelektronischer Abtastung einer Rasterteilung nach bekannter Weise durch Triggerung ihres Analogspannungs-Nulldurchganges ihren Zählimpuls abgibt, dann läßt sich ermitteln, welchen Weg die erste Empfängeranordnung und damit die gesamte Abtasteinrichtung zurücklegen muß, um von der fotoelektrischen Mitte (K) ihres abgetasteten Abschnittes, also der Stelle, wo soeben der Zählimpuls ausgelöst wurde, zur fotoelektrischen Mitte (K + 1) des Abschnittes zu kommen, der gerade von der zweiten Empfängeranordnung abgetastet wird. Dieser Weg ergibt sich aus dem Abstand A plus dem vorzeichenbehafteten Produkt aus Signalteilheit und Signalgröße, also dem Korrektursignal, der zweiten Empfängeranordnung im Abtastmoment. Wiederholt man diesen Vorgang dann, wenn die erste Empfängeranordnung auf der fotoelektrischen Mitte (K + 1) steht, also dort wiederum ihren Zählimpuls liefert, kann man den Abstand zur fotoelektrischen Mitte des Abschnittes, wo jetzt die zweite Empfängeranordnung steht, ermitteln. Durch laufende Wiederholung dieses Vorganges an allen Stellen (K - 1), K, K + 1, K + 2 usw., ausgehend von der definierten Ausgangsstellung, erhält man in einer Auswerteinrichtung mittels bekannter hardware-Mittel und eines geeigneten Algorithmus (software) die Information, wo diese ausgezeichneten Stellen, unabhängig von der Anzahl ausgegebener Primärsignale der ersten Empfängeranordnung, tatsächlich liegen. Diese Angabe liegt vor im Sinne eines Kettenmaßes, wobei ein Summand jeweils aus dem konstanten Wert A und der jeweils mittels der zweiten Empfängeranordnung gemessenen Ablage davon besteht. Mittels der Auswerteinrichtung kann nun mit bekannten elektronischen Mitteln dafür gesorgt werden, daß die Anzahl der Sekundärimpulse, die von der erfindungsgemäßen Einrichtung als Ausgangsgröße ausgegeben werden, der jeweiligen realen Position entspricht, indem zur Primärimpulsfolge immer dann Korrekturimpulse hinzugefügt bzw. abgezogen werden, wenn dies im Rahmen der Genauigkeit des Systems für die Übereinstimmung von Anzeige des Systems mit der tatsächlichen Position notwendig ist.

Zur Erreichung vorteilhafter Effekte bei detaillierten Problemen der Informationsübernahme und Informationsverarbeitung ist es möglich und sinnvoll, auch zwischen den ausgezeichneten Stellen K, (K + 1), (K + 2) etc. eine Signalauswertung der zweiten Empfängeranordnung durchzuführen und diese informationelle Überbestimmung vorteilhaft auszunutzen.

Zur Realisierung sowohl einer Vorwärtsbewegung als auch einer Rückwärtsbewegung nach dem beschriebenen Prinzip ist es möglich, außer der genannten zweiten Empfängeranordnung eine ihr entsprechende funktionsanaloge Empfängeranordnung nach der in Teilungsrichtung anderen Seite hin im Abstand A neben der ersten Empfängeranordnung anzubringen. Daraus leiten sich für beide Verfahrensrichtungen die Informationen zur Bildung der Sekundärimpulse ab.

Besonders vorteilhaft ist es in Fällen, wo die Teilung aus mehreren quasi-identischen Teilungsmarkengruppen zusammengesetzt ist, gleichzeitig 3 vorteilhafte Bedingungen zu realisieren:

- a) Die Breite der Gegenraaster zumindest der ersten Abtasteinrichtung oder bei einer Matrix-Ausführung die effektive Breite ihrer Abtastgruppen soll gleich sein der Breite der Teilungsmarkengruppe
- b) Der Abstand A soll annähernd gleich sein der Breite der Teilungsmarkengruppe
- c) Die genannten ausgezeichneten Stellen (K - 1), K, (K + 1), (K + 2) usw. sollen durch geeignete Zuordnung der definierten Ausgangsstellung zur Lage der Teilungsmarkengruppen so gelegt werden, daß sie übereinstimmen mit den Mitten der Teilungsmarkengruppen.

Unter diesen Voraussetzungen ist eine besonders vorteilhafte Anpassung der Sekundärimpulse entsprechend der realen Position möglich, da zwischen den Stellen (K), (K + 1), (K + 2) etc. ein linearer Verlauf des Positionsfehlers der Primärsignale gegeben ist. Mit Einschränkung trifft dies auch zu, wenn bei den Bedingungen a) bis c) nicht die Breite der Teilungsmarkengruppe, sondern deren ganzzahliges Vielfaches als Kriterium benutzt wird.

Die Verwendung einer Matrix-Anordnung mehrerer Gegenraster bei der ersten Empfängeranordnung ist besonders empfehlenswert, um einerseits in bekannter Weise deren Vorteile hinsichtlich Kippinvarianz und Fehlerausgleichung auszunutzen, insbesondere aber, um die Bedingungen a) und b) einhalten zu können, wenn diese erste Empfängeranordnung gleichzeitig mehrere Gegenraster bzw. Abtastgruppen verschiedener Phasenlagen zwecks Bildung der Vor-Rückwärts-Informationen nach bekannter Weise enthalten soll.

