



19 **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

12 **Patentschrift**  
10 **DE 198 53 841 C 2**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 N 15/06**  
G 01 N 15/00  
G 01 N 27/62  
F 02 D 35/00

21 Aktenzeichen: 198 53 841.3-52  
22 Anmeldetag: 23. 11. 1998  
43 Offenlegungstag: 2. 6. 1999  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 12. 4. 2001

**DE 198 53 841 C 2**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 **Patentinhaber:**  
Gheorghiu, Victor, Prof. Dr.-Ing., 22145 Hamburg,  
DE

72 **Erfinder:**  
gleich Patentinhaber

