



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 220 667.8**

(22) Anmeldetag: **30.11.2018**

(43) Offenlegungstag: **04.06.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 7/30 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**ZF FRIEDRICHSHAFEN AG, 88046
Friedrichshafen, DE**

(72) Erfinder:
**Kwandt, Manuel, 88046 Friedrichshafen, DE;
Gries, Jürgen, 88046 Friedrichshafen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2006 051 720	A1
DE	10 2014 109 950	A1
US	2007 / 0 296 411	A1
US	2009 / 0 206 827	A1
US	2013 / 0 179 117	A1
US	2014 / 0 028 294	A1
US	2015 / 0 022 192	A1
EP	2 784 450	A1

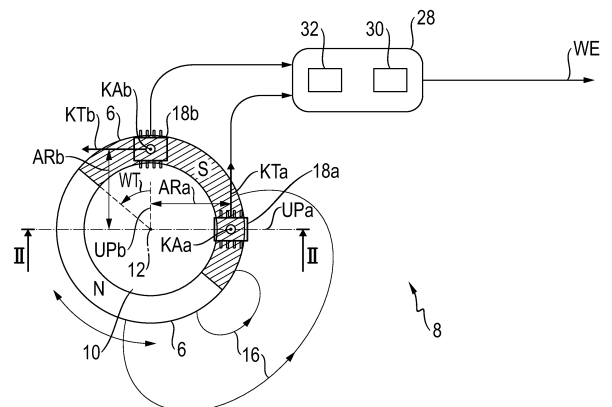
Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Drehwinkelsensor mit zwei Sensorsignalen und Betriebsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Eine Sensoranordnung (8) zur Ermittlung eines Drehwinkels (WE) eines diametral magnetisierten Magneten (6) um eine Drehachse (12) relativ zu einem Grundträger (14), enthält zwei Sensoren (18a,b) an unterschiedlichen Umfangspositionen (UPaa,b) mit Radialabstand (ARa,b) zur Drehachse (12) zur Erfassung von Tangential- (KTA,b) und Axialkomponenten (KAA,b) des Messfeldes (16) des Magneten (6), und eine Auswerteeinheit (28) zur Ermittlung des Drehwinkels (WE) aus den Komponenten anhand einer Arcustangens-Funktion.

Bei einem Verfahren zur Ermittlung des Drehwinkels (WE) werden mit den Sensoren (18a,b) die Komponenten erfasst und aus diesen anhand einer Arcustangens-Funktion der Drehwinkel (WE) ermittelt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Sensoranordnung zur Ermittlung eines Drehwinkels eines Magneten um eine Drehachse relativ zu einem Grundträger sowie ein Verfahren zur Ermittlung des Drehwinkels des Magneten um die Drehachse relativ zum Grundträger in der Sensoranordnung.

[0002] Fig. 4 zeigt eine derartige, aus der Praxis bekannte Sensoranordnung **100**. Ein Sensor **102** ist auf einem Grundträger **104** ortsfest angeordnet. Ein Magnet **106** ist um eine Drehachse **108** relativ zum Grundträger **104** drehbar gelagert (angedeutet durch einen Doppelpfeil) und erzeugt ein magnetisches Messfeld **110** (nur symbolisch angedeutet). Der Magnet **106** nimmt dabei einen (tatsächlichen) Drehwinkel **WT** um die Drehachse **108** ein. Der Sensor **102** erfasst das Messfeld **110** und die Sensoranordnung **100** ermittelt anhand einer Arcustangens-Funktion mit Hilfe einer Auswerteeinheit **112** den aktuellen (ermittelten) Drehwinkel **WE** des Sensors.

[0003] Fig. 5 zeigt über dem tatsächlichen Drehwinkel **WT** aufgetragen den anhand der Arcustangens-Funktion ermittelten Drehwinkel **WE**. Idealerweise sollte der ermittelte Drehwinkel **WE** gleich dem tatsächlichen Drehwinkel **WT** sein. In der Praxis ist der ermittelte Drehwinkel **WE** jedoch fehlerbehaftet.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, Verbesserungen in Bezug auf eine Drehwinkelermessung anzugeben.

[0005] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Sensoranordnung gemäß Patentanspruch 1. Bevorzugte oder vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sowie anderer Erfindungskategorien ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen, der nachfolgenden Beschreibung sowie den beigefügten Figuren.

[0006] Die Sensoranordnung dient zur Ermittlung eines (ermittelten) Drehwinkels eines Magneten um eine Drehachse. Der Drehwinkel ist derjenige des Magneten um die Drehachse relativ zu einem Grundträger. Die Sensoranordnung enthält den Grundträger und den Magneten. Der Magnet ist relativ zum Grundträger um die Drehachse drehbar. Der Magnet ist insbesondere bezüglich der Drehachse diametral magnetisiert. Der Magnet dient zur Erzeugung eines magnetischen Messfeldes bzw. erzeugt der Magnet zumindest im Betrieb der Sensoranordnung das Messfeld. Der Magnet ist insbesondere ein Dauermagnet.

[0007] Die Sensoranordnung enthält einen Sensor. Der Sensor ist insbesondere ein Hall-Sensor. Der Sensor ist relativ zum Grundträger ortsfest angeordnet. Der Sensor dient zur Erfassung einer ersten Tangentialkomponente und einer ersten Axialkomponente des Messfeldes. Die entsprechende Tangential-

richtung und Axialrichtung sind bezüglich der Drehachse zu verstehen. Der erste Sensor ist an einer ersten Umfangsposition bezüglich der Drehachse angeordnet und weist dabei einen ersten Radialabstand zur Drehachse auf.

[0008] Die Sensoranordnung enthält mindestens ein zweiter Sensor zur Erfassung einer zweiten Tangentialkomponente und einer zweiten Axialkomponente des Messfeldes, wobei die Komponenten wie oben bezüglich der Drehachse zu verstehen sind. Der zweite Sensor ist an einer zweiten Umfangsposition bezüglich der Drehachse und mit einem zweiten Radialabstand zur Drehachse angeordnet. Die zweite Umfangsposition ist insbesondere von der ersten Umfangsposition verschieden. Hierdurch können gezielt in Bezug auf die Magnetdrehung nach Art einer Phasenverschiebung versetzte bzw. verschobene Messsignale in den Sensoren erzeugt werden. Diese Verschiebung kann später zur Kompensation der Nichtlinearitäten genutzt werden, wie unten erläutert wird.

