

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 703 104 A2

(51) Int. Cl.: G01V 1/04 (2006.01)  
F16J 15/14 (2006.01)

### Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00676/10

(71) Anmelder:  
Explo Engineering GmbH, Rebhaldenstrasse 3  
5622 Waltenschwil (CH)

(22) Anmeldedatum: 04.05.2010

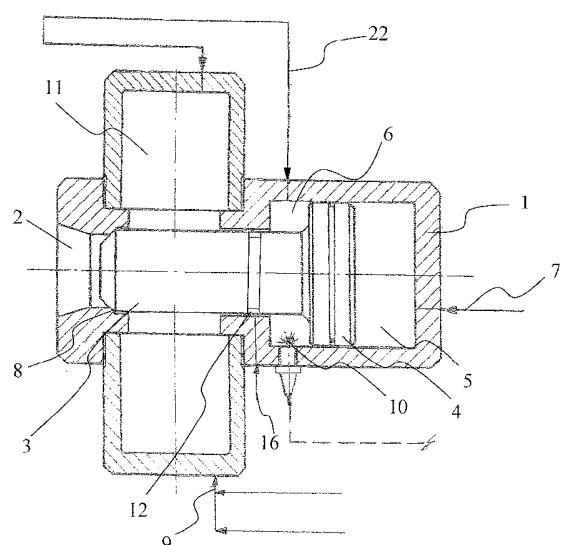
(72) Erfinder:  
Hans Rüegg, 5622 Waltenschwil (CH)  
Peter Ruf, 8964 Rudolfstetten (CH)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.11.2011

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771  
8032 Zürich (CH)

### (54) DICHTUNG UND VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER DURCHZÜNDSPERRE FÜR DRUCKWELLENGENERATOREN.

(57) Die Erfindung betrifft eine Dichtung für einen Druckwellen- generator, welche einen beweglichen Kolben (3) gegenüber einem Gehäuse abdichtet und als Fluddichtung ausgestaltet ist. Die Dichtung wirkt dabei als Durchzündsperrre zwischen zwei Explosionskammern (6, 11) und besteht aus einem nicht explosiven nicht zündfähigen Fluid. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Erstellen einer Zündsperrre, in dem ein nicht explosives, nicht zündfähiges Fluid in einen Dichtbereich zwischen einem beweglichen Kolben und einer Gehäusewand eingeführt wird und damit zwei Bereiche gefüllt mit explosivem Material zeitweise gegeneinander abdichtet.



### **Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Dichtung für Druckwellengeneratoren, insbesondere eine Dichtung für bewegliche Teile in Explosionskammern, welche als Durchzündsperre wirkt. Sie betrifft auch ein Verfahren zum Herstellen einer Durchzündsperre für solche Vorrichtungen.

**[0002]** In Druckwellengeneratoren, wie sie in WO 2007/028 264 und insbesondere in WO 2010/025 574 beschrieben sind, wird eine Hilfs- und eine Hauptexplosion in voneinander abgetrennten Kammern gezündet. Die Hilfsexplosion dient dazu einen Verschluss der Hauptexplosionskammer direkt oder über anderweitige Riegelmechanismen freizugeben, so dass eine nachfolgende Hauptexplosion nicht mit voller Kraft auf den Verschluss wirkt und diesen entsprechend beeinträchtigt bzw. zerstört. Zwischen der Hilfs- und Hauptexplosion findet entsprechend eine Explosionsverzögerung statt. Eine solche Verzögerung erfolgt vorzugsweise mittels Verzögerungsleitung, in welcher eine Explosion von einer Hilfs- in eine Hauptkammer geführt wird oder mittels verzögter Zündung in den beiden Kammern über separate, in den Kammern vorhandene Zündvorrichtungen.

**[0003]** Betreffend Aufbau und Ausführung der Zündung und Explosionsverzögerung, sowie auch betreffend beispielhafter Ausführungen und Funktionsweisen eines Druckwellengenerators, sie an dieser Stelle auf die beiden vorgenannten Schriften WO 2007/028 264 und WO 2010/025 574 verwiesen.

