

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50671/2019
(22) Anmeldetag: 25.07.2019
(43) Veröffentlicht am: 15.02.2021

(51) Int. Cl.: **G01L 3/00** (2006.01)
G01L 1/16 (2006.01)
G01L 1/18 (2006.01)
G01L 5/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 02070917 A1
DE 10148472 A1
DE 102006002456 A1
DE 102017211738 A1
DE 10105298 C1
US 2007228815 A1
US 2008077302 A1
DE 10140021 A1

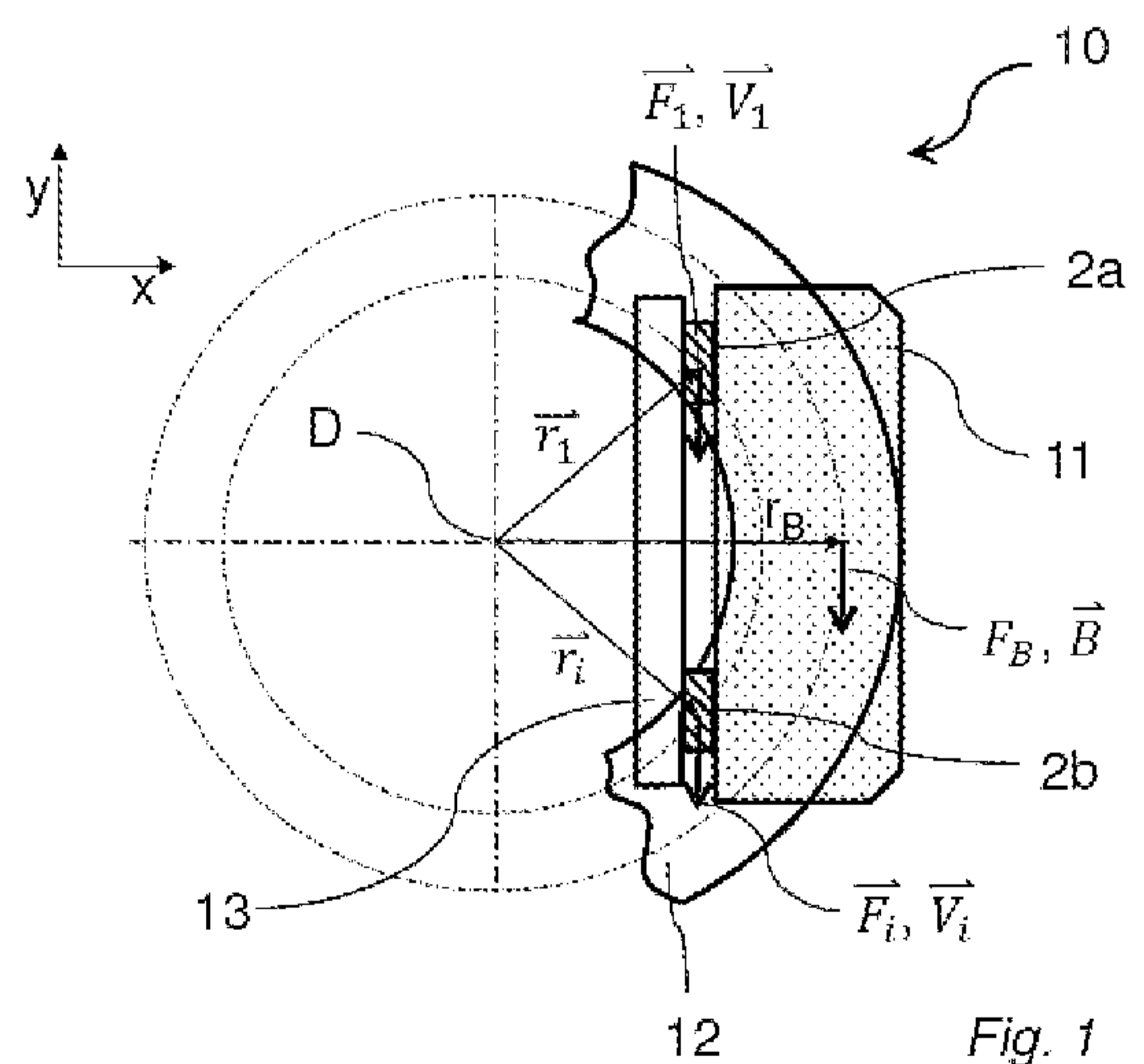
(71) Patentanmelder:
Piezocryst Advanced Sensorics GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Schricker Alexander Dr.
8046 Graz (AT)
Hirschler Michael Dr.
8020 Graz (AT)
Gerstl Erik Dipl.Ing.
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **SYSTEM UND MESSANORDNUNG ZUR BESTIMMUNG EINES BREMSMOMENTS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Messsystem (1) zur Bestimmung eines Bremsmoments (M_B) zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung (11) und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselement (12), insbesondere einer Bremsscheibe, wobei das Messsystem (1) wenigstens ein Piezoelement (2a, 2b) und eine Signalverarbeitungseinrichtung (3) aufweist, wobei das Piezoelement (2a, 2b) in der Weise in einem Kraftfluss zwischen dem Bremsselement (12) und einem Gegenlager (13), welches die Bremseinrichtung (11) abstützt, anordenbar ist, dass bei Einwirken einer Kraft in Bewegungsrichtung (B) des Bremsselements (12) auf das Piezoelement (2a, 2b) ein Messsignal unter Ausnutzung eines piezoelektrischen Effekts, insbesondere Schereffekts, des Piezoelements (2a, 2b) erzeugt wird, und wobei die Signalverarbeitungseinrichtung (3) dazu eingerichtet ist, auf der Grundlage des Messsignals (S1, S2) das Bremsmoment (M_B) in Bezug auf die Bewegungsrichtung (B) des Bremsselements (12) zu bestimmen (101).



- 22 -

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Messsystem (1) zur Bestimmung eines Bremsmoments (M_B) zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung (11) und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselement (12), insbesondere einer Bremsscheibe, wobei das Messsystem (1) wenigstens ein Piezoelement (2a, 2b) und eine Signalverarbeitungseinrichtung (3) aufweist, wobei das Piezoelement (2a, 2b) in der Weise in einem Kraftfluss zwischen dem Bremsselement (12) und einem Gegenlager (13), welches die Bremseinrichtung (11) abstützt, anordenbar ist, dass bei Einwirken einer Kraft in Bewegungsrichtung (B) des Bremsselements (12) auf das Piezoelement (2a, 2b) ein Messsignal unter Ausnutzung eines piezoelektrischen Effekts, insbesondere Schereffekts, des Piezoelements (2a, 2b) erzeugt wird, und wobei die Signalverarbeitungseinrichtung (3) dazu eingerichtet ist, auf der Grundlage des Messsignals (S1, S2) das Bremsmoment (M_B) in Bezug auf die Bewegungsrichtung (B) des Bremsselements (12) zu bestimmen (101).

Fig. 1

SYSTEM UND MESSANORDNUNG ZUR BESTIMMUNG EINES BREMSMOMENTS

Die Erfindung betrifft ein Messsystem zur Bestimmung eines Bremsmoments zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselement, wobei das Messsystem wenigstens ein Piezoelement und eine Signalverarbeitungseinrichtung aufweist.

Im Laufe der Entwicklung des Automobilbaus wurden die Funktionen einer Fahrzeugbremse, deren Hauptaufgabe eine Verringerung der Fahrzeuggeschwindigkeit ist, durch eine Vielzahl von Zusatzfunktionen, wie Antiblockiersystem, elektronisches Stabilitätsprogramm oder auch das sogenannte Break-Disc-Wiping, das bei Regen die Bremsbeläge an die Scheibe anlegt und sie dadurch trocknet, erweitert. Gleichzeitig sind die Anforderungen an die Fahrzeugbremsen gestiegen: In Testläufen müssen zehn direkt aufeinanderfolgende Vollbremsungen ausgehend von einer Geschwindigkeit von 100 km/h erfüllt werden, wobei die Ansprüche an eine Komfortbremse einzuhalten sind. Beispielsweise darf nicht einmal ein kurzzeitiges Quietschen auftreten. Dies wird von dem Fahrzeughalter heute als nicht akzeptabel wahrgenommen. Gleichzeitig sollen Verschleiß der Bremse geringgehalten werden und Fehlfunktionen frühzeitig erkannt werden.