[0009] Die Sensoranordnung enthält eine Auswerteeinheit. Diese dient zur Ermittlung des Drehwinkels aus den am Ort der Sensoren von den Sensoren erfassten o.g. Komponenten des Messfeldes. Dabei werden verwendet: mindestens eine der erfassten Tangentialkomponenten und mindestens eine der erfassten Axialkomponenten. Außerdem wird noch mindestens eine weitere der erfassten Tangentialkomponenten oder mindestens eine der erfassten Axialkomponenten verwendet. Die Ermittlung durch die Auswerteeinheit aus den mindestens drei genannten Komponenten erfolgt anhand einer Arcustangens-Funktion (atan-Funktion).

[0010] Es werden also mindestens die drei genannten Komponenten zur Berechnung verwendet. Insbesondere werden alle von den Sensoren erfassten Komponenten verwendet.

[0011] Die Erfindung beruht auf der folgenden Beobachtung: Wird bei einer bekannten Drehwinkelsensorik (Sensoranordnung), wie sie eingangs bzgl. Fig. 4 genannt wurde, der Sensor außerhalb der Rotationsachse (Drehachse) des Magneten positioniert, so ergibt sich über dem (tatsächlichen) Drehwinkel ein nichtlinearer Verlauf des Sensorsignals, wie er in Fig. 5 dargestellt ist. Die Ausprägung der Signal-Nichtlinearität ist stark abhängig vom Luftspalt zwischen Magnet und Sensor und vom Abstand des Sensors gegenüber der Magnet-Drehachse.

[0012] Die Erfindung beruht weiterhin auf der Erkenntnis, dass diese Nichtlinearität bei der o.g. herkömmlichen Vorgehensweise durch Anlernen des Magnet-Sensorsystems (Sensoranordnung) in einem Produktionsprozess linearisiert werden könnte. Dies könnte z.B. dadurch erreicht werden, dass zur Atan-

Berechnung die Einzelfeldkomponenten (vom Sensor erfasste Axial-/Radial-/Tangentialkomponenten, hier beispielsweise Bx und By) mit Faktoren (kx, ky) gemäß der Formel

$$\text{atan}\left(\frac{B_x * k_x}{B_y * k_y}\right)$$

belegt werden könnten.

[0013] Die Erfindung beruht auf der Idee, die geometrisch induzierte Nichtlinearität auf alternative Weise zu kompensieren.

[0014] Hierzu werden mindestens zwei Sensoren verwendet, die optional bzw. idealerweise um 60 bis 120 Grad, insbesondere um 80 bis 100 Grad, insbesondere um 90° gegeneinander versetzt auf einem Kreis um die Drehachse unterhalb bzw. oberhalb (also in Axialrichtung bezüglich der Drehachse versetzt) des Magneten angeordnet sind.

[0015] Optional kann auch ein anderes Winkelverhältnis oder eine andere Platzierung der Sensoren auf verschiedenen Radien gewählt werden. Die gewählte Anordnung ist abhängig von der Form und Magnetisierung des verwendeten Magneten und der gewählten Anzahl von Sensoren.

[0016] Die Anordnung der Sensoren ist optional so zu wählen, dass die gemessenen nichtlinearen Winkelsignale (Rohwinkel, siehe unten) gegenüber der idealen, linearen Sensor-Winkel-Gerade (idealer fehlerfreier ermittelter Drehwinkel über dem tatsächlichen Drehwinkel) im Arbeitsbereich einen nahezu achssymmetrischen Verlauf aufweisen.

[0017] Da die Abweichung der Sensorsignale (Rohwinkel) von der idealen Gerade jeweils größer bzw. oberhalb der Geraden oder kleiner bzw. unterhalb der Geraden ist, kann durch Mittelwertbildung der beiden Sensorsignale (Rohwinkel) der Restfehler gegenüber der idealen, linearen Gerade auf ein Minimum gesenkt werden. Diese Methode führt in einem weiten Parameterbereich unabhängig von den verschiedenen Luftspalten zu einem nahezu linearen Sensorsignal (ermittelter Drehwinkel) mit geringem Restfehler (zur idealen Geraden).

[0018] Hierdurch muss nicht in die Atan-Berechnung des Sensorsignals (Rohwinkel) eingegriffen werden, um den Winkelverlauf des Sensorausgangssignals (ermittelter Drehwinkel) für verschiedene Luftspalte und Radien zu linearisieren. Aufwändige und zeitintensive Anlernprozesse (z.B.: EndOfLine) sowie luftspaltabhängige Korrekturmaßnahmen im laufenden Messbetrieb bleiben hierdurch erspart. Weiterhin ist der exakte Luftspalt zwischen Sensor und Magnet oft unbekannt und kann nur mit großer Unsicherheit ge-

messen werden. Die hierfür zuvor berechneten und in einer Tabelle abgelegten Korrekturfaktoren für die Luftspaltkorrektur der Sensorkennlinie würden folglich auch immer nur mit der Ungenauigkeit der Luftspaltmessung appliziert werden können, was trotz hohem Aufwand zu einem deutlichen Restfehler des Messsignals führt. Diesen Nachteil behebt diese Erfindung.

[0019] Die vorliegende Anordnung ist daher besonders geeignet für Magnet-Sensorsysteme bei denen der Sensor weit außerhalb der Drehachse des Gebermagneten liegt. Dies ist insbesondere bei Ringmagneten der Fall, wenn der innere Bereich des Magneten für Kabeldurchführungen o.ä. benutzt wird und der Sensor nur unterhalb des äußeren Bereiches des Magneten auf der Leiterplatte (Grundträger) Platz findet.

[0020] Die Reduktion des nichtlinearen Messfehlers durch Mittelwertbildung mehrerer Sensoren ist stark abhängig von der Platzierung der Sensoren unterhalb des Magneten. Durch moderne magnetische Feldberechnungsprogramme können die idealen Positionen der Sensoren, die zu einer möglichst guten Fehlerkompensation über dem Parameterbereich führen, ermittelt werden.

[0021] Durch diese Methode erhält man ein robustes, inhärent stabiles Messsignal (ermittelter Drehwinkel) mit wenig Fehler über dem (tatsächlichen) Drehwinkel und Luftspalt, das ohne Anlern- bzw. Kompensationsprozesse im laufenden Messbetrieb auskommt. Daher ist diese Anordnung sehr vorteilhaft für eine Drehwinkelerfassung mit Druck- bzw. Zugfunktion (Verschiebung des Magneten zwischen unterschiedlichen Axialpositionen relativ zum Grundträger bzw. zu den Sensoren), welche den Drehwinkel eines Bedienelementes bei verschiedenen Abständen (Luftspalten) mit minimalem Fehler erfassen muss.