**[0004]** Speziell im Druckwellengenerator der Schrift WO 2010/025 574 sind eine Hilfs- und eine Hauptexplosionskammer über einen beweglichen Kolben gegeneinander abgedichtet. Der Kolben verschließt zudem eine Ablassöffnung für eine in der Hauptexplosionskammer erzeugten Druckwelle. Unmittelbar vor einer Zündauslösung einer Explosion sind Hilfs- und Hauptexplosionskammer des Druckwellen- oder Explosionsgenerators mit einem explosiven Gasgemisch, typischerweise mit Überdruck, gefüllt. Zwischen Kolben und Gehäuse befindet sich ein dünner Spalt, welcher aufgrund eines erforderlichen Spiels des Kolbens nicht vollständig vermieden werden kann. Dieser Spalt ist ebenfalls mit dem explosiven Gasgemisch gefüllt. Es muss jedoch verhindert werden, dass die Explosion direkt durch den Spalt in die Hauptexplosionskammer geleitet wird und dort eine Hauptexplosion verfrüht auslöst, also noch bevor der Kolben durch die Hilfsexplosion genügend weit bewegt wurde.

**[0005]** In der in WO 2010/025 574 beschriebenen Vorrichtung kann zu diesem Zweck der Kolben mit einer O-Ring Dichtung versehen werden. Der O-Ring ist sehr hohen Belastungen ausgesetzt. Durch die Gasexplosionen in Hilfs- und Hauptexplosionskammer entstehen sehr hohe Drücke von bis zu 1000 bar und Temperaturen bis zu 4000 °C. Der Kolben wird zudem sehr schnell bewegt. Die Summe dieser Belastungen reduziert die Lebensdauer der O-Ring-Dichtung.

**[0006]** Es ist Aufgabe der Erfindung eine Dichtung zu schaffen, welche bestehende Nachteile von O-Ring Dichtungen behebt. Es ist insbesondere Aufgabe der Erfindung eine Dichtung für einen Druckwellengenerator zu schaffen, welche hohen mechanischen und thermischen Belastungen Stand hält und gleichzeitig als Durchzündsperre wirkt.

**[0007]** Die Aufgabe wird durch die Dichtung und das Verfahren zur Erzeugung einer Durchzündsperre gelöst, wie sie in den unabhängigen Ansprüchen beschrieben sind.

**[0008]** Die verbesserte Dichtung für einen Druckwellengenerator ist als Fluideidichtung ausgestaltet. Anstelle eines O-Rings wird ein nicht explosives, nicht zündfähiges Fluid, beispielsweise ein nicht explosives, nicht zündfähiges Gas oder eine nicht explosive Flüssigkeit, verwendet. Ein solches Fluid kann beispielsweise Stickstoff, Sauerstoff, Erdgas, Luft oder Wasser sein. Bevorzugt wird ein Fluid verwendet, welches bereits im Druckwellengenerator Verwendung findet.

**[0009]** Das Fluid wird über eine Zuführleitung, bevorzugt über eine Bohrung im Gehäuse, in den Dichtbereich eines Kolbens geführt und zwischen Kolben und Gehäuse gepresst. Das Fluid kann dazu mit Druck beaufschlagt werden, welcher Druck vorzugsweise demjenigen eines fliessfähigen, explosiven Gasgemisches in einem oder beiden Bereichen, welche durch den Kolben voneinander getrennt sind, entspricht.

**[0010]** Der Kolben kann im Dichtbereich mit einer oder mehreren Nuten, vorzugsweise umlaufend, versehen sein. In der oder den Nuten verteilt sich das Fluid über möglichst den gesamten Umfang des Kolbens. Es ist auch möglich die Nut bzw. die Nuten im Gehäuse im Dichtbereich einzubringen. Mit einer oder mehreren Nuten kann eine Sperffluidmenge derart erhöht werden, dass ein Durchleiten einer Explosion vom einen Bereich in den anderen, auch bei sehr hohem Drücken, sicher unterbunden wird. Mehrere Nuten wirken zudem ähnlich wie eine Labyrinthdichtung, in der ein Explosionsdruck über jeder Nut aufgrund des Strömungswiderstands einen Druckabfall erfährt und die Strömung dadurch auch eine zeitliche Verzögerung.