Das genannte Korrektursignal ergibt sich, wie schon genannt, als vorzeichenbehaftetes Produkt aus Signalsteilheit und Signalgröße der zweiten Empfängeranordnung (bzw. einer dritten und weiter). Es ist also notwendig, diese Signalsteilheit als konstante Rechengröße in der Auswerteeinrichtung exakt zur Verfügung zu haben. Ihre zahlenmäßige Zuordnung ist genau dann richtig, wenn über gleiche Verfahrenswege bei Rasterteilungen mit unterschiedlichem Teilungsfehler (was sich z. B. durch unterschiedliches Spannen eines elastischen Teilungsträgers erreichen läßt), gleiche Anzeigewerte der Einrichtung ergeben. Ihre zahlenmäßige Zuordnung wird demzufolge so lange modifiziert, bis dies gewährleistet ist.

Bezugswert für die geschilderte Kettenmaßbildung ist der genannte Abstand A. Es ist nicht notwendig, diese Größe zwischen der ersten und zweiten bzw. weiteren Empfängeranordnung exakt einzustellen oder durch direkte Messung zu ermitteln, sondern es genügt, diesen Abstand im Rahmen des z. B. unter b) genannten Kriteriums annähernd zu realisieren, dabei allerdings die Langzeitkonstanz zu gewährleisten. Die exakte maßliche Zuordnung kann erfolgen, indem in die Auswerteeinrichtung zunächst ein etwaiger Näherungswert für A eingegeben und zur Bildung der Sekundärimpulse genutzt wird und die Anzeige der Einrichtung auf dieser Basis verglichen wird mit einem Eichnormal über einem bestimmten Verfahrensweg. Aus dem Vergleich ergibt sich eine Rechengröße, die in der Folge in der Auswerteeinrichtung gespeichert wird und den Anschluß der Einrichtung an die realen Positionen bzw. die Längeneinheit gewährleistet. Es kann bei einem Meßvorgang bzw. Positioniervorgang bei dem wiederholt Vor- und Rückwärtsbewegungen erfolgen, zweckmäßig sein, die ermittelten Korrektursignale aus der zweiten Empfängeranordnung in der Auswerteeinrichtung zu speichern und bei wiederholtem Überfahren der entsprechenden Stellen der Rasterteilung keine erneute Auswertung der Signale der zweiten Empfängeranordnung durchzuführen, sondern die gespeicherten Korrektursignale zu verwenden.

Die Konstanz der Basis A könnte beeinträchtigt werden durch die Nullpunktdrift der Empfängerkanäle und ihrer Beleuchtungseinrichtung, die an der Bildung der Korrektursignale beteiligt sind. Deshalb ist es vorteilhaft, diese Empfängerkanäle einschließlich ihrer Beleuchtungseinrichtung jederzeit vor oder nach einer Messung durch Flächen mit definierter Transparenz oder definiertem Reflexionsvermögen hinsichtlich ihrer Nullpunktlage und/oder Signalsteilheit anzuschließen bzw. zu kalibrieren. Um eine hochgenaue Positioniereinstellung dabei überflüssig zu machen, ist es vorteilhaft, diese Flächen in Teilungsrichtung in einer hinreichenden Breite homogen, also gradientenfrei, zu machen hinsichtlich ihrer Transparenz bzw. ihres Reflexionsvermögens. Diese genannten Flächen können fest auf dem Teilungsträger angeordnet sein oder auch, um an beliebiger Stelle des Arbeitsbereiches der Einrichtung mit einer Messung beginnen und dort den Nullpunktanschluß vornehmen zu können, der Abtasteinrichtung zugeordnet werden.

Da der Teilungsträger mit seiner Rasterteilung bei der erfindungsgemäßen Einrichtung nur ein Stützstellenraster darstellt und nicht als Maßverkörperung dient, ist es möglich, elastische Materialien zu verwenden und diese Teilungsträger bei der Anwendung unter Vorspannung einzubauen, wobei im Gegensatz zu bekannten Einrichtungen die Teilungsgenauigkeit verloren gehen darf. Dadurch wird erreicht, daß bei ausreichender Vorspannung bei Temperaturänderungen des Teilungsträgers auch während einer Messung alle Teilungsmarken ihre geometrische Lage beibehalten und somit die Temperatureinflüsse minimiert werden.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels näher beschrieben werden.

Auf einem Teilungsträger ist eine Rasterteilung aufgebracht, die aus Teilungsmarkengruppen von je 12 mm Länge zu je 1500 Teilungsmarken besteht (4 µm Strich, 4 µm Lücke).