[0022] Weiterhin wird durch die Mittelwertbildung des Messsignals der Störeinfluss eines externen Störfeldes deutlich reduziert, da der Störfeldgradient zwischen den benachbarten Sensoren im Allgemeinen aufgrund des größeren Abstandes der Störfeldquelle zur Sensorik gering ist.

[0023] Diese Anordnung ist für beliebig geformte Permanentmagnete anwendbar, aber besonders wirksam bei rotationssymmetrischen Geometrien wie z.B. bei Ringmagneten und rundenförmigen Magneten.

[0024] Die Vorgehensweise kann für herkömmliche hallbasierte 2D-Winkelsensoren oder 3D-Sensoren angewendet werden.

[0025] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist mindestens einer der Sensoren gegenüber einer quer zur Drehachse liegenden Zentralebene des Magneten in Axialrichtung der Drehachse um einen Axialabstand versetzt angeordnet. Insbesondere gilt dies für alle Sensoren. Insbesondere befinden sich mindestens zwei oder alle Sensoren in einer gemeinsamen Parallelebene zur Zentralebene bezüglich der Drehachse. Insbesondere liegt dabei ein Luftspalt zwischen Magnet und einem entsprechenden Sensor vor. Dies entspricht der oben angegebenen Anordnung „unterhalb bzw. oberhalb“ des Magneten. Für eine entsprechende Anordnung ist die Erfindung besonders geeignet.

[0026] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weisen mindestens zwei, insbesondere alle der Sensoren einen gleichen Axialabstand und/oder einen gleichen Radialabstand zur Drehachse auf. Somit ergeben sich symmetrische bzw. regelmäßige Anordnungen, für die die Erfindung besonders wirksam einsetzbar ist.

[0027] In einer bevorzugten Ausführungsform sind zwei der Umfangspositionen rechtwinklig zueinander versetzt. Für diese beiden Umfangspositionen ergeben sich damit jeweilige um den entsprechenden Winkel, z.B. 90°, phasenversetzte Sensorsignale, was zu einer besonders einfachen Fehlerkompensation durch Mittelwertbildung zwischen den beiden Sensoren führt.

[0028] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Magnet rotationssymmetrisch zur Drehachse ausgebildet. Hierdurch ergeben sich besonders ähnliche, lediglich phasenversetzte Signale in den Sensoren.

[0029] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Magnet ein konzentrisch zur Drehachse angeordneter Ringmagnet. Dieser besitzt also eine zentrale Öffnung, die insbesondere als Kabeldurchführung dienen kann. So lässt sich die Sensoranordnung besonders günstig in radial wenig ausladenden Anwendungen einsetzen.

[0030] In einer bevorzugten Ausführungsform ist eine Axialposition des Magneten entlang der Drehachse bezüglich des Grundträgers veränderlich. Auch die Veränderung einer entsprechenden Axialposition ist durch die Sensoren detektierbar. Die Sensoranordnung eignet sich somit zur Detektion von Axialbewegungen, insbesondere der oben genannten Drück- bzw. Zugfunktion. Die Axialpositionen der Sensoren relativ zum Magneten ändern sich dabei also gleichmäßig.

[0031] In einer bevorzugten Ausführungsform enthält die Auswerteeinheit ein Rohwinkelmodul, das dazu eingerichtet ist, aus einer jeweiligen Axialkomponente und Tangentialkomponente des selben

Sensors anhand einer Arcustangens-Funktion einen Rohwinkel für den jeweiligen Sensor zu bilden, der dann zum Drehwinkel verarbeitbar ist.

[0032] Somit werden innerhalb der Auswerteeinheit die beiden Komponentensignale eines jeweiligen Sensors separat für sich bereits zu einem Rohwinkel vorverarbeitet, was die anschließende weitere Verarbeitung des Rohwinkels in der Auswerteeinheit ermöglicht. Ansonsten wird auf die Ausführungen oben zu entsprechenden Rohwinkeln verwiesen.

[0033] In einer bevorzugten Ausführungsform enthält die Auswerteeinheit ein Mittelwertmodul, das dazu eingerichtet ist, einen Mittelwert aus mindestens zwei der Axialkomponenten und/oder Tangentialkomponenten zu bilden und/oder - falls vorhanden - aus ermittelten Rohwinkeln zu bilden, der dann zum Drehwinkel verarbeitbar ist. Wie oben erläutert, können durch entsprechende Mittelwertbildungen besonders einfach die Nichtlinearitäten in den Rohwinkeln kompensiert werden, wobei die Nichtlinearitäten durch den Axialabstand der Sensoren zur Drehachse verursacht sind.

[0034] Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 10 zur Ermittlung des Drehwinkels des Magneten um die Drehachse relativ zu dem Grundträger in der erfindungsgemäßen Sensoranordnung. Bei dem Verfahren werden mit den Sensoren mindestens eine der Tangentialkomponenten und mindestens eine der Axialkomponenten und mindestens eine weitere der Tangentialkomponenten oder der Axialkomponenten erfasst, wie oben sinngemäß erläutert. Aus mindestens den erfassten Komponenten (je nach Ermittlung: Axial / Tangential) wird der Drehwinkel anhand einer Arcustangens-Funktion ermittelt. Dies kann in der Auswerteeinheit der Sensoranordnung geschehen. Alternativ kann jedoch auch eine reduzierte Sensoranordnung ohne Auswerteeinheit in dem Verfahren verwendet werden. Die entsprechende Auswertung findet dann in einer alternativen Auswerteeinheit statt, welche sich auch außerhalb der Sensoranordnung befinden kann.

[0035] Das Verfahren und zumindest ein Teil dessen Ausführungsformen sowie die jeweiligen Vorteile wurden sinngemäß bereits im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Sensoranordnung erläutert.

[0036] In einer bevorzugten Ausführungsform wird aus einer jeweiligen Axialkomponente und Tangentialkomponente des selben Sensors anhand einer Arcustangens-Funktion ein Rohwinkel für den jeweiligen Sensor gebildet. Der Rohwinkel wird - vorzugsweise in der Auswerteeinheit - dann zum Drehwinkel verarbeitet. Das entsprechende Vorgehen und dessen Vorteile wurden oben sinngemäß bereits im Zu-

sammenhang mit dem Rohwinkel bzw. dem Rohwinkelmodul erläutert.

[0037] In einer bevorzugten Ausführungsform wird der Rohwinkel anhand einer ungewichteten Arcustangens-Funktion gebildet. Wie oben ausführlich erläutert, muss so in die Berechnung der eigentlichen Arcustangens-Funktion nicht eingegriffen werden, d.h. die oben erläuterte Erweiterung um die Faktoren (k_x , k_y) kann entfallen.