**[0011]** Wird nun eine Explosion in einem Bereich, typischerweise in einer druckfesten Kammer, mit einer geeigneten Zündvorrichtung, beispielsweise einer Zündkerze oder Glühkerze, gezündet und verzögert auch im anderen Bereich ausgelöst - mittels Verzögerungsleitung oder weiterer Zündvorrichtung und Verzögerungsschaltung -, so wirkt die Fluideidichtung solange als Durchzündsperre. Typische Zeittauern, für welche ein Fluid das Durchzünden verhindern muss, liegen im Bereich von <1 Millisekunde bis zu wenigen Millisekunden, typischerweise 0.2-2 ms, z.B. 0.5-0.8 ms.

**[0012]** In einem bevorzugten Betrieb eines Druckwellengenerators werden nun zwei durch den Kolben voneinander abgetrennte Kammern mit einem fliessfähigen, explosiven Material gefüllt. Ein nicht explosives, nicht zündfähiges Fluid wird durch eine Durchführung in der Kammerwand in den Dichtbereich des Kolbens, zwischen Kolben und Kammerwand eingeführt. Dabei werden die beiden Kammern vorzugsweise mit einem Überdruck beaufschlagt und das Fluid in etwa mit

demselben oder einem etwas höheren Druck, so dass das Fluid das explosive Material vollständig aus dem Spalt verdrängt. Es ist möglich das Fluid portionenweise einzufüllen, oder auch dafür zu sorgen, dass ein ständiger Nachfluss von Fluid erfolgt. Mit letzterem kann dafür gesorgt werden, dass ständig die Fluiddichtung aufrecht erhalten bleibt, selbst bei einem vorherrschenden Überdruck auf der einen oder anderen Seite des Dichtbereichs.

[0013] Das Fluid verteilt sich im Spalt zwischen Kolben und Gehäusewand und/oder in einer vorhandenen Nut. Nun wird eine Explosion in einer Kammer gezündet und verzögert die Explosion in der anderen Kammer. In einem repetitiven Verfahren werden die genannten Schritte entsprechend wiederholt.

[0014] Zur Erstellung einer Durchzündsperre werden bevorzugt Gase verwendet. Diese haben den Vorteil sich schnell im Dichtbereich zu verteilen. Werden anorganische Gase, wie beispielsweise Stickstoff oder Sauerstoff verwendet, haben diese den zusätzlichen Vorteil, dass sie im Gegensatz zu brennbaren Gasen keine Verrußung bewirken. Es ist auch möglich eine Flüssigkeit, wie beispielsweise Wasser zu verwenden.

[0015] Beispielhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in schematischen Figuren dargestellt. Dabei zeigt

Fig. 1 einen Druckwellengenerator mit Fluiddichtung in einer umlaufenden Nut;

Fig. 2 einen Druckwellengenerator mit Fluiddichtung ohne Nut.

[0016] In Fig. 1 ist ein Explosionsgenerator mit druckfestem Behälter 1 und eine im Behälter befindliche Ablassöffnung 2 gezeigt. Ein im Behälter verschiebbar angeordneter Kolben 3 dient als Ventil zum Verschliessen und Geschlossenhalten der Ablassöffnung. Das hintere Ende 4 des Kolbens weist einen vergrösserten Durchmesser und eine Dichtung auf derart, dass das hintere Ende vorzugsweise vollständig dicht an der inneren Behälterwand gleitet. Der druckfeste Behälter weist in einem hinteren Bereich eine erste Kammer auf, welche durch das hintere Ende des Kolbens in zwei Teilkammern unterteilt ist. Die eine Teilkammer ist die Gasfederkammer 5, die andere die Hilfsexplosionskammer 6. Die Gasfederkammer 5 wird mit einem Gas, z.B. Luft, Stickstoff, CO<sub>2</sub> etc., gefüllt, welches Gas durch eine dafür vorgesehene Gaseinfüllöffnung 7 in die Gasfederkammer 5 geleitet wird.

[0017] Durch den Gas- bzw. Schliessdruck in der Gasfederkammer wird das vorderste Ende des Kolbens 3, das Ventil, gegen den Ventilsitz 8 in der Ablassöffnung gedrückt. Dieser Schliessdruck ist so hoch, dass er den Kolben in eine Verschlussposition führen und dort zu halten vermag, auch gegen einen Fülldruck in der Hilfsexplosionskammer, und somit die Ablassöffnung sicher verschliesst.

