



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift DE 199 54 519 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 B 21/32**  
G 01 B 7/16  
G 01 N 3/08  
// B23Q 17/09, B23B  
25/06

21 Aktenzeichen: 199 54 519.7  
22 Anmeldetag: 12. 11. 1999  
43 Offenlegungstag: 17. 5. 2001

DE 199 54 519 A 1

71 Anmelder:  
Nordmann, Klaus, Dr.-Ing., 50937 Köln, DE

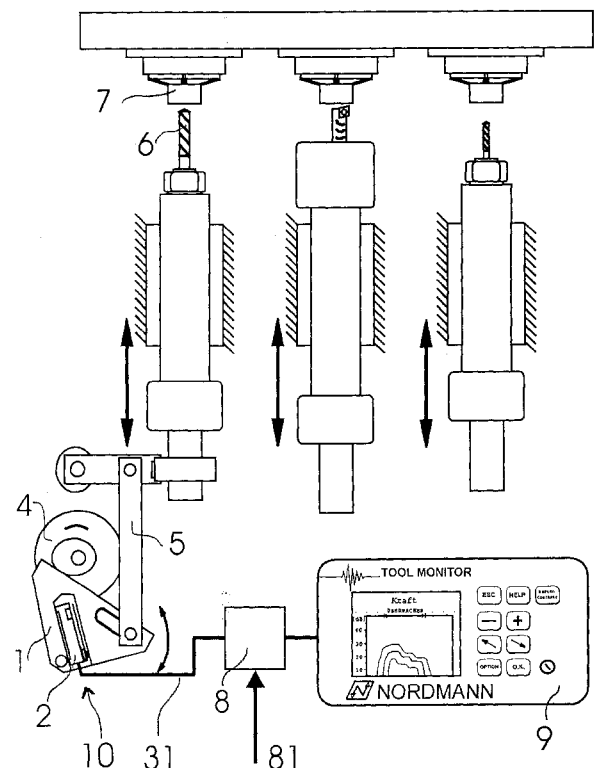
74 Vertreter:  
Bauer, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 50968  
Köln

72 Erfinder:  
gleich Anmelder

### Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Vorrichtung zur Belastungsmessung

57 Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Belastungsmessung eines wechselnd mechanisch belasteten Elements (1), insbesondere eines Maschinenteils, mit einem Dübelkörper (2), der dazu vorgesehen ist, in eine Bohrung (10), insbesondere in ein Sackloch im Element (1), eingesetzt zu werden und die Verformung des Elements (1) bei wechselnder mechanischer Belastung zu erfassen. Der Dübelkörper (2) weist mindestens einen ersten Anlagepunkt (21) auf, der starr mit dem Dübelkörper (2) verbunden ist und mindestens einen zweiten Anlagepunkt (22), der elastisch mit dem Dübelkörper (2) verbunden ist, wobei der erste (21) und der zweite (22) Anlagepunkt so angeordnet sind, dass sich der in die Bohrung (10) eingesetzte Dübelkörper (2) mit dem ersten Anlagepunkt (21) an einem ersten Kontaktbereich (111), welcher auf einer ersten Seite (11) der Innenwandung der Bohrung (10) liegt, abstützt, und mit dem zweiten Anlagepunkt (22) an einem zweiten Kontaktbereich (112), welcher auf einer von der ersten Seite (11) abgewandten zweiten Seite (12) der Innenwandung liegt, abstützt, dergestalt, dass sich bei einer Verformung des Elements (1) der Abstand zwischen dem zweiten Kontaktbereich (112) und dem Dübelkörper (2) bei weitgehend unveränderter Lage des Dübelkörpers (2) relativ zur ersten Seite (11) der Innenwandung elastisch verändert. Weiterhin ist ein Wegaufnehmer (3) vorgesehen, der dazu eingerichtet ist, die Variation des Abstands D des Dübelkörpers (2), insbesondere eines auf dem ...



DE 199 54 519 A 1

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung zur Belastungsmessung eines wechselnd mechanisch belasteten Elements, insbesondere eines Maschinenteils, gemäss des Oberbegriffs des Hauptanspruchs.

Aufgrund der Elastizität von Festkörpern reagieren feste Elemente, unter welchen im folgenden insbesondere Maschinenteile, Werkzeuge oder Werkstücke verstanden werden sollen, mit einer Verformung auf anliegende äussere Zug- oder Druckspannungen. Ein Wechsel einer solchen äusseren Belastung geht daher ganz allgemein mit einer wechselnden Verformung des Elements einher. Die Messung der Verformung eines mechanisch belasteten Elements erlaubt daher Rückschlüsse auf die mechanische Belastung des Elements.

Aus der DE 43 30 808 ist bekannt, dass die Messung der Verformung eines an einem Werkzeug- oder Werkstückantrieb beteiligten Maschinenelements dazu verwendet werden kann, die Bearbeitungskraft des von diesem Maschinenelement angetriebenen Werkzeugs zu erfassen. Insbesondere kann auf diese Weise der Werkzeugverschleiss und ein eventueller Werkzeugbruch erkannt werden.

Gattungsgemässe Vorrichtungen verwenden zur Erfassung der Längsdehnung oder -kontraktion eines Elements häufig piezoelektrische Aufnehmer.

Diese werden in eine Bohrung im Element eingesetzt, so dass sich bei einer Verformung der Bohrung unter einer mechanischen Belastung des Elements auch eine Deformation des im Aufnehmer enthaltenen piezoelektrischen Sensors ergibt. Die Bohrung wird vorzugsweise in einem solchen Bereich des Elements ausgeführt, welcher bei der zu erfassenden mechanischen Belastung eine hohe, möglichst eine maximale Verformung erfährt, so dass sich ein maximales Signal am piezoelektrischen Sensor ergibt.

Problematisch an den vorbekannten gattungsgemässen Vorrichtungen zur Belastungsmessung, welche auf der Verwendung piezoelektrischer Sensoren beruhen, ist einerseits, dass bei der Montage einer solchen Vorrichtung eine möglichst gute Krafterleitung aus dem sich unter mechanischer Belastung verformenden Element in die Vorrichtung realisiert werden muss, so dass sich eine möglichst grosse Deformation des in die Vorrichtung integrierten piezoelektrischen Sensors ergibt. Dies wird realisiert, indem die Vorrichtung mit einer hohen Vorspannkraft in der Bohrung verspannt wird. Hierbei tritt oftmals das Problem auf, dass die piezoelektrischen Sensoren bei der Montage durch eine zu hohe Vorspannkraft leicht beschädigt werden können. Weiterhin kann eine starke Verformung des mechanisch belasteten Elements zu einer so grossen Deformation des piezoelektrischen Sensors führen, dass dieser aufgrund der mechanischen Belastung beschädigt oder sogar zerstört wird.

Andererseits müssen bei gattungsgemässen Vorrichtungen, die auf piezoelektrischen Sensoren beruhen, niedrige Spannungen bei geringsten Messströmen registriert werden, was die Verwendung hochisolierter Zuleitungen voraussetzt. Die Aufrechterhaltung dieser hohen Isolation, die sich in einem Übergangswiderstand von mehr als  $10^{14}$  Ohm zwischen den Zuleitungen ausdrückt, stellt im praktischen Einsatz unter den aggressiven Bedingungen, welche an Materialbearbeitungsmaschinen herrschen, ein wesentliches Problem dar. Insbesondere das bei der Materialbearbeitung verwendete Kühl-/Schmiermittel weist die Fähigkeit auf, in kleinste Spalten und durch geringste Öffnungen einzudringen und damit insbesondere die elektrische Isolationsfähigkeit, beispielsweise von Messkabeln, negativ zu beeinflussen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine

Vorrichtung zur Belastungsmessung an einem wechselnd mechanisch belasteten Element anzugeben, welche einfach in eine Bohrung im Element einzusetzen ist, in dieser Bohrung nicht mit einer hohen Vorspannkraft verspannt werden muss und dessen Messsystem eine verringerte Empfindlichkeit gegen die aggressiven Einflüsse in der Umgebung von materialbearbeitenden Maschinen aufweist.

Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung zur Belastungsmessung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs.

Eine solche Vorrichtung, welche zur Belastungsmessung eines wechselnd mechanisch belasteten Elements, insbesondere eines Maschinenteils, vorgesehen ist, weist einen Dübelkörper auf, der dazu vorgesehen ist, in eine Bohrung, insbesondere in ein Sackloch im Element eingesetzt zu werden. Es erfasst dann die wechselnde Verformung des Elements bei wechselnder mechanischer Belastung.

Der Dübelkörper weist mindestens einen ersten Anlagepunkt auf, der starr mit dem Dübelkörper verbunden ist. Weiterhin weist der Dübelkörper mindestens einen zweiten Anlagepunkt auf, der elastisch mit dem Dübelkörper verbunden ist. Der erste und der zweite Anlagepunkt sind so angeordnet, dass sich der in die Bohrung eingesetzte Dübelkörper mit dem ersten Anlagepunkt an einem ersten Kontaktbereich und mit dem zweiten Anlagepunkt an einem zweiten Kontaktbereich an der Innenwandung der Bohrung abstützt. Dabei liegt der erste Kontaktbereich auf einer ersten Seite der Innenwandung der Bohrung und der zweite Kontaktbereich auf einer von der ersten Seite abgewandten zweiten Seite der Innenwandung. Der Dübelkörper stützt sich dergestalt mit dem ersten und dem zweiten Anlagepunkt von der Innenwandung der Bohrung ab, dass sich bei einer Verformung des Elements, welche aus einem Wechsel der mechanischen Belastung des Elements resultiert, der Abstand zwischen dem zweiten Kontaktbereich und dem Dübelkörper elastisch verändert. Dabei bleibt die Lage des Dübelkörpers relativ zur ersten Seite der Innenwandung der Bohrung weitgehend unverändert. Weiterhin ist ein vorzugsweise berührungslos arbeitender Wegaufnehmer vorgesehen, der dazu eingerichtet ist, die Variation des Abstands des Dübelkörpers, insbesondere eines auf dem Dübelkörper angeordneten Referenzpunkts, zu einem der zweiten Seite der Innenwandung zugeordneten Messfleck zu erfassen. Insbesondere kann dieser Messfleck unmittelbar auf der zweiten Seite der Innenwandung der Bohrung angeordnet sein. Als berührungslose Wegaufnehmer bieten sich Wegaufnehmer an, die nach dem induktiven Prinzip oder dem Wirbelstromprinzip arbeiten. Weiterhin ist jedoch auch die Verwendung berührend arbeitender Wegaufnehmer möglich, hier kann beispielsweise ein Wegaufnehmer eingesetzt werden, der nach dem linearen Differentialtransformator-Prinzip arbeitet. Ganz allgemein können Wegaufnehmer eingesetzt werden, die nicht zwischen Dübelkörper und Messfleck mit einer hohen Vorspannkraft verspannt werden müssen.

Zur Montage wird die erfindungsgemässe Vorrichtung in eine Bohrung im wechselnd mechanisch belasteten Element eingesteckt, wobei die Bohrung so bemessen ist, dass der Dübelkörper im wesentlichen durch die Elastizität des zweiten Anlagepunkts in der Bohrung gehalten wird. Ein weiteres Verspannen des Dübelkörpers in der Bohrung ist i. a. nicht erforderlich. Aus diesem Grunde ist eine besonders einfache Montage möglich, eine Beschädigung der erfindungsgemässen Vorrichtung bei der Montage kann praktisch ausgeschlossen werden. Durch Anpassen der Elastizität des zweiten Anlagepunktes an die Anforderungen der Messaufgabe können auch grosse Verformungen des wechselnd mechanisch belasteten Elements erfasst werden, ohne dass eine mechanische Beschädigung der erfindungsgemässen

Vorrichtung, insbesondere des Wegaufnehmers zu befürchten ist. Hier können problemlos hohe Sicherheitsreserven realisiert werden.

Bei der Verwendung von Wegaufnehmern, die auf der Vermessung von Induktivitäten bzw. auf dem Wirbelstromprinzip beruhen, sind keine erhöhten Anforderungen an die zu verwendenden Zuleitungen zu stellen. Aus diesem Grunde erhöht sich die Zuverlässigkeit der erfindungsgemässen Vorrichtung beim Einsatz unter aggressiven Umgebungsbedingungen, insbesondere an materialbearbeitenden Maschinen, erheblich. Zusätzlich können deutliche Kostenvorteile gegenüber den vorbekannten Vorrichtungen, welche piezoelektrische Sensoren verwenden, realisiert werden, da sowohl die bei der erfindungsgemässen Vorrichtung eingesetzten Wegaufnehmer als auch die nachgeschaltete Auswertelektronik deutlich kostengünstiger zu erstellen sind.

Eine weitere Verbesserung der erfindungsgemässen Vorrichtung kann dadurch erzielt werden, dass ein Hebelarm vorgesehen ist, der beweglich mit dem Dübelkörper verbunden ist. Dabei sind der zweite Anlagepunkt und der Messfleck auf dem Hebelarm angeordnet. Insbesondere kann der zweite Anlagepunkt elastisch mit dem Dübelkörper verbunden sein, indem der Hebelarm selbst eine entsprechende Elastizität aufweist.

Insbesondere vorteilhaft ist, wenn bei der vorgenannten Ausführung der Hebelarm so ausgeführt ist und der zweite Anlagepunkt und der Messfleck so auf dem Hebelarm angeordnet sind, dass sich eine Hebelübersetzung ergibt. Diese Hebelübersetzung wird vorteilhaft so gewählt, dass der vom Wegaufnehmer erfasste Abstand zwischen Dübelkörper und Messfleck bei einem Wechsel der mechanischen Belastung des Elements stärker variiert als der Innendurchmesser der Bohrung am Ort des zweiten Anlagepunkts. Durch eine solche Hebelübersetzung kann die Empfindlichkeit bei der Erfassung des Innendurchmessers am Ort des zweiten Anlagepunktes bei einem Wechsel der mechanischen Belastung des Elements gegenüber der reinen Empfindlichkeit des verwendeten Wegaufnehmers noch erhöht werden. Bei entsprechender Ausführung der Geometrie des Hebelarms kann die Empfindlichkeit auf diese Weise problemlos um den Faktor 10 erhöht werden. Durch entsprechende Anpassung der Geometrie des Hebelarms kann diese Empfindlichkeitserhöhung an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

Besondere Vorteile ergeben sich, wenn der Hebelarm aus einem dauerelastischen Metall, insbesondere aus einem Federstahlblech gefertigt ist. Auf diese Weise kann die elastische Verbindung des zweiten Anlagepunkts mit dem Dübelkörper besonders einfach realisiert werden.

Für die Montage ergeben sich Vorteile, wenn die Vorrichtung so ausgeführt wird, dass sie ohne Zuhilfenahme von Werkzeug in die Bohrung eingeführt werden kann.

Dies kann beispielsweise realisiert werden, indem die Vorrichtung so ausgeführt wird, dass sie mit einer Vorspannkraft von weniger als 30 Newton, vorzugsweise von weniger als 15 Newton in der Bohrung verspannt Zuerden muss. Solche Vorspannkraften lassen sich leicht durch die Verwendung einer erfindungsgemässen Vorrichtung mit einem Hebelarm aus einem dauerelastischen Metall realisieren.

Insbesondere vorteilhaft ist, es, wenn die erfindungsgemässe Vorrichtung mit einer solchen Vorspannkraft in der Bohrung verspannt wird, dass sie unter Aufwendung einer in Richtung der Längsachse der Bohrung gerichteten Kraft von mehr als 15 Newton, vorzugsweise von mehr als 5 Newton aus der Bohrung herausgezogen werden kann, die jedoch vorzugsweise immer mindestens der auf die erfindungsgemässe Vorrichtung wirkenden Gewichtskraft entspricht.