[0038] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird mindestens ein Mittelwert aus mindestens zwei der Axialkomponenten und/oder Tangentialkomponenten gebildet. Alternativ oder zusätzlich wird der Mittelwert aus - falls vorhanden - ermittelten Rohwinkeln gebildet. Der Mittelwert wird - vorzugsweise in der Auswerteeinheit - dann zum Drehwinkel verarbeitet. Das entsprechende Vorgehen wurde sinngemäß oben bereits erläutert.

[0039] In einer bevorzugten Ausführungsform werden für mindestens zwei der Sensoren individuelle Rohwinkel gebildet, wobei die Positionen (Axial- und/oder Radial- und/oder Umfangs-Position) der Sensoren so gewählt werden, dass die individuellen Rohwinkel gegenüber einer idealen Winkelgeraden (ermittelter Drehwinkel über tatsächlichem Drehwinkel) einen axialsymmetrischen Verlauf aufweisen. Der Drehwinkel wird dann anhand einer Mittelwertbildung der beiden Rohwinkel ermittelt.

[0040] Das entsprechende Vorgehen wurde sinngemäß oben bereits erläutert. Insbesondere kann hierbei ein Winkelversatz von 90° der Sensoren bezüglich der Drehachse in Umfangsrichtung gewählt werden, sodass sich die oben erläuterte günstige Beziehung zwischen den Rohwinkeln (Symmetrie bezüglich einer idealen Geraden) einstellt.

[0041] In einer bevorzugten Ausführungsform wird der Verlauf des ermittelten Drehwinkels über dem tatsächlichen Drehwinkel anhand einer FEM-Analyse des Messfeldes zumindest am Ort mindestens eines Sensors optimiert. Die Optimierung wird insbesondere derart durchgeführt, dass anhand einer gerasterten FEM-Analyse vorgegebener Axialabstände und Radialabstände und Winkelversätze solche gewählt werden, die eine vergleichsweise optimale Linearität des Verlaufs liefern.

[0042] Durch Variation von Parametern der Anordnung, zumindest von Axialabstand und/oder Radialabstand und/oder Umfangsposition der Sensoren, verändert sich der Verlauf des tatsächlich ermittelten Drehwinkels. Gemäß der Erfindung werden die Parameter derart bzw. so lange variiert, bis im Rahmen der entsprechenden Variation (also im Rahmen der in Erwägung gezogenen Möglichkeiten von Platzierungen, insbesondere einer begrenzten Auswahl)

eine Kombination gefunden ist, bei der die Abweichung zwischen ermitteltem Drehwinkel und tatsächlichem Drehwinkel (insbesondere innerhalb aller getesteten Platzierungen) minimiert ist. Insbesondere werden hierbei in einer Radial-Axial-Ebene der Drehachse gitterförmig mit geeignetem Gitterabstand und einer geeigneten Anzahl von Gitterpunkten an allen Gitterpunkten die entsprechenden Größen überprüft und der optimale Gitterpunkt (Radialabstand/Axialabstand) für die Platzierung des Sensors ausgewählt. Dabei wird außerdem der Umfangsversatz zwischen den Sensoren variiert. Sowohl für einen entsprechenden Optimierungsvorgang als auch für ein entsprechendes zu optimierendes Maß der Abweichung zwischen ermitteltem und tatsächlichem Drehwinkel verfügt der Fachmann über eine Vielzahl von Auswahlmöglichkeiten. Der Fachmann ist hierbei in der Lage, eine geeignete Auswahl für eine konkret vorliegende Sensoranordnung zu treffen.

[0043] Unter „vorgebar“ sind hierbei insbesondere eine technisch praxisgerechte, möglichst kleine, aber hinreichende Anzahl von zu untersuchenden Gitterpunkten zu verstehen, die jedoch ausreichend dicht bzw. in technisch sinnvoll abgestuften Abständen in einem entsprechend sinnvoll erscheinenden Radial-Axial-Umfangs-Bereich platziert sind.

[0044] Die entsprechende Optimierung kann dann theoretisch bzw. an einem Rechner durchgeführt werden, Versuche bzw. Messungen sind hierfür nicht notwendig.

[0045] Weitere Merkmale, Wirkungen und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung sowie der beigefügten Figuren. Dabei zeigen, jeweils in einer schematischen Prinzipskizze:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Sensoranordnung in Draufsicht und

Fig. 2 in Seitenansicht,

Fig. 3 die Rohwinkel beider Sensoren aus **Fig. 1** und **Fig. 2** sowie den tatsächlichen und den ermittelten Drehwinkel, aufgetragen über dem tatsächlichen Drehwinkel,

Fig. 4 eine Sensoranordnung gemäß Stand der Technik

Fig. 5 den Rohwinkel des Sensors aus **Fig. 4**, aufgetragen über dem tatsächlichen Drehwinkel gemäß Stand der Technik.

[0046] **Fig. 1** (Draufsicht in Richtung des Pfeils I in **Fig. 2**) und **Fig. 2** (Schnitt in Richtung der Pfeile II-II in **Fig. 1**) zeigen eine Sensoranordnung **8** gemäß der Erfindung. Diese dient zur Ermittlung eines (ermittelten) Drehwinkels **WE** eines Magneten **6** um eine Drehachse **12** relativ zu einem Grundträger **14**.

Der ermittelte Drehwinkel **WE** soll dabei idealerweise dem tatsächlichen Drehwinkel **WT** des Magneten **6** um die Drehachse **12** entsprechen. Grundträger **14** und Magnet **6** sind hierbei Teil der Sensoranordnung **8**. Der Magnet **6** ist also um die Drehachse **12** drehbar (durch einen Doppelpfeil angedeutet) und hier bezüglich der Drehachse **12** diametral magnetisiert. Somit erzeugt der Magnet **6** ein magnetisches Messfeld **16**, welches hier lediglich symbolisch durch Feldlinien angedeutet ist.

[0047] Ortsfest relativ zum Grundträger **14** ist ein erster Sensor **18a** der Sensoranordnung **8** angeordnet. Dieser dient zur Erfassung einer ersten Tangentialkomponente **KTa** und einer ersten Axialkomponente **KAa** des Messfeldes **16**. „Axial“, „Tangential“ usw. ist hier bezüglich der Drehachse **12** zu verstehen. Der erste Sensor **18a** ist dabei an einer ersten Umfangsposition **UPa** bezüglich der Drehachse **12** und mit einem ersten Radialabstand **ARa** zur Drehachse **12** angeordnet.