Im Stand der Technik ist es bekannt, Kraftmessungen in Scheibenbremsen durchzuführen, indem die Kraft, welche von den Bremsbelägen auf die Bremsscheibe ausgeübt wird, zu messen, vgl. beispielsweise in der Veröffentlichung „Messverfahren zur Analyse der Bremsvorgänge bei Scheibenbremsen“, ATZ 11/2008, Jahrgang 110, S. 1030 ff.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Messsystem, eine entsprechende Messanordnung und ein entsprechendes Verfahren anzugeben, mit welchen das Bremsmoment einer feststehenden Bremseinrichtung und eines abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselements bestimmt werden kann. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein

- 2 -

verbessertes Messsystem, eine verbesserte Messanordnung und ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung dieses Bremsmoments anzugeben.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Messsystem nach Anspruch 1, eine Messanordnung nach Anspruch 7 und ein Verfahren nach Anspruch 10. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den Unteransprüchen angegeben.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Messsystem zur Bestimmung eines Bremsmoments zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselement, insbesondere einer Bremsscheibe. Vorzugsweise weist das Messsystem ein Piezoelement und eine Signalverarbeitungseinrichtung auf, wobei das Piezoelement vorzugsweise in der Weise in einem Kraftfluss zwischen dem Bremsselement und einem Gegenlager, welches die Bremseinrichtung abstützt, anordenbar ist, dass bei Einwirken einer Kraft in Bewegungsrichtung des Bremsselements auf das Piezoelement ein Messsignal unter Ausnutzung eines piezoelektrischen Effekts, insbesondere Schereffekts, des Piezoelements erzeugt wird. Weiter vorzugsweise ist die Signalverarbeitungseinrichtung dazu eingerichtet ist, auf der Grundlage des Messsignals das Bremsmoment in Bezug auf die Bewegungsrichtung des Bremsselements zu bestimmen.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Messanordnung zur Bestimmung eines Bremsmoments aufweisend ein Messsystem, eine Bremseinrichtung, ein abzubremsendes bewegliches Bremsselement und ein Gegenlager.

Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung eines Bremsmoments, welches beim Bremsen zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselement, insbesondere einer Bremsscheibe, übertragen wird, wobei wenigstens ein Piezoelement in der Weise in einem Kraftfluss zwischen dem Bremsselement und einem Gegenlager, welches die Bremseinrichtung abstützt, angeordnet ist, dass bei Einwirken einer Kraft in Bewegungsrichtung des Bremsselements auf das Piezoelement ein Messsignal unter Ausnutzung eines piezoelektrischen Effekts, insbesondere Schereffekts, des Piezoelements erzeugt wird. Vorzugsweise

- 3 -

wird auf der Grundlage des Messsignals das Bremsmoment in Bezug auf die Bewegungsrichtung des Bremslements bestimmt.

Ein Piezoelement im Sinne der Erfindung ist ein Messelement, welches ein Messsignal auf der Grundlage des piezoelektrischen Effekts erzeugt.

Eine Signalverarbeitungseinrichtung im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Gerät, um Informationen aus einem Messsignal zu extrahieren. Weiter vorzugsweise weist die Signalverarbeitungseinrichtung eine Datenverarbeitungseinrichtung auf.

Ein Bremsmoment im Sinne der Erfindung ist jenes Moment, welches einer Drehbewegung der Räder eines Fahrzeugs beim Bremsen entgegenwirkt.

Eine Bremseinrichtung im Sinne der Erfindung kann mit einem Bremslement vorzugsweise mechanisch zusammenwirken. Weiter vorzugsweise kann die Bremseinrichtung mit dem Bremslement elektromagnetisch zusammenwirken.

Die Erfindung beruht insbesondere auf dem Ansatz, das zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung und einem abzubremsenden, drehbeweglichen Bremslement anliegende Drehmoment über die Kraft, mit der sich die Bremseinrichtung, insbesondere eine Bremszange, an einem Gegenlager, insbesondere einem Bremsträger, abstützt, zu bestimmen.

Durch das oder die Piezoelemente können solche dynamischen Reaktionskräfte mit hoher Empfindlichkeit bestimmt werden. Insbesondere kann ein Residual-Bremsmoment, auch Restbremsmoment genannt, auf der Grundlage der dynamischen Kraftmessung durch die Piezoelemente bestimmt werden. Dieses gibt beispielsweise Auskunft darüber, ob eine Bremseinrichtung mit dem Bremslement bereits in Kontakt ist und wenn ja, wie stark. Des Weiteren können der oder die Schleifpunkte der Bremseinrichtung an dem Bremslement bestimmt werden. Auf diese Weise lassen sich durch die erfindungsgemäße Lehre Fehlfunktionen eines Bremssystems zuverlässig detektieren und insbesondere Schäden am Fahrzeug aufgrund teilweise geschlossener Bremsen im Fahrbetrieb sowie der damit verbundene höhere Energieverbrauch im Fahrbetrieb vermeiden.

- 4 -

Erfindungsgemäß wird dabei mittels der Piezoelemente unmittelbar die Kraft in Bewegungsrichtung des Bremslements bestimmt. Ist der Abstand des oder der Piezoelemente von einer Drehachse des Bremslements bekannt, kann mittels einfacher mathematischer Berechnung auch unmittelbar das Bremsmoment bestimmt werden. Weitere Annahmen zur Berechnung des Bremsmoments müssen nicht getroffen werden. Insbesondere geht kein Reibwert und kein Reibradius bei der Bestimmung des Bremsmoments bzw. der Kraft in Bewegungsrichtung des Bremslements ein, welche das Ergebnis verfälschen könnten.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Messsystems ist der Kraftfluss durch Reibschluss, insbesondere durch einen Kraftschluss mittels Haftreibung, in das Piezoelement einleitbar. Auf diese Weise kann/können das oder die Piezoelemente einfach in bestehende Konstruktionen von Bremssystemen integriert werden, beispielsweise dort, wo die Bremseinrichtung mittels Befestigungsmitteln, z. B. Schrauben, an einem Gegenlager befestigt ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Messsystems ist eine Ausrichtung einer Vorzugsrichtung des Piezoelements bekannt. Dies hat zum Vorteil, dass auf der Grundlage der Intensität eines Messsignals unmittelbar auf die zugrundeliegende Kraft geschlossen werden kann. Insbesondere ist mit der Ausrichtung der Vorzugsrichtung bekannt, in welcher Richtung die maximale Intensität des Messsignals bei einer Kraftmessung auftritt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die Vorzugsrichtung des Piezoelements tangential zu der Bewegungsrichtung des Bremslements in einem zentralen Angriffspunkt der Bremseinrichtung an das Bremslement. Durch diese Ausgestaltung wird bei der Messung der Kraft in Bewegungsrichtung des Bremslements die maximale Messintensität des wenigstens einen Piezoelements ausgenutzt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist das Messsystem wenigstens zwei Piezoelemente auf, wobei die Vorzugsrichtungen der Piezoelemente in einer einzigen Ebene liegen und vorzugsweise parallel ausgerichtet sind. Hierdurch lässt sich eine besonders hohe Messgenauigkeit erreichen.

- 5 -

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist das Messsystem wenigstens drei Piezoelemente auf, wobei die Signalverarbeitungseinrichtung des Weiteren eingerichtet ist, das Bremsmoment mittels einer, insbesondere orthogonalen, Zerlegung von Messsignalen oder Kraftmessungen der einzelnen Piezoelemente in Anteile, welche zu den jeweiligen abzuleitenden Kraftkomponenten und/oder Drehkomponenten beitragen, zu bestimmen, wobei, insbesondere alle, Beiträge der einzelnen Piezoelemente zu den jeweiligen abzuleitenden Kraftkomponenten und/oder Drehkomponenten berücksichtigt werden. Auch durch diese Maßnahme lässt sich eine besonders exakte Bestimmung des Bremsmoments erreichen. Insbesondere können Kraftnebenschlüsse außerhalb der Piezoelemente verringert oder sogar verhindert werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Messsystems ist die Signalverarbeitungseinrichtung des Weiteren dazu eingerichtet, das ausschließlich Bremsmoment auf der Grundlage des Messsignals und einer Position des wenigstens einen Piezoelements in Bezug auf eine Drehachse des Bremslements zu bestimmen. Hierdurch lässt sich das Bremsmoment in einfacher Weise ohne vereinfachte Annahmen bestimmen.

Die im Vorhergehenden für den Aspekt eines Messsystems geschilderten Vorteile und Merkmale gelten entsprechend auch für die Aspekte einer Messanordnung und eines Verfahrens zur Bestimmung eines Bremsmoments und umgekehrt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Messanordnung ist das Gegenlager eine Abstützvorrichtung der Bremseinrichtung, insbesondere ein sogenannter Stator.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Messanordnung ist das wenigstens eine Piezoelement zwischen der Bremseinrichtung und dem Gegenlager, vorzugsweise mit einer Vorspannung belastet, angeordnet. Die Position zwischen Bremseinrichtung und Gegenlager eignet sich besonders gut für die Anordnung der Piezoelemente. Insbesondere ist die Bremseinrichtung selbst kein bewegtes Bauteil, so dass an dieser Stelle eine zuverlässige Verbindung durch die Piezoelemente hergestellt werden kann.