[0018] Die Hauptexplosionskammer 11 wird über eine Zuführleitung 9 mit einem explosiven Gemisch, z.B. Sauerstoff und Aethan, geläuft. Das Füllen der Hilfsexplosionskammer 6 mit einem explosiven Gemisch geschieht über die Verzögerungsleitung 22 von der Haupt- in die Hilfsexplosionskammer, welche Leitung auch als Zündleitung dient. Das explosionsfähige Material für die Haupt- und Hilfsexplosion ist entsprechend vorzugsweise dasselbe. Es ist jedoch bei separaten Zuführungen in die Kammern auch möglich andere Gemische zu verwenden oder eine Zuführung nur an die Hauptexplosionskammer anzuschliessen und die Hilfsexplosionskammer entsprechend durch die Verzögerungsleitung 22 zu füllen.

[0019] Das Zünden einer Hilfsexplosion in der Hilfsexplosionskammer geschieht über eine Zündvorrichtung 10, z.B. eine Zündkerze oder Glühkerze oder mittels eines leistungsfähigen Laserstrahls, der in die Vorrichtung geleitet wird. Durch den hohen Druck, der durch das Zünden des explosiven Gemisches in der Hilfsexplosionskammer 6 entsteht, wird der Kolben nach hinten, entgegen die Kraft der Gaskeder gedrückt und bewegt. Durch das Zurückschieben des Kolbens wird die Ablassöffnung 2 geöffnet.

[0020] Die Hauptexplosionskammer 11 ist im vorderen Teil des druckfesten Behälters angeordnet. Diese besteht in dieser Ausführungsform aus zwei seitlich, rechtwinklig zum Kolben angeordneten und einseitig geschlossenen Rohren.

[0021] Beim Befüllen der beiden Explosionskammern können die für ein explosionsfähiges Gemisch verwendeten Stoffe nacheinander bis zu einem möglichst stöchiometrischen Verhältnis eingefüllt werden. Um eine gute Durchmischung zu erreichen, ist es auch möglich einzelne Stoffe im entsprechenden Verhältnis vorab in separate Druckbehälter mit demselben Druck einzufüllen und diese Stoffe aus den Druckbehältern in die Explosionskammern zu leiten.

[0022] Der Kolben weist in einem Dichtbereich zwischen Hilfs- und Hauptexplosionskammer eine Nut 12 und eine zum und in den Dichtbereich führende Zuführungsleitung 16 und Durchgang in der Kammerwand auf. Die Nut ist aus technischen Gründen bevorzugt als einfache Einkerbung geformt. Über die Zuführungsleitung 16 wird ein nicht zündfähiges, nicht explosionsfähiges Gas in die Nut eingeführt. Ein Druck des Gases ist gleich oder grösser als der Druck in den Explosionskammern, so dass kein Gasaustausch zwischen den Kammern und durch den Dichtbereich hindurch stattfinden kann.

[0023] In einer beispielhaften Ausführungsform wurden Fülldrucke im Bereich von 15-50 bar verwendet. Das Einführen des Fluids fand im Zeitraum zwischen Füllen und Zünden des explosiven Gemisches, vorzugsweise unmittelbar vor dem Zünden statt. Das Fluid wurde mit einem Überdruck von 1 bis 5 bar gegenüber den Fülldrücken in den Dichtbereich eingebracht.

[0024] Es ist auch möglich die Fluiddichtung ohne Nut zu gestalten, wie dies in Fig. 2 gezeigt ist. In dieser Ausführungsform führt die Zuführleitung 16' ebenfalls in den Dichtbereich. Als Sperrfluid wird eines der beiden Gaskomponenten,

beispielsweise Sauerstoff, der für die Explosion verwendeten explosiven Mischung verwendet. Die Zuführleitung für die Dichtung kann somit an eine gemeinsame Gaszufuhr angeschlossen werden.