[0048] Die Sensoranordnung **8** enthält außerdem einen zweiten Sensor **18b** zur Erfassung einer zweiten Tangentialkomponente **KTb** und einer zweiten Axialkomponente **KAb** des Messfeldes **16**. Der zweite Sensor **18b** ist an einer zweiten Umfangsposition **UPb** bezüglich der Drehachse **12** und mit einem zweiten Radialabstand **RAb** zur Drehachse **12** angeordnet.

[0049] Die Sensoranordnung **8** enthält außerdem eine Auswerteeinheit **28** zur Ermittlung des Drehwinkels **WE**. Im Beispiel verwendet die Auswerteeinheit **28** hierzu beide Tangentialkomponenten **KTa,b** und Axialkomponenten **KAa,b** von erstem Sensor **18a** und zweitem Sensor **18b**, wie weiter unten erläutert wird.

[0050] Beide Sensoren **18a,b** sind gegenüber einer quer zur Drehachse **12** liegenden Zentralebene **24** des Magneten **6** in Axialrichtung der Drehachse **12** um einen - hier gleichen - ersten und zweiten Axialabstand **AAa,b** versetzt angeordnet. Außerdem weisen beide Sensoren **18a,b** gegenüber der Drehachse **12** den gleichen Radialabstand **ARa,b** auf. Die zwei Umfangspositionen **UPa,b** schließen außerdem hier einen rechten Winkel bezüglich der Drehachse **12** ein.

[0051] Der Magnet **6** ist außerdem rotationssymmetrisch zur Drehachse **12** ausgebildet, hier als konzentrisch zur Drehachse **12** angeordneter Ringmagnet. Daher weist dieser eine zentrale Öffnung **10** auf, die als Durchführung für nicht dargestellte Kabel beim Verbauen des Sensors in einer nicht dargestellten Anwendung, z.B. einem Schalthebei eines Automobils, dient.

[0052] Die Axialposition **PA** des Magneten **6** auf der Drehachse **12** ist veränderlich, d.h. der Magnet **6** ist

in Richtung des dargestellten Doppelpfeils bewegbar. Die Axialabstände **AAa,b** ändern sich bei einer derartigen Bewegung gleichmäßig.

[0053] Die Auswerteeinheit **28** enthält ein Rohwinkelmodul **32**. Dieses dient dazu, aus einer jeweiligen Axialkomponente **KAa,b** und Tangentialkomponente **KTa,b** des selben Sensors **18a,b** anhand einer Arcustangens-Funktion einen Rohwinkel **WRa,b** für den jeweiligen Sensor **18a,b** zu bilden, der dann zum Drehwinkel **WE** verarbeitet wird.

[0054] Die Auswerteeinheit **28** enthält außerdem ein Mittelwertmodul **30**. Dieses dient hier dazu, einen Mittelwert **M** aus den beiden ermittelten Rohwinkeln **WRa,b** zu bilden, der dann zum Drehwinkel **WE** verarbeitet wird, bzw. hier den ermittelten Drehwinkel **WE** darstellt.

[0055] Fig. 3 veranschaulicht, wie die beiden Rohwinkel **WRa,b** durch eine reine Arcustangens-Funktion, also ohne die o.g. Faktoren k_x , k_y bzw. mit $k_x = k_y = 1$ einfach ermittelt werden und daher einen nicht-linearen Verlauf **26** über dem tatsächlichen Drehwinkel **WT** aufweisen. Die Abweichungen der Verläufe **26** vom tatsächlichen Drehwinkel **WT** sind im Beispiel stark vergrößert dargestellt. In der Praxis bewegen sich diese im Bereich einstelliger Grade, in der Regel unterhalb 1° . Die Abweichungen bzw. Verzerrungen vom tatsächlichen Drehwinkel **WT** sind jeweils prinzipiell positiv und negativ sinusförmig.

[0056] Durch eine Mittelwertbildung

$$WE = \frac{WRa + WRb}{2}$$

zwischen den beiden Rohwinkeln **WRa,b** ergibt sich jedoch dann der ermittelte Drehwinkel **WE** auf der idealen Gerade, die der absolute Drehwinkel **WT** beschreibt. Restfehler entstehen durch Nichtlinearitäten des Gesamtsystems.

Bezugszeichenliste

6	Magnet
8	Sensoranordnung
10	Öffnung
12	Drehachse
14	Grundträger
16	Messfeld
18a,b	Sensor
24	Zentralebene
26	Verlauf
28	Auswerteeinheit

30	Mittelwertmodul
32	Rohwinkelmodul
100	Sensoranordnung
102	Sensor
104	Grundträger
106	Magnet
108	Drehachse
110	Messfeld
112	Auswerteeinheit
WT	Drehwinkel (tatsächlich)
WE	Drehwinkel (ermittelt)
N	Nordpol
S	Südpol
KAA,b	Axialkomponente
KTa,b	Tangentialkomponente
AAa,b	Axialabstand
ARa,b	Radialabstand
UPa,b	Umfangsposition
M	Mittelwert
PA	Axialposition
WRa,b	Rohwinkel

Patentansprüche

1. Sensoranordnung (8) zur Ermittlung eines Drehwinkels (WE) eines Magneten (6) um eine Drehachse (12) relativ zu einem Grundträger (14),

- mit dem Grundträger (14),
- mit dem relativ zum Grundträger (14) um die Drehachse (12) drehbaren Magneten (6) zur Erzeugung eines magnetischen Messfeldes (16),
- mit einem relativ zum Grundträger (14) ortsfesten ersten Sensor (18a) zur Erfassung einer ersten Tangentialkomponente (KTa) und einer ersten Axialkomponente (KAa) des Messfeldes (16) bezüglich der Drehachse (12),
- wobei der erste Sensor (18a) an einer ersten Umfangsposition (UPa) bezüglich der Drehachse (12) und mit einem ersten Radialabstand (ARa) zur Drehachse (12) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- mindestens ein zweiter Sensor (18b) zur Erfassung einer zweiten Tangentialkomponente (KTb) und einer zweiten Axialkomponente (KAb) des Messfeldes (16) bezüglich der Drehachse (12), an einer zweiten Umfangsposition (UPb) bezüglich der Drehachse (12) und mit einem zweiten Radialabstand (RAB) zur Drehachse (12) angeordnet ist,
- mit einer Auswerteeinheit (28) zur Ermittlung des Drehwinkels (WE) aus mindestens einer der erfass-

ten Tangentialkomponenten (KTa-b) und mindestens einer der erfassten Axialkomponenten (KAa-b) und mindestens einer weiteren der erfassten Tangentialkomponente (KTa-b) oder Axialkomponenten (KAa-b) anhand einer Arcustangens-Funktion.