- 6 -

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Messanordnung sind die Piezoelemente bezüglich einer Drehachse des Bremselements im jeweils gleichen radialen Abstand angeordnet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Messanordnung ist eine Stirnfläche des wenigstens einen Piezoelements im Wesentlichen senkrecht zu einer Ebene des Bremselements angeordnet. Hierdurch lässt sich eine besonders platzsparende Anordnung des Piezoelements, vorzugsweise zwischen zwei Bauteilen der Bremseinrichtung, beispielsweise zwischen einer Belagträgerplatte und einer Rückenplatte der Bremseinrichtung, realisieren.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens weist dieses die folgenden Arbeitsschritte auf:

Betätigen der Bremseinrichtung mit einer definierten Intensität; und

Bestimmen der Intensität des Betätigens, ab welcher ein Schwellwert für das Messsignal oder das Bremsmoment erreicht ist.

Durch diese vorteilhafte Ausgestaltung kann ein Wert für die Betätigungsintensität festgelegt werden, bei welchem ein Schwellwert des Residual-Bremsmoments überschritten wird. Insbesondere kann auf der Grundlage einer solchen Messung ein Betätigungsoffset-Wert für die Bremseinrichtung oder ein Bremssystem festgelegt werden. Insbesondere kann ein optimaler Wert für die Betätigung bestimmt werden, bei welchem die Bremseinrichtung noch keine Bremswirkung auf das Bremselement ausübt, jene Elemente, welche mit dem Bremselement zusammenwirken, zum Beispiel die Bremsbacken, sich jedoch möglichst nah an dem Bremselement befinden.

Insbesondere kann eine Veränderung der Bremswirkung in Abhängigkeit von der Betriebszeit, ein sogenanntes Fading, auf diese Weise erkannt werden. Ein Grund hierfür ist beispielsweise die Abnutzung der Bremsbeläge bei einer Scheibenbremse.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann diese Information als Grundlage für die Adaptierung der Bremseinrichtung bilden, um die Bremswirkung über die Einsatzdauer für den Bediener konstant zu halten.

- 7 -

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist der Schwellwert dann erreicht, wenn eine Intensität des Messsignals von einer Rotationsgeschwindigkeit des Bremslements, insbesondere proportional, abhängig ist. Durch die Abhängigkeit von der Rotationsgeschwindigkeit des Elements kann eindeutig festgestellt werden, dass die Änderung des Messsignals durch ein Zusammenwirken des Bremslements mit der Brems-einrichtung verursacht wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind wenigstens zwei Piezoelemente in dem Kraftfluss angeordnet, wobei das Verfahren folgende Arbeitsschritte aufweist:

Betätigen der Brems-einrichtung mit einer definierten Intensität;

Vergleichen der Messsignale der Piezoelemente zueinander, insbesondere im betätigten Zustand der Brems-einrichtung; und

Bestimmen eines Offset-Werts für wenigstens eines der Messsignale auf der Grundlage des Vergleichens.

Vorzugsweise geschieht das Vergleichen durch Addition oder Subtraktion der Messsignale oder von aus diesen abgeleiteten Kraftwerten.

Durch den Offset-Wert kann insbesondere festgestellt werden, ob die wenigstens zwei Piezoelemente gegeneinander verspannt sind, zum Beispiel durch eine thermische Ausdehnung im Bereich der Brems-einrichtung. Der Betrag des Offset-Werts ist ein Maß für einen Temperaturgradient zwischen den beiden Bauteilen, an welche die Piezoelement angrenzen. Das Vorzeichen des Offset-Werts gibt die Richtung des Wärmeflusses zwischen den Bauteilen an. Der Temperaturgradient ist vorzugsweise auch davon abhängig, welche Ausdehnungskoeffizienten die beiden an die Sensoren angrenzenden Materialien haben.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird das Bremsmoment, welches tangential zur Bewegungsrichtung des Bremslements wirkt, mittels Messungen von Reaktionskräften, welche durch ein Gegenlager der Brems-einrichtung bereitgestellt werden, durch wenigstens ein Piezoelement bestimmt.

- 8 -

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden Kraftkomponenten und Drehmomentkomponenten mittels eines Gleichungssystems auf der Grundlage von Messsignalen der einzelnen Piezoelemente bestimmt. Hierbei werden die Messsignale oder die aus diesen Messsignalen abgeleiteten Kräfte auf der Grundlage einer Vektorzerlegung, insbesondere einer orthogonalen Zerlegung, in verschiedene Komponenten aufgeteilt.

Vorzugsweise werden hierbei die Messsignale der einzelnen Piezoelemente in Anteile, welche zu den jeweiligen abzuleitenden Kraftkomponenten und/oder Drehkomponenten beitragen, zerlegt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein an der Bremseinrichtung anliegendes Drehmoment aus den abgeleiteten Kraftkomponenten und/oder Drehmomentkomponenten bestimmt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein an der Bremseinrichtung anliegendes Bremsmoment aus den zusammengefassten Komponenten abgeleitet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ist ein Abstand zu einer Drehachse des Bremslements für jedes Piezoelement bekannt und zur Ermittlung eines an der Bremseinrichtung anliegenden Bremsmoments wird dieser Abstand herangezogen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann mittels der Messungen an den Piezoelementen alternativ oder zusätzlich zum Bremsmoment eine Kraftverteilung zwischen den einzelnen Lagerpunkten der Bremseinrichtung, welche vorzugsweise von den Piezoelementen gebildet werden, bestimmt werden. Es hängt von einer Auslegung der Bremseinrichtung ab, ob die Piezoelemente gleich viel Kraft aufnehmen. Beispielhaft könnte ein Piezoelement fast die gesamte Bremskraft aufnehmen, wohingegen ein zweites Piezoelement nur eine Lage senkrecht zur Drehrichtung des Bremslements fixiert. Durch eine Kalibrierung im Betrieb kann vorzugsweise das Verhältnis der Sensoren an der Bremswirkung, insbesondere dem Bremsmoment, bestimmt werden.

- 9 -

Vorzugsweise werden die Messsignale der einzelnen Piezoelemente darüber hinaus aufgrund von Empfindlichkeitsunterschieden zwischen den Piezoelementen korrigiert, insbesondere werden diese mit einem konstanten Faktor multipliziert. Ein weiterer konstanter Faktor, welcher bei vorzugsweise der Korrektur berücksichtigt wird ist die Geometrie des Messsystems oder der Messanordnung.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird der Radkontakt mit dem Untergrund beim Bremsen bestimmt, indem die Intensität einer Bremsbetätigung, insbesondere die Spannkraft bei einer Bremszange, mit dem bestimmten Bremsmoment abgeglichen wird. Ein Abheben des Rads beim Bremsvorgang und wieder Aufsetzen führt zu starken Schwankungen im Bremsmoment. Ist die Bremsbetätigung konstant, so kann darauf geschlossen werden, dass der Radkontakt variiert. Der Radkontakt kann hierbei von dem Reibkontakt zur Straße abhängen: Zum Beispiel beim Übergang von Haft- in Gleitreibung der Reifen. Ein Vergleich der Bremsmomente im Fahrzeugverbund, d.h. aller Radbremsen, kann zur Fahrdynamikregelung genutzt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann alternativ oder zusätzlich zu dem Bremsmoment eine Vertikalbeschleunigung des Radträgers bestimmt werden. Vorzugsweise wird hierfür die Masse der Bremseinrichtung herangezogen. Weiter vorzugsweise wird die Kraftmessung in unbetätigtem Zustand der Bremseinrichtung durchgeführt.

Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Figuren. Es zeigen wenigstens teilweise schematisch:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer Messanordnung, in welcher ein Messsystem installiert ist;

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel eines Messsystems;

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Bestimmung eines Bremsmoments; und

- 10 -

Fig. 4 ein Diagramm eines zeitlichen Ablaufs einer Winkelgeschwindigkeit und eines Bremsmoments.

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Messanordnung 10, in welcher ein Bremsmoment zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung 11 und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselement 12 bestimmt werden kann.

Das Ausführungsbeispiel stellt dabei eine Scheibenbremse 10 dar, wobei das abzubremsende drehbewegliche Bremsselement 12 eine Bremsscheibe ist und die Bremseinrichtung 11 eine Bremszange mit einem Bremssattel aufweist, welche beim Bremsen mit der Bremsscheibe 12 über Bremsbeläge (nicht dargestellt) in reibschlüssigen Kontakt tritt.