[0025] Die Explosionsverzögerung zwischen Hilfs- und Hauptexplosion ist auch hier mit einer Verzögerungsleitung 22 realisiert. Durch diese Verzögerungsleitung 22 oder Zündleitung, wird die Explosion von der Hilfsexplosionskammer 6 in die Hauptexplosionskammer 11 geleitet. Die Verzögerungszeit wird dann durch die Länge der Leitung sowie der Explosionsgeschwindigkeit bestimmt und in der Hauptexplosionskammer ist keine separate Zündvorrichtung erforderlich. Im gezeigten Beispiel weist die Hauptexplosionskammer eine Zuführleitung 9 auf und die Hilfsexplosionskammer 6 wird über die Verzögerungsleitung gefüllt. Mit dieser Befüllmethode werden Hilfs- und Hauptexplosionskammer mit denselben Fülldrücken beaufschlagt.

[0026] Die zeitliche Versetzung der beiden Explosionen liegt in einer bevorzugten Ausführungsform im Bereich von wenigen Millisekunden, vorzugsweise 0.2-10 Millisekunden, z.B. 0.5-2 ms.

[0027] Das Befüllen der Dichtung kann vor, nach oder auch gleichzeitig mit dem Befüllen der Explosionskammern geschehen. Wird die Dichtung nicht kontinuierlich mit Sperrgas beliefert, wird dieses vorzugsweise gleichzeitig oder nach einem Befüllen der Kammern vorgenommen. Damit ist garantiert, dass der Dichtbereich kurz vor dem Zünden einer Explosion vollständig mit Sperrgas gefüllt ist und allfälliges in den Bereich eingedrungenes explosives Gas daraus verdrängt wird.

[0028] Bei Verwendung von zwei Zündvorrichtungen werden vorzugsweise, schnelle Vorrichtungen, wie Zündkerzen oder Laserzündungen verwendet, da beide Zündungen präzis zu einem genauen Zeitpunkt erfolgen müssen. Auch bei einer Koordination von mehreren erfindungsgemässen Vorrichtungen sind solch schnelle Zündvorrichtungen bevorzugt. Mit dem Verwenden von mehreren parallel geschalteten Vorrichtungen, können sich gegenseitig verstärkende Effekte auftreten und genutzt werden. Beispielsweise können zur Reinigung von Grosskesseln durch gleichzeitiges Zünden mehrerer Explosionen in mehreren Explosionsgeneratoren die Druckwellen bzw. -impulse kumuliert werden, so dass dadurch die Reinigungswirkung verstärkt oder stattdessen die Anzahl der Reinigungsrichtungen verringert werden kann.

[0029] Vorzugsweise wird jedoch nur eine Zündvorrichtung in einer Hilfsexplosionskammer und eine Verzögerungsleitung verwendet. Dann kann diese auch beispielsweise eine eher «langsame» Glühkerze sein, welche wenige Sekunden, ca. 3s, zum Aufheizen benötigt. Auch eine Zündvorrichtung mittels Laser, eine Laserzündung, ist möglich. Dabei wird ein Laserstrahl in den druckfesten Behälter eingekoppelt. Der Laserstrahl kann dabei direkt das Gas entzünden oder aber er erhitzt eine bestimmte Stelle der Oberfläche im Behälter, an welcher sich das im Behälter befindliche explosive Gas dann entzündet. Dazu weist der druckfeste Behälter ein für die entsprechende Laserwellenlänge durchgängiges Fenster auf. Vorteil dieser Vorrichtung ist, dass keine Zündelemente in der Kammer sind, welche Verschleiss unterliegen, verschmutzt werden oder durch die Explosion zerstört werden können. Auch sind keine elektrischen Durchführungen in den druckfesten Behälter erforderlich. Ein Laserstrahl kann auf sehr hohe Energiedichten fokussiert werden, ist sehr präzis, zeitlich sehr genau einstellbar und kann sogar Oberflächenverunreinigungen nutzen, welche bei anderen Zündvorrichtungen nachteilig wären.

[0030] Die auf den Kolben oder allgemein auf das Verschlussmittel wirkenden Kräfte und insbesondere die beim Entweichen der Druckwelle entstehende Wärme im Bereich Kolben-Ablassöffnung sind extrem hoch. Durch die Hilfsexplosion wird der Kolben vor der eigentlichen Explosion bereits aus dem Bereich der Ablassöffnung nach hinten verschoben und damit geschont. Gleichzeitig wird aber auch bewirkt, dass die erzeugte Druckwelle ungehindert und ungebremst die Vorrichtung verlassen kann.