2. Sensoranordnung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der Sensoren (18a,b) gegenüber einer quer zur Drehachse (12) liegenden Zentralebene (24) des Magneten (6) in Axialrichtung der Drehachse (12) um einen Axialabstand (AAa,b) versetzt angeordnet ist.

3. Sensoranordnung (8) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens zwei der Sensoren (18a,b) einen gleichen Axialabstand (AAa,b) und/oder einen gleichen Radialabstand (ARa,b) zur Drehachse (12) aufweisen.

4. Sensoranordnung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei der Umfangspositionen (UPa,b) rechtwinklig zueinander versetzt sind.

5. Sensoranordnung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Magnet (6) rotations-symmetrisch zur Drehachse (12) ausgebildet ist.

6. Sensoranordnung (8) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Magnet (6) ein konzentrisch zur Drehachse (12) angeordneter Ringmagnet ist.

7. Sensoranordnung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Axialposition (PA) des Magneten (6) entlang der Drehachse (12) bezüglich des Grundträgers (14) veränderlich ist.

8. Sensoranordnung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (28) ein Rohwinkelmodul (32) enthält, das dazu eingerichtet ist, aus einer jeweiligen Axialkomponente (KAa,b) und Tangentialkomponente (KTa,b) des selben Sensors (18a,b) anhand einer Arcustangens-Funktion einen Rohwinkel (WRa,b) für den jeweiligen Sensor (18a,b) zu bilden, der dann zum Drehwinkel (WE) verarbeitbar ist.

9. Sensoranordnung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswerteeinheit (28) ein Mittelwertmodul (30) enthält, das dazu eingerichtet ist, einen Mittelwert (M) aus mindestens zwei der Axialkomponenten (KAa,b) und/oder Tangentialkomponenten (KTa,b) zu bilden und/oder - falls vorhanden - aus ermittelten Rohwinkeln (WRa,b) zu bilden, der dann zum Drehwinkel (WE) verarbeitbar ist.

10. Verfahren zur Ermittlung eines Drehwinkels (WE) eines Magneten (6) um eine Drehachse (12) relativ zu einem Grundträger (14) in einer Sensoranordnung (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem

- mit den Sensoren (18a,b) mindestens eine der Tangentialkomponenten (KTa-b) und mindestens eine der Axialkomponenten (KAa-b) und mindestens eine weitere der Tangentialkomponenten (KTa-b) oder Axialkomponenten (KAa-b) erfasst werden,
- aus mindestens den erfassten Komponenten anhand einer Arcustangens-Funktion der Drehwinkel (WE) ermittelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus einer jeweiligen Axialkomponente (KAa,b) und Tangentialkomponente (KTa,b) des selben Sensors (18a,b) anhand einer Arcustangens-Funktion ein Rohwinkel (WRa,b) für den jeweiligen Sensor (18a,b) gebildet wird, der in der Auswerteeinheit (28) dann zum Drehwinkel (WE) verarbeitet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rohwinkel (WRa,b) anhand einer ungewichteten Arcustangens -Funktion gebildet wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Mittelwert (M) aus mindestens zwei der Axialkomponenten (KAa,b) und/oder Tangentialkomponenten (KTa,b) gebildet wird und/oder - falls vorhanden - aus ermittelten Rohwinkeln (WRa,b) gebildet wird, der dann zum Drehwinkel (WE) verarbeitet wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass für mindestens zwei der Sensoren (18a,b) individuelle Rohwinkel gebildet werden, wobei die Positionen der Sensoren (18a,b) so gewählt werden, dass die individuellen Rohwinkel (18a,b) gegenüber einer idealen Winkelgeraden einen axialsymmetrischen Verlauf (26) aufweisen und der Drehwinkel (WE) anhand einer Mittelwertbildung der beiden Rohwinkel (18a,b) ermittelt ist

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verlauf (26) des ermittelten Drehwinkels (WE) über dem tatsächlichen Drehwinkel (WT) anhand einer FEM-Analyse des Messfeldes (16) zumindest am Ort des Sensors (18) optimiert wird.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