Die Bremszange 11 wird an einem Gegenlager 13, welches beispielsweise mit einem Radträger eines Fahrzeugs fest verbunden ist, gelagert. Der feststehende Teil einer Radbremse, welcher vorzugsweise mit dem Radträger verbunden ist, wird im Allgemeinen Stator genannt.

Piezoelemente 2a, 2b eines Messsystems 1 sind bei dieser Messanordnung vorzugsweise zwischen der Bremszange 11 und dem Gegenlager 13 angeordnet. Vorzugsweise sind die Piezoelemente 2a, 2b kraftschlüssig, insbesondere reibschlüssig, mit dem Gegenlager 13 und der Bremszange 11 verbunden. Um zwischen der Bremszange 11 und dem Gegenlager 13 eine Spannkraft zu erzeugen, ist vorzugsweise eine Schraubverbindung mit einer oder mehreren Schrauben vorgesehen (nicht dargestellt).

Bei einem Bremsvorgang wird ein Kraftfluss ausgehend von der Bremsscheibe 12 über die Bremsbeläge der Bremszange 11, die Bremszange 11 selbst, die Piezoelemente 2a, 2b an das Gegenlager 13 übertragen. Dieses Gegenlager 13 stellt eine Reaktionskraft für eine durch diesen Kraftfluss übertragene Bremskraft F_B bereit.

Die Bremskraft F_B wirkt in Bewegungsrichtung B des Bremsselements. Die Bremskraft F_B verursacht daher in Bezug auf die Drehachse D der Bremsscheibe 12 ein Bremsmoment M_B .

- 11 -

Das zugehörige Bremsmoment M_B ergibt sich aus der nachfolgenden Gleichung mittels eines Kreuzprodukts:

$$\vec{M}_B = \vec{r}_B \times \vec{F}_B$$

\vec{r}_B ist hierbei der Ortsvektor von der Drehachse zu dem Hauptangriffspunkt eines Bremsbelags an der Bremsscheibe 12. Die Wirkungsrichtung dieses Bremsmoments \vec{M}_B ist senkrecht zu der Drehebene, in welcher sich die Bremsscheibe 12 dreht bzw. in welcher die Bewegungsrichtung B der Bremsscheibe 12 liegt. Die Bremskraft \vec{F}_B , welche von der Bremsscheibe 12 auf die Bremszange 11 ausgeübt wird, entspricht einer über die gesamte Kontaktfläche zwischen der Bremsscheibe 12 und der Bremszange 11 aufintegrierte Kraftwirkung.

Entsprechend der Bremskraft F_B bzw. des Bremsmoments M_B wirkt bei einem Bremsvorgang auf die Piezoelemente 2a, 2b jeweils eine Kraft F_1 bzw. F_i . Diese jeweiligen Kräfte F_1 bzw. F_i sind in Richtung der Bremskraft F_B gerichtet.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Bremskraft F_B parallel zu den Stirnflächen der Piezoelemente 2a, 2b ausgerichtet. Dementsprechend sind auch die jeweiligen anteiligen Kräfte F_1 und F_i parallel zur Stirnfläche der jeweiligen Piezoelemente 2a, 2b ausgerichtet.

In vorteilhafter Weise werden in dem dargestellten Ausführungsbeispiel daher Piezoelemente 2a, 2b eingesetzt, welche den piezoelektrischen Scher-Effekt zur Messung von Kräften einsetzen. Die Vorzugsrichtung V_1 , V_i ist vorzugsweise, wie in dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel parallel zu den zu erwartenden anteiligen Kräften F_1 , F_i ausgerichtet. Mittels dieser Ausrichtung kann eine maximale Ausbeute an Messsignal erreicht werden.

Alternativ können die Vorzugsrichtungen V_1 , V_i aber auch verschieden von dem jeweils auf die Piezoelemente 2a, 2b wirkenden Kräften F_1 , F_2 ausgerichtet sein. In diesem Fall erzeugen die anliegenden Kräfte F_1 , F_i nur anteilig Messsignale. Gegebenenfalls muss die

- 12 -

Messanordnung 10 in diesem Fall auf die Ausrichtung der Vorzugsrichtung V_1, V_i der Piezoelemente 2a, 2b justiert werden.

Weiter alternativ ist es möglich, dass die Bremszange 11 und das Gegenlager 13 in der Weise ausgebildet sind, dass ein Kraftfluss formschlüssig auf die Piezoelemente 2a, 2b übertragen wird. In diesem Fall nutzen die Piezoelemente 2a, 2b vorzugsweise den piezoelektrischen Transversaleffekt oder den piezoelektrischen Longitudinaleffekt aus.

In einer weiteren alternativen Ausgestaltung des Ausführungsbeispiels der Fig. 1 können die Stirnflächen der Piezoelemente 2a, 2b statt, wie in Fig. 1 gezeigt, senkrecht zur Drehebene der Bremsscheibe 12 in einem anderen Winkel zu der Drehebene der Bremsscheibe 12 angeordnet sein, beispielsweise parallel. Dies kann beispielsweise bei Geometrien in Messanordnungen sinnvoll sein, bei welchen das Gegenlager 13 in Bezug auf die Bremszange 11 nicht in radialer Richtung zur Drehachse D des Bremslements der Bremsscheibe 12 angeordnet ist, sondern in axialer Richtung zur Drehachse D. Auch können die Piezoelemente 2a, 2b in einer alternativen Ausgestaltung nicht zwischen der Bremszange 11 und dem Gegenlager 13 angeordnet sein, sondern zwischen Elementen der Bremszange 11, beispielsweise zwischen den Bremsbelägen und einem Aktor der Bremszange 11.

Auf der Grundlage der Kraftmessung an den Piezoelementen 2a, 2b und den Positionen der einzelnen Piezoelemente 2a, 2b, welche in Bezug auf die Drehachse D der Bremsscheibe 12 in Fig. 1 durch die r_1 und r_i definiert werden, kann das Drehmoment M_B wie folgt berechnet werden:

$$\vec{M}_B = \sum_{i=1}^N \vec{r}_i \times \vec{F}_i$$

Auch andere Verfahren zur Bestimmung des Bremsmoments B_M können zum Einsatz kommen. Beispielsweise eine Zerlegung, insbesondere orthogonale Zerlegung, der Messsignale der einzelnen Piezosensoren 2a, 2b oder der aus den Messsignalen abgeleiteten, das heißt gemessenen Kräfte F_1, \dots, F_i .

- 13 -

Eine solche Zerlegung kann beispielsweise von Interesse sein, wenn jeweils zwei Scher-Piezoelemente an jedem Befestigungspunkt in der Weise angeordnet sind, dass auch Kräfte normal zur Bremsrichtung gemessen werden können. Solche normalen Kräfte können zum Beispiel durch Verwinden der Radträger, an welchen die Bremseinrichtung installiert ist, entstehen.

Hierbei sind die zu bestimmenden Parameter M_B , F_X , F_Y die Lösung eines Gleichungssystems, wobei für jedes Messsignal eine Gleichung wie folgt gilt:

$$S_1 = a_{11} \cdot M_B + a_{12} \cdot F_X + a_{13} \cdot F_Y$$

$$S_2 = a_{21} \cdot M_B + a_{22} \cdot F_X + a_{23} \cdot F_Y$$

$$S_3 = a_{31} \cdot M_B + a_{32} \cdot F_X + a_{33} \cdot F_Y$$

$$\vdots$$

$$S_N = a_{N1} \cdot M_B \dots$$

$S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_N$ sind hierbei die Messsignale der einzelnen Piezoelemente 2a, 2b, ...2, N. Jeder Koeffizient a hängt von mehreren Faktoren ab, wie beispielsweise der jeweiligen Position des Piezoelements 2a, 2b, ...2, N und der Orientierung der jeweiligen Vorzugsrichtung $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_N$ im Bezugssystem, einer Empfindlichkeit des jeweiligen Piezoelements 2a, 2b, ..., 2i, ..., 2N und einem möglichen Signalverlust durch einen Kraftnebenabschluss über ein Befestigungsmittel.

Um ein solches Gleichungssystem für das Bremsmoment M_B , eine erste Querkraftkomponente F_X und eine zweite Querkraftkomponente F_Y aufzulösen, werden Messsignale von wenigstens drei Piezoelemente 4a, 4b, 4c, deren Vorzugsrichtungen V_a, V_b, V_c in der Weise ausgerichtet sind, dass sie in einer einzigen Ebene liegen, benötigt. Darüber hinaus dürfen wenigstens zwei der Vorzugsrichtungen V_a, V_b, V_c weder parallel noch antiparallel ausgerichtet sein.