Im praktischen Einsatz können problemlos erfindungsge-

mässe Vorrichtungen realisiert werden, die unter Aufwendung einer Kraft von etwa 11 Newton aus einer in einem Stahlelement ausgeführten Bohrung herausgezogen werden können. Solche Vorrichtungen können ohne Verwendung zusätzlicher Werkzeuge in eine Bohrung eingeführt werden, und verbleiben zuverlässig unter üblichen Einsatzbedingungen in der Bohrung.

Für die praktische Anwendung in rauen Umgebungsbedingungen, beispielsweise an materialbearbeitenden Maschinen, hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, wenn der Wegaufnehmer hermetisch im Dübelkörper verkapselt ist. Dies kann beispielsweise durch Vergießen mit einem Kunststoff realisiert werden. Insbesondere kann die Verkapselung auch die Zuleitungen des Wegaufnehmers umfassen. Schliesslich kann der Dübelkörper einschliesslich des darin integrierten Wegaufnehmers vollständig wasserdicht ausgeführt werden.

Eine besondere Unempfindlichkeit der erfindungsgemässen Vorrichtung gegen Erschütterungen, Vibrationen sowie Schwingungen aller Art kann erzielt werden, wenn der Wegaufnehmer, welcher den Abstand zwischen dem Dübelkörper, insbesondere einem hierauf gelegenen Referenzpunkt, sowie dem Messfleck erfasst, dazu eingerichtet ist, diesen Abstand über ein Zeitintervall T gemittelt zu erfassen. Dabei wird das Zeitintervall T vorzugsweise so gewählt, dass es eine Mehrzahl von Schwingungsperioden charakteristischer Schwingungen des Elements, der zugehörigen Maschine, insbesondere Werkzeugmaschine, sowie des Dübelkörpers einschliesslich eines eventuell vorhandenen Hebelarms umfasst. Auf diese Weise können störende Einflüsse von Schwingungen, welche oftmals nicht mit der zu erfassenden Belastung des Elements korreliert sind, mit hoher Effizienz eliminiert werden.

Die gleiche Wirkung wird erzielt, wenn eine dem Wegaufnehmer nachgeschaltete Auswertelektronik die beschriebene Funktion ausübt.

Störende Einflüsse der Zuleitungen des Wegaufnehmers können eliminiert werden, indem eine drahtlose Sendeeinheit in die erfindungsgemässe Vorrichtung integriert wird, welche die vom Wegaufnehmer erfassten Daten mit der erforderlichen Zeitauflösung vorzugsweise digitalisiert an eine nahegelegene Empfangsstation sendet, in welcher die empfangenen Daten aufbereitet und einer Weiterverarbeitung zugeführt werden. Insbesondere kommt hier die Verwendung optisch arbeitender drahtloser Kommunikationsstrecken in Frage.

Weitere Merkmale und Vorzüge der erfindungsgemässen Vorrichtung ergeben sich aus den nun folgenden Ausführungsbeispielen, welche nicht einschränkend zu verstehen sind und anhand der Zeichnungen erläutert werden. In dieser zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Ansicht eines Mehrspindeldrehautomaten mit einer in einen Kulissenhebel eingesetzten erfindungsgemässen Vorrichtung,

**Fig. 2** eine Aufsicht auf eine erste Ausführungsform einer in eine Bohrung im Kulissenhebel eingesetzten erfindungsgemässen Vorrichtung,

**Fig. 3** eine Seitenansicht längst der Schnittlinie A-A aus **Fig. 2** der in die Bohrung im Kulissenhebel eingesetzten ersten Ausführungsform,

**Fig. 4** eine Aufsicht auf eine zweite Ausführungsform einer in eine Bohrung im Kulissenhebel eingesetzten erfindungsgemässen Vorrichtung,

**Fig. 5** eine Seitenansicht längst der Schnittlinie A-A aus **Fig. 4** der in die Bohrung im Kulissenhebel eingesetzten zweiten Ausführungsform analog zu **Fig. 3**,

**Fig. 6** eine Seitenansicht einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vorrichtung analog zu **Fig. 3** und

**Fig. 7** eine Seitenansicht einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vorrichtung, welche einen Hebelarm aufweist, ebenfalls analog zu **Fig. 3**.

**Fig. 1** zeigt eine erfindungsgemässe Vorrichtung, die in einem Mehrspindeldrehautomaten zur Messung der Werkzeugvorschubkräfte eingesetzt wird. Der Kulissenhebel **1** eines solchen Mehrspindeldrehautomaten wird von einer Steuerkurve **4** bewegt und treibt eine Vorschubstange **5** an, an welcher ein Werkzeug **6** befestigt ist. Dieses Werkzeug **6** bearbeitet ein Werkstück **7**. Bei der Bearbeitung des Werkstücks **7** treten Kräfte am Kulissenhebel **1** auf, welche diesen verformen. Insbesondere tritt beim Wechsel von "keine Materialbearbeitung" zu "Materialbearbeitung" eine wechselnde Verformung des Kulissenhebels **1** auf. Diese wechselnde Verformung wird insbesondere beeinflusst von den auftretenden Bearbeitungskräften, welche wiederum vom Abnutzungsgrad des verwendeten Werkzeugs abhängen. Eine Belastungsmessung am Kulissenhebel stellt daher eine Möglichkeit dar, auf den Abnutzungsgrad des Werkzeugs **6** zu schließen. Zu diesem Zweck wird eine erfindungsgemässe Vorrichtung in eine Bohrung **10** im Kulissenhebel **1** eingesetzt. Der Kulissenhebel **1** stellt damit das Element **1** dar, an welchem die Belastungsmessung durchgeführt werden soll. Von der erfindungsgemässen Vorrichtung ist aus **Fig. 1** der Dübelkörper **2** ersichtlich.

**Fig. 2** zeigt die Bohrung **10** im Kulissenhebel **1** in Aufsicht. In diese Bohrung **10** ist eine erfindungsgemässe Vorrichtung eingesteckt. Diese weist einen Dübelkörper **2** auf, mit dem ein erster Anlagepunkt **21** starr verbunden ist. Weiterhin weist die erfindungsgemässe Vorrichtung einen zweiten Anlagepunkt **22** auf, der über eine elastische Metallzunge **222** elastisch mit dem Dübelkörper **2** der erfindungsgemässen Vorrichtung verbunden ist. Aus der Aufsicht ist ersichtlich, dass sich der Dübelkörper **2** mit den Anlagepunkten **21** und **22** an voneinander abgewandten Seiten der Innenwandung der Bohrung **10** abstützt. In **Fig. 2** sind die erste Seite **11** und die zweite Seite **12** sowie der erste Kontaktbereich **111** sowie der zweite Kontaktbereich **121** angedeutet. Weiterhin sind aus der gezeigten Aufsicht die Zuleitungen **31** des Wegaufnehmers **3** ersichtlich.