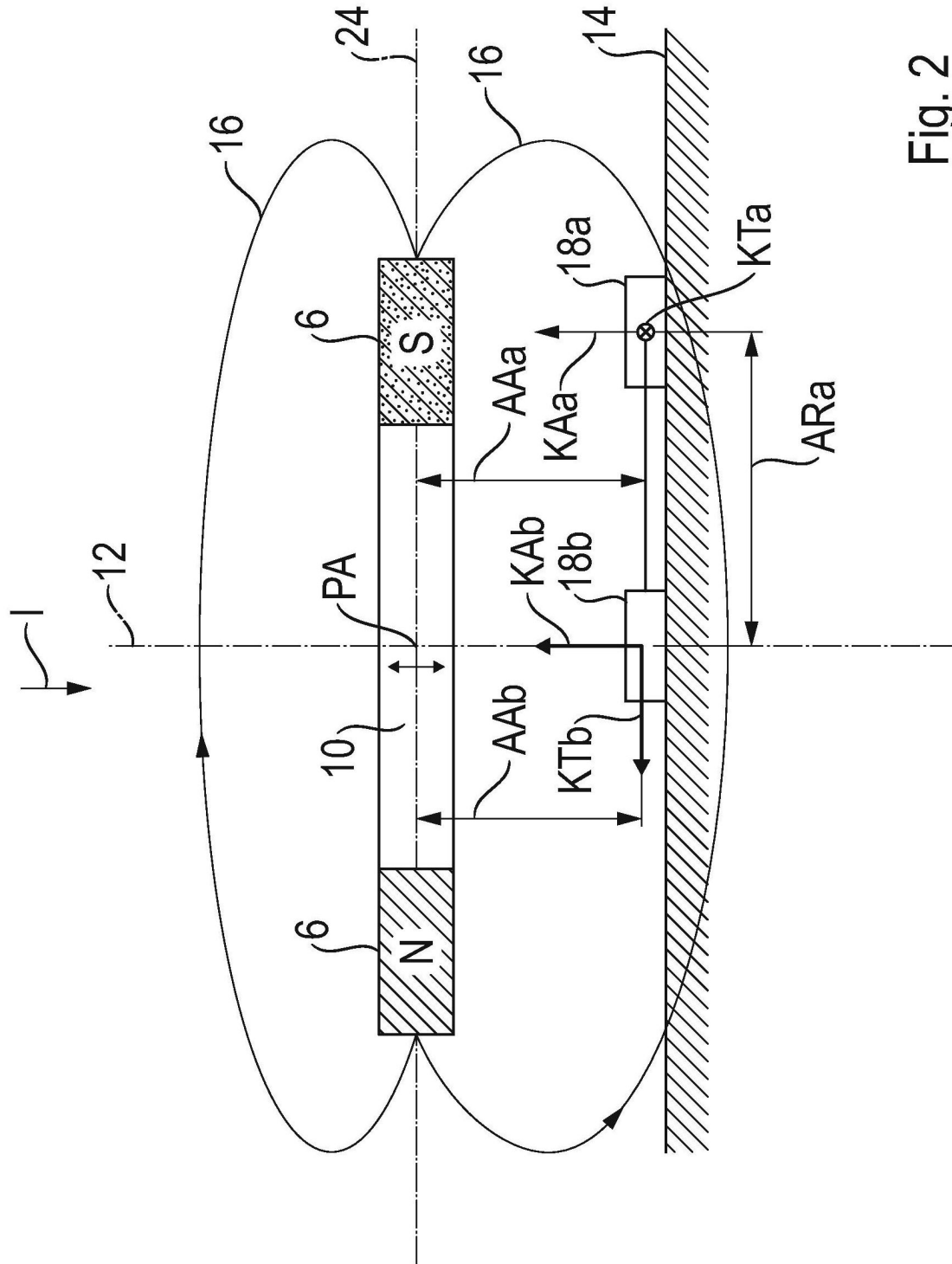


Fig. 2

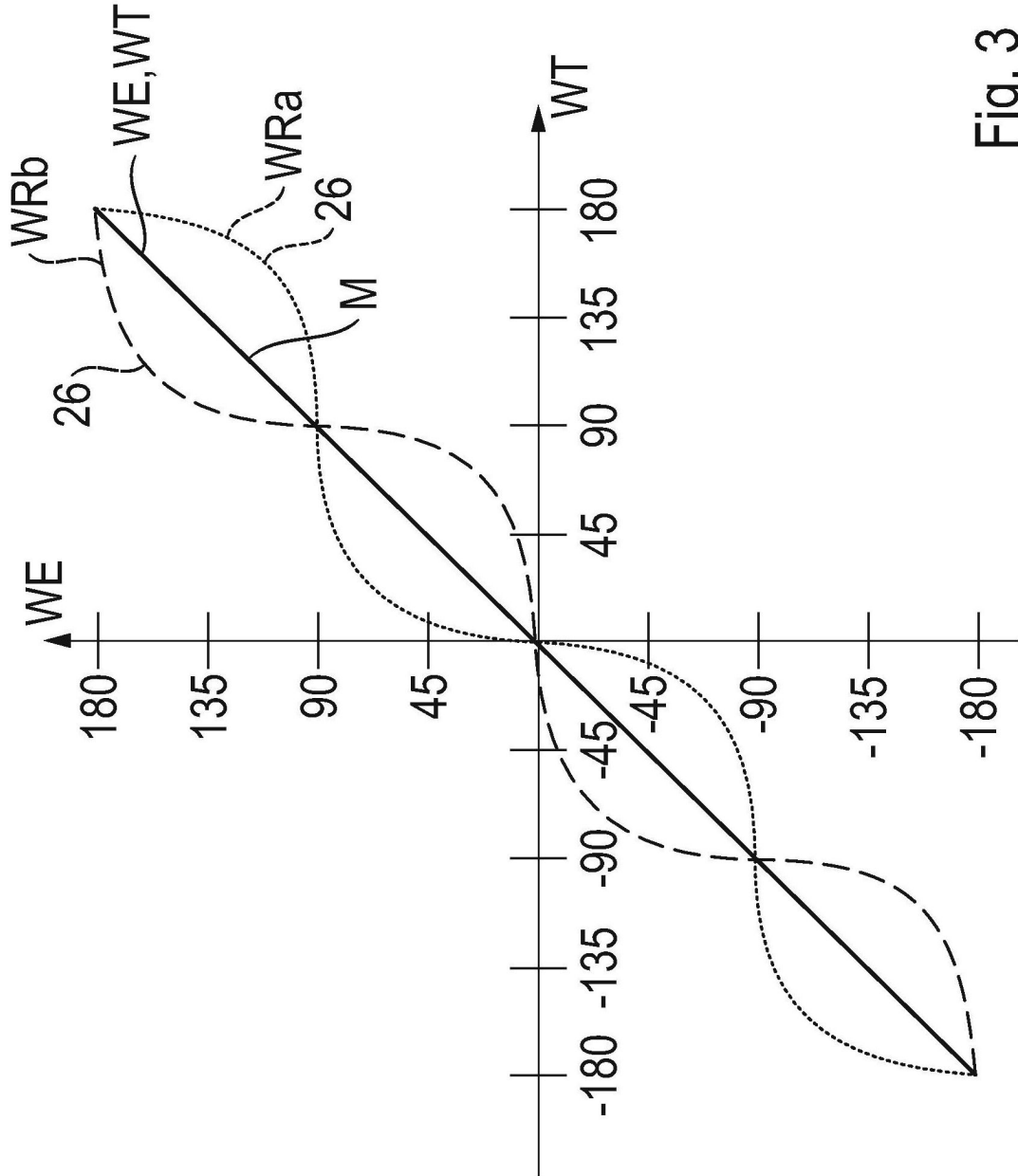


Fig. 3