- 14 -

Für diesen beschriebenen allgemeinen Fall mit $N = 3$, d. h. mit drei Piezoelementen 2a, 2b, 2c, ist die Lösung des oben dargestellten Gleichungssystems eindeutig. Werden weitere Piezoelemente zu dem Messsystem 1 hinzugefügt, so ist das Gleichungssystem mit drei zu bestimmenden Parametern M_B , F_x , F_y überbestimmt, die Messgenauigkeit kann jedoch nochmals verbessert werden.

Im Fall von $N = 4$ können vier verschiedene Gleichungssysteme $F(S_1, S_2, S_3)$, $F(S_1, S_2, S_4)$, $F(S_1, S_3, S_4)$, $F(S_2, S_3, S_4)$ aufgestellt werden. Die für die einzelnen zu bestimmenden Parameter M_B , F_x , F_y bestimmten Werte können dann addiert und gemittelt werden, d. h. in dem Fall von vier Piezoelementen 2a, 2b, ..., 2i, ..., 2N durch vier dividiert werden. In ähnlicher Weise kann ein überbestimmtes Gleichungssystem $F(S_1, S_2, \dots, S_N)$ aufgestellt werden, welches mittels einer Minimierungsaufgabe gelöst wird.

Ist eine allgemeine Lösung für das Gleichungssystem gefunden, kann die Berechnung der zu bestimmenden Parameter F_x , F_y , M_B auf eine Matrixmultiplikation reduziert werden. Diese hat drei Zeilen und so viele Spalten, wie Messsignale $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$ zur Verfügung stehen. Die Matrixelemente bzw. Koeffizienten bilden die jeweiligen Beiträge der einzelnen Sensoren zu den zu bestimmenden Parametern F_x , F_y , M_B ab.

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ M_B \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \dots & c_{2N} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & \dots & c_{3N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ \dots \\ s_N \end{pmatrix}$$

Für die Zerlegung der Messsignale $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_N$ in Komponenten, welche zu den jeweiligen zu bestimmenden Parametern M_B , F_x , F_y beitragen, ist es notwendig, dass die Lage der Piezoelemente 2a, 2b, ..., 2i, ..., 2N und die Orientierung der Vorzugsrichtungen $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_N$ bekannt ist.

Die geometrischen Parameter können entweder aus einer Konstruktionszeichnung eines Messsystems 1 und aus der Kenntnis der Vorzugsrichtungen der Piezoelemente 2a, 2b, ..., 2i, ..., 2N bestimmt werden.

- 15 -

Die Orientierung der Vorzugsrichtungen $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_N$ der Piezoelemente $2a, 2b, \dots, 2i, \dots, 2N$ kann jedoch auch durch Ausmessen der Vorzugsrichtungen $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_N$ mittels einer Kalibrierungsmessung bestimmt werden. Vorzugsweise wird das Messsystem 1 hierfür zwischen zwei ebene Platten eingespannt. In einem nächsten Schritt werden externe Querkräfte mit bekannter Richtung aufgebracht. Aus der Größe der einzelnen Messsignale $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_N$ im Verhältnis zum Betrag und zu der Richtung der eingeleiteten Querkräfte kann die Vorzugsrichtung $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_N$ der Piezoelemente $2a, 2b, \dots, 2i, \dots, 2N$ in der Ebene, welche durch die Vorzugsrichtung $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_N$ der Piezoelemente $2a, 2b, \dots, 2i, \dots, 2N$ aufgespannt wird, bestimmt werden.

In ähnlicher Weise kann durch das Aufbringen eines definierten Bremsmoments M_B und das Messen der einzelnen Messsignale $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_N$ ein Abstand $r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_N$ der Piezoelemente $2a, 2b, \dots, 2i, \dots, 2N$ von einer Drehachse D bestimmt werden, wenn die Vorzugsrichtungen $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_N$ der einzelnen Piezoelemente $2a, 2b, \dots, 2i, \dots, 2N$ bekannt sind.

Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Messsystems 1, welches in einer Messanordnung nach Fig. 1 zum Einsatz kommen kann. Im Wesentlichen weist ein solches Messsystem wenigstens ein Piezoelement, im gezeigten Ausführungsbeispiel zwei Piezoelemente $2a, 2b$, auf, welche mit einer Signalverarbeitungseinrichtung 3 signaltechnisch in der Weise verbunden sind, dass Signale S_1, S_N übertragen werden können. Die Signalverarbeitungseinrichtung 3 kann hierbei im Bereich einer Messanordnung 10 angeordnet sein, aber auch in einer zentralen Bremssteuereinrichtung eines Fahrzeugs.

Die Signalverarbeitungseinrichtung 3 ist insbesondere dazu eingerichtet, auf der Grundlage wenigstens eines Messsignals $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_N$ das Bremsmoment M_B in Bezug auf die Bewegungsrichtung B des Bremslements 12 zu bestimmen.

Insbesondere ist die Signalverarbeitungseinrichtung 3 eingerichtet, die in Bezug auf Fig. 1 beschriebenen Rechenoperationen zur Bestimmung des Bremsmoments M_B auszuführen. Vorzugsweise weist die Signalverarbeitungseinrichtung 3 Mittel auf, um die jeweiligen Arbeitsschritte zur Berechnung des Bremsmoments M_B auszuführen.

- 16 -

Fig. 3 zeigt ein Blockdiagramm eines Verfahrens 100 zur Bestimmung eines Bremsmoments.

Die einzelnen Arbeitsschritte des Verfahrens werden hierbei vorzugsweise computerimplementiert von der Signalverarbeitungseinrichtung 3 ausgeführt.

Für ein Bestimmen eines Bremsmoments M_B kommt hierbei vorzugsweise ein Messsystem 1, wie in Fig. 2 gezeigt, und/oder eine Messanordnung 10, wie in Fig. 1 gezeigt, zum Einsatz.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren 100 wird auf der Grundlage des Messsignals $S_1, \dots, S_i, \dots, S_N$ von Piezoelementen 2a, 2b das Bremsmoment M_B in Bezug auf die Bewegungsrichtung B der Bremsscheibe 12 bestimmt.

Vorzugsweise wird hierbei die Bremseinrichtung mit einer definierten Intensität betätigt 102, so dass jene Intensität der Betätigung bestimmt werden kann 103, ab welcher ein Schwellwert für das Messsignal $S_1, \dots, S_i, \dots, S_N$ oder das Bremsmoment M_B erreicht ist. Diese bestimmte Intensität bzw. dieser Wert der Intensität gibt einen Schleifpunkt an, ab welchem die Bremszange 11 bzw. deren Bremsbeläge mit der Bremsscheibe 12 in reibschlüssigen Kontakt kommen. Durch das Bestimmen der Intensität kann mithin jene Stellung der Betätigung der Bremszange 11 bestimmt werden, bei welcher die Bremsbeläge möglichst nah an der Bremsscheibe 12 sind, jedoch noch keine Reibverluste auftreten.

Insbesondere wird ein Schleifpunkt in der Weise definiert, dass bei diesem die Intensität des Messsignals $S_1, \dots, S_i, \dots, S_N$ von einer Rotationsgeschwindigkeit und der Reibkraft des Bremslements abhängig, insbesondere proportional, ist. Das Residual-Bremsmoment kann mit dem Verfahren 100 insbesondere bei oder nach einem Bremsvorgang durch einen Abgleich der Drehzahl der Bremsscheibe oder der Fahrgeschwindigkeit mit dem Bremsmoment bestimmt werden. Gibt es eine Korrelation mit der Drehzahl der Bremsscheibe, so liegen die Bremsbacken (noch) an der Bremsscheibe an. Die Korrelation dann mit dem Produkt aus Reibkoeffizient und der Spannkraft, mit der die Bremsbacken auf die Bremsscheibe gedrückt werden, in Beziehung gebracht werden.

- 17 -

Eine solche Abhängigkeit wird in Fig. 4 gezeigt. Dort sind die Rotationsgeschwindigkeit der Bremsscheibe 12 ω als durchgezogene Linie in Abhängigkeit von der Zeit und der entsprechend bestimmte Betrag des Bremsmoments M_B in Abhängigkeit von der Zeit als gestrichelte Linie dargestellt. Auf dem Diagramm wird deutlich, dass das Bremsmoment M_B von der Rotationsgeschwindigkeit ω abhängt, so dass der Schleifpunkt des Bremssystems bereits überschritten ist und eine reibschlüssige Verbindung zwischen dem Bremsattel und der Bremsscheibe 12 eingetreten ist.