Die gestrichelt eingezeichnete Linie, welche mit A-A bezeichnet ist, stellt eine Schnittlinie dar. Aus **Fig. 3** ist ein Schnitt durch den Kulissenhebel **1** längst dieser Schnittlinie A-A ersichtlich. Man erkennt den Dübelkörper **2** der in die Bohrung **10** eingesetzten erfindungsgemässen Vorrichtung. Der Dübelkörper **2** weist in der gezeigten Realisierung zwei erste Anlagepunkte **21** auf, die starr mit dem Dübelkörper **2** verbunden sind. Weiterhin ist der zweite Anlagepunkt **22** ersichtlich, der über die U-förmig gebogene elastische Metallzunge **222** mit dem Dübelkörper verbunden ist. Der Dübelkörper **2** stützt sich mit den zwei ersten Anlagepunkten **21** und dem zweiten Anlagepunkt an gegenüberliegenden Seiten der Innenwandung der Bohrung **10** ab. Dabei wird durch die elastische Metallzunge **222** eine geringe Vorspannung aufgebaut, so dass der Dübelkörper **2** von einer geringen Vorspannkraft in der Bohrung **10** fixiert wird. Bei einer Verformung des Kulissenhebels **1** in Richtung des Doppelpfeils in **Fig. 2**, wie sie beispielsweise aufgrund von Bearbeitungskräften erfolgt, verformt sich die Bohrung **10**. Dadurch ändert sich der Innendurchmesser der Bohrung **10**. Bei einer solchen Änderung des Innendurchmessers werden die ersten Anlagepunkte **21** durch die Vorspannkraft der elastischen Metallzunge **222** an der ersten Seite der Innenwandung der Bohrung **10** fixiert. Weiterhin bleibt auch der zweite Anlagepunkt **22** im wesentlichen auf dem zweiten Kontaktbereich **121** auf der zweiten Seite **12** der Innenwandung der Bohrung **10** fixiert. Dadurch ändert sich bei einer Verformung des Kulissenhebels **1** der Abstand des Dübelkörpers **2**

zur zweiten Seite **12** der Innenwandung der Bohrung. Insbesondere ändert sich der Abstand zwischen dem zweiten Kontaktbereich **121** und dem Dübelkörper **2**. In den Dübelkörper ist ein Wegaufnehmer **3** integriert, dieser erfasst den Abstand **D** des Dübelkörpers **2**, insbesondere des auf dem Dübelkörper angeordneten Referenzpunkts **23**, von dem der zweiten Seite **12** der Innenwandung der Bohrung **10** zugeordneten Messflecks **13**. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Messfleck **13** unmittelbar auf der zweiten Seite **12** der Innenwandung der Bohrung **10** angeordnet. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird ein berührungslos arbeitender Wegaufnehmer eingesetzt, der beispielsweise induktiv arbeiten oder auf einer Wirbelstrommessung beruhen kann. Über die Zuleitung **31** wird der vom Wegaufnehmer **3** erfasste Abstand **D** zur Weiterverarbeitung an eine nachgeschaltete Elektronik geleitet.

Aus **Fig. 4** ist eine geringfügig abgewandelte Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vorrichtung in Aufsicht ersichtlich, welche sich von der Ausführungsform in **Fig. 2** nur dadurch unterscheidet, dass anstelle zweier erster Anlagepunkte **21**, welche auf einer Linie parallel zur Längsachse des Dübelkörpers angeordnet sind, vier erste Anlagepunkte **21** vorgesehen sind. Diese vier ersten Anlagepunkte **21** werden realisiert durch je eine vorspringende Nase am oberen Ende und am unteren Ende des Dübelkörpers **2**. In die Bohrung **10** eingesteckt bilden diese somit insgesamt vier erste Anlagepunkte **21** aus, wie aus **Fig. 4** ersichtlich ist. Die gezeigte Ausführungsform verwendet jedoch weiterhin nur einen zweiten Anlagepunkt **22**.

Aus **Fig. 5** ist nochmals ein Schnitt längs der Linie A-A durch den Kulissenhebel **1** ersichtlich, wobei die gezeigte erfindungsgemässe Vorrichtung der aus **Fig. 4** ersichtlichen Ausführungsform entspricht. Deutlich erkennbar sind die beiden erwähnten Nasen in Seitenansicht, welche insgesamt vier erste Anlagepunkte **21** ausbilden.

Aus **Fig. 6** ist eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemässen Vorrichtung ersichtlich, welche im wesentlichen der Ausführungsform aus **Fig. 5** entspricht, mit dem wesentlichen Unterschied, dass der zweite Anlagepunkt **22** nicht über eine elastische Metallzunge **222** mit dem Dübelkörper **2** verbunden ist, sondern durch die Tastschuppe **32** eines berührend arbeitenden Wegaufnehmers **3** gebildet wird. Ein solcher Wegaufnehmer **3** kann beispielsweise auf dem linearen Differential-Transformator-Prinzip oder dem kapazitiven Prinzip beruhen. Dieser Wegaufnehmer **3** ist empfindlich auf Längenänderung in Richtung des Pfeils **8**. Die Tastschuppe **32** ist in Richtung des Pfeils **8** verschiebbar und ist weiterhin dazu eingerichtet, in Richtung des Pfeils **8** eine geringe Vorspannkraft aufzubringen. Das heisst, in der gezeigten Ausführungsform baut der berührend arbeitende Wegaufnehmer **3** die zur Fixierung des Dübelkörpers **2** in der Bohrung **10** erforderliche Vorspannkraft selbst auf. Insbesondere wird der zweite Anlagepunkt **22** durch die Tastschuppe **32** des berührend arbeitenden Wegaufnehmers **3** gebildet.

Aus **Fig. 7** ist schließlich eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ersichtlich, welche einen zusätzlichen Hebelarm **24** aufweist. Dieser Hebelarm **24** wird durch eine elastische Metallzunge realisiert. Der Dübelkörper selbst entspricht der aus **Fig. 5** ersichtlichen Realisierung. Der zweite Anlagepunkt **22** ist auf dem Hebelarm **24** angeordnet. Weiterhin ist der Messfleck **13** ebenfalls wie ersichtlich auf dem Hebelarm **24** angeordnet. Verändert sich nun der Innendurchmesser der Bohrung **10** am Ort des zweiten Anlagepunkts **22**, so wird diese Variation des Innendurchmessers um das Hebelverhältnis  $L_2/L_1$  verstärkt an den Ort des Messflecks **13** übertragen. Dies bedeutet, dass der Abstand **D** zwischen dem Wegaufnehmer **3** und dem

Messfleck **13** um den genannten Verstärkungsfaktor  $L2/L1$  stärker variiert als der Innendurchmesser der Bohrung **10** am Ort des zweiten Anlagepunkts **22**. Dies bedeutet insbesondere, dass die Empfindlichkeit des Wegaufnehmers **3** nochmals um den genannten Verstärkungsfaktor erhöht werden kann. Durch geeignete Wahl der Hebelverhältnisse kann die damit realisierte Auflösungserhöhung an die gegebenen Anforderungen angepasst werden.

Eine Möglichkeit, den vom Wegaufnehmer **3** gemessenen Abstand  $D$  weiterzuverarbeiten, ist aus **Fig. 1** ersichtlich. Das aufgenommene Signal wird über die Zuleitung **31** an eine erste elektronische Verarbeitungseinheit **8**, beispielsweise einen Vorverstärker mit nachgeschaltetem A/D-Wandler, übergeben. Insbesondere vorteilhaft ist es, wenn die erste Verarbeitungseinheit **8** eine Einrichtung zum externen oder internen Nullabgleich umfasst, hier angedeutet durch den Pfeil **81**. Diese Einrichtung zum externen oder internen Nullabgleich verwendet den vom Wegaufnehmer **3** bei niedriger Belastung des Kulissenhebels **1** erfassten Abstand  $D_1$  als Referenzwert ("Nullwert"), mit dem der vom Wegaufnehmer **3** bei hoher Belastung des Kulissenhebels **1** erfasste Abstand  $D_2$  verglichen wird, so dass Einflüsse einer eventuellen thermischen Drift etc. der erfindungsgemässen Vorrichtung minimiert werden. Der resultierende Differenzwert  $D_2-D_1$  wird dann von einer weiteren elektronischen, vorzugsweise digitalen Verarbeitungseinheit **9** weiterverarbeitet.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Belastungsmessung eines wechselnd mechanisch belasteten Elements (**1**), insbesondere eines Maschinenteils, mit einem Dübelkörper (**2**), der dazu vorgesehen ist, in eine Bohrung (**10**), insbesondere in ein Sackloch im Element (**1**) eingesetzt zu werden und die Verformung des Elements (**1**) bei wechselnder mechanischer Belastung zu erfassen, **dadurch gekennzeichnet**, dass:

- a) der Dübelkörper (**2**) mindestens einen ersten Anlagepunkt (**21**) aufweist, der starr mit dem Dübelkörper (**2**) verbunden ist und mindestens einen zweiten Anlagepunkt (**22**) aufweist, der elastisch mit dem Dübelkörper (**2**) verbunden ist, wobei der erste (**21**) und der zweite (**22**) Anlagepunkt so angeordnet sind, dass sich der in die Bohrung (**10**) eingesetzte Dübelkörper (**2**) mit dem ersten Anlagepunkt (**21**) an einem ersten Kontaktbereich (**111**), welcher auf einer ersten Seite (**11**) der Innenwandung der Bohrung (**10**) liegt, abstützt, und mit dem zweiten Anlagepunkt (**21**) an einem zweiten Kontaktbereich (**112**), welcher auf einer von der ersten Seite (**11**) abgewandten zweiten Seite (**12**) der Innenwandung liegt, abstützt, dergestalt, dass sich bei einer Verformung des Elements (**1**) der Abstand zwischen dem zweiten Kontaktbereich (**112**) und dem Dübelkörper (**2**) bei weitgehend unveränderter Lage des Dübelkörpers (**2**) relativ zur ersten Seite (**11**) der Innenwandung elastisch verändert, und dass
- b) ein Wegaufnehmer (**3**) vorgesehen ist, der dazu eingerichtet ist, die Variation des Abstands  $D$  des Dübelkörpers (**2**), insbesondere eines auf dem Dübelkörper (**2**) angeordneten Referenzpunkts (**23**), zu einem der zweiten Seite (**12**) der Innenwandung zugeordneten Messfleck (**13**) zu erfassen.

2. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Messfleck (**13**) unmittelbar auf der zweiten Seite (**12**) der Innenwandung angeordnet ist.

3. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Hebelarm (**24**) vorgesehen ist, der beweglich mit dem Dübelkörper (**2**) verbunden ist, und dass der zweite Anlagepunkt (**22**) und der Messfleck (**13**) auf dem Hebelarm (**24**) angeordnet sind.

4. Vorrichtung gemäss Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Hebelarm (**24**) so ausgeführt ist und der zweite Anlagepunkt (**22**) und der Messfleck (**13**) so auf dem Hebelarm (**24**) angeordnet sind, dass sich eine Hebelübersetzung ergibt, so dass der vom Wegaufnehmer (**3**) erfasste Abstand  $D$  zwischen Dübelkörper (**2**) und Messfleck (**13**) bei einer wechselnden mechanischen Belastung des Elements (**1**) stärker variiert als der Innendurchmesser der Bohrung am Ort des zweiten Anlagepunkts (**22**).

5. Vorrichtung gemäss Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Hebelarm (**24**) aus einem dauerelastischen Metall oder einer Metalllegierung, insbesondere einem Federstahlblech gefertigt ist.

6. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wegaufnehmer (**3**) ein berührend arbeitender Wegaufnehmer insbesondere nach dem Prinzip des Linear-Differential-Transformators oder dem kapazitiven Prinzip ist.

7. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wegaufnehmer (**3**) ein berührungslos arbeitender Wegaufnehmer, insbesondere ein induktiver oder auf Wirbelstrommessungen beruhender Wegaufnehmer ist.

8. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung mit einer Vorspannkraft von weniger als 30 Newton, vorzugsweise von weniger als 15 Newton in der Bohrung (**10**) verspannt ist.

9. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung mittels einer in Richtung der Längsachse der Bohrung (**10**) wirkenden Kraft  $K$  aus der Bohrung (**10**) herausgezogen werden kann, wobei die Kraft  $K$  mindestens der auf die Vorrichtung wirkenden Gewichtskraft entspricht und maximal 50 Newton, insbesondere weniger als 30 Newton und vorzugsweise weniger als 15 Newton beträgt.

10. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ohne Werkzeug in die Bohrung (**10**) eingeführt werden kann.

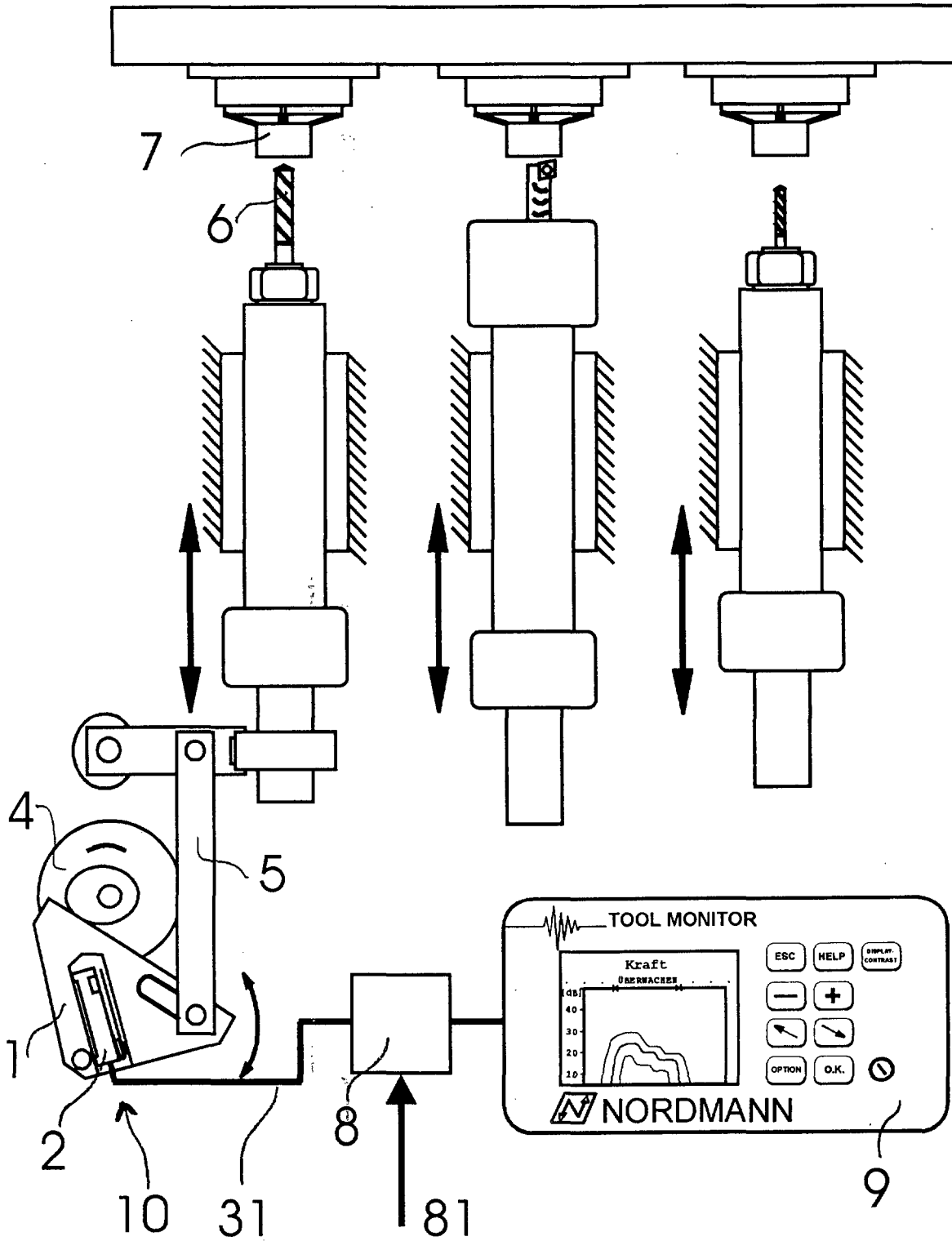
11. Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wegaufnehmer (**3**) hermetisch im Dübelkörper (**2**) verkapselt, insbesondere vergossen, ist.

12. Vorrichtung gemäss Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Wegaufnehmer (**3**) dazu vorgesehen ist, den Abstand  $D$  des Dübelkörpers (**2**) zu dem Messfleck (**13**) über ein Zeitintervall  $T$  gemittelt zu erfassen, wobei  $T$  so gewählt ist, dass in ein Zeitintervall  $T$  eine Mehrzahl von Schwingungsperioden charakteristischer Schwingungen des Elements (**1**), der zugehörigen Maschinen sowie des Dübelkörpers (**2**) einschliesslich eines eventuell vorhandenen Hebelarms (**24**) fallen.

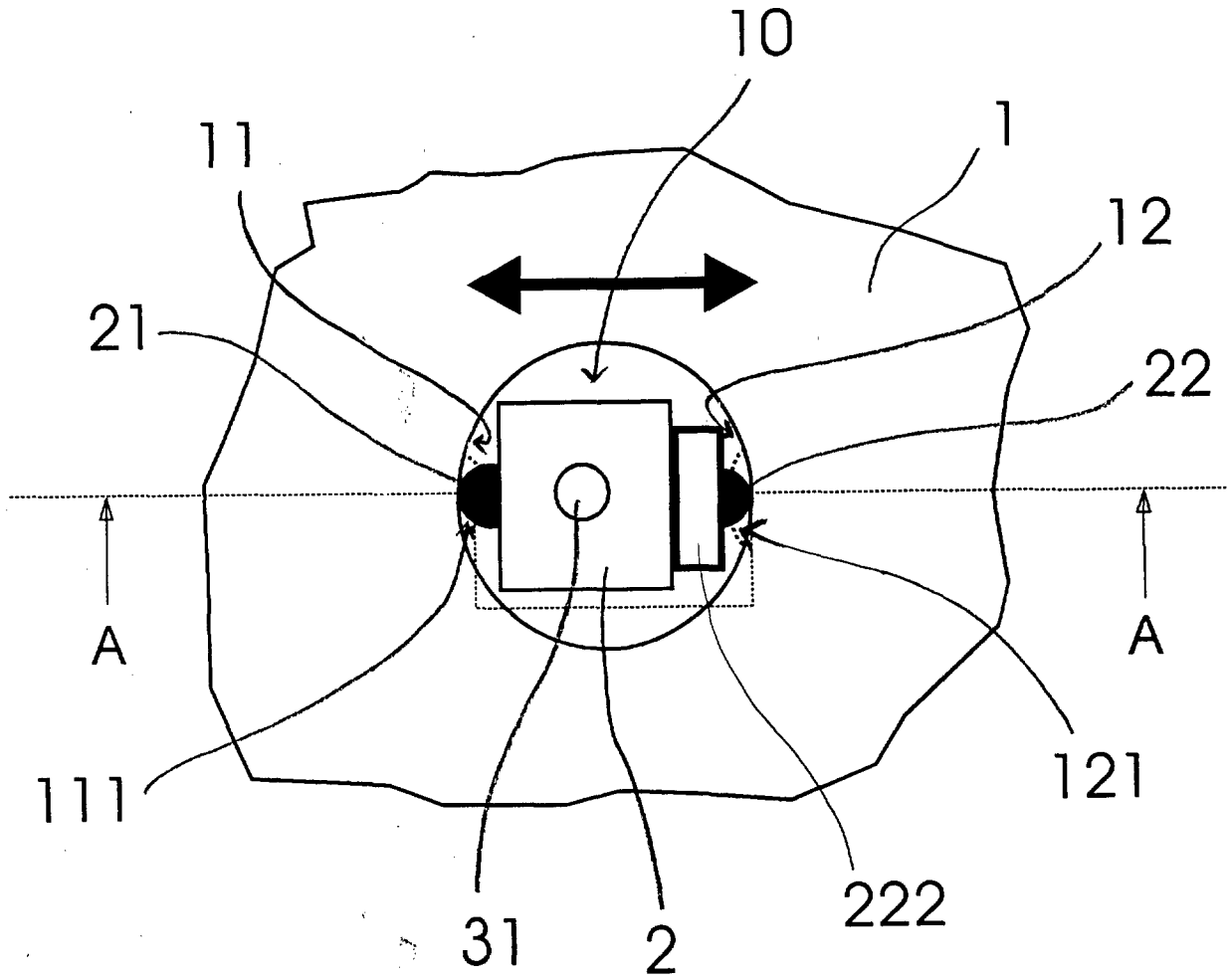
---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

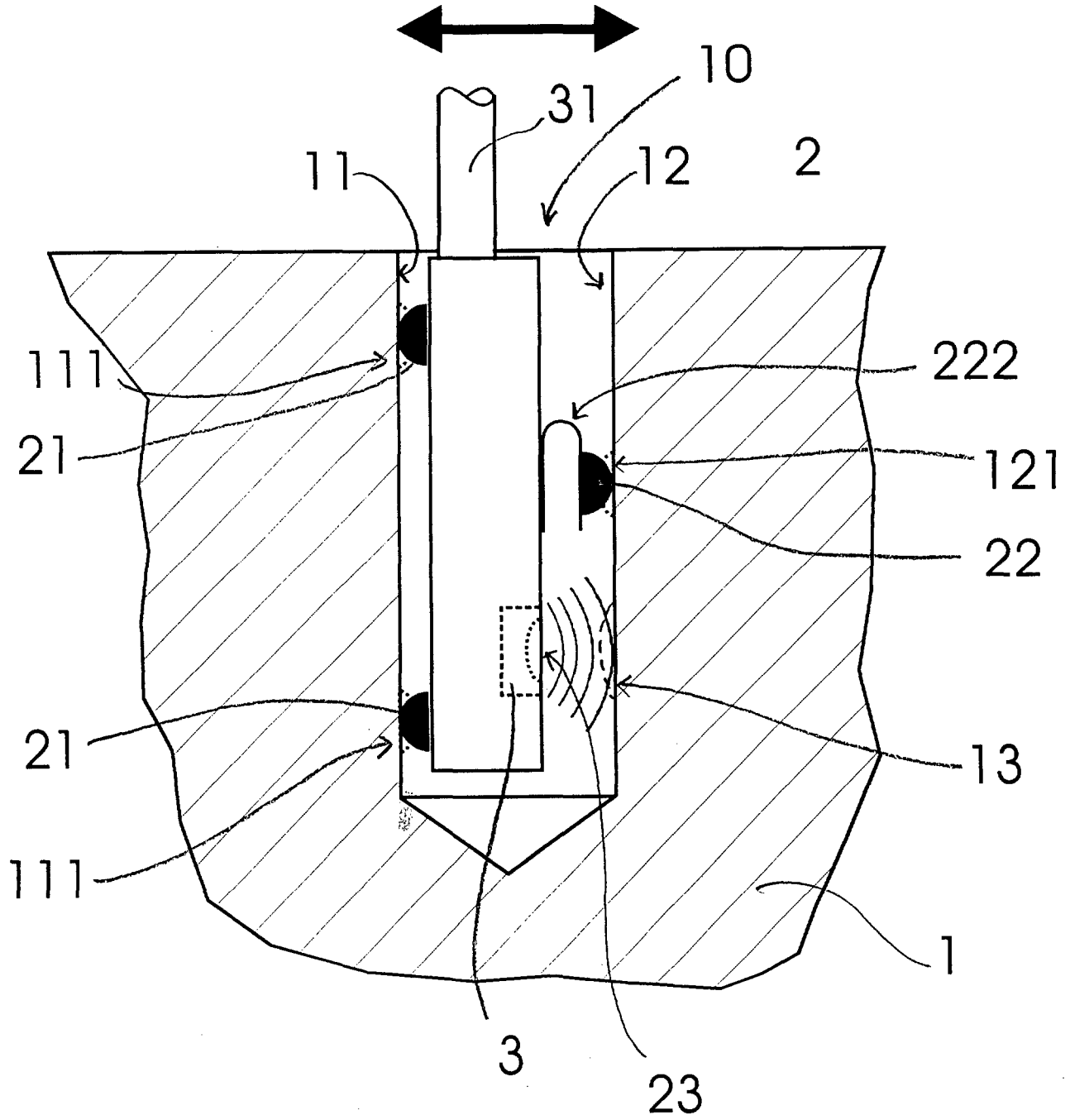
---



Figur 1

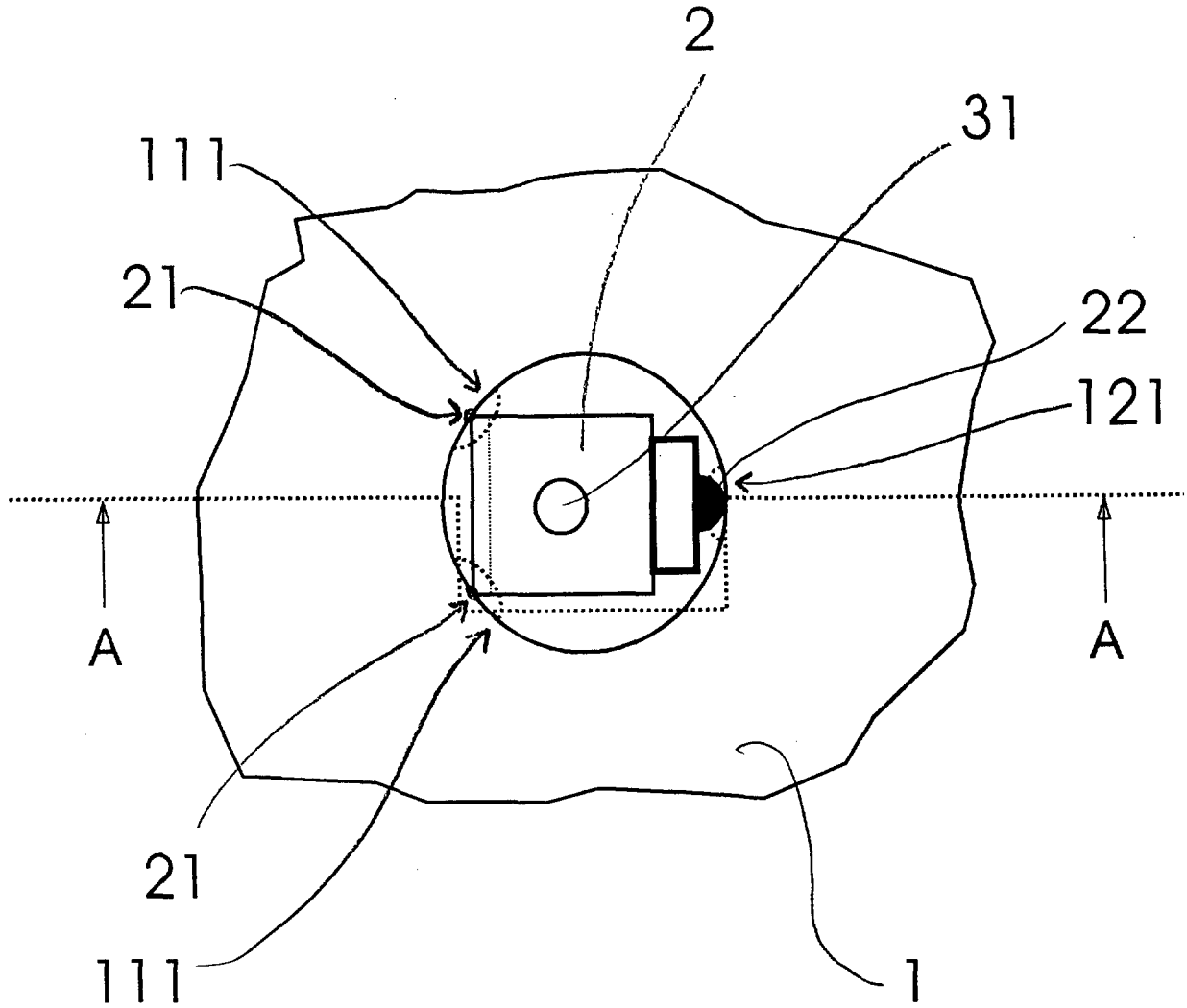


Figur 2

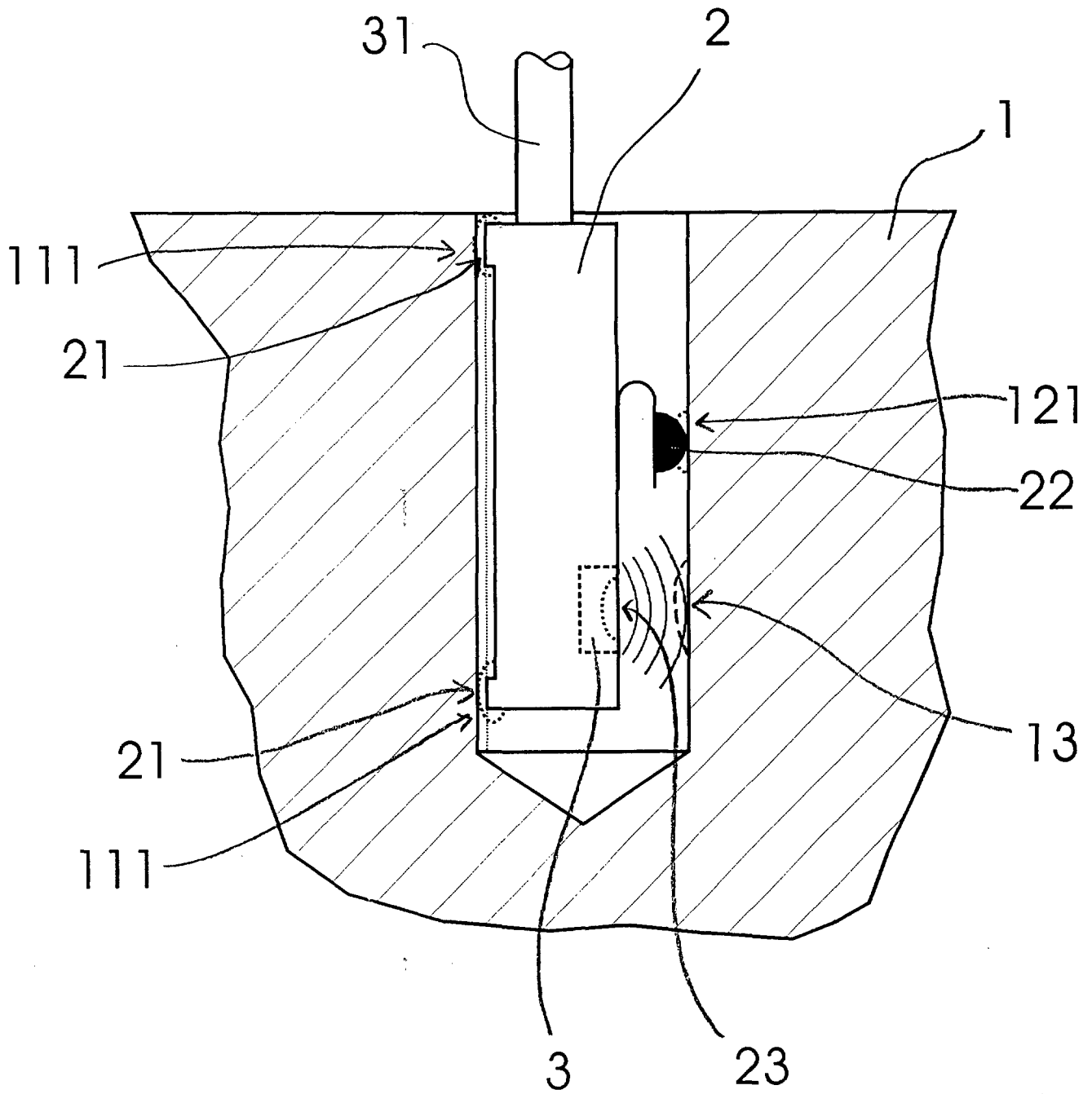


Figur 3

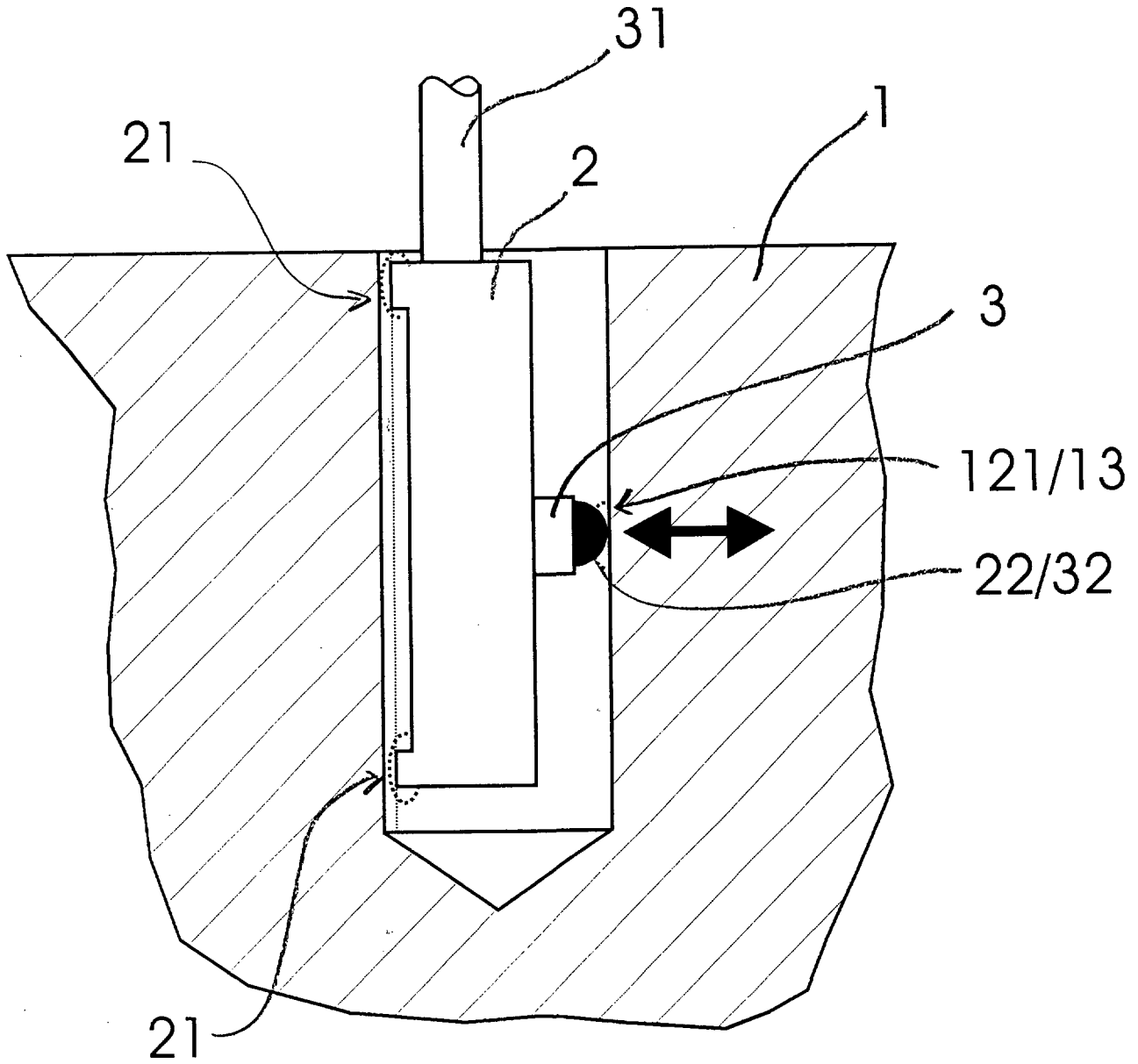




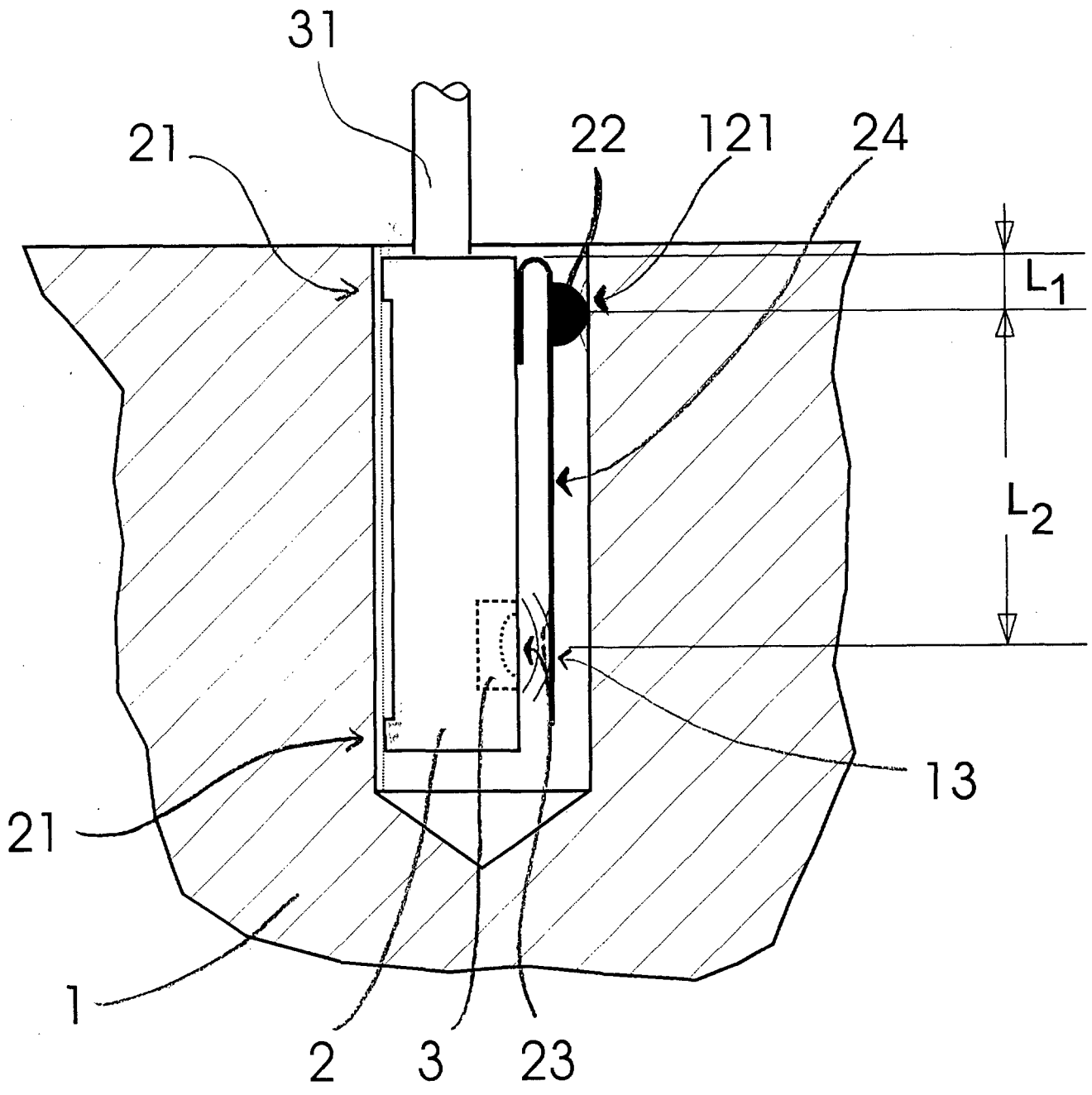
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7