[0031] Das Gas in der Gasfederkammer wird durch den zurückweichenden Kolben immer weiter komprimiert. Dadurch wird einerseits verhindert, dass der Kolben aufgrund der Explosion ungebremst an der Rückwand des Druckbehälters aufschlägt, andererseits wird der Kolben anschliessend wieder in seine Ausgangsposition, die Verschliessstellung der Ablassöffnung, gebracht, sobald die eigentliche Explosion vorbei ist. Damit ist die Vorrichtung nach einer Explosion automatisch wieder in der Ausgangsposition und das Explosionserzeugungsverfahren kann mit dem Befüllen der Kammern erneut gestartet werden. Mit der erfindungsgemässen Dichtung, welche als Durchzündsperre wirkt, kann zudem eine ungewollte vorzeitige Hauptexplosion verhindert werden.

[0032] Die erfindungsgemäss Dichtung wurde für die Verwendung in einem Explosionsgenerator detailliert beschrieben. Eine solche Dichtung kann auch in anderen Vorrichtungen Verwendung finden, wo eine Durchzündsperre erforderlich oder von Vorteil ist.

#### **Patentansprüche**

1. Dichtung für einen Druckwellengenerator aufweisend einen druckfesten Behälter (1) mit darin eingebrachten Kammern, eine Zuführung zum Zuführen von fliessfähigen explosivem Material in zwei Kammern, wobei diese zwei Kammern über einen beweglichen Kolben (3) gegeneinander abgetrennt sind, dadurch gekennzeichnet, dass eine Abdichtung des Kolbens gegenüber einer Behälterwand als Fluideabdichtung und Durchzündsperre ausgestaltet ist.
2. Dichtung nach Anspruch 1, mit einem nicht explosiven, nicht zündfähigen Fluid, beispielsweise ein nicht explosives, nicht zündfähiges Gas oder eine nicht explosive Flüssigkeit, wie beispielsweise Wasser.
3. Dichtung nach Anspruch 2, wobei das nicht explosive, nicht zündfähige Gas Stickstoff, Sauerstoff, Erdgas oder Luft ist.

## **CH 703 104 A2**

4. Dichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Zuführleitung (16) zur Zuführung eines nichtexplosiven, nicht zündfähigen Fluids in einen Dichtbereich.
5. Dichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Kolben (3) oder ein Gehäuse in einem Dichtbereich mit einer Nut (12) versehen ist.
6. Dichtung nach Anspruch 5, wobei die Nut (12) umlaufend ist.
7. Dichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das nichtexplosive, nicht zündfähige Fluid druckbeaufschlagt ist, welcher Druck einem Druck des fliessfähigen explosiven Materials in mindestens einer Kammer entspricht.
8. Dichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Zündvorrichtung (10) in der einen Kammer zum Auslösen einer Explosion dieser einen Kammer und einer Verzögerungsleitung (22) zum Leiten der Explosion in die andere Kammer oder mit einer Verzögerungsschaltung zum zur ersten Explosion verzögerten Auslösen einer Explosion in der anderen Kammer über eine in der anderen Kammer angebrachten weiteren Zündvorrichtung, wobei die Fluiddichtung über mindestens die Zeitdauer einer Verzögerung als Durchzündsperrre von der einen in die andere Kammer wirkt.
9. Verfahren zum Herstellen einer Durchzündsperrre in einem Druckwellengenerator, aufweisend zwei fliessfähige, explosives Material beinhaltende Bereiche und einen beweglichen, die beiden Bereiche gegeneinander abdichtenden Kolben (3), dadurch gekennzeichnet, dass ein Dichtbereich zwischen Kolben und den beiden explosives Material beinhaltenden Bereichen durch ein nicht explosives, nicht zündfähiges Fluid abgedichtet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Fluid in den Dichtbereich zugeführt und mit Druck beaufschlagt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Druckbeaufschlagung des Fluids im Wesentlichen einer Druckbeaufschlagung eines fliessfähigen explosiven Materials in mindestens einem der Bereiche entspricht.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei das Fluid in eine umlaufende Nut (12) im Kolben (3) eingeführt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei das Fluid über eine separate Zuführleitung (16) zugeführt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, umfassend die folgenden Schritte:
  - a) Befüllen beider Bereiche mit einem fliessfähigen, explosiven Material;
  - b) Einfüllen des nicht explosiven, nicht zündfähigen Fluids in einen Dichtbereich;
  - c) Zünden des explosiven Materials im einen Bereich;
  - d) verzögertes Zünden des explosiven Materials im anderen Bereich; bei Bedarf wiederholen der Schritte a)-d)