Weiter vorzugsweise weist das Verfahren 100 vorzugsweise einen Arbeitsschritt des Betätigens der Bremszange 11 mit einer definierten Intensität auf 104. Die Messsignale $S_1, \dots, S_i, \dots, S_N$ der Piezoelemente 2a, 2b werden zueinander im betätigten Zustand der Bremseinrichtung verglichen 103, und in einem weiteren Arbeitsschritt wird ein Offset-Wert für wenigstens eines der Messsignale $S_1, \dots, S_i, \dots, S_N$ auf der Grundlage des Vergleichens bestimmt 106.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Messsignalen $S_1, \dots, S_i, \dots, S_N$ können ein Indikator dafür sein, dass die Piezoelemente 2a, 2b durch Elemente, an welchen diese gelagert sind, vorgespannt sind. Beispielsweise könnte in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 die Bremszange 11 in unbelastetem Zustand die beiden Piezoelemente 2a, 2b gegenüber dem Gegenlager 13 auseinanderdrücken oder umgekehrt. Dies könnte beispielsweise aufgrund von thermischen Einflüssen auf die Bremseinrichtung 11 oder auch das Gegenlager 13 verursacht sein.

Bei den beschriebenen Ausführungsbeispielen handelt es sich lediglich um Beispiele, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung mindestens eines Ausführungsbeispiels gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere im Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt. Insbesondere können einzelne Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden.

- 18 -

Patentansprüche

1. Messsystem (1) zur Bestimmung eines Bremsmoments (M_B) zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung (11) und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremsselement (12), insbesondere einer Bremsscheibe, wobei das Messsystem (1) wenigstens ein Piezoelement (2a, 2b) und eine Signalverarbeitungseinrichtung (3) aufweist, wobei das Piezoelement (2a, 2b) in der Weise in einem Kraftfluss zwischen dem Bremsselement (12) und einem Gegenlager (13), welches die Bremseinrichtung (11) abstützt, anordenbar ist, dass bei Einwirken einer Kraft in Bewegungsrichtung (B) des Bremsselements (12) auf das Piezoelement (2a, 2b) ein Messsignal unter Ausnutzung eines piezoelektrischen Effekts, insbesondere Schereffekts, des Piezoelements (2a, 2b) erzeugt wird, und wobei die Signalverarbeitungseinrichtung (3) dazu eingerichtet ist, auf der Grundlage des Messsignals (S1, S2) das Bremsmoment (M_B) in Bezug auf die Bewegungsrichtung (B) des Bremsselements (12) zu bestimmen (101).
2. Messsystem (1) nach Anspruch 1, wobei der Kraftfluss durch Reibkraftschluss, insbesondere durch einen Kraftschluss mittels Haftreibung, in das Piezoelement (2a, 2b) einleitbar ist.
3. Messsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorzugsrichtung (V1, V2) des Piezoelements (2a, 2b) tangential zu der Bewegungsrichtung (B) des Bremsselements (12) in einem zentralen Angriffspunkt der Bremseinrichtung (11) an das Bremsselement (12) ausgerichtet ist.
4. Messsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit wenigstens zwei Piezoelementen (2a, 2b), wobei die Vorzugsrichtungen (V1, V2) der Piezoelemente (2a, 2b) in einer einzigen Ebene liegen und vorzugsweise parallel ausgerichtet sind.
5. Messsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit wenigstens drei Piezoelementen (2a, 2b), wobei die Signalverarbeitungseinrichtung (3) des Weiteren eingerichtet ist, das Bremsmoment mittels einer, insbesondere orthogonalen, Zerlegung von Messsignalen oder Kraftmessungen der einzelnen Piezoelemente (2a, 2b) in Anteile, welche zu den jeweiligen abzuleitenden

- 19 -

- Kraftkomponenten und/oder Drehmomentkomponenten beitragen, zu bestimmen, wobei, insbesondere alle, Beiträge der einzelnen Piezoelemente (2a, 2b) zu den jeweiligen abzuleitenden Kraftkomponenten und/oder Drehmomentkomponenten berücksichtigt werden.
6. Messsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Signalverarbeitungseinrichtung (3) des Weiteren dazu eingerichtet ist, das Bremsmoment ausschließlich auf der Grundlage des Messsignals und einer Position des wenigstens einen Piezoelements (2a, 2b) in Bezug auf eine Drehachse (D) des Bremslements (12) zu bestimmen, wobei insbesondere kein Reibungskoeffizient zwischen einem Bremsbelag und des Bremslement (12) berücksichtigt wird.
 7. Messanordnung (10) zur Bestimmung eines Bremsmoments aufweisend ein Messsystem (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, eine Bremseinrichtung (11), ein abzubremsendes bewegliches Bremslement (12), und ein Gegenlager (13).
 8. Messanordnung (10) nach Anspruch 7, wobei das wenigstens eine Piezoelement (2a, 2b) zwischen Bremseinrichtung (11) und Gegenlager (13), vorzugsweise mit einer Vorspannung belastet, angeordnet ist.
 9. Messanordnung (10) nach Anspruch 7 oder 8, wobei eine Stirnfläche (4) des wenigstens einen Piezoelements (2a, 2b) wenigstens im Wesentlichen senkrecht zu einer Ebene des Bremslements (12) angeordnet ist.
 10. Verfahren (100) zur Bestimmung eines Bremsmoments, welches beim Bremsen zwischen einer feststehenden Bremseinrichtung (11) und einem abzubremsenden drehbeweglichen Bremslement (12), insbesondere einer Bremsscheibe, übertragen wird, wobei wenigstens ein Piezoelement (2a, 2b) in der Weise in einem Kraftfluss zwischen dem Bremslement (12) und einem Gegenlager (13), welches die Bremseinrichtung (11) abstützt, angeordnet ist, dass bei Einwirken einer Kraft in Bewegungsrichtung (B) des Bremslements (12) auf das Piezoelement (2a, 2b) ein Messsignal unter Ausnutzung eines piezoelektrischen Effekts, insbesondere Schereffekts, des Piezoelements (2a, 2b) erzeugt wird, und wobei auf der

- 20 -

Grundlage des Messsignals das Bremsmoment (M_B) in Bezug auf die Bewegungsrichtung (B) des Bremslements (12) bestimmt wird (101).

11. Verfahren (100) nach Anspruch 10, folgende Arbeitsschritte aufweisend:
 - Betätigen der Bremseinrichtung (11) mit einer definierten Intensität (102); und
 - Bestimmen der Intensität des Betätigens, ab welcher ein Schwellwert für das Messsignal (S_1 , S_2) oder das Bremsmoment (M_B) erreicht ist (103).
12. Verfahren (100) nach Anspruch 11, wobei der Schwellwert dann erreicht ist, wenn eine Intensität des Messsignals (S_1 , S_2) von einer Rotationsgeschwindigkeit ($\dot{\varphi}$) des Bremslements (12) abhängig, insbesondere proportional, ist.
13. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei wenigstens zwei Piezoelemente (2a, 2b) in dem Kraftfluss angeordnet sind, folgende Arbeitsschritte aufweisend:
 - Betätigen der Bremseinrichtung (11) mit einer definierten Intensität (104);
 - Vergleichen der Messsignale (S_1 , S_2) der Piezoelemente (2a, 2b) zueinander (105), insbesondere in betätigtem Zustand der Bremseinrichtung (11); und
 - Bestimmen eines Offset-Werts für wenigstens eines der Messsignale (S_1 , S_2) auf der Grundlage des Vergleichens (106).
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei das Bremsmoment (M_B) welche in Bewegungsrichtung des Bremslements wirkt, mittels Messungen von Reaktionskräften, welche durch ein Gegenlager der Bremseinrichtung bereitgestellt werden, durch wenigstens ein Piezoelement bestimmt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, wobei wenigstens drei Piezoelemente (2a, 2b) in dem Kraftfluss angeordnet sind und Kraftkomponenten und Drehmomentkomponenten mittels eines Gleichungssystems auf der Grundlage von Messsignalen der einzelnen Piezoelemente (2a, 2b) bestimmt werden, wobei das Bremsmoment (M_B) aus den Drehmomentkomponenten

- 21 -

abgeleitet wird, wobei vorzugsweise Messsignale oder von diesen abgeleitete Kraftmessungen der einzelnen Piezoelemente (2a, 2b) in Anteile, welche zu den jeweiligen zu bestimmenden Kraftkomponenten und/oder Drehmomentkomponenten beitragen, zerlegt werden, wobei weiter vorzugsweise, insbesondere alle, Beiträge der einzelnen Piezoelemente zu den jeweiligen zu bestimmenden Kraftkomponenten und/oder Drehmomentkomponenten berücksichtigt werden.