Zur Einrichtung gehört eine gegenüber dem Teilungsträger bewegliche Abtasteinrichtung. Die Abtasteinrichtung weist zwei Empfängeranordnungen mit je zwei Gegenrastern auf. Die erste Empfängeranordnung hat ein Gegenraster der Phasenlage 0° und ein unter diesem Gegenraster angeordnetes zweites Gegenraster der Phasenlage 180°. Das erste Gegenraster der zweiten Empfängeranordnung ist neben dem ersten Gegenraster der ersten Empfängeranordnung angeordnet und weist die Phasenlage 180° auf. Das zweite Gegenraster der zweiten Empfängeranordnung ist neben dem zweiten Gegenraster der ersten und unter dem ersten Gegenraster der zweiten Empfängeranordnung angebracht und hat die Phasenlage 0°. Die beiden Empfängeranordnungen enthalten je 2 Gegenraster von 12 mm Breite und den Phasenlagen 0° und 180°. Sie haben zueinander einen etwaigen Abstand von A = 12 mm und sind gemeinsam auf einer Quarzplatte aufgebracht.

Bei einer voranschreitenden Bewegung möge die erste Empfängeranordnung dabei, mittels einer hier nicht beschriebenen Interpolationseinrichtung, eine Primärimpulsfolge von 1 Impuls pro 0,5 µm abgeben (T = 0,5 µm). Damit ergibt sich für die reale Bewegung von der Stelle x_{K-1} nach x_K folgender Verfahrensweg:

$$x_K - x_{K-1} = M + S \cdot U_K$$

Dabei möge sein:

M = Meßbasis, bestehend aus dem Abstand A und dazu der wegäquivalenten, mittels Graufäche reproduzierbar einstellbaren Lagen der Trigger-0-Punkte der Empfängerelektronik der ersten und zweiten Empfängeranordnung

S = Signalsteilheit (Spannung pro Wegänderung) der zweiten Empfängeranordnung

U_K = Signalspannung der zweiten Empfängeranordnung, wenn die erste Empfängeranordnung an der Stelle x_{K-1} ihren Abtastimpuls gibt, mittels AB-Wandlung digitalisiert.

Die ungefähre Breite der Meßbasis M ist andererseits etwa A oder auch $24000 \times 0,5 \mu\text{m} = 12 \text{ mm}$.

($N = 24000$ ist die Anzahl von Primärinkrementen beim Verfahrensweg über eine volle Teilungsmarkengruppe). Unter Einführung einer Korrekturkonstante K ergibt sich $M = N \cdot T + K$.

Damit ergibt sich eine Anzahl von Korrekturimpulsen KI_K , die im Intervall (x_{K-1}, x_K) aus den Primärimpulsfolge der ersten Empfängeranordnung die Bildung der Sekundärimpulsfolge ermöglichen als betragsmäßig nächst kleineres ganzzahliges Vielfaches aus dem Ausdruck

$$\left(\frac{K + S \cdot U_K + R_{K-1}}{T} \right).$$

Dabei ist R_{K-1} ein infolge der Quantelung mit $0,5 \mu\text{m}$ vom letzten Intervall her übriggebliebener Restbetrag. Er ergibt sich als R_K für den nächstfolgenden Anschluß als

$$R_K = (K + S \cdot U_K + R_{K-1}) - KI_K \cdot T \cdot 0,5 \mu\text{m}$$

Die Rasterteilung wird so hergestellt, daß die Anzahl der Korrekturimpulse immer negativ ist (Teilung zu kurz), so daß das Korrigieren immer nur im Unterdrücken von Impulsen und nicht noch im Hinzufügen besteht. Diese Korrektur kann mit einer Auswerteeinrichtung erfolgen, die aus einem Rechner mit geeigneter hard-ware-Ergänzung besteht, wobei mit bekannten elektronischen Mitteln im jeweiligen Intervall entsprechend dem Wert KI_K durch Unterdrückung von KI_K Impulsen aus der Primärimpulsfolge die dem realen Vorschub entsprechende Sekundärimpulsfolge entsteht, also zwischen x_{K-1} und x_K gerade $(N - KI_K)$ Sekundärimpulse ausgegeben werden.

Die Steilheit S ist ein, ausgehend von einer physikalisch realisierten Steilheit der zweiten Empfängeranordnung, zugrunde gelegter Rechenwert im Auswertalgorithmus, der bei der Inbetriebnahme des Systems so lange angepaßt wird, bis unabhängig von abgetasteten Rasterstrukturen mit unterschiedlichen Teilungsfehlern für einen bestimmten definierten Verfahrensweg jedesmal die gleiche Anzeige des Systems anhand der Sekundärimpulsfolge gegeben ist.

Die Korrekturgröße K ergibt sich, indem über einen Verfahrensweg von z. B. 1200 mm die Differenz zwischen Anzeige des Systems und diesem Verfahrensweg gebildet und entsprechend der Meßbasis zugeordnet wird:

$$K = \frac{\text{Anzeige} - 1200 \text{ mm}}{100}$$

Mit der Eingabe von diesem Zahlenwert K in den entsprechenden Speicherplatz der Auswerteeinrichtung und damit in den Auswertalgorithmus ist der metrologische Anschluß des Systems erfolgt, unabhängig davon, mit welchen Teilungsfehlern die Rasterteilungen beheftet sind, mit denen die Abtasteinrichtung betrieben wird.