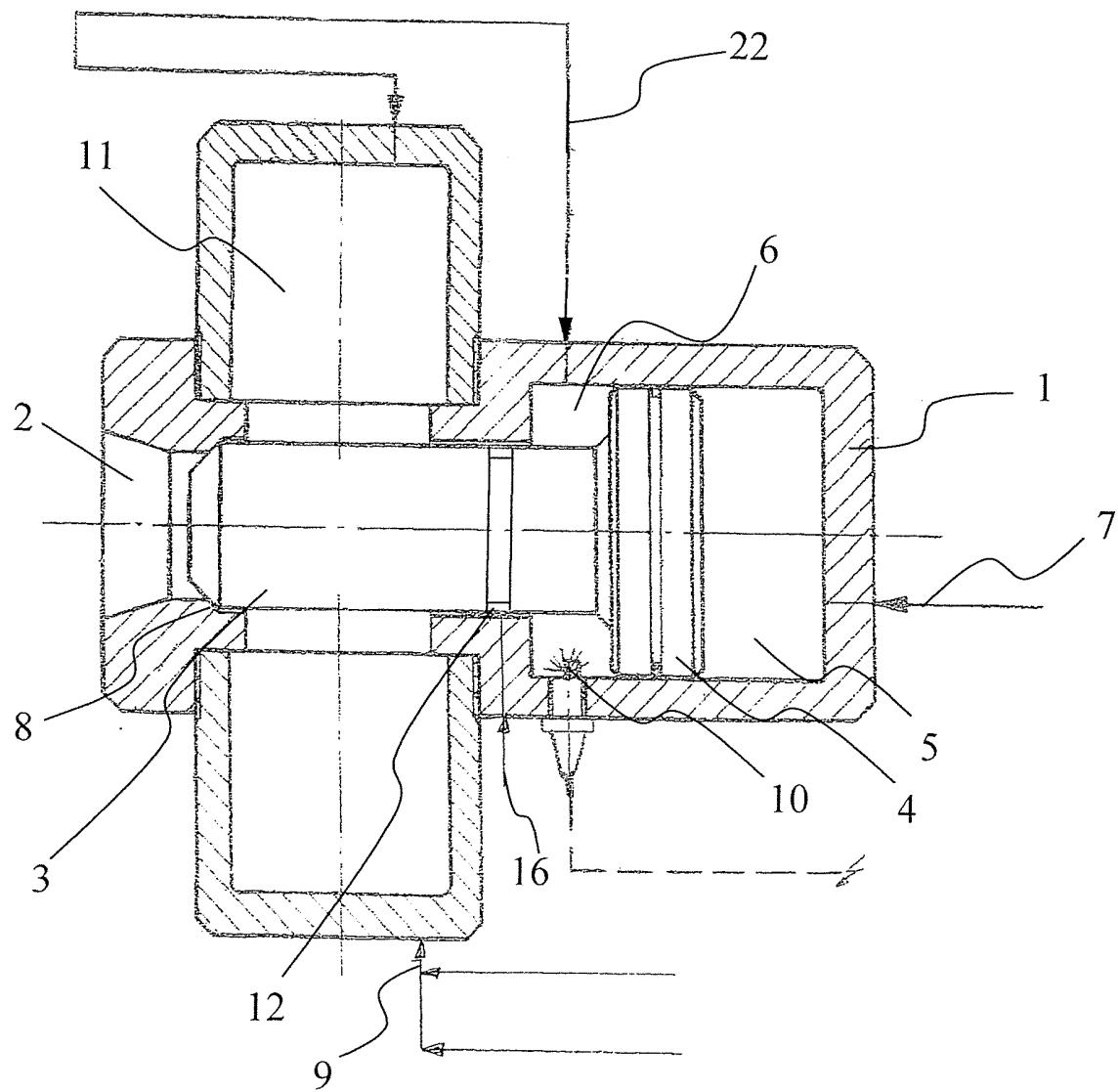


Fig. 1