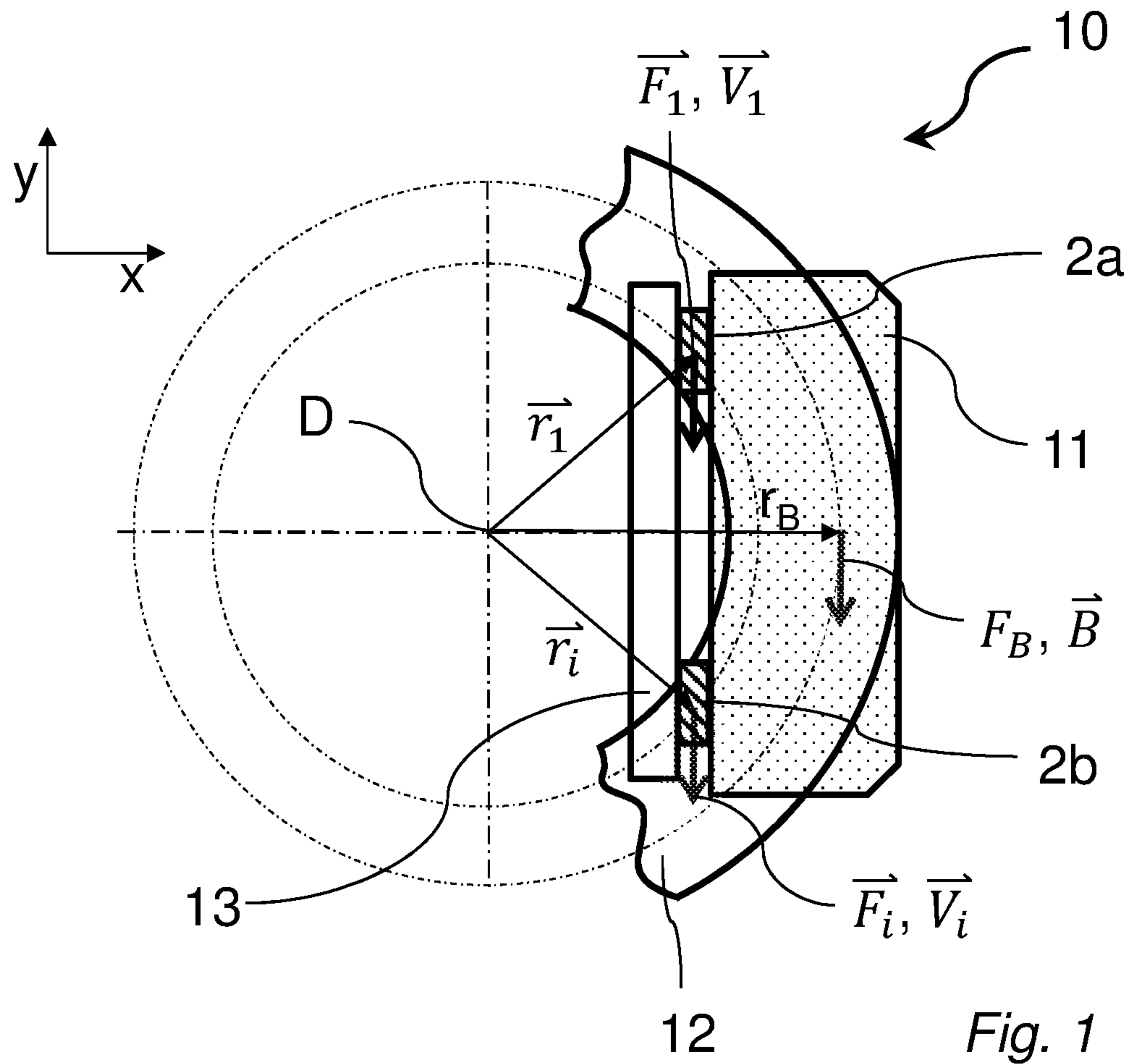


Fig. 1

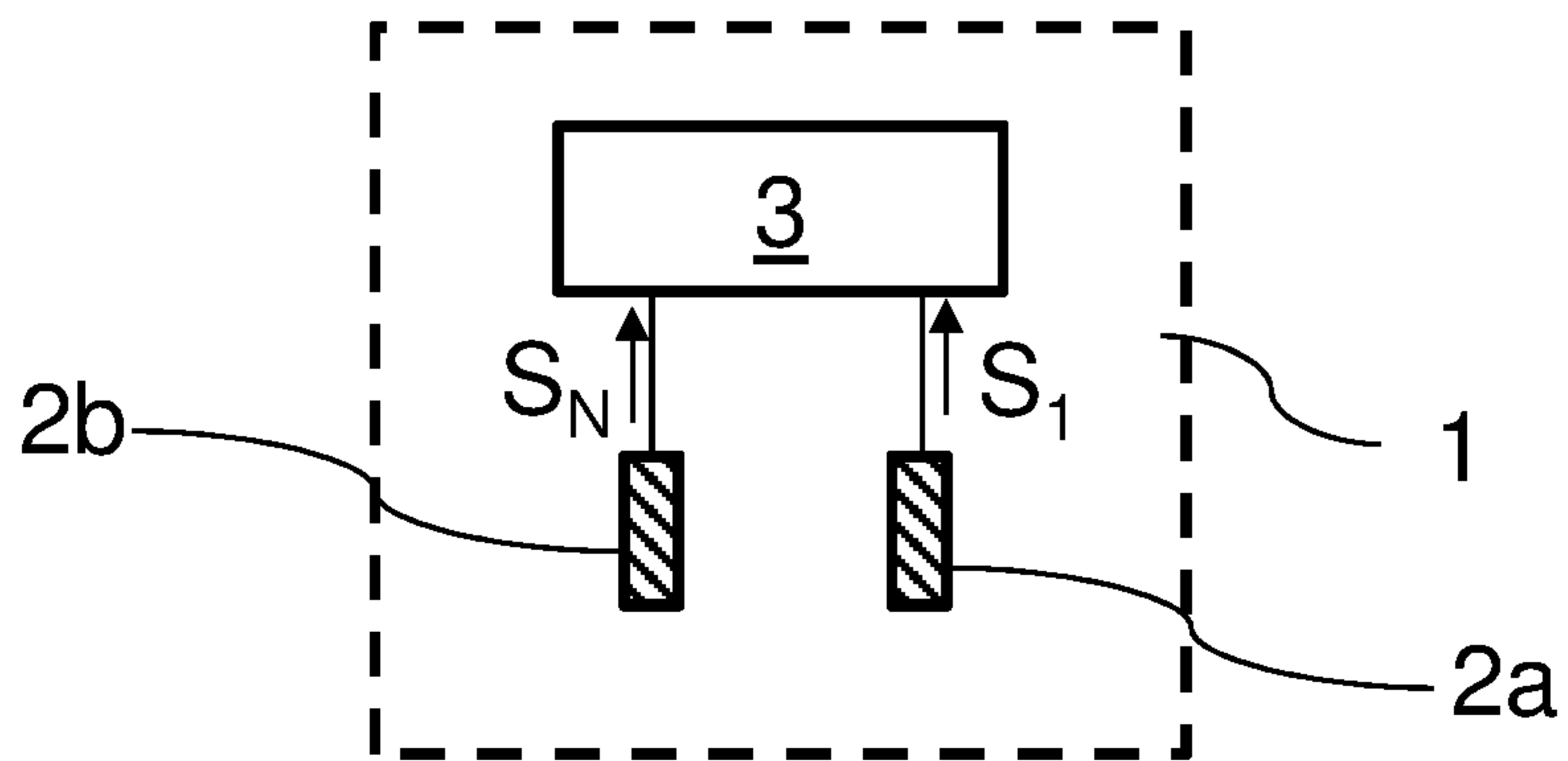


Fig. 2

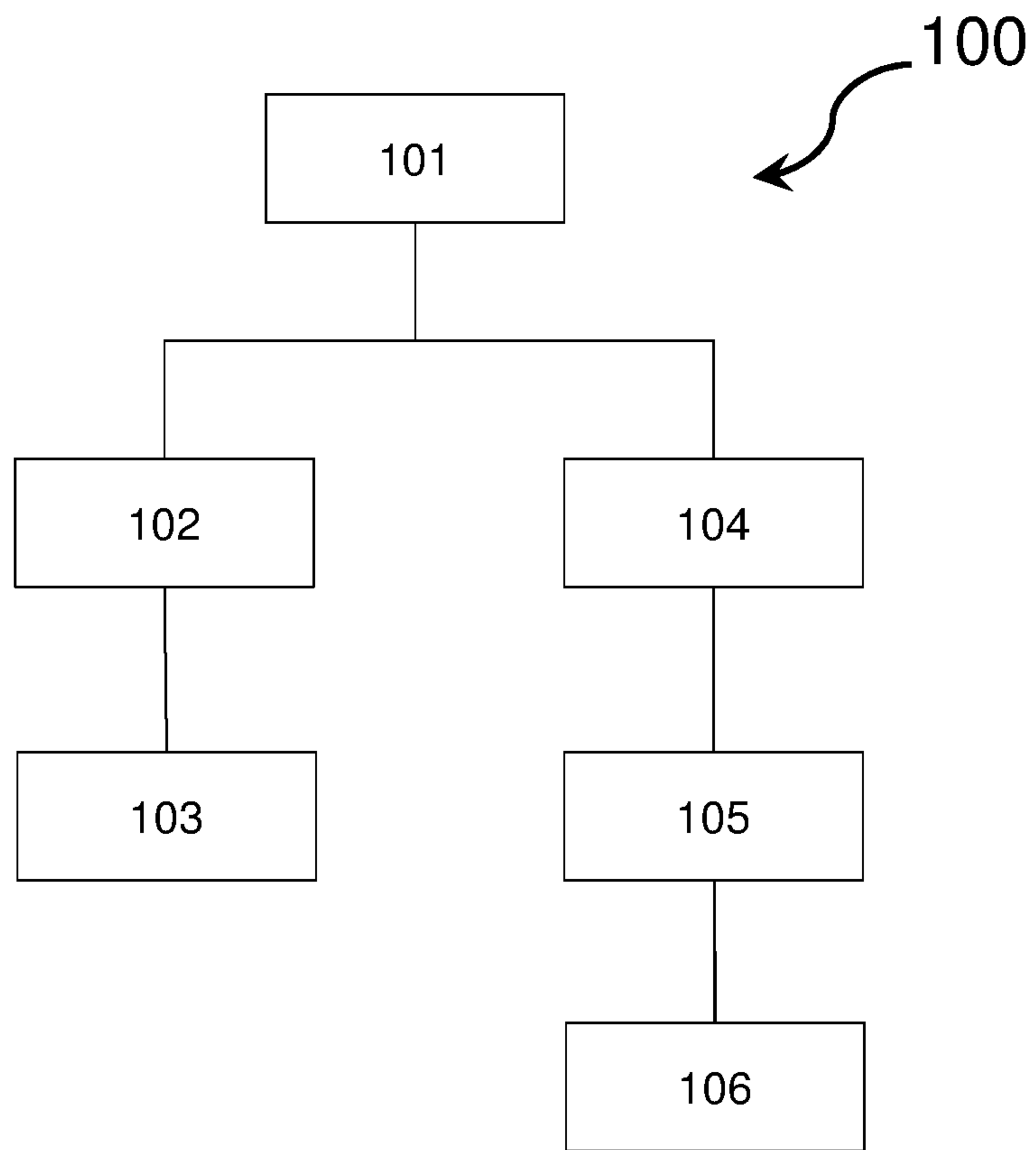


Fig. 3

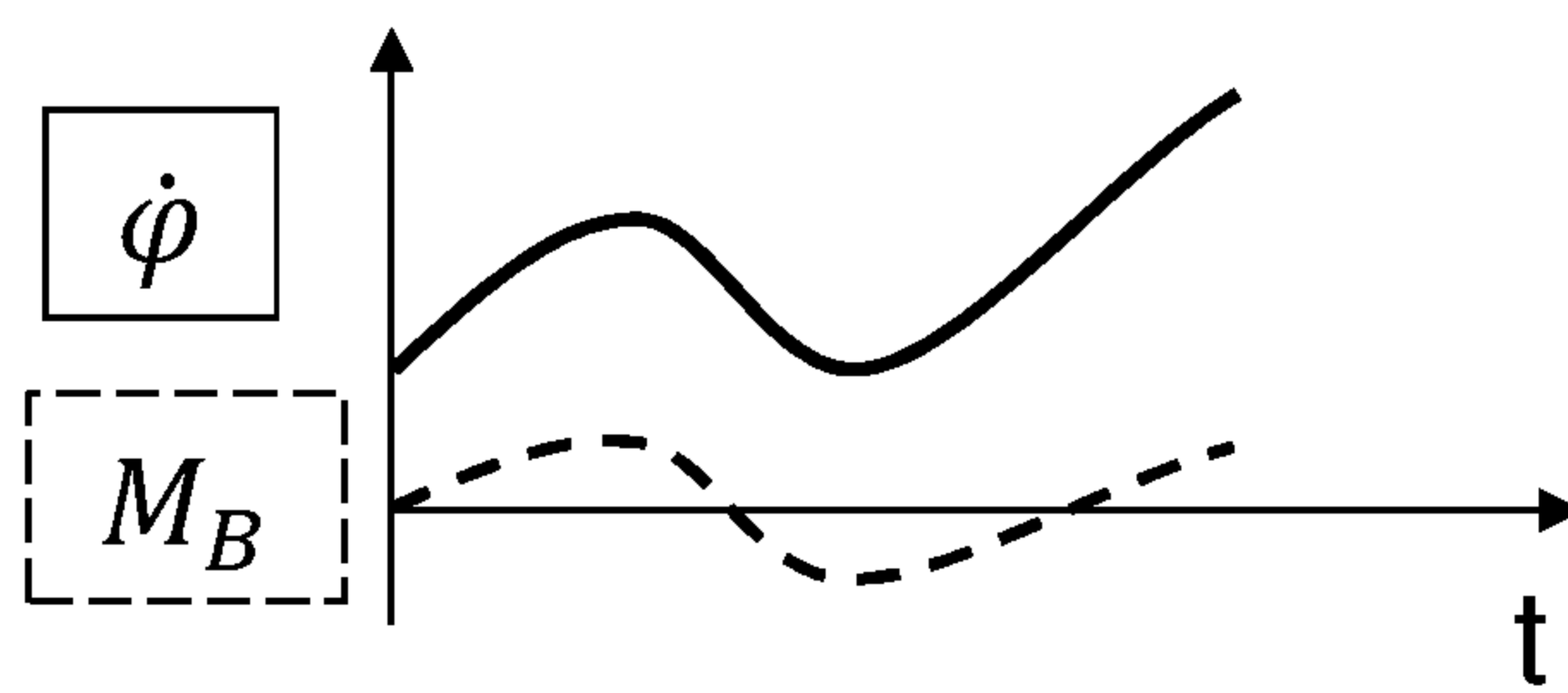


Fig. 4

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
G01L 3/00 (2006.01); **G01L 1/16** (2006.01); **G01L 1/18** (2006.01); **G01L 5/00** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
G01L 3/00 (2013.01); **G01L 1/16** (2013.01); **G01L 1/18** (2020.01); **G01L 5/0019** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
 G01L

Konsultierte Online-Datenbank:
 EPODOC; TXT NN

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 25.07.2019 eingereichten Ansprüchen 1-15 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	WO 02070917 A1 (NOVATECH MEASUREMENTS LTD) 12. September 2002 (12.09.2002) ganzes Dokument	1, 3, 4, 6, 7, 10
X	DE 10148472 A1 (KNORR BREMSE SYSTEME) 17. April 2003 (17.04.2003) ganzes Dokument	1, 3, 4, 6, 7, 10
A	DE 102006002456 A1 (SIEMENS AG) 19. Juli 2007 (19.07.2007) Abstract; Figs. 1-4	1-15
A	DE 102017211738 A1 (CONTINENTAL TEVES AG & CO OHG) 22. März 2018 (22.03.2018) Abstract; Figs. 1-3	1-15
A	DE 10105298 C1 (FAG AUTOMOBILTECHNIK AG) 14. August 2002 (14.08.2002) Abstract; Figs. 1-6	1-15
A	US 2007228815 A1 (HORIUCHI ET AL) 04. Oktober 2007 (04.10.2007) Abstract; Figs. 1-8	1-15
A	US 2008077302 A1 (HORIUCHI ET AL) 27. März 2008 (27.03.2008) Abstract; Figs. 1-9	1-15
A	DE 10140021 A1 (LUCAS AUTOMOTIVE GMBH) 13. März 2003 (13.03.2003) Abstract; Figs. 1-6	1-15

Datum der Beendigung der Recherche: 15.04.2020	Seite 1 von 1	Prüfer(in): BABUREK Gerhard
---	---------------	--------------------------------

^{*)} **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.
- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien X oder Y), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie X), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.