



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

PATENTSCHRIFT

(19) DD (11) 222 394 A5

4(51) G 01 B 21/20

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP G 01 B / 260 471 0
 (31) 1.222/83-5

(22) 01.03.84
 (32) 07.03.83

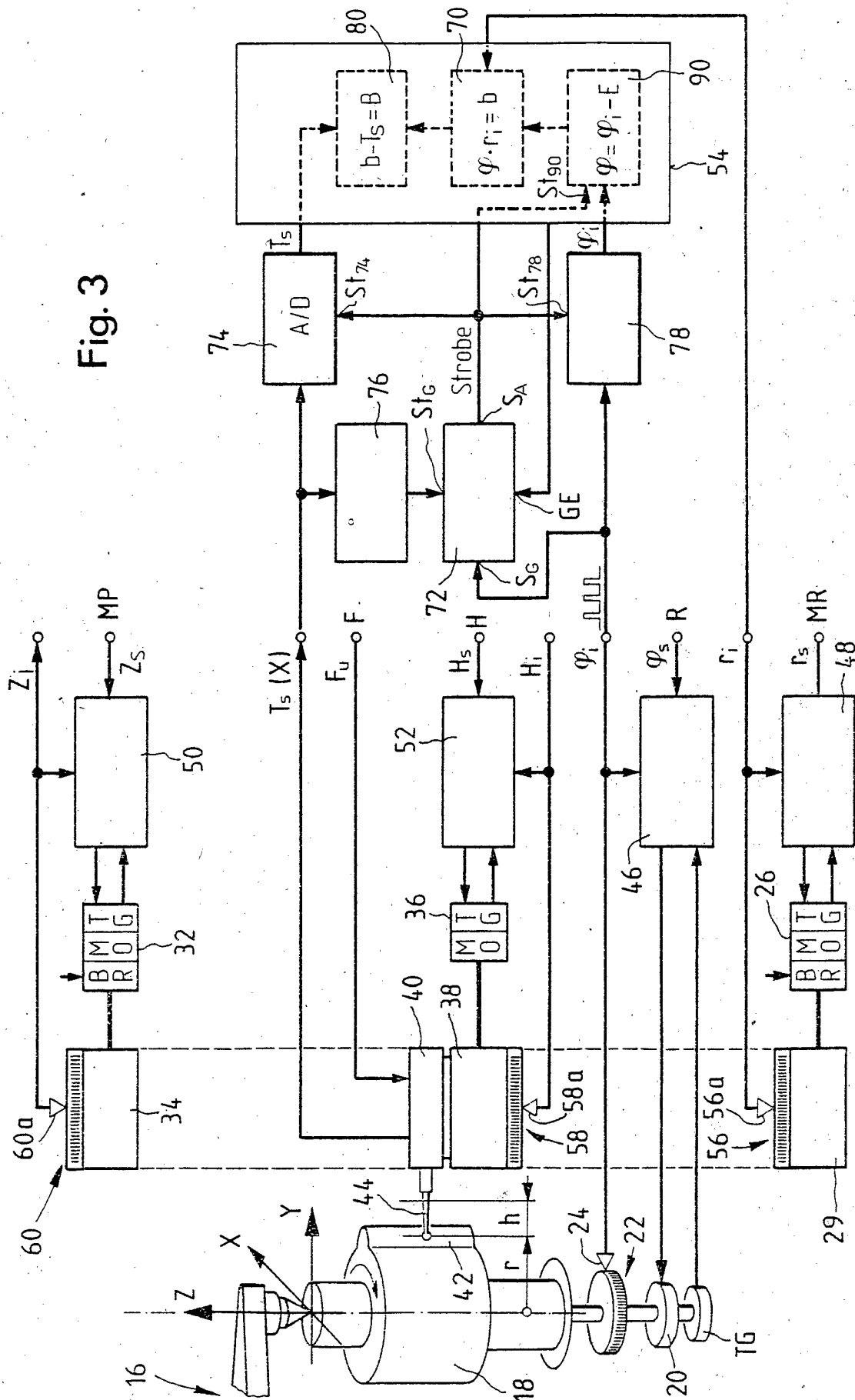
(44) 15.05.85
 (33) CH

(71) siehe (73)
 (72) Sterki, Armin, CH
 (73) Maag-Zahnräder und -Maschinen AG, 8023 Zürich, Hardstraße 219, CH

(54) Meßgerät und -verfahren zur Teilungsprüfung von Zahnrädern

(57) Das Meßgerät eignet sich zur Teilungsprüfung an Zahnrädern großer Durchmesser, da das Meßergebnis durch die endliche Auflösung des Strichgitters des Winkelmeßwertgebers (22) nicht nachteilig beeinflusst wird. Die vom Winkelmeßwertgeber (22) gelieferten Impulse ϕ_i werden zusammen mit dem von einem Radiusmeßsystem (56) gelieferten Wert r_i des eingestellten Meßradius in einen Rechner (54) eingegeben, der daraus den entsprechenden Bogen b berechnet. Die der Tastfingerauslenkung entsprechende Wegstrecke $T_s(x)$ wird ab dem Beginn des durch einen Bereichskomparator (76) erkannten linearen Bereiches des Meßtasters gemessen. Ein Gatter (72) bewirkt, daß aus der berechneten Bogenlänge b und der ermittelten Wegstrecke T_s beim nächsten Impuls aus dem Winkelmeßwertgeber (22) der wahre Bogen B auf dem Meßkreis und daraus die Teilung des Zahnrades durch den Rechner (54) berechnet wird. Fig. 3

Fig. 3



Erfindungsansprüche:

1. Meßgerät zur Teilungsprüfung von Zahnrädern, mit einem Meßtaster, der einen durch eine Zahnflanke auslenkbaren Tastfinger hat und auf wenigstens einem bezüglich des Zahnrads radial verfahrbaren ersten Schlitten befestigt ist, mit einem Drehantrieb für das Zahnrad und mit einem mit dem Zahnrad verbundenen Winkelmeßwertgeber, der mit einer Steuer- und Recheneinrichtung zur Meßsteuerung und Meßwertermittlung verbunden ist, **gekennzeichnet durch**:
 - ein dem ersten Schlitten (29) zugeordnetes Radiusmeßsystem (56) zum Messen des eingestellten Meßradius (r_i);
 - eine mit dem Radiusmeßsystem und einer Winkelkorrekturschaltung (90) verbundene Multiplizierschaltung (70);
 - einen zwischen den Winkelmeßwertgeber (22) und die Winkelkorrekturschaltung (90) geschalteten Speicherflipflop (78);
 - einen zwischen dem Meßtaster (40) und einen Rechner (54) geschalteten A/D-Wandler (74);
 - ein Gatter (72), dessen Signaleingang (S_G) mit dem Winkelmeßwertgeber verbunden ist und dessen Signalausgang (S_A) mit Steuereingängen (St_{54} ; St_{78} ; St_{90}) des A/D-Wandlers, des Speicherflipflops bzw. der Winkelkorrekturschaltung verbunden ist, um bei dem nach dem Beginn des linearen Bereiches des Meßtasters aus dem Winkelmeßwertgeber kommenden Impuls die in dem A/D-Wandler und dem Speicherflipflop enthaltenen Meßwerte (ϕ_i ; T_s) festzuhalten und in der Winkelkorrekturschaltung die Winkelkorrektur auszulösen;
 - einen für den Meßtaster mit mechanisch vorgespanntem Tastfinger (44) vorgesehenen und auf das Meßtasterausgangssignal ($T_s(x)$) bei dem Beginn des Linearitätsbereiches des Meßtasters ansprechenden Bereichskomparator (76), der zwischen dem A/D-Wandler und einen Steuereingang (St_{67}) des Gatters angeordnet ist, welcher letzteres einen mit dem Rechner (54) verbundenen Freibeeingang (GE) hat; und
 - eine in dem Rechner vorgesehene und mit dem Ausgang des A/D-Wandlers und der Multiplizierschaltung verbundene Summierschaltung (80) zum vorzeichenrichtigen Summieren der von dem A/D-Wandler (74) und der Multiplizierschaltung (70) gelieferten Meßwerte (T ; b), um den wahren Bogen (B) auf dem Meßkreis und daraus die Teilung zu ermitteln.
2. Meßgerät nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrekturschaltung (90) eine Korrekturtabelle hat, die die Werte des systematischen Fehlers (E) in Abhängigkeit vom Drehwinkel (ϕ_i) und vom Meßradius (r_i) enthält, mit denen aus dem gemessenen Drehwinkel (ϕ_i) ein korrigierter Drehwinkel (ϕ) gebildet wird.
3. Meßgerät nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet durch** einen zwischen dem Meßtaster (40) und dem ersten Schlitten (29) angeordneten zweiten Schlitten (38) zum Verfahren des Meßtasters in einem Meßhub (h), dessen eine Hubgrenze innerhalb des Zahnradumfanges auf dem Meßkreis und dessen andere Hubgrenze außerhalb des Zahnradumfanges liegt.
4. Meßgerät nach Anspruch 3, **gekennzeichnet durch** einen den ersten und den zweiten Schlitten (29, 38) tragenden dritten Schlitten (34) zum Einstellen der Meßposition des Meßtasters (40) in zur Zahnradachse (Z) paralleler Richtung.
5. Meßverfahren zur Teilungsprüfung von Zahnrädern durch einen Meßtaster, der einen durch eine Zahnflanke auslenkbaren Tastfinger hat und bezüglich des Zahnrads wenigstens radial verfahrbar ist, und durch einen Winkelmeßwertgeber, dessen dem Drehwinkel entsprechende Impulse gezählt werden, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
 - 1) Zählen der Drehwinkelimpulse während der Auslenkung des Tastfingers und Speichern der entsprechenden Winkelwerte ϕ_i ,
 - 2) Messen der der Tastfingeräuslenkung entsprechenden Wegstrecke T_s zwischen dem Beginn des linearen Bereiches des Meßtasters und dem nächstfolgenden Drehwinkelimpuls,
 - 3) Berechnen des um den systematischen Fehler E korrigierten Drehwinkels ϕ aus dem gespeicherten Winkelwert ϕ_i ,
 - 4) Umrechnen des korrigierten Drehwinkels mit dem Meßradius r_i in die der Drehung des Zahnrads entsprechende Bodenlänge b ,
 - 5) Berechnen des wahren Bogens (B) auf dem Meßkreis als Grundlage zur Ermittlung der Teilung aus dem Bogen b und der Tasterauslegung T_s .

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Meßgerät und ein Meßverfahren zur Teilungsprüfung von Zahnrädern, bestehend aus einem radial verfahrbaren Meßtaster, einem Drehantrieb für das Zahnrad und einem mit dem Zahnrad verbundenen Winkelmeßwertgeber, der an eine Steuer- und Recheneinrichtung zur Meßsteuerung und Meßwertermittlung angeschlossen ist.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Ein solches Meßgerät, bei welchem sich das Zahnrad während der Messung ununterbrochen dreht, ist bereits aus den DE-OS 3 125 929 bekannt. Dieses Meßgerät eignet sich nur zur Messung der Außen- und Innenverzahnung kleiner und kleinster Zahnräder, weil infolge der begrenzten Auflösung des Winkelmeßwertgebers die Messung mit zunehmendem Meßkreisradius immer ungenauer wird. Im Winkelmeßwertgeber wird zwar ein Gittermaßstab mit höchstmöglicher Auflösung verwendet, wobei die einzelnen Gitterstriche als Impulsgeber dienen. Wenn der Durchmesser des zu prüfenden Zahnrades jedoch wesentlich größer ist als der Durchmesser des Winkelmeßwertgebers, so können Auslenkungen des Tastfingers zwischen zwei Gitterstrichen liegen und sind nicht erfassbar, weil die Zähleinheit des Meßgerätes nur durch Gitterstriche ausgelöste Impulse als Winkelmeßwerte zählen kann. Für die auf den Meßradius r bezogene Meßunsicherheit des bekannten Gerätes gilt folgende Gleichung:

$$U_r = \underbrace{\frac{t_s}{2} \cdot \frac{r}{r_w}}_A + \underbrace{\left(\sigma_a + \frac{\varphi_i}{2\pi \cdot K} \right)}_B \cdot r \quad (\text{mm}) - \text{Bogenlänge} - \underbrace{\quad}_E$$



wobei gilt t_s : Strichgitterteilung (mm) — Bogenlänge —
 r : Meßradius (mm)
 r_w : Radius der das Strichgitter tragenden Kreisscheibe des Winkelmeßwertgebers in mm
 σ_a : Abtastunsicherheit der Strichgitterteilung und zufälligen Fehler der mechanischen Anordnung (rad.)
 (unabhängig vom Winkelmeßwertgeber, der Methode der Abtastung derselben und der für die Winkelmessung relevanten mechanischen Anordnung)
 φ_i : Drehwinkel (rad)
 K : Konstanter Faktor (abhängig vom Meßwertgeber und vom Rundtisch, auf dem das Zahnrad aufgespannt ist).
 — dimensionslos —

Die Gesamtmeßunsicherheit U , setzt sich zusammen aus den zufälligen Fehlern A und D und dem systematischen Fehler E . Alle diese Fehler wachsen linear mit dem Meßradius r .

Ziel der Erfindung

Durch die Erfindung werden die aufgezeigten Nachteile beseitigt, wobei Teilungsprüfungen an Zahnrädern großer Durchmesserbereiche mit hoher Meßgenauigkeit durchgeführt werden können.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Meßgerät und ein Meßverfahren der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß die Meßunsicherheit U , durch Eliminierung der Fehler A und E verkleinert wird.

Diese Aufgabe ist durch die im Kennzeichnen der Ansprüche 1 und 5 angegebenen Merkmale bzw. Schritte gelöst.

Bei dem Meßgerät und dem Meßverfahren nach der Erfindung ergibt sich als nicht weiter reduzierbare Meßunsicherheit U_{95} (d. h. als Meßunsicherheit für 95 % der Meßwerte auf dem Meßradius r):

$$U_{95} = \sigma_a \cdot r \text{ (mm) — Bogenlänge —}$$

Bei dem Meßgerät und dem Meßverfahren nach der Erfindung erfolgt die Messung des Winkelwertes φ_i auf der exakten Inkrementkante des Strichgitters. φ_i wird anschließend im Rechner um den systematischen Fehler E korrigiert.

Mit dem genauen Winkelwert und dem zusätzlich gemessenen Meßkreisradius r_i wird die Bogenlänge b bestimmt. Zusätzlich wird innerhalb einer Strichgitterteilung die Auslenkung T_s des Tastfingers bestimmt, und aus den beiden Werten b und T_s wird der wahre Bogen B auf dem Meßkreis als Teilung ermittelt. Durch die durch den Meßtaster erfolgende Feinauflösung wird also der Einfluß der Strichgitterteilung und des Verhältnisses des Meßkreisradius zum Winkelmeßwertgeberraadius auf die Meßunsicherheit eliminiert und dadurch der zufällige Fehler A beseitigt.

Durch die Korrektur von φ_i mit E wird der systematische Fehler also eliminiert. Dies geschieht in der Praxis dadurch, daß bei jedem Meßgerät, dessen gesamte Rundtischeinheit mit einer geeichten Winkelmeßeinrichtung — z. B. einem optischen Polygon mit photoelektrischem Autocollimator — vermessen wird und die daraus ermittelbaren systematischen Fehler in einer Korrekturtabelle abgespeichert werden. Eine solche Korrekturtabelle enthält dann etwa folgendes Aussehen:

φ_i	E
φ_0	
φ_n	
$\varphi_{2\pi}$	

Zu jeder Position φ_i gehört also ein Korrekturwert E . Die Korrekturtabelle ist jeweils im Speicher des zugehörigen Rechners des Meßgerätes fest abgespeichert. Die Messung, auch größter Zahnräder, ist dadurch von der Auflösung der Strichgitterteilung unabhängig.

In der Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 2 ist das Meßgerät insbesondere für einen selbsttätig ablaufenden Meßvorgang geeignet, denn der mit dem ersten Schlitten einmal eingestellte Meßkreisradius r bleibt erhalten, und der zweite Schlitten bewegt den Meßtaster in einem Meßhub aus einer Zahnücke heraus und in die nächste hinein wieder bis zum Meßkreis. Die Steuerung der Bewegung des zweiten Schlittens erfolgt dabei ebenfalls durch den Rechner, der ein dafür geeignetes Steuerprogramm enthalten kann.

In der Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 3 lassen sich zusätzlich Meßkreise in bestimmten Höhen einstellen. Auch der dritte Schlitten kann dabei vom Rechner aus gesteuert werden.

Ausführungsbeispiel

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben.

Es zeigt:

Fig. 1: eine Zahnradmeßmaschine, auf der eine Teilungsprüfung mit dem Meßgerät nach der Erfindung durchführbar ist,

Fig. 2: die Meßanordnung des Meßgerätes in einer schematischen Draufsicht und

Fig. 3: den Aufbau des Meßgerätes.

Fig. 1 zeigt eine Zahnradmeßmaschine 10, in die ein Zahnrad 18 zwischen Spitzen 14 eines horizontal verfahrbaren Gegenhalters 16 eingespannt ist. Das zu messende Zahnrad 18 ist in Fig. 3 symbolisch mit nur einem Zahn dargestellt. Unter der unteren Spitze 14 befinden sich ein Drehantrieb 20 und ein Winkelmeßwertgeber 22, der eine Kreisscheibe mit einem Strichgitter aufweist, dessen Striche jeweils an der Strichkante durch einen Abtastkopf 24 abgetastet werden und dabei jeweils einen Impuls ergeben. Die untere Spitze 14 kann beim Einspannen eines zu prüfenden Zahnrades durch einen Rundtisch oder dgl. ersetzt werden (wie in Fig. 3 symbolisch dargestellt), mit dem das Zahnrad fest verbunden wird.

Auf der Zahnradmeßmaschine 10 ist, in X-Richtung durch einen X-Antrieb 30 verfahrbar, ein X-Schlitten 28 angeordnet, der einen in Y-Richtung durch einen Y-Antrieb 26 verfahrbaren Y-Schlitten 29 trägt, welcher einen durch einen Z-Antrieb 32 in Z-Richtung verfahrbaren Z-Schlitten 34 trägt, der seinerseits einen bezüglich des zu prüfenden Zahnrades 18 in radialer Richtung mittels eines H-Antriebs 36 verfahrbaren H-Schlitten 38 trägt, an welchem ein Meßtaster 40 befestigt ist. Der Meßtaster 40 hat einen durch eine Flanke 42 des zu prüfenden Zahnrades 18 auslenkbaren Tastfinger 44, der in dem hier beschriebenen Beispiel am vorderen Ende eine Tastkugel trägt. Die genannten Antriebe sind jeweils Drehantriebe, die jeweils über eine Spindel den ihnen zugeordneten Schlitten verfahren und jeweils einen Motor MO und einen Tachogenerator TG zur genauen Steuerung der Schlittenverstellung aufweisen. Der Z- und Y-Antrieb weisen zusätzlich noch eine Bremse BR auf, mittels welcher sich eine einmal eingestellte Schlittenstellung festhalten läßt.

Den Antrieben 20, 26, 30 (der X-Antrieb ist in Fig. 3 nicht dargestellt), 32 und 36 ist gemäß Fig. 3 jeweils ein Wegprozessor zugeordnet, nämlich ein φ -Wegprozessor 46, ein Y-Wegprozessor 48, ein Z-Wegprozessor 50 bzw. ein H-Wegprozessor 52. Der φ -Wegprozessor 46 ist in einem Kanal R für die Drehung des zu prüfenden Zahnrads 18 enthalten. Der Y-Wegprozessor 48 ist in einem Kanal MR für den Meßradius enthalten. Der H-Wegprozessor 52 ist in einem Kanal H für die Meßhubposition (in radialer Richtung bezüglich des zu prüfenden Zahnrades) enthalten. Der Z-Wegprozessor 50 ist in einem Kanal MP für die Meßposition (auf der Z-Achse) enthalten. In den Kanal MR wird, von Hand oder durch einen Rechner 54, ein Sollwert r_s des Meßradius r eingegeben. Ebenso wird in den Kanal R der Sollwert φ_s des Drehwinkels φ , in den Kanal H der Sollwert H_s der Meßhubposition und in den Kanal MP der Sollwert Z_s der Meßposition eingegeben.

Den Schlitten 29, 34 und 38 ist jeweils ein Wegmeßsystem 56, 58 bzw. 60 zugeordnet, das in dem hier beschriebenen Beispiel aus einem mit dem Schlitten fest verbundenen Strichgittermaßstab (z. B. einem Glasmaßstab) besteht, der durch einen Abtastkopf 56a, 58a bzw. 60a abgetastet wird, der den Istwert des betreffenden Parameters liefert (hier mit dem Index i bezeichnet). Die Istwerte werden von dem jeweiligen Wegprozessor zum genauen Einstellen des durch den Sollwert vorgegebenen Parameters verwendet. Die Istwerte können weiter in dem Rechner 54 ausgewertet werden (die entsprechenden Verbindungen sind, soweit sie für die Erfindung nicht von Bedeutung sind, der Übersichtlichkeit halber in Fig. 3 nicht dargestellt). Der Ausgang des Radiusmeßsystems 56 ist mit einem Eingang einer in dem Rechner 54 enthaltenen, hard- oder softwaremäßig ausgeführten Multiplizierschaltung 70 verbunden. Ein weiterer Eingang der Multiplizierschaltung 70 ist mit dem Ausgang einer in dem Rechner 54 enthaltenen, hard- oder softwaremäßig ausgeführten Korrekturschaltung 90 verbunden. Der Ausgang des Winkelmeßwertgebers 22 ist mit dem Signaleingang eines die Funktion eines Impulszählers und -speichers ausübenden Speicherflipflops 78 und außerdem mit einem Signaleingang S_G eines Gatters (Gate) 72 verbunden. Der Signalausgang des auf dem H-Schlitten 38 befestigten Meßtasters 40 ist jeweils mit dem Signaleingang eines Analog/Digital (A/D)-Wandlers 74 und eines Bereichskomparators 76 verbunden. Der Ausgang des Bereichskomparators 76 ist mit einem Steuereingang St_G des Gatters 72 verbunden. Das Gatter 72 hat außerdem einen Freigabeeingang GE (GATE ENABLE), der mit einem Ausgang des Rechners 54 verbunden ist. Das Gatter 72 hat weiter einen Signalausgang SA, der mit einem Steuereingang St_{74} des A/D-Wandlers 74, mit einem Steuereingang St_{78} des Speicherflipflops 78 und mit einem Steuereingang St_{90} der Korrekturschaltung 90 verbunden ist. Der Signalausgang des Speicherflipflops 78 ist mit dem Eingang der Korrekturschaltung 90 verbunden. Der Ausgang des A/D-Wandlers 74 ist mit einer in dem Rechner 54 enthaltenen, hard- oder softwaremäßig ausgeführten Summierschaltung 80 verbunden, zwischen dem Rechner 54 und der in Fig. 3 außerhalb von ihm befindlichen Schaltung ist in der Praxis noch ein Interface angeordnet, das aus Vereinfachungsgründen nicht dargestellt worden ist.

Der bei dem Meßtaster 40 verwendete Tastfinger 44 ist mechanisch vorgespannt, je nach der abzutastenden Flanke nach links oder rechts. Die auf den Tastfinger auszuübende mechanische Vorspannung und deren Richtung, je nachdem, ob die abzutastende Flanke eine linke oder rechte Flanke ist, wird in einem Kanal F eingestellt. Der Tastfinger 44 erreicht, ausgelenkt durch die Zahnflanke, nach einer bestimmten Auslenkung den linearen Meßbereich des Meßtasters, der durch den Bereichskomparator erkannt wird. Fig. 2 zeigt den Meßtaster 40, bei dem der Tastfinger 44 zum Messen der Teilung an einer rechten Zahnflanke 42 am Anfang noch links vorgespannt ist. Bevor die Zahnflanke 42 die Tastkugel des Tastfingers 44 berührt, befindet sich die Tastkugel in einer Stellung, die etwas weiter links von der in Fig. 2 gezeigten gestrichelten Stellung ist. Die sich in Fig. 2 im Uhrzeigersinn bewegend Zahnflanke 42 kommt mit der Tastkugel in Berührung und nimmt diese im Uhrzeigersinn mit. Wenn die Tastkugel die gestrichelte Stellung erreicht, befindet sie sich am Beginn des linearen Bereiches des Meßtasters, der durch den Bereichskomparator 76 erkannt wird, wie weiter unten noch näher dargelegt. Die Strecke bis zum Erreichen des nächsten folgenden Striches des Strichgitters des Winkelmeßwertgebers 22 (in dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel in einer Linie mit dem Punkt P_1) entspricht der Tastenauslenkung T_s .

Die Arbeitsweise des Meßgerätes wird nun unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben.

Der Rechner 54 (Fig. 3) enthält ein Steuerprogramm, mittels welchem aufgrund der in den Rechner eingegebenen Daten der Meßablauf und die Meßwertverarbeitung gesteuert werden. Nach dem Aufspannen des zu prüfenden Zahnrads 18 wird, gesteuert durch den Rechner 54, der Tastfinger 44 mittels des X-Schlittens 28 (Fig. 1) in die Meßausgangsstellung gebracht, in der der Tastfinger in die erste Zahnflanke zeigt. Der Y-Schlitten 29 fährt den Meßtaster 40 auf den Meßradius vor. Dabei befindet sich der Tastfinger 44 aber noch außerhalb des Umfangs des zu prüfenden Zahnrads, weil der H-Schlitten 38 sich noch an der in Fig. 3 rechten Grenze des Meßhubs h befindet, d. h. den Meßhub noch nicht ausgeführt hat. Mittels des Z-Schlittens 34 wird der Meßtaster auf die gewünschte Höhe der Meßposition eingestellt. Der H-Schlitten führt nun den Meßhub aus, wobei er den Meßtaster 40 und damit die Tastkugel des Tastfingers 44 in die Meßposition auf dem Meßkreis bewegt, und gleichzeitig wird die Drehbewegung des zu prüfenden Zahnrads 18 eingeleitet, was manuell oder durch das Steuerprogramm in dem Rechner 54 erfolgen kann. Die Zahnflanke 42 nimmt den Tastfinger mit und lenkt ihn aus. Dabei gibt der Meßtaster 40 laufend ein der Auslenkung des Tastfingers entsprechendes Signal $T_s(x)$ an den Bereichskomparator 76 und den A/D-Wandler 74 ab. Gleichzeitig mit der Drehung des Zahnrads 18 beginnt der Winkelmeßwertgeber 22 Impulse φ_i an das Speicherflipflop 78 abzugeben. Außerdem legt der Rechner 54 ein Freigabesignal an den Eingang GE des Gatters 72 an. Das Gatter ist zunächst noch geschlossen und kann nur durch ein Signal aus dem Bereichskomparator 76 geöffnet werden. Solange der Tastfinger 44 eine bestimmte Auslenkung noch nicht erreicht hat (in Fig. 2 links von der gestrichelt dargestellten Tastkugel), befindet sich der Meßtaster im nichtlinearen Bereich. Wenn die bestimmte Auslenkung erreicht wird, stellt der Bereichskomparator 76 fest, daß sich der Meßtaster am Beginn des linearen Bereiches befindet, und öffnet das Gatter 72 über ein an den Steuereingang St_G abgegebenes Signal.

Nachdem das Gatter 72 durch den Bereichskomparator 76 geöffnet worden ist, wird beim nächstfolgenden Impuls aus dem Winkelmeßwertgeber 22 ein Abtastsignal STROBE erzeugt, das an den Steuereingang St_{74} des A/D-Wandlers 74, an den Steuereingang St_{78} des Speicherflipflops 78 und an den Steuereingang St_{90} der Korrekturschaltung 90 angelegt wird, was bewirkt, daß die gerade vorliegenden Meßwerte φ_i und T_s festgehalten und dem Rechner 54 zur Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt werden und daß durch die Korrekturschaltung 90 der korrigierte Winkelwert φ gebildet wird, indem die Winkelmeßwerte φ_i um den zu dieser Winkelposition gehörenden systematischen Fehler E korrigiert werden. Ausgehend von dem korrigierten Winkelwert φ wird in der Multiplizierschaltung 70 der Bogen b (vgl. Fig. 2) berechnet.

Die systematischen Fehler E zeigen sich in Form eines bestimmten Betrages, eines eindeutigen Vorzeichens und sind jederzeit reproduzierbar. Aus diesem Grunde lassen sich, wie schon vorerwähnt, maschinenbezogene Meßreihen in Form von zu Absolutwinkelwerten zugeordneten Korrekturwerten ermitteln und im jeweiligen Speicher des Rechners des zugehörigen

Meßgerätes ablegen. Durch das Anbringen der Korrekturen bei der Ermittlung der erwünschten Teilung kann die Meßunsicherheit jedes Meßpunktes praktisch auf den zufälligen Fehleranteil reduziert werden.

Die Summierschaltung 80 in dem Rechner 54 summiert die Werte b und T_s vorzeichenrichtig, um den wahren Bogen B auf dem Meßkreis als Teilung zu ermitteln. In dem dargestellten Beispiel hat die der Auslenkung des Tastfingers 44 im linearen Bereich des Meßtasters 40 entsprechende Wegstrecke T_s ein negatives Vorzeichen und ist deshalb von dem Bogen b (in Fig. 2 ist das die Bogenlänge zwischen den Punkten P_1 und P_2) zu subtrahieren.

Anschließend wird das Gatter 72 durch den Rechner 54 durch Abschalten des Freigabesignals an dem Eingang GE blockiert, und der H-Schlitten 38 wird an die in Fig. 3 rechte Grenze des Meßhubs h zurückgezogen. Sobald das sich weiterdrehende Zahnrad 18 die nächste vorbestimmte Drehposition erreicht hat, wird der Tastfinger 44 in die nächste Zahnücke eingefahren.

Der Rechner 54 legt wieder das Freigabesignal an den Eingang GE des Gatters 72 an, und die nächste Messung kann auf zuvor beschriebene Weise erfolgen. Der in der ersten Zahnücke ermittelte Meßwert kann als Bezugspunkt für alle weiteren Messungen benutzt werden, d. h. alle folgenden Messungen können mit dem in der ersten Lücke ermittelten Meßwert korrigiert werden.

Mit dieser Meßmethode wird somit die durch die endliche Auflösung des Winkelmeßwertgebers verursachte Meßunsicherheit eliminiert.

Bei einem praktisch ausgeführten Beispiel wurden in dem erfindungsgemäßen Meßgerät für die Wegprozessoren 46, 48, 50 und 52 solche verwendet, wie sie ausführlich in der deutschen Patentanmeldung P 32 130 465 beschrieben sind.

Fig. 2