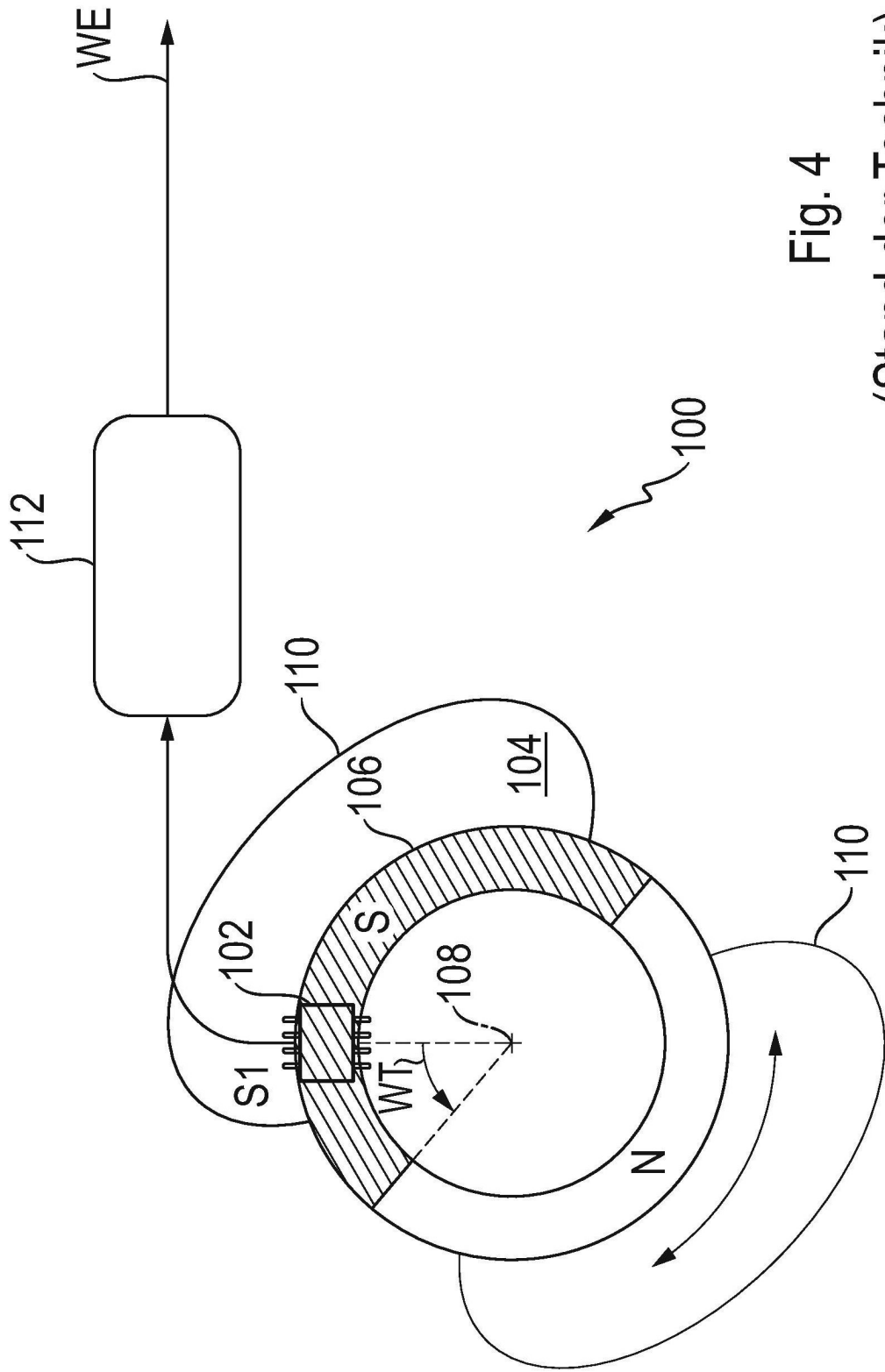


Fig. 4
(Stand der Technik)

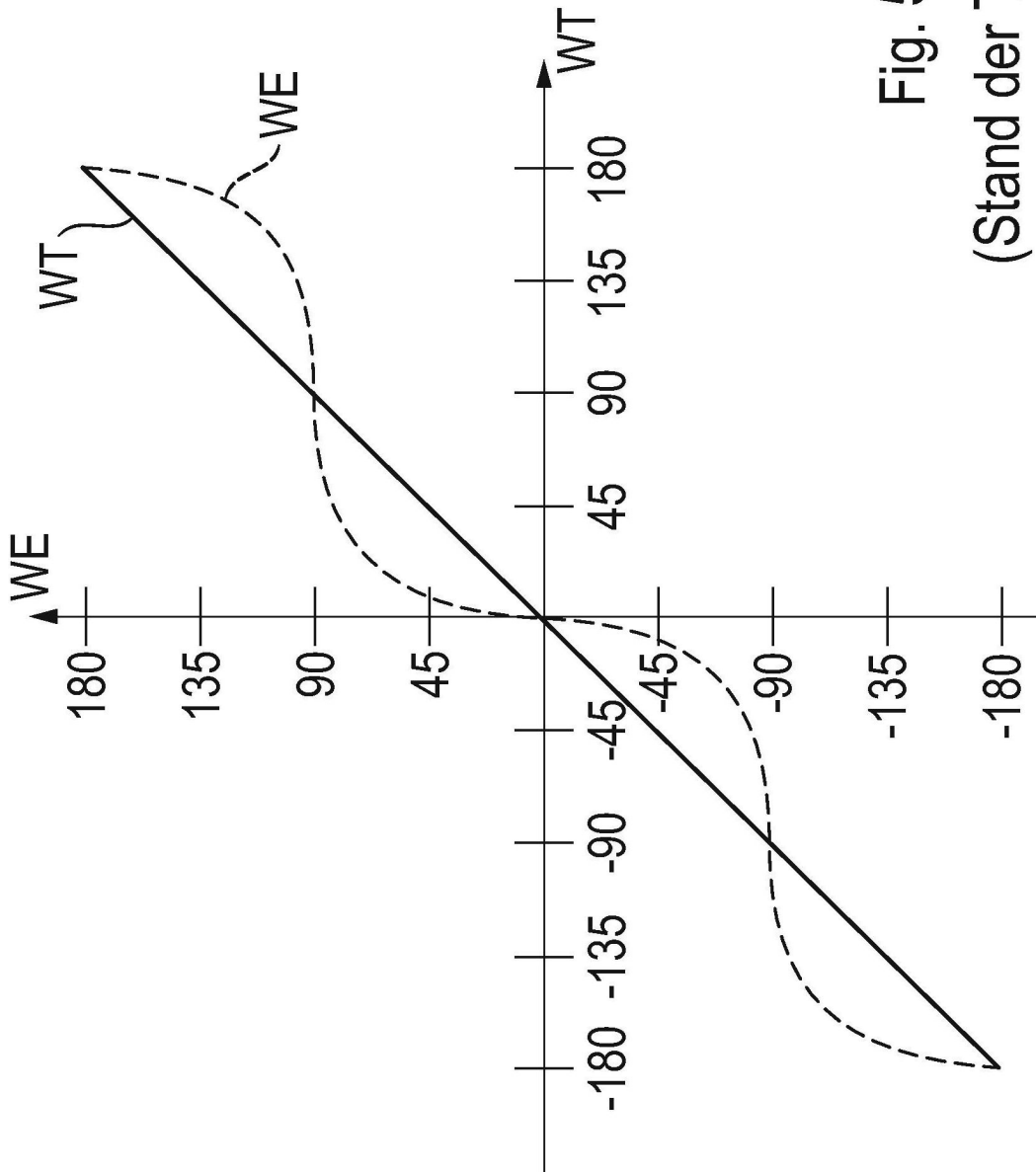


Fig. 5
(Stand der Technik)