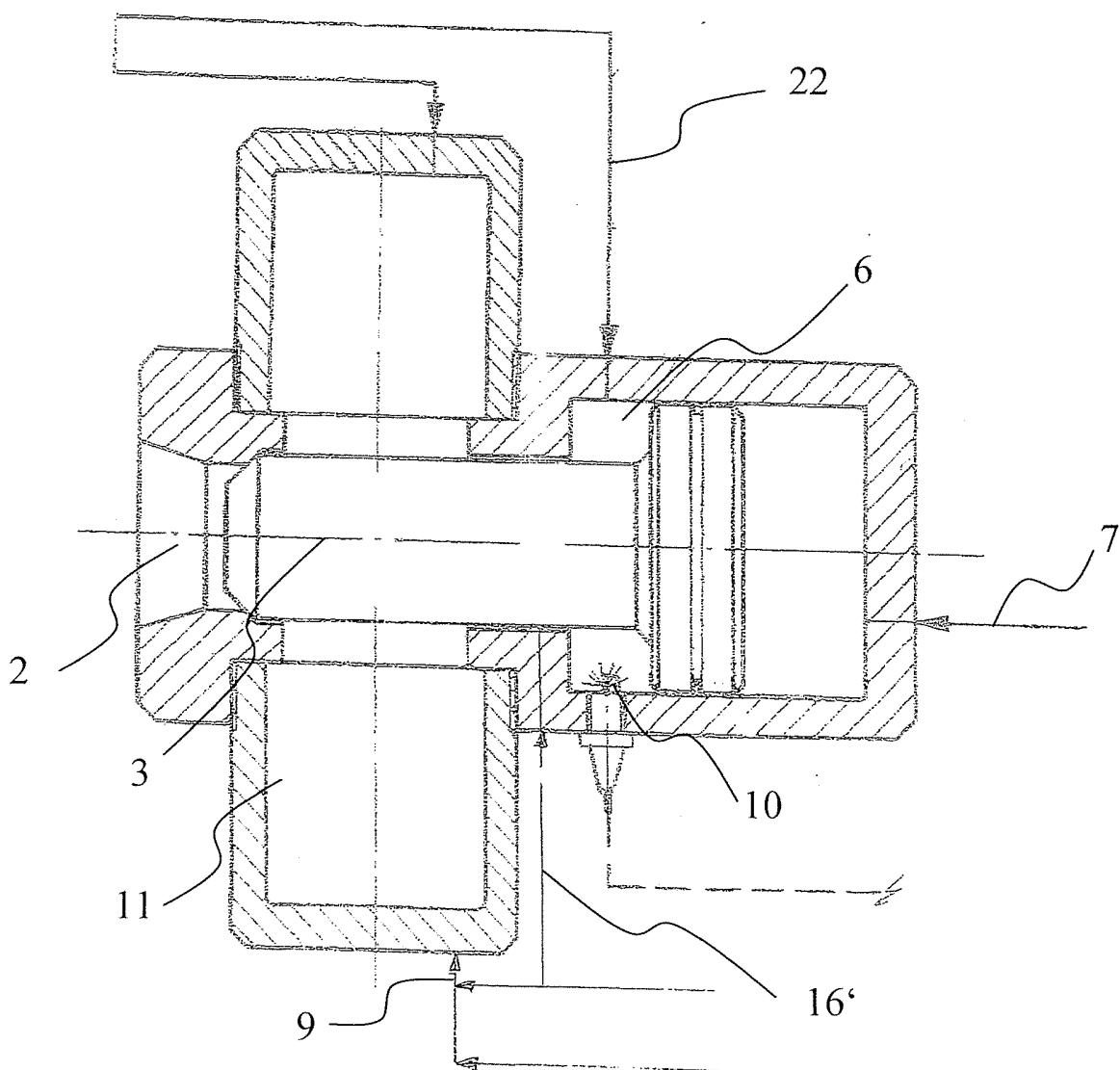


Fig. 2