



(10) **DE 10 2012 018 580 B4** 2015.06.11

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 018 580.4**
(22) Anmeldetag: **20.09.2012**
(43) Offenlegungstag: **20.03.2014**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.06.2015**

(51) Int Cl.: **B23Q 17/20** (2006.01)
G01B 5/20 (2006.01)
B24B 49/04 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**JENOPTIK Industrial Metrology Germany GmbH,
78056 Villingen-Schwenningen, DE**

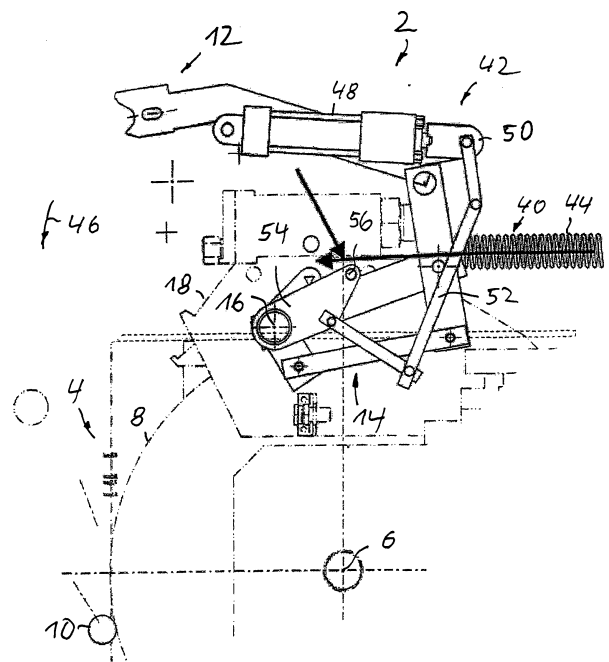
(74) Vertreter:
**Wagner, Dr. Herrguth & Partner Patentanwälte
PartG mbB, 30163 Hannover, DE**

(72) Erfinder:
Seewig, Jörg, 30539 Hannover, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Messvorrichtung und Messverfahren zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine, insbesondere einer Schleifmaschine**

(57) Zusammenfassung: Eine erfindungsgemäße Messvorrichtung 2 zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine, insbesondere einer Schleifmaschine 4, weist einen Grundkörper 18 und einen Messkopf 12 auf, der zwischen einer Ruheposition und einer Messposition bewegbar ist und mit dem Grundkörper 18 über ein Gestänge 14 verbunden ist, das derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass der Messkopf 12 in Messposition Orbitaldrehungen des Prüflings um eine Drehachse folgt, wobei der Messkopf 12 einen entlang einer linearen Achse auslenkbaren Messtaster 36 zur Aufnahme von Messwerten während eines Messvorganges aufweist und wobei eine Steuerungseinrichtung 80 zur Steuerung des Messvorganges vorgesehen ist. Erfindungsgemäß ist die Steuerungseinrichtung 80 derart ausgebildet und eingerichtet, dass die Messvorrichtung 2 in einem Kalibrierungsmodus kalibrierbar ist.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	44 12 682	A1
DE	102 05 212	A1
DE	10 2009 032 353	A1
DE	10 2010 013 069	A1
DE	601 01 792	T2
DE	695 21 921	T2
FR	2 464 456	A1
US	2003 / 0 056 386	A1
US	6 067 721	A
US	3 992 615	A
US	5 150 545	A
EP	1 263 547	B1
EP	1 278 613	B1
EP	0 322 120	A2
EP	0 859 689	A1
EP	1 370 391	A1
WO	83/ 04 302	A1
WO	90/ 00 246	A1
WO	97/ 12 724	A1
WO	01/ 66 305	A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine, insbesondere einer Schleifmaschine.

[0002] Bei der Herstellung von Kurbelwellen ist es erforderlich, die Kurbelzapfen der Kurbelwelle auf einer Schleifmaschine auf Maß zu schleifen. Um sicherzustellen, dass der Schleifvorgang beendet wird, sobald ein gewünschtes Maß erreicht ist, ist es erforderlich, den Kurbelzapfen im Rahmen eines Inprozess-Messverfahrens während des Bearbeitungsvorganges fortlaufend zu prüfen, insbesondere hinsichtlich seines Durchmessers und seiner Rundheit. EP-A-0859689 offenbart eine entsprechende Messvorrichtung. Eine ähnliche Messvorrichtung ist auch durch DE 4412682 A1 bekannt.

[0003] Durch EP-A-1370391 ist eine Messvorrichtung bekannt, die zur Inprozess-Messung von Kurbelzapfen während eines Schleifvorganges an einer Schleifmaschine dient. Die bekannte Messvorrichtung weist einen Messkopf auf, der über ein Gestänge um eine erste Schwenkachse schwenkbar mit einem Grundkörper der Messvorrichtung verbunden ist. Die bekannte Messvorrichtung weist ferner Mittel zum Ein- und Ausschwenken des Messkopfes in eine Meßposition bzw. aus der Meßposition auf. Zur Durchführung einer Inprozess-Messung an einem Kurbelzapfen wird der Messkopf durch die dafür vorgesehenen Mittel in eine Meßposition eingeschwenkt, in der der Messkopf, beispielsweise mittels eines Meßprismas, an dem zu vermessenden Kurbelzapfen zur Anlage gelangt. Während des Schleifvorganges führt der Kurbelzapfen eine Orbitaldrehung um die Drehachse der Kurbelwelle aus. Hierbei bleibt die Schleifscheibe in Kontakt mit dem Kurbelzapfen und ist hierzu radial zur Drehachse der Kurbelwelle beweglich gelagert. Um sicherzustellen, dass während des gesamten Schleifvorganges Messungen an den Kurbelzapfen ausgeführt werden können, vollzieht der Messkopf die Bewegungen des Kurbelzapfens nach. Hierzu ist der Grundkörper der Messvorrichtung mit einem Grundkörper der Schleifmaschine verbunden, so dass die Messvorrichtung während des Schleifvorganges in Radialrichtung der Kurbelwelle synchron mit der Schleifscheibe der Schleifmaschine bewegt wird. Ähnliche Messvorrichtungen sind auch durch DE 10 2009 042 252 A1 und DE 2010 013 069 A1 bekannt.

[0004] Durch DE 10205512 A1 ist eine Messeinrichtung für Maschinen zum Bearbeiten von Werkstücken, insbesondere von Kurbelwellen oder Nockenwellen bekannt.

[0005] Durch DE 69521921 T2 (entsprechend EP-B-0665481) sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Inprozessmessung während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine bekannt.

[0006] Durch EP-A-0322120 sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zur berührungslosen Vermessung zylindrischer Werkstücke bekannt.

[0007] Durch EP 1 263 547 B1 ist eine Messvorrichtung zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine bekannt, die einen Grundkörper und einen Messkopf aufweist, der zwischen einer Ruheposition und einer Messposition bewegbar ist und mit dem Grundkörper über ein Gestänge verbunden ist, das derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass der Messkopf in Messposition Orbitaldrehungen des Prüflings um eine Drehachse folgt, wobei der Messkopf einen entlang einer linearen Achse auslenkbaren Messtaster zur Aufnahme von Messwerten während eines Messvorganges aufweist. Die aus der Druckschrift bekannte Messvorrichtung weist ferner eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung des Messvorganges auf, wobei die Messvorrichtung zur Durchmesser- und Rundheitsmessung von Kurbelzapfen einer Kurbelwelle während eines Bearbeitungsvorganges an einer Schleifmaschine vorgesehen ist.

[0008] Durch DE 60101792 T2 (entsprechend EP 1278613 B1) und WO 01/66305) ist eine Messvorrichtung der betreffenden Art zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine bekannt, die einen Grundkörper und einen Messkopf aufweist, der zwischen einer Ruheposition und einer Messposition bewegbar ist und mit dem Grundkörper über ein Gestänge verbunden ist, das derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass der Messkopf in Messposition Orbitaldrehungen des Prüflings um eine Drehachse folgt. Der Messkopf weist einen entlang einer linearen Achse auslenkbaren Messtaster zur Aufnahme von Messwerten während des Messvorganges und eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung des Messvorganges auf, wobei die Messvorrichtung in einem Kalibrierungsmodus kalibrierbar ist.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Messvorrichtung der im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Art anzugeben, die hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit verbessert ist.

[0010] Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebene Erfindung gelöst.

[0011] Bei der bekannten Messvorrichtung werden während einer Relativdrehung des Prüflings, beispielsweise Kurbelzapfens, relativ zu dem Messkopf Messwerte aufgenommen, anhand derer die Bauteilkontur rechnerisch rekonstruiert wird. Die Rekonstruktion kann mittels eines Iterationsverfahrens erfolgen, wie es aus der DE 2009 032 353 A1 bekannt ist. Die Rekonstruktion kann jedoch auch auf der Basis einer Fourier-Analyse erfolgen, wie dies aus der EP 1 263 547 B1 bekannt ist. Unabhängig von dem jeweils angewendeten Rekonstruktionsverfahren gehen die geometrischen Verhältnisse der Messvorrichtung, beispielsweise und insbesondere hinsichtlich der Form eines Messprismas des Messkopfes und der Anordnung des Messkopfes relativ zu dem Prüfling, in die Rekonstruktion ein. Bei der bekannten Messvorrichtung bzw. den bekannten Verfahren zum Betreiben einer solchen Messvorrichtung werden die geometrischen Verhältnisse der Messvorrichtung mit der Genauigkeit der verwendeten Bauteiltoleranzen als gegeben angesehen.

[0012] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich Abweichungen der tatsächlichen geometrischen Verhältnisse von den angenommenen geometrischen Verhältnissen empfindlich auf die Messgenauigkeit der Messvorrichtung auswirken. Hiervon ausgehend liegt der Erfindung der Gedanke zugrunde, derartige Abweichungen der geometrischen Verhältnisse, die sich aus Bauteiltoleranzen sowie einem Verschleiß der Bauteile der Messvorrichtung ergeben können, bei der Auswertung bzw. Rekonstruktion zu berücksichtigen.

[0013] Hierzu sieht die Erfindung vor, dass die Steuerungseinrichtung derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass die Messvorrichtung in einem Kalibrierungsmodus kalibrierbar ist. Erfindungsgemäß werden also die geometrischen Verhältnisse der Messvorrichtung nicht mehr als gegeben angesehen, sondern es werden die tatsächlichen geometrischen Verhältnisse durch Kalibrierung der Messvorrichtung bei der Auswertung bzw. Rekonstruktion der Bauteilkontur berücksichtigt. Da Abweichungen der angenommenen geometrischen Verhältnisse von den tatsächlichen geometrischen Verhältnissen die Messgenauigkeit empfindlich beeinflussen und zu Messfehlern führen, ist erfindungsgemäß die Messgenauigkeit der erfindungsgemäßen Messvorrichtung erhöht.

[0014] Bei der erfindungsgemäß vorgenommenen Kalibrierung werden nicht nur durch Bauteiltoleranzen hervorgerufene Abweichungen von der gewünschten Geometrie der Messvorrichtung berücksichtigt, sondern auch Abweichungen, die sich durch Verschleiß ergeben. Dies ist insbesondere deshalb von großer Bedeutung, weil bei derartigen Messvorrichtungen beispielsweise ein Messprisma des Messkopfes bei der Bewegung aus der Ruheposition in die Messposition mit erheblichen Kräften auf den Prüfling aufsetzt, so dass ein Verschleiß vorprogrammiert ist. Auch Abweichungen von der gewünschten Geometrie, die sich aus einer durch Verschleiß geänderten Kinematik des den Messkopf mit dem Grundkörper verbindenden Gestänges ergeben, werden über die erfindungsgemäße Kalibrierung erfasst und können damit die Messgenauigkeit nicht mehr beeinträchtigen. Die Kalibrierung kann erfindungsgemäß in vorbestimmten zeitlichen Abständen oder nach der Vermessung einer vorbestimmten Anzahl von Prüflingen vorgenommen werden. Es ist erfindungsgemäß jedoch auch möglich, die Kalibrierung lediglich im Bedarfsfalle oder vor bzw. nach jedem Messvorgang vorzunehmen.

[0015] Die Erfindung sieht vor, dass der Messkopf ein Messprisma mit einem Öffnungswinkel α (erster Winkel) und einer Symmetrieachse aufweist, dass die Ausrichtung der linearen Achse des Messtasters relativ zur Symmetrieachse des Messprismas durch einen zweiten Winkel β gegeben ist und dass die Kalibrierung hinsichtlich des ersten Winkels α und/oder des zweiten Winkels β erfolgt. Durch Kalibrierung der Messvorrichtung hinsichtlich des ersten Winkels und/oder des zweiten Winkels ist das Risiko von Messungenauigkeiten, die durch Abweichungen der angenommenen geometrischen Verhältnisse von den tatsächlichen geometrischen Verhältnissen der Messvorrichtung verursacht sind, verringert, weil sich Bauteiltoleranzen wie auch durch Verschleiß verursachte geometrische Abweichungen über eine Kalibrierung hinsichtlich des ersten Winkels und des zweiten Winkels erfassen lassen. Steht eine verschleißbedingte Änderung des Öffnungswinkels des Prismas im Vordergrund, so kann es erfindungsgemäß ausreichend sein, eine Kalibrierung ausschließlich hinsichtlich des ersten Winkels α vorzunehmen. Steht demgegenüber eine durch Bauteiltoleranzen oder Abnutzung verursachte Änderung der Kinematik des den Messkopf mit dem Grundkörper verbindenden Gestänges im Vordergrund, so kann erfindungsgemäß eine Kalibrierung hinsichtlich des Winkels β ausreichend sein. Idealerweise erfolgt die Kalibrierung jedoch hinsichtlich des ersten Winkels α und des zweiten Winkels β .

[0016] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Steuerungseinrichtung für eine Umschaltung der Messvorrichtung zwischen einem Messmodus, in dem ein Messvorgang ausführbar ist, und einem Kalibrierungsmodus, in dem ein Kalibrierungsvorgang ausführbar ist, ausgebildet und eingerichtet ist. Die Umschaltung zwischen dem Messmodus und dem Kalibrierungsmodus kann hierbei halbautomatisch, bei-

spielsweise durch eine Bedienperson ausgelöst, oder vollautomatisch erfolgen, beispielsweise vor der Bearbeitung eines Prüflings.

[0017] Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Steuerungseinrichtung einen Speicher aufweist, in dem während eines Kalibrierungsvorganges gewonnene Kalibrierungsdaten speicherbar sind, wobei der Speicher mit einer Auswertungseinrichtung in Datenübertragungsverbindung steht oder bringbar ist zur Berücksichtigung der Kalibrierungsdaten bei der Auswertung von während eines Messvorganges gewonnenen Messdaten. Bei diesen Ausführungsformen werden die bei der Kalibrierung gewonnenen Kalibrierungsdaten in einem Speicher abgelegt, so dass sie bei der Auswertung der Messung und der damit verbundenen Rekonstruktion der Bauteilkontur, insbesondere hinsichtlich Durchmesser und Rundheit, herangezogen werden können.

[0018] Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Kalibrierung unter Verwendung eines Rundheitsnormales erfolgt.

[0019] Hierbei kann das Rundheitsnormal erfindungsgemäß so modifiziert werden, dass eine Kalibrierung insbesondere hinsichtlich des ersten Winkels α und des zweiten Winkels β ausgeführt werden kann. Hierzu sieht eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung vor, dass die Kalibrierung unter Verwendung eines Zylinders erfolgt, der in Umfangsrichtung an wenigstens einer Stelle eine Abflachung mit vorgegebener Ausdehnung aufweist.

[0020] Eine besonders einfache Kalibrierung ergibt sich dann, wenn die Kalibrierung unter Verwendung eines Flicknormalen erfolgt, wie dies eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung vorsieht. Ein Flicknormal besteht aus einem (hinsichtlich seiner Kreiskontur möglichst idealen) Zylinder, der an einer Umfangsstelle eine Abflachung mit einer vorgegebenen Ausdehnung aufweist.

[0021] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Betreiben einer zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine, insbesondere einer Schleifmaschine, vorgesehenen Messvorrichtung ist im Anspruch 7 angegeben. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ergeben sich sinngemäß die gleichen Vorteile, wie bei der erfindungsgemäßen Messvorrichtung. Entsprechendes gilt auch für die in den Ansprüchen 8 bis 12 angegebenen vorteilhaften und zweckmäßigen Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens. Das erfindungsgemäße Verfahren dient insbesondere zum Betreiben einer Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

[0022] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten, stark schematisierten Zeichnung näher erläutert, in der ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung dargestellt ist.

[0023] Es zeigt:

[0024] Fig. 1 in stark schematisierter Darstellung eine Seitenansicht eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung in einer Ruheposition des Messkopfes,

[0025] Fig. 2A bis Fig. 2E die Messvorrichtung gemäß Fig. 1 in verschiedenen kinematischen Phasen,

[0026] Fig. 3 in gleicher Darstellung wie Fig. 1 das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 während der Bewegung des Messkopfes in die Meßposition,

[0027] Fig. 4 eine blockschaltbildartige Darstellung von Bestandteilen der Messvorrichtung gemäß Fig. 1,

[0028] Fig. 5 eine Ansicht eines Messprismas der Messvorrichtung gemäß Fig. 1 eines Messprismas der Messvorrichtung gemäß Fig. 1 in Kombination mit einem Flicknormal zur Verdeutlichung der geometrischen Verhältnisse und

[0029] Fig. 6 den Verlauf der Abstandsfunktion bei der Kalibrierung der Messvorrichtung gemäß Fig. 1 unter Verwendung eines Flicknormalen.

[0030] Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung 2, die zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Schleifmaschine 4 dient. Die Schleifmaschine 4, die aus Gründen der Vereinfachung lediglich teilweise dargestellt ist, weist eine um eine maschi-

nenfeste Drehachse **6** drehbare Schleifscheibe **8** auf, die zum Bearbeiten eines Prüflings dient, der bei diesem Ausführungsbeispiel durch einen Kurbelzapfen **10** einer Kurbelwelle gebildet ist.

[0031] Die Messvorrichtung **2** weist einen Messkopf **12** auf, der über ein Gestänge **14** um eine erste Schwenkachse **16** schwenkbar mit einem Grundkörper **18** der Messvorrichtung **2** verbunden ist.

[0032] Die Messvorrichtung **2** weist ferner Mittel zum Ein- und Ausschwenken des Messkopfes **12** in eine Meßposition bzw. aus der Meßposition auf, die weiter unten näher erläutert werden.

[0033] Zunächst wird anhand von **Fig. 2A** der Aufbau des Gestänges **14** näher erläutert. In den **Fig. 2A–Fig. 2E** sind aus Gründen der Übersichtlichkeit die Mittel zum Ein- und Ausschwenken des Messkopfes **12** in die Meßposition bzw. aus der Meßposition weggelassen. Das Gestänge **14** weist ein erstes Gestängeelement **20** und ein zweites Gestängeelement **22** auf, die um die erste Schwenkachse **16** schwenkbar angeordnet sind. Mit dem der ersten Schwenkachse **16** abgewandten Ende des zweiten Gestängeelementes **22** ist um eine zweite Schwenkachse **24** schwenkbar ein drittes Gestängeelement **26** verbunden, mit dessen der zweiten Schwenkachse **24** abgewandtem Ende um eine dritte Schwenkachse **28** schwenkbar ein viertes Gestängeelement verbunden ist, das entfernt von der dritten Schwenkachse **28** um eine vierte Schwenkachse schwenkbar mit dem ersten Gestängeelement **20** verbunden ist.

[0034] Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind das erste Gestängeelement **20** und das dritte Gestängeelement **26** zueinander nichtparallel angeordnet, wobei der Abstand zwischen der ersten Schwenkachse **16** und der zweiten Schwenkachse **24** kleiner ist als der Abstand zwischen der dritten Schwenkachse **28** und der vierten Schwenkachse **32**.

[0035] Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel weist das zweite Gestängeelement **22** einen Hebelarm **34** auf, derart, dass der Hebelarm **34** zusammen mit dem Gestängeelement **22** einen zweiarmigen Winkelhebel bildet, dessen Funktion weiter unten näher erläutert wird.

[0036] Der Messkopf **12** ist bei diesem Ausführungsbeispiel an einem Haltearm **35** angeordnet, der mit dem vierten Gestängeelement **30**, das über die vierte Schwenkachse **32** hinausgehend verlängert ist, verbunden ist. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Verbindung zwischen dem Haltearm **34** und dem vierten Gestängeelement **30** starr ausgeführt. Wie aus **Fig. 2A** ersichtlich ist, ist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ein den Messkopf **12** haltendes freies Ende des Haltearmes **34** zu der ersten Schwenkachse **16** hin abgewinkelt, wobei ein mit dem vierten Gestängeelement **30** verbundener Teil des Haltearmes **34** mit dem vierten Gestängeelement **30** einen Winkel von größer 90° bildet.

[0037] Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel weist der Messkopf **12** einen entlang einer linearen Achse linear auslenkbaren Meßtaster **36** auf, der in **Fig. 2A** durch eine gestrichelte Linie angedeutet ist. Der Messkopf **12** weist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ferner ein Meßprisma **38** auf. Die Art und Weise, wie mittels einer Anordnung aus einem linear auslenkbaren Meßtaster **36** und einem Meßprisma **38** Rundheits- und/oder Dimensionsmessungen an einem Prüfling, insbesondere einem Kurbelzapfen einer Kurbelwelle oder einem anderen zylindrischen Bauteil ausgeführt werden, ist dem Fachmann allgemein bekannt und wird daher hier nicht näher erläutert.

[0038] Die Messvorrichtung **2** weist ferner Mittel zum Bewegen des Messkopfes **12** aus einer Ruheposition in die Meßposition auf, die bei diesem Ausführungsbeispiel Mittel zum Ein- und Ausschwenken des Messkopfes **12** aufweisen, die an dem Gestänge **14** angreifen und anhand von **Fig. 1** näher erläutert werden. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel weisen die Mittel zum Ein- und Ausschwenken des Messkopfes **12** eine Einschwenkvorrichtung **40** und eine separate Ausschwenkvorrichtung **42** auf.

[0039] Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Einschwenkvorrichtung **40** Federmittel auf, die bei diesem Ausführungsbeispiel eine als Druckfeder ausgebildete Feder **44** aufweisen, die den Messkopf **12** über das Gestänge **14** in einer in **Fig. 1** durch einen Pfeil **46** symbolisierten Einschwenkrichtung beaufschlagt. Die Feder **44** ist bei diesem Ausführungsbeispiel als Druckfeder ausgebildet und stützt sich an ihrem einen Ende an dem Grundkörper **18** der Messvorrichtung **2** und an ihrem anderen Ende an dem Hebelarm **34** ab, so dass die Feder **44** den Hebelarm **34** in **Fig. 1** entgegen dem Uhrzeigersinn und damit den Messkopf **12** mittels des Gestänges **14** in der Einschwenkrichtung **46** beaufschlagt und zu bewegen sucht.

[0040] Die Ausschwenkvorrichtung **42** weist bei diesem Ausführungsbeispiel einen Hydraulikzylinder **48** auf, dessen Kolben an seinem freien Ende mit dem Grundkörper **18** der Messvorrichtung **2** verbunden ist. Mit der

Kolbenstange **50** des Hydraulikzylinders **48** ist eine bei diesem Ausführungsbeispiel als Kniehebel ausgebildete Hebelanordnung **42** verbunden, dessen der Kolbenstange **50** abgewandtes freies Ende zu der ersten Schwenkachse **16** exzentrisch mit einem einarmigen Hebel **54** verbunden ist, der zu der Schwenkachse **16** koaxial gelagert ist. Der Hebel **54** weist an seinem freien Ende einen in die Zeichenebene hinein verlaufenden Zapfen **56** auf, der das erste Gestängeelement **20** lose beaufschlagt, so dass der Hebel **54** bei einer Bewegung in einer Ausschwenkrichtung, die in der Zeichnung einer Bewegung im Uhrzeigersinn entspricht, als Mitnehmer für das erste Gestängeelement **20** fungiert.

[0041] Zum Abfühlen der jeweiligen Position des Messkopfes **12** sind Sensormittel vorgesehen, die mit Steuerungsmitteln zur Steuerung der Einschwenkvorrichtung **40** und der Ausschwenkvorrichtung **42** in Wirkungsverbindung stehen.

[0042] Die Auswertung von Meßwerten, die mittels des Meßtasters **36** während eines Messvorganges aufgenommen werden, erfolgt mittels einer Auswertungseinrichtung. Die Art und Weise, wie entsprechende Meßwerte ausgewertet werden, ist dem Fachmann allgemein bekannt und wird daher hier nicht näher erläutert.

[0043] Die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Messvorrichtung **2** ist in einem Messmodus wie folgt: In der in **Fig. 1** und **Fig. 2A** dargestellten Ruheposition befindet sich der Messkopf **12** außer Eingriff von dem Kurbelzapfen **10**. In dieser Ruheposition ist der Hydraulikzylinder **48** stillgesetzt, so dass eine Bewegung des Hebelarmes **34** in **Fig. 1** entgegen dem Uhrzeigersinn, die die Druckfeder **44** zu bewirken sucht, blockiert ist.

[0044] Zum Einschwenken des Messkopfes **12** in der Einschwenkrichtung **46** wird der Hydraulikzylinder **48** derart betätigt, dass seine Kolbenstange **50** in **Fig. 1** nach rechts ausfährt. Beim Ausfahren der Kolbenstange **50** drückt die Feder **44** gegen den Hebelarm **34**, so dass der Hebelarm **34** in **Fig. 2** entgegen dem Uhrzeigersinn verschwenkt wird. Da der Hebelarm **34** drehfest mit dem zweiten Gestängeelement **22** verbunden ist, wird hierbei das zweite Gestängeelement **22** und damit das gesamte Gestänge **14** in **Fig. 2** entgegen dem Uhrzeigersinn verschwenkt.

[0045] **Fig. 2B** zeigt den Messkopf **12** in einer Position zwischen der Ruheposition und der Meßposition.

[0046] Beim Erreichen einer vorgegebenen, in **Fig. 2C** dargestellten Winkellage läuft der Hebelarm **34** auf einen Anschlag **57**, wobei beim Auflaufen des Hebelarmes **34** auf den Anschlag **57** ein Steuerungssignal an die Steuermittel übermittelt wird, aufgrund dessen der Hydraulikzylinder **48** stillgesetzt wird. **Fig. 2C** zeigt den Messkopf **12** in einer Suchposition, in der er sich noch nicht in Kontakt mit dem Kurbelzapfen **10** befindet.

[0047] **Fig. 2D** zeigt den Messkopf **12** in seiner Meßposition, in der er sich in Kontakt mit dem Kurbelzapfen **10** befindet.

[0048] **Fig. 2E** entspricht **Fig. 2C**, wobei der Messkopf **12** in seiner Suchposition im Bezug auf einen Kurbelzapfen **10'** größeren Durchmessers dargestellt ist.

[0049] **Fig. 3** zeigt die Messvorrichtung **2** in der Suchposition des Messkopfes **12**, die auch in **Fig. 2C** dargestellt ist. Wie sich aus einem Vergleich von **Fig. 1** mit **Fig. 3** ergibt, wird der Hebel **54** mittels der Hebelanordnung **42** beim Ausfahren der Kolbenstange **50** des Hydraulikzylinders **48** in **Fig. 1** entgegen dem Uhrzeigersinn verschwenkt, bis die in **Fig. 3** dargestellte Winkellage des Hebels **54** erreicht ist. Wie aus **Fig. 3** ersichtlich ist, ist in dieser Winkellage der Zapfen **56** in Umfangsrichtung der ersten Drehachse **16** zu dem ersten Gestängeelement **20** beabstandet, so dass sich das erste Gestängeelement **20** und damit das gesamte Gestänge **14** unter der Wirkung der Gewichtskraft des Messkopfes **12** einschließlich Haltearm **34** und der von der Feder **44** ausgeübten Druckkraft frei bewegen kann. In der Meßposition (vgl. **Fig. 2D**) liegt der Messkopf **12** an dem Kurbelzapfen **10** an, wobei der Messkopf Orbitaldrehungen des Kurbelzapfens **10** um die Kurbelwelle während des Schleifvorganges nachvollzieht. Hierzu ist der Grundkörper **18** der Messvorrichtung **2** verschiebefest mit einer Halterung der Schleifscheibe **8** verbunden, so dass die Messvorrichtung **2** translatorische Bewegungen der Schleifscheibe **8** in Radialrichtung der Drehachse **6** nachvollzieht.

[0050] Während des Kontaktes des Messkopfes **12** mit dem Kurbelzapfen **10** nimmt der Meßtaster **36** Meßwerte auf, anhand derer in der dem Meßtaster **36** nachgeordneten Auswertungsrechner die Rundheit und/oder der Durchmesser des Kurbelzapfens beurteilt werden können. Ist beispielsweise ein bestimmtes Maß des Durchmessers erreicht, so wird die Schleifscheibe **8** außer Eingriff von dem Kurbelzapfen **10** gebracht.

[0051] Um den Messkopf **12** nach Beendigung der Messung entgegen der Einschwenkrichtung **46** auszu-schwenken, steuert die Steuerungseinrichtung den Hydraulikzylinder **48** derart an, dass sich seine Kolben-stange **50** in **Fig. 3** nach links bewegt. Hierbei wird der Hebel **54** mittels der Hebelanordnung **42** in **Fig. 3** im Uhrzeigersinn verschwenkt. Solange die Rolle **56** in Umfangsrichtung der ersten Schwenkachse **16** zu dem ersten Gestängeelement **20** beabstandet ist, bleibt der Messkopf **12** zunächst in der Meßposition. Gelangt die Rolle **56** bei einem weiteren Verschwenken des Hebels **54** in **Fig. 3** im Uhrzeigersinn um die Schwenkachse **16** an dem ersten Gestängeelement **20** zur Anlage, so fungiert der Hebel **54** bei einem weiteren Verschwenken im Uhrzeigersinn als Mitnehmer und nimmt das erste Gestängeelement **20** und damit das gesamte Gestänge **14** im Uhrzeigersinn mit, so dass der Messkopf entgegen der Einschwenkrichtung **46** ausgeschwenkt wird, bis die in **Fig. 1** dargestellte Ruheposition erreicht ist.

[0052] Während des Messvorganges bewegt sich der Messkopf in Umfangsrichtung des Kurbelzapfens **10** mit einem Winkelhub, der bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel etwa -7° und $+5^\circ$, also insgesamt 12° beträgt.

[0053] Nachfolgend wird anhand der **Fig. 5** näher erläutert, wie eine erfindungsgemäße Messvorrichtung in einem Kalibrierungsmodus mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens betrieben und dadurch kalibriert wird.

[0054] **Fig. 4** zeigt blockschaltartig Komponenten der erfindungsgemäßen Messvorrichtung **2**, die bei der Ka-librierung verwendet werden.

[0055] Die erfindungsgemäße Messvorrichtung **2** weist eine Steuerungseinrichtung **80** auf, die derart ausge-bildet und eingerichtet ist, dass die Messvorrichtung **2** zwischen einem Messmodus, in dem ein Messvorgang ausführbar ist, und einem Kalibrierungsmodus, in dem ein Kalibrierungsvorgang ausführbar ist, umschaltbar ist. Die Steuerungseinrichtung **80** ist ferner dafür ausgebildet und eingerichtet, dass die Messvorrichtung in einem Kalibrierungsmodus kalibrierbar ist.

[0056] Während eines Messvorganges nimmt der Messtaster **36** fortlaufend Messwerte auf, die einer Aus-wertungseinrichtung **82** zugeführt werden, die anhand der Messwerte das Profil des Prüflings rekonstruiert. Die Rekonstruktion kann insbesondere mittels eines iterativen Verfahrens gemäß der DE 10 2009 032 353 A1 erfolgen. Die Rekonstruktion kann jedoch auch mittels einer Fourier-Analyse entsprechend EP 1 263 547 B1 erfolgen.

[0057] Um die Messvorrichtung **2** erfindungsgemäß zu kalibrieren, schaltet die Steuerungseinrichtung **80** die Messvorrichtung **2** aus dem Messmodus in den Kalibrierungsmodus. In dem Kalibrierungsmodus wird die Ka-librierung der Messvorrichtung **2** ausgeführt, und zwar bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel unter Ver-wendung eines Flicknormales, wie dies weiter unten unter Bezugnahme auf **Fig. 5** näher erläutert wird. In dem Kalibrierungsmodus wird zunächst das Flicknormal mittels einer geeigneten Spannvorrichtung eingespannt, der ein Drehantrieb **84** zugeordnet ist, so dass das Flicknormal relativ zu dem Messkopf **12** drehbar ist.

[0058] Ferner steuert die Steuerungseinrichtung **80** die Einschwenkvorrichtung **40** derart an, dass der Mess-kopf **12** eingeschwenkt und das Messprisma **38** und der Messtaster **36** in Kontakt mit dem Flicknormal gebracht wird. Daran anschließend steuert die Steuerungseinrichtung **80** den Drehantrieb **84** des Flicknormales derart an, dass sich dieses relativ zu dem Messtaster **36** dreht.

[0059] Während der Drehung des Flicknormales relativ zu dem Messtaster **36** tastet derselbe das Flicknor-mal ab. Die hierbei gewonnenen Messwerte bilden Kalibrierungsdaten, anhand derer in weiter unten näher erläuteter Weise eine Kalibrierung der Messvorrichtung ausgeführt wird. Die Kalibrierungsdaten werden in einem Speicher **86** der Steuerungseinrichtung **80** abgelegt, der mit der Auswertungseinrichtung **82** in Daten-übertragungsverbindung steht. Nach Gewinnung der Kalibrierungsdaten schaltet die Steuerungseinrichtung **82** die Messvorrichtung **2** zurück in den Messmodus. Hierzu wird die Ausschwenkvorrichtung **42** angesteuert, die daraufhin den Messkopf **12** aus der Messposition zurück in die Ruheposition bewegt. Außerdem wird der Drehantrieb **84** stillgesetzt, so dass das Flicknormal ausgespannt und zur Durchführung eines Messvorganges an einem Prüfling derselbe eingespannt werden kann.

[0060] Die der Auswertungseinrichtung **82** zur Verfügung stehenden Kalibrierungsdaten werden in dem nach-folgenden Messvorgang zur Kalibrierung der Messvorrichtung **2** berücksichtigt. Die Kalibrierung der Messvor-richtung **2** kann bedarfsweise und/oder nach einer vorbestimmten Anzahl von Messvorgängen und/oder nach einem vorbestimmten Betriebszeitraum der Messvorrichtung **2** vorgenommen werden.

[0061] Die Kalibrierung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf **Fig. 5** näher erläutert.

[0062] Fig. 5 stellt eine stark schematisierte Ansicht des Messprismas **38** zusammen mit einem Flicknormal **88** dar.

[0063] Bei dem Flicknormal **88** handelt es sich in dem Fachmann allgemein bekannter Weise um einen hinsichtlich der Kreisform seiner Kontur idealen Zylinder, der an einer Umfangsstelle **90** eine Abflachung mit einer vorgegebenen Ausdehnung (Tiefe) P_t aufweist. Fig. 5 dient zur Verdeutlichung der geometrischen Verhältnisse, die sich ergeben, wenn das Messprisma **38** an dem Flicknormal **88** anliegt, wobei die lineare Achse des Messtasters **36** in Fig. 5 mit dem Bezugszeichen **92** bezeichnet ist.

[0064] In Fig. 5 ist der Öffnungswinkel des Messprismas **38a** (erster Winkel) erkennbar. Ferner ist erkennbar, dass sich das Flicknormal **88** an zwei Kontaktpunkten **94**, **96** in Kontakt mit dem Messprisma **38** befindet, während sich der Messtaster **36** an einem in Umfangsrichtung des Flicknormales **88** dazwischenliegenden Kontaktpunkt in Kontakt mit dem Flicknormal **88** befindet. Die Symmetrieachse des Messprismas **38** ist in Fig. 5 durch eine strichpunktierte Linie **100** symbolisiert und bildet für die nachfolgende Betrachtung die y-Achse eines rechtshändigen karthetischen Koordinatensystems. Die lineare Achse des Messtasters **36** verläuft unter einem Winkel β (zweiter Winkel) zur x-Achse dieses Koordinatensystems. Im Ergebnis ergeben sich in der in Fig. 5 dargestellten Konstellation damit drei Kontaktpunkte **94**, **96**, **98** zwischen dem Flicknormal **88** und der Messvorrichtung **2**.

[0065] Die Bauteilkontur sei für die nachfolgende Betrachtung durch die Polarkoordinaten φ und $R(\varphi)$ im Bauteilkoordinatensystem beschrieben. Der Messtaster **36** erfasst den Abstand $A(\varphi)$ in Abhängigkeit des Drehwinkels φ des Bauteiles im Messprisma **38**. Dementsprechend führen Rundheitsabweichungen zu einer charakteristischen Abstandsfunktion (Tasterauslenkung des Messtasters **36**) $A(\varphi)$. Mathematisch ergibt sich dann der folgende Zusammenhang zwischen der winkelabhängigen Bauteilkontur $R(\varphi)$ und der Abstandsfunktion $A(\varphi)$:

(1.1)

$$A(\varphi) = \Psi(\alpha, \beta) \cdot R\left(\varphi + \frac{\alpha - \pi}{2}\right) + \Psi(\alpha, -\beta) \cdot R\left(\varphi - \frac{\alpha - \pi}{2}\right) - R(\varphi + \beta)$$

mit

α	erster Winkel
β	zweiter Winkel
φ	Drehwinkel des Bauteils
$R(\varphi)$	Radius des Bauteils (Bauteilkontur) in Abhängigkeit des Drehwinkels
$A(\varphi)$	Abstandsfunktion

[0066] In dem Messmodus besteht das Ziel der in der Auswertungseinrichtung **82** durchgeführten Auswertung bzw. Rekonstruktion darin, die Bauteilkontur $R(\varphi)$ aus der Abstandsfunktion $A(\varphi)$ rechnerisch zu rekonstruieren. Den bekannten Rekonstruktionsverfahren ist gemeinsam, dass die Winkel α und β für die Rekonstruktion bekannt sein müssen. Abweichungen der tatsächlichen Werte der Winkel α und β von angenommenen Werten dieser Winkel führen zu Messungenauigkeiten, die durch die erfindungsgemäß vorgenommene Kalibrierung vermieden werden.

[0067] Hat das Flicknormal **88** in den Bereichen, in denen seine Kontur kreisförmig begrenzt ist, den Radius R_0 , so ist der kleinste Bauteilradius $R_0 - P_t$ und tritt bei dem Winkel φ_0 auf. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Abflachung des Flicknormales immer nur einen Kontaktpunkt mit der Messvorrichtung **2** hat, was sich jedoch durch entsprechende Dimensionierung der Abflachung **90** ohne weiteres gewährleisten lässt.

[0068] Wird das Flicknormal um 360° gedreht, so ergibt sich der in Fig. 6 dargestellte Funktionsverlauf. Die Transformationsvorschrift nach Gleichung (1.1) gewährleistet, dass die Peaks in Fig. 6 die gleiche Gestalt, allerdings unterschiedliche Amplituden aufweisen. Die unbekannten Winkel können beispielsweise ermittelt werden, indem die lokalen Extrema identifiziert werden oder eine integrale Auswertung der Abstandsfunktion mithilfe der Fourier-Transformation ausgeführt wird.

[0069] Mithilfe der Fourier-Transformation kann eine integrale Auswertung der Abstandsfunktion wie folgt vorgenommen werden:

In der zuvor beschriebenen Weise wird eine Messung unter Verwendung des Flicknormales durchgeführt. Ergebnis dieser Messfunktion ist die Abstandsfunktion $A(\varphi)$. Hiervon ausgehend kann der Median der Abstands-

funktion ermittelt und eine aperiodische Funktion $\Delta A(\varphi)$ ermittelt werden, die sich mathematisch in drei Teilfunktionen zerlegen lässt, wobei jede Teilfunktion den Verlauf der Relativbewegung für jeweils einen Kontaktpunkt beschreibt.

[0070] Die drei Teilfunktionen können dann einer Fourier-Transformation unterzogen werden. Es ergeben sich dann drei Fouriertransformierte der Teilfunktionen. Hiervon ausgehend können Einflüsse der Gestaltabweichung $\Delta R(\varphi)$ und des Winkels φ_0 , bei dem die Messung beginnt, eliminiert werden, indem die Fourier-Transformierten der beiden Abstandsfunktionen, die den rechtsseitigen Prismenkontakt und den linksseitigen Prismenkontakt beschreiben, mit der komplex konjugierten Fouriertransformierten derjenigen Abstandsfunktion multipliziert wird, die den Kontakt mit dem Taster beschreibt. Das Ergebnis sind linearphasige Funktionen, deren Phasenterme ausschließlich die unbekannten Winkel α und β enthalten. Die Phasenterme ergeben im Phasenspektrum jeweils eine Gerade, die durch den Ursprung verläuft. Die unbekannten Geradensteigungen können durch eine Ausgleichsgerade berechnet werden, die ebenfalls durch den Ursprung verläuft. Hieraus werden die unbekannten Winkel α und β ermittelt.

[0071] Die dadurch ermittelten tatsächlichen Werte des ersten Winkels α und des zweiten Winkels β können dann bei der Rekonstruktion der Bauteilkontur entsprechend der obigen Gleichung (1.1) berücksichtigt werden, so dass die Messvorrichtung 2 damit kalibriert ist.

[0072] Messfehler, die auf einer Abweichung der tatsächlichen geometrischen Verhältnisse der Messvorrichtung 2 von angenommenen geometrischen Verhältnissen beruhen, sind damit im Vergleich zum Stand der Technik zuverlässig vermieden. Die Erfindung bietet damit im Vergleich zu Messvorrichtungen aus dem Stand der Technik eine mit einem relativ geringen Aufwand verbesserte Messgenauigkeit.

[0073] In den Figuren der Zeichnung sind gleiche bzw. sich entsprechende Bauteile mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die Fig. 2A bis Fig. 2E zeigen eine konstruktiv leicht abgewandelte Variante des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1 und Fig. 3, die hinsichtlich des erfindungsgemäßen Grundprinzips jedoch mit dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 und Fig. 3 übereinstimmt.

Patentansprüche

1. Messvorrichtung (2) zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine, insbesondere einer Schleifmaschine, mit einem Grundkörper (18), mit einem Messkopf (12), der zwischen einer Ruheposition und einer Messposition bewegbar ist und mit dem Grundkörper (18) über ein Gestänge (14) verbunden ist, das derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass der Messkopf (12) in Messposition Orbitaldrehungen des Prüflings um eine Drehachse folgt, wobei der Messkopf (12) einen entlang einer linearen Achse auslenkbaren Messtaster (36) zur Aufnahme von Messwerten während eines Messvorganges aufweist und mit einer Steuerungseinrichtung (80) zur Steuerung des Messvorganges, wobei die Messvorrichtung (2) in einem Kalibrierungsmodus kalibrierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Messkopf (12) ein Messprisma (38) mit einem Öffnungswinkel α (erster Winkel) und einer Symmetrieachse (100) aufweist, dass die Ausrichtung der linearen Achse (92) des Messtasters (36) relativ zur Symmetrieachse des Messprismas durch einen zweiten Winkel β gegeben ist und dass die Steuerungseinrichtung (80) derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass die Kalibrierung hinsichtlich des ersten Winkels α und/oder des zweiten Winkels β erfolgt.

2. Messvorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerungseinrichtung (80) für eine Umschaltung der Messvorrichtung (2) zwischen einem Messmodus, in dem ein Messvorgang ausführbar ist, und einem Kalibrierungsmodus, in dem ein Kalibrierungsvorgang ausführbar ist, ausgebildet und eingerichtet ist.

3. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerungseinrichtung (80) einen Speicher (86) aufweist, in dem während eines Kalibrierungsvorganges gewonnene Kalibrierungsdaten speicherbar sind, wobei der Speicher (86) mit einer Auswertungseinrichtung (82) in Datenübertragungsverbindung steht oder bringbar ist zur Berücksichtigung der Kalibrierungsdaten bei der Auswertung von während eines Messvorganges gewonnenen Messdaten.

4. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kalibrierung unter Verwendung eines Rundheitsnormales erfolgt.

5. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kalibrierung unter Verwendung eines Zylinders erfolgt, der in Umfangsrichtung an wenigstens einer Stelle eine Abflachung mit vorgegebener Ausdehnung aufweist.

6. Messvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kalibrierung unter Verwendung eines Flicknormalen (**88**) erfolgt.

7. Verfahren zum Betreiben einer zur Inprozess-Messung an Prüflingen während eines Bearbeitungsvorganges an einer Bearbeitungsmaschine, insbesondere einer Schleifmaschine, vorgesehenen Messvorrichtung, wobei die Messvorrichtung Folgendes aufweist:

- einen Grundkörper,
- einen Messkopf, der zwischen einer Ruheposition und einer Messposition bewegbar ist und mit dem Grundkörper über ein Gestänge verbunden ist, das derart ausgebildet und eingerichtet ist, dass der Messkopf in Messposition Orbitaldrehungen des Prüflings um eine Drehachse folgt, wobei der Messkopf einen entlang einer linearen Achse auslenkbaren Messtaster zur Aufnahme von Messwerten während eines Messvorganges aufweist und
- eine Steuerungseinrichtung zur Steuerung des Messvorganges,
dadurch gekennzeichnet, dass die Messvorrichtung mittels der Steuerungseinrichtung in einen Kalibrierungsmodus versetzt und kalibriert wird, dass ein Messkopf mit einem Messprisma mit einem Öffnungswinkel α (erster Winkel) und einer Symmetrieachse verwendet wird, wobei die Ausrichtung der linearen Achse des Messtasters relativ zur Symmetrieachse des Messprismas durch einen zweiten Winkel β gegeben ist, wobei die Kalibrierung hinsichtlich des ersten Winkels α und/oder des zweiten Winkels β ausgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messvorrichtung durch die Steuerungseinrichtung aus einem Messmodus, in dem ein Messvorgang durchgeführt wird, in einen Kalibrierungsmodus, in dem ein Kalibrierungsvorgang ausgeführt wird, geschaltet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass während eines Kalibrierungsvorganges gewonnene Kalibrierungsdaten in einem Speicher der Steuerungseinrichtung gespeichert werden, wobei der Speicher mit einer Auswertungseinrichtung in Datenübertragungsverbindung steht und wobei die Kalibrierungsdaten bei der Auswertung von während eines Messvorganges gewonnenen Messdaten verwendet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Kalibrierung der Messvorrichtung eine Rundheitsnormale verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Kalibrierung der Messvorrichtung ein Zylinder verwendet wird, der in Umfangsrichtung an wenigstens einer Stelle eine Abflachung mit vorgegebener Ausdehnung aufweist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Kalibrierung der Messvorrichtung ein Flicknormal verwendet wird.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

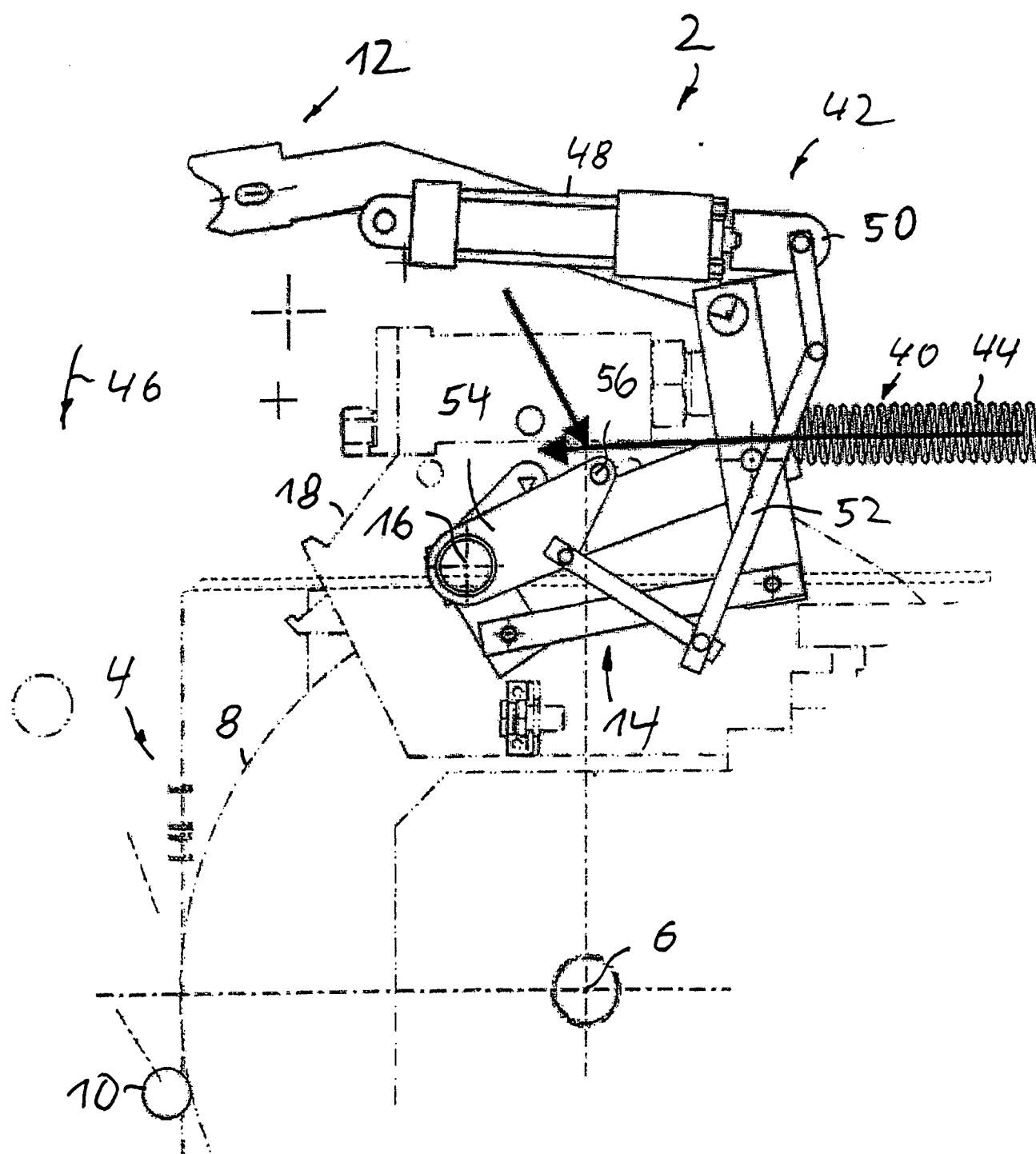


Fig. 1

Fig. 2A

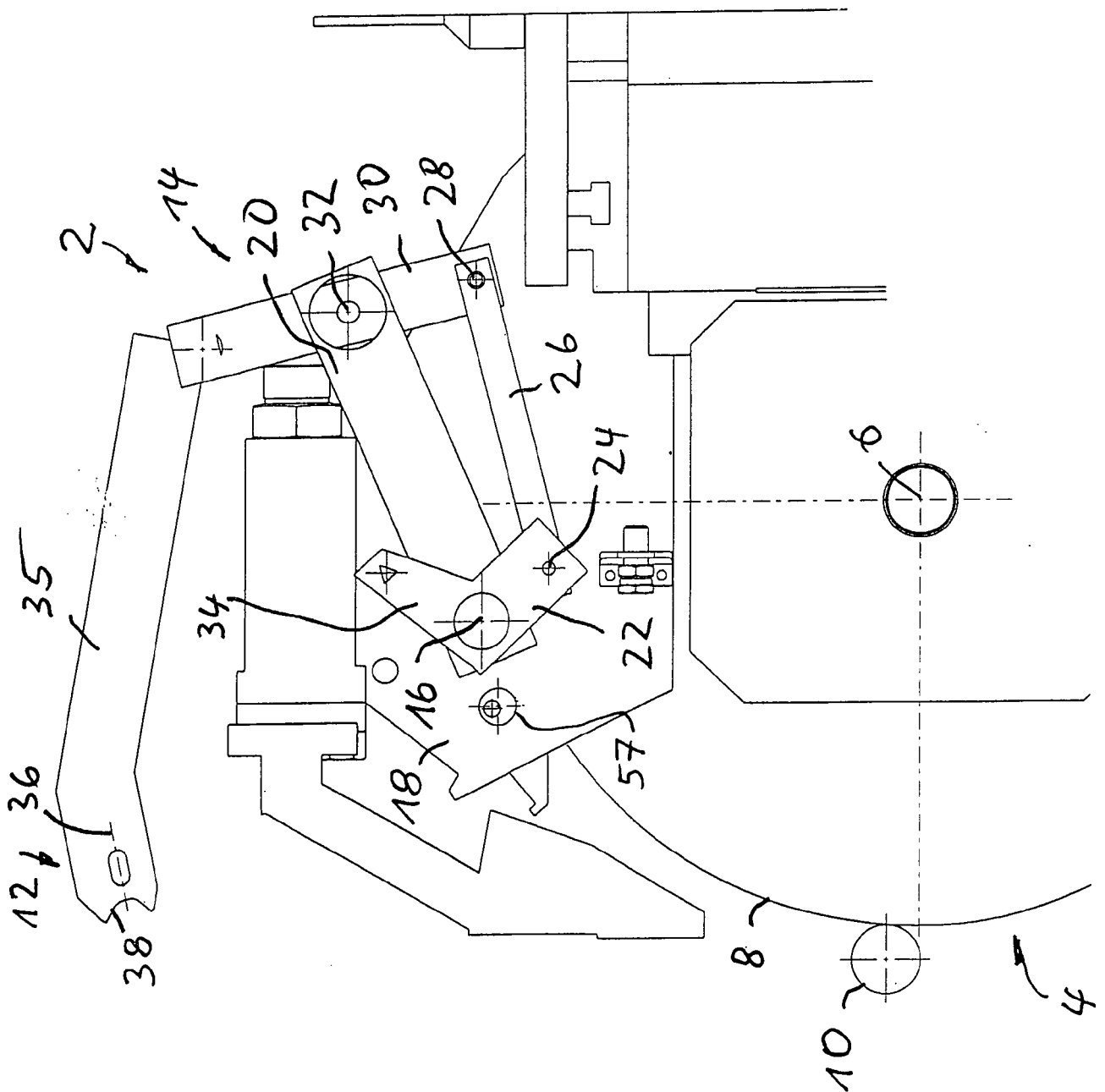


Fig. 2B

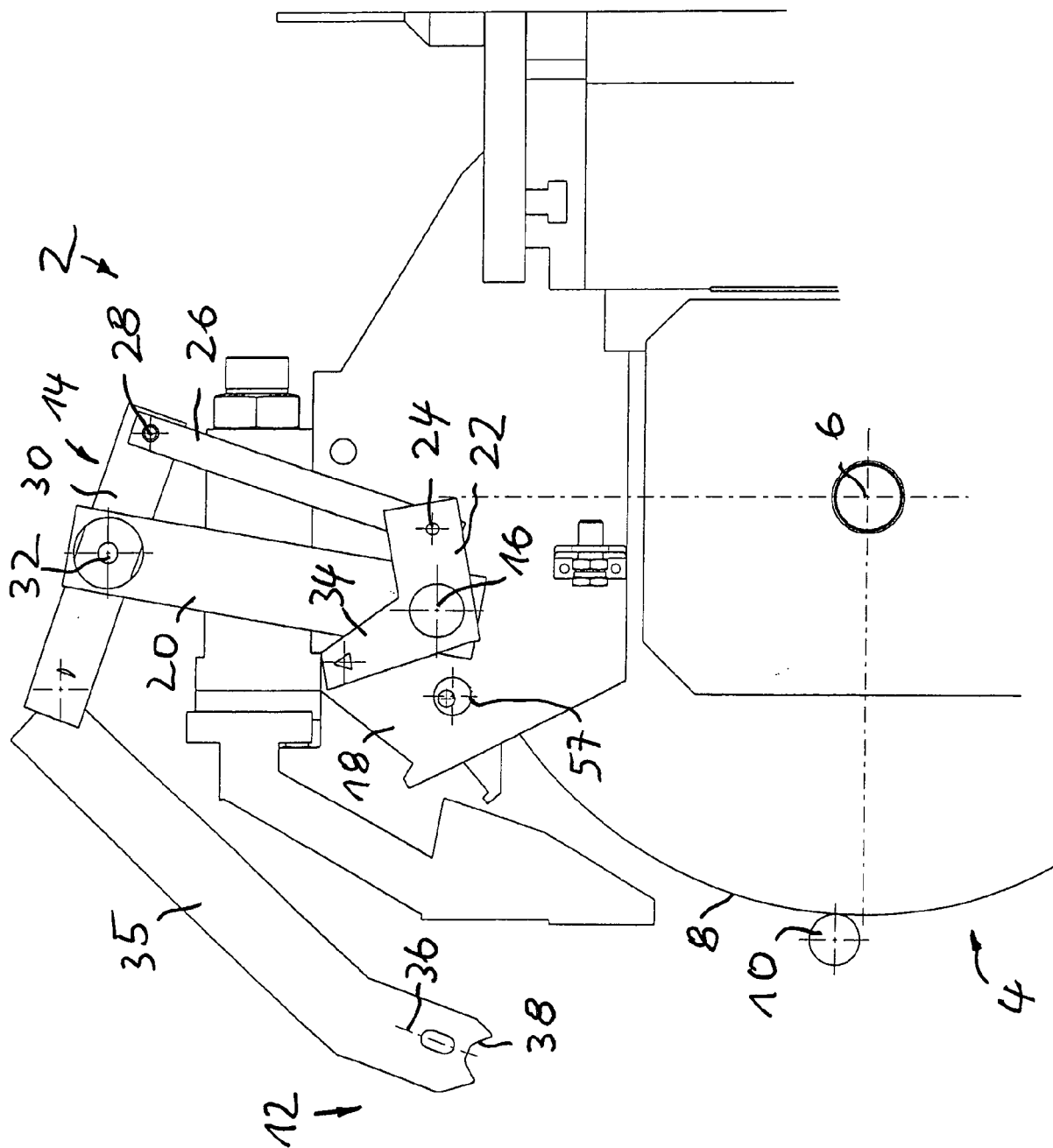


Fig. 2C

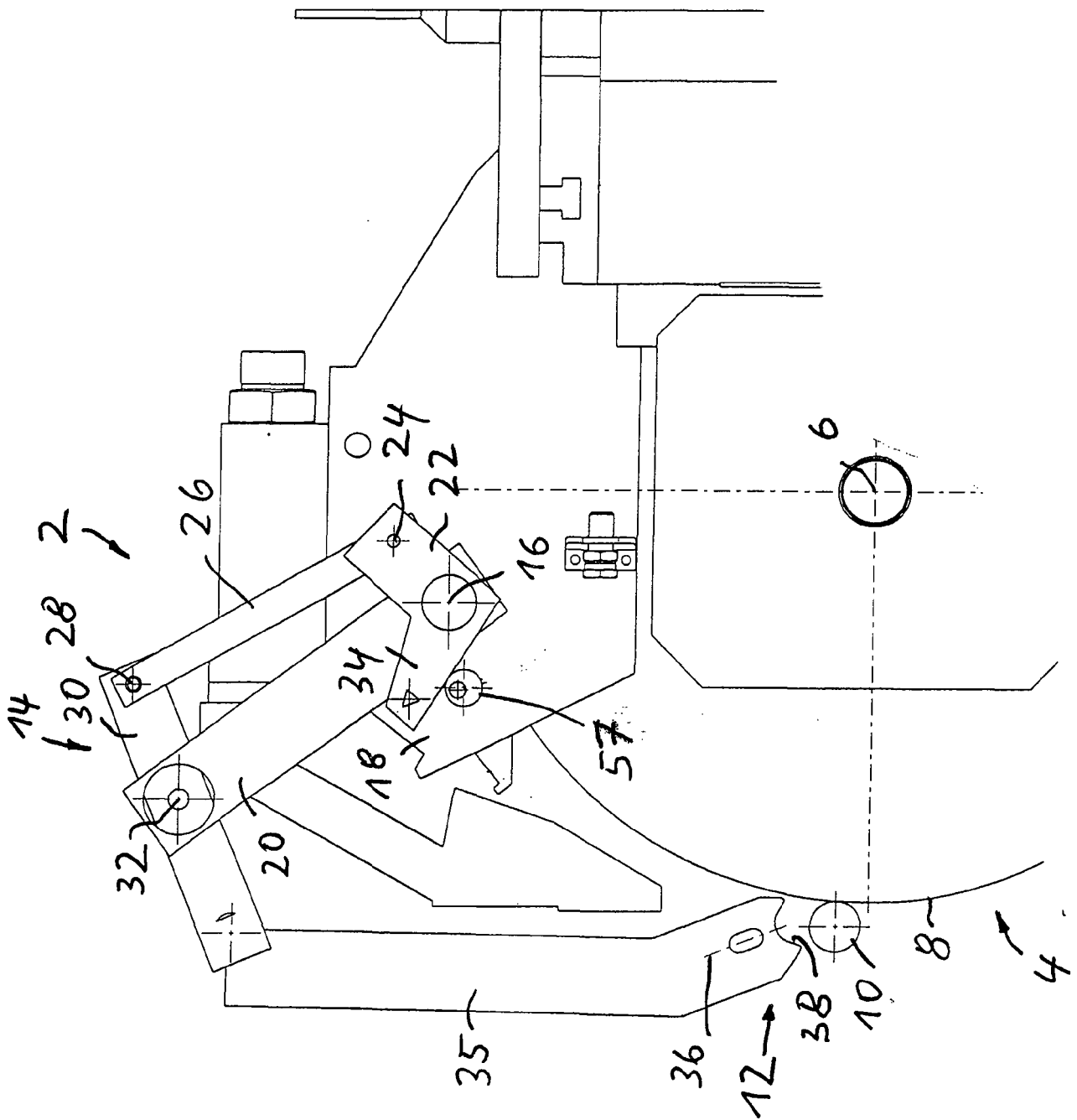


Fig. 2D

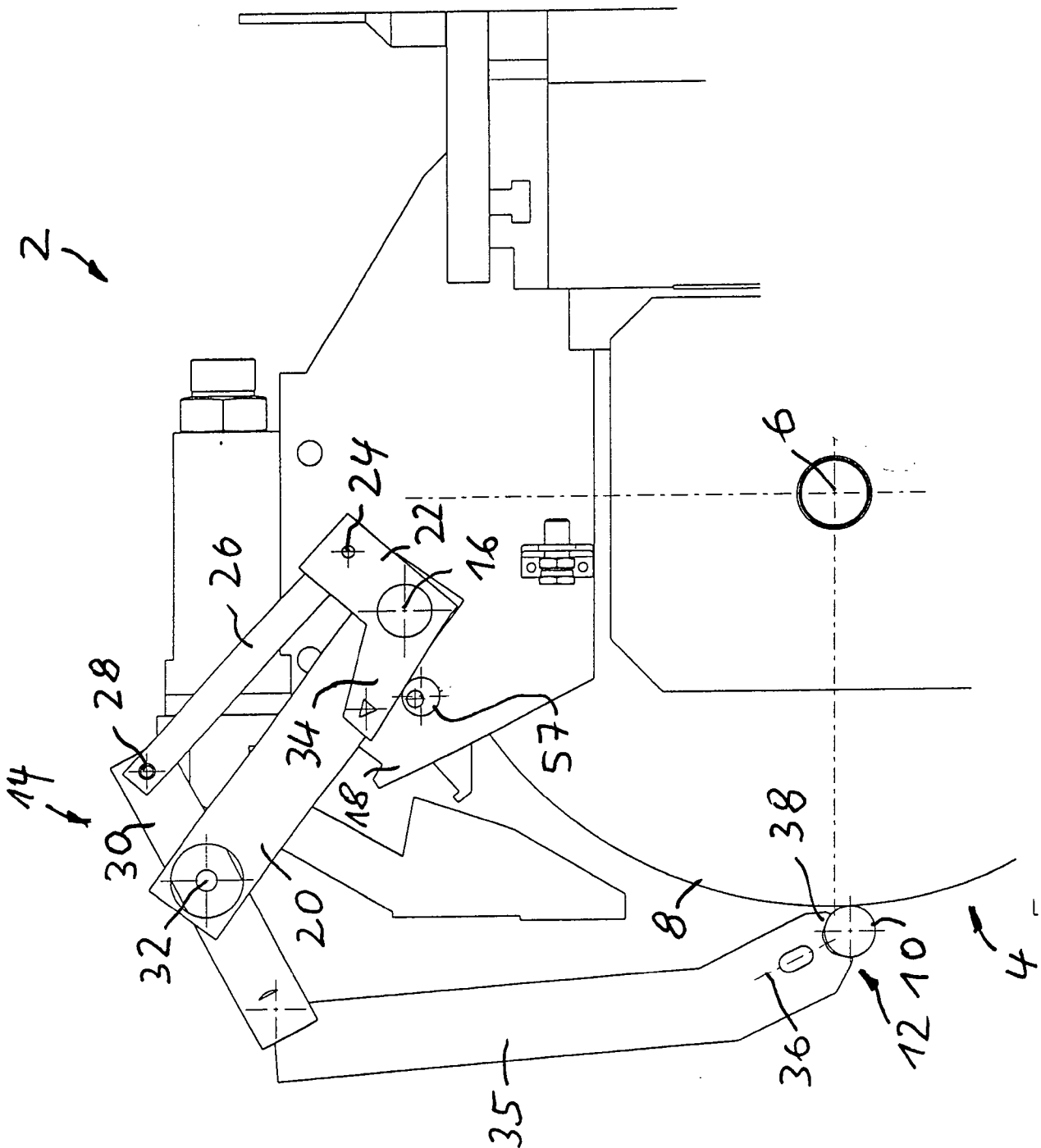
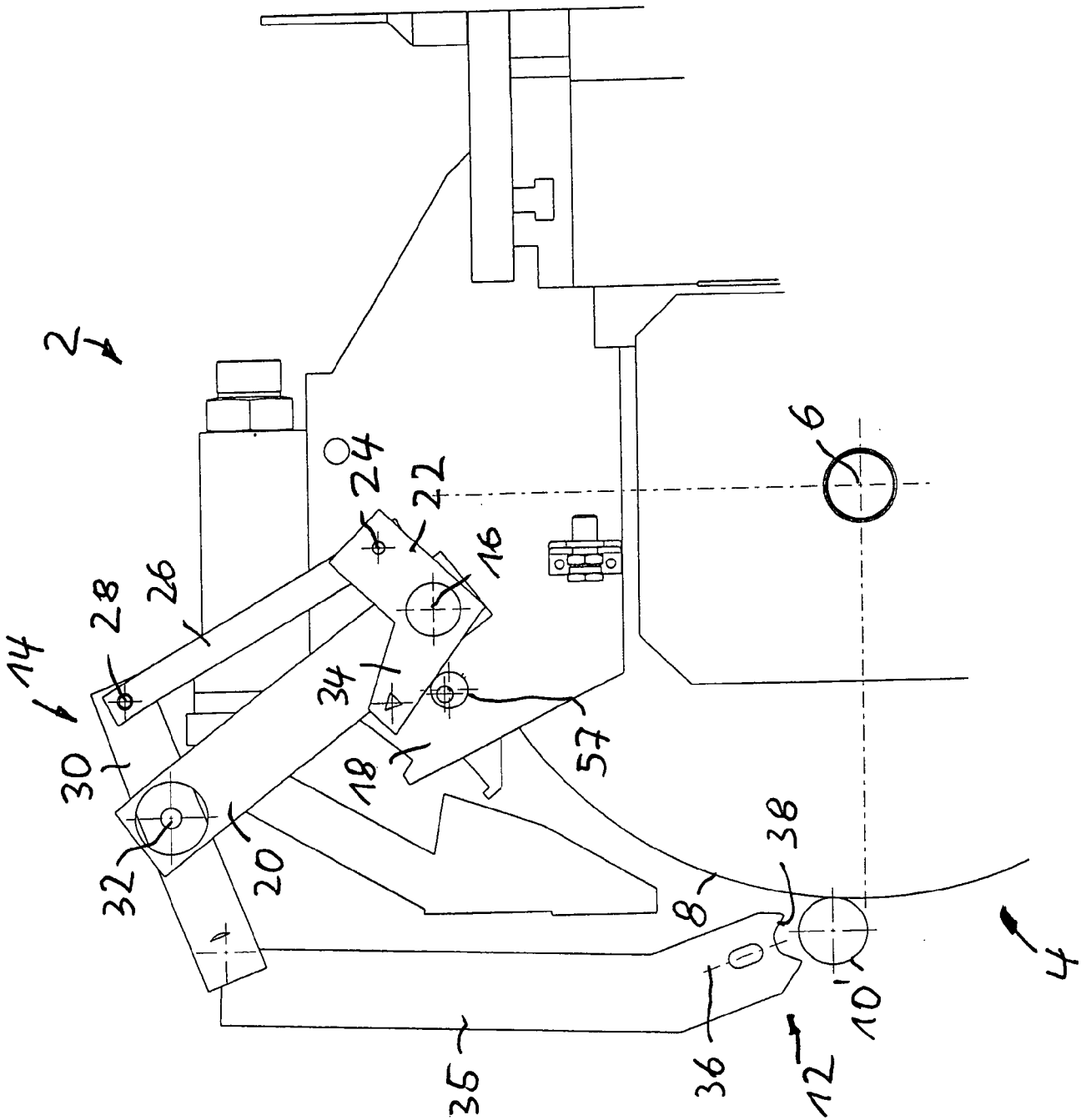


Fig. 2E



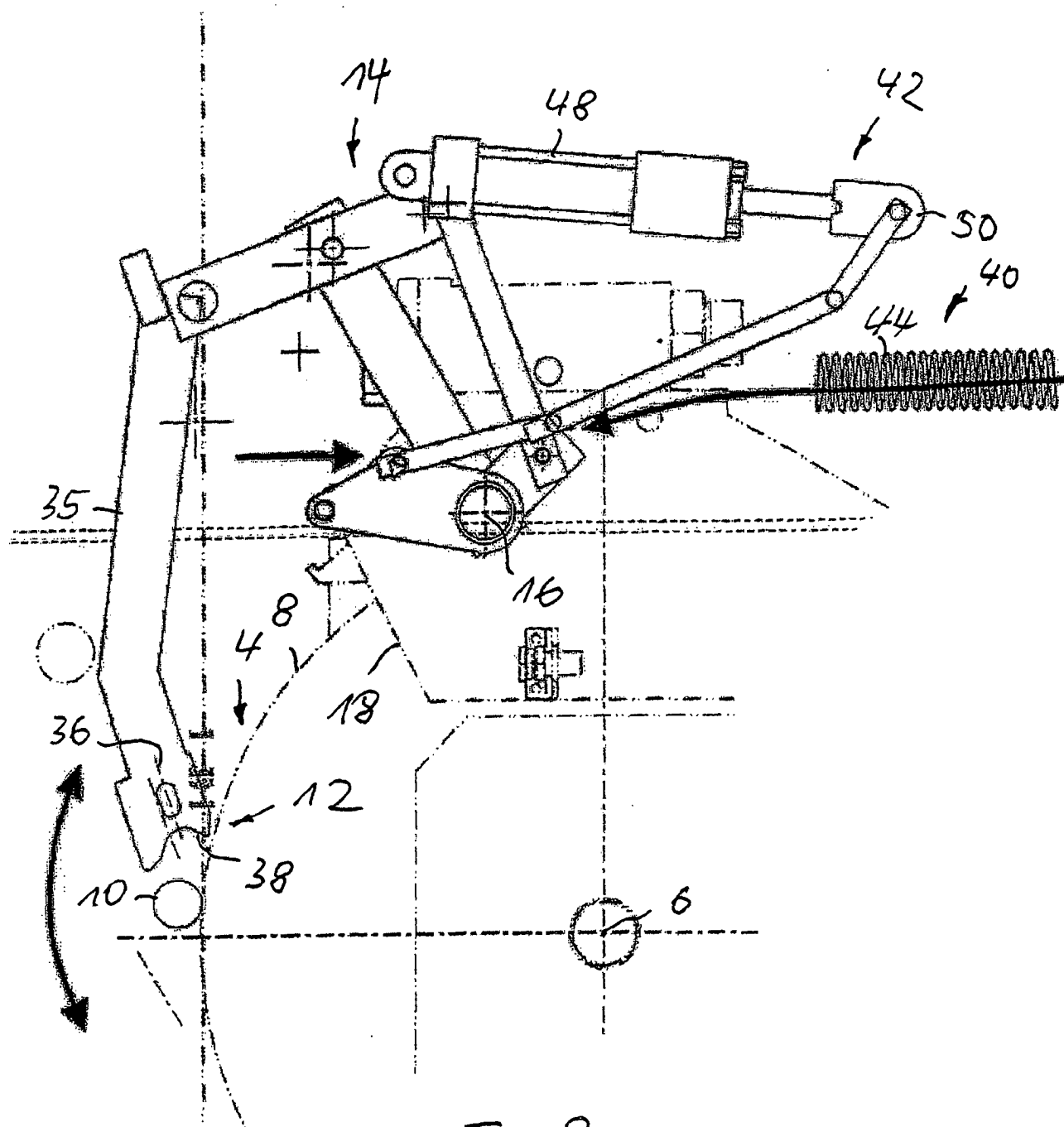


Fig. 3

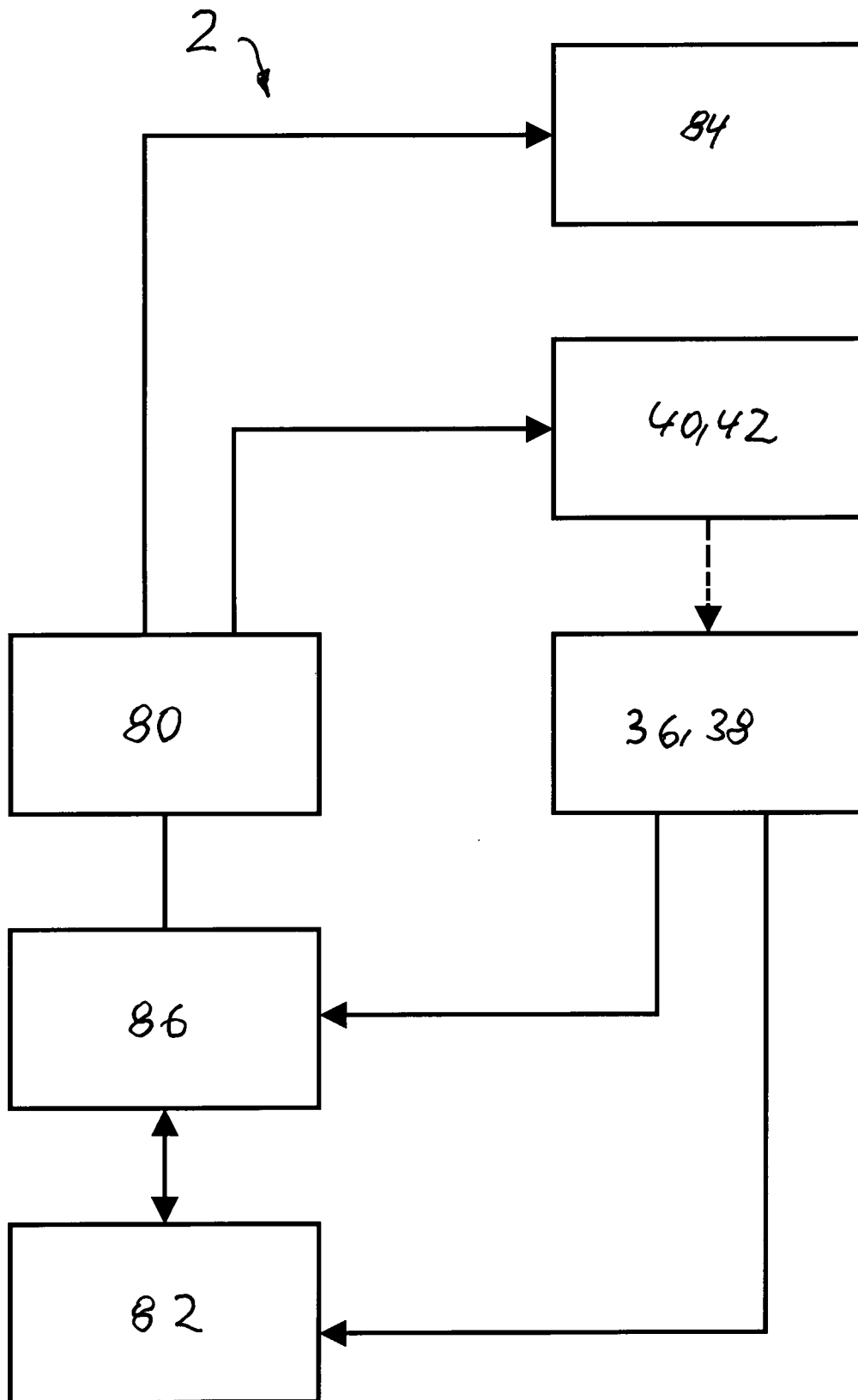


Fig. 4

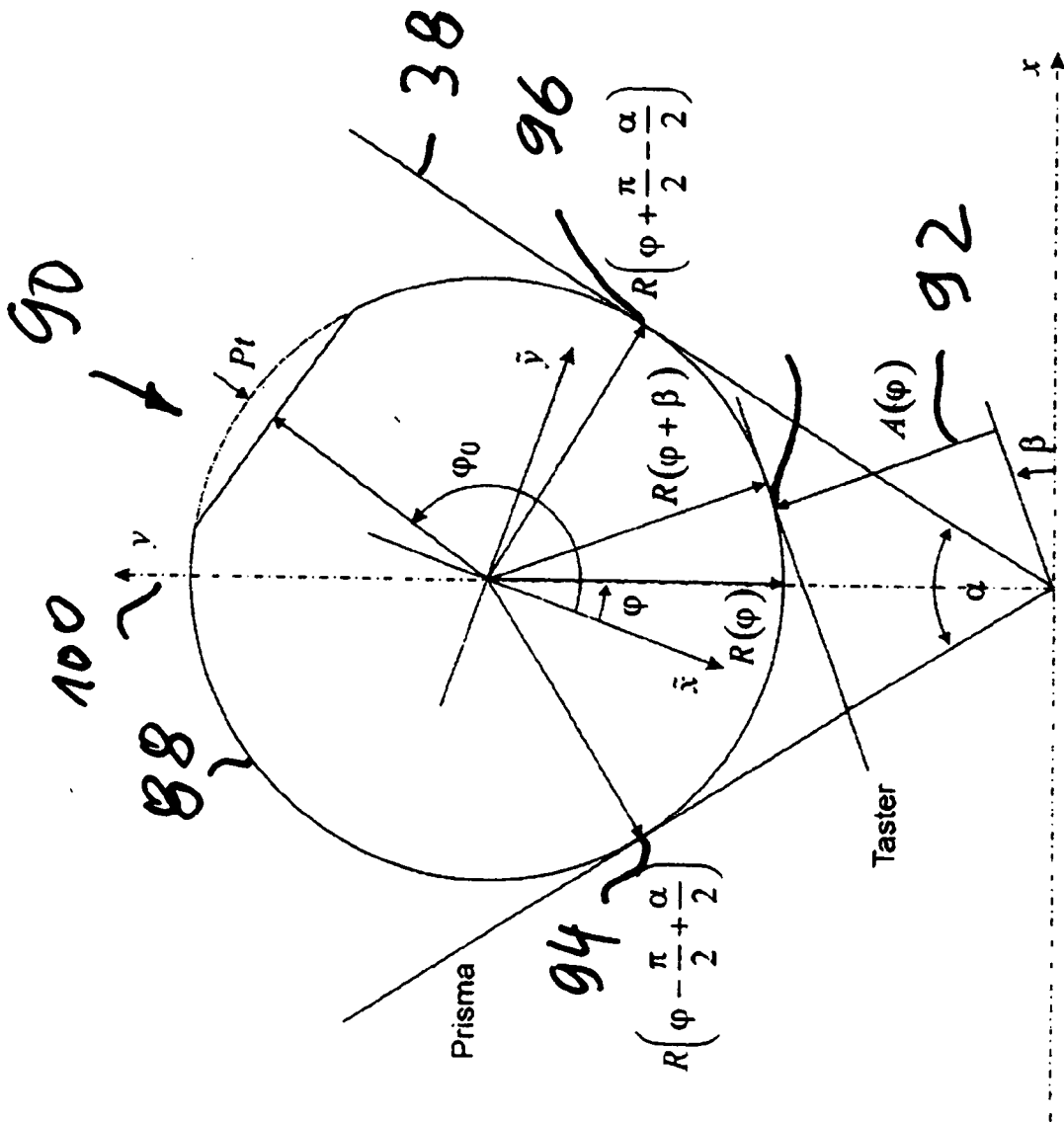


Fig. 5

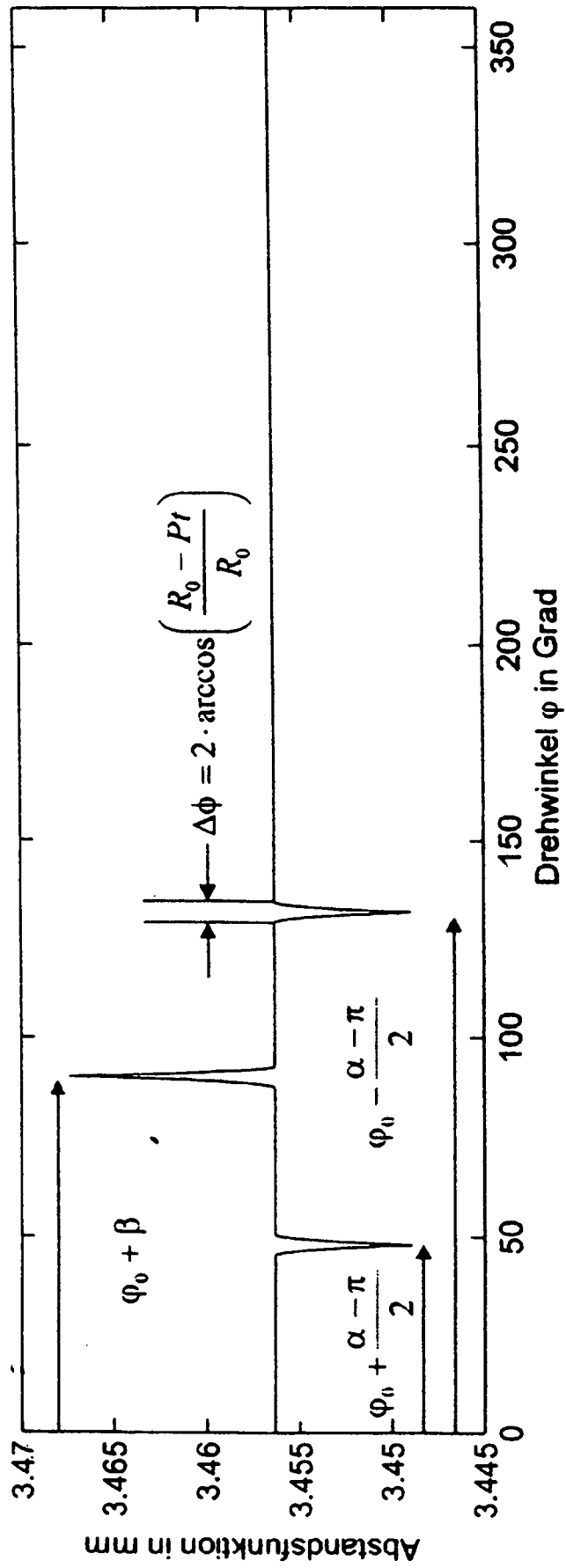


Fig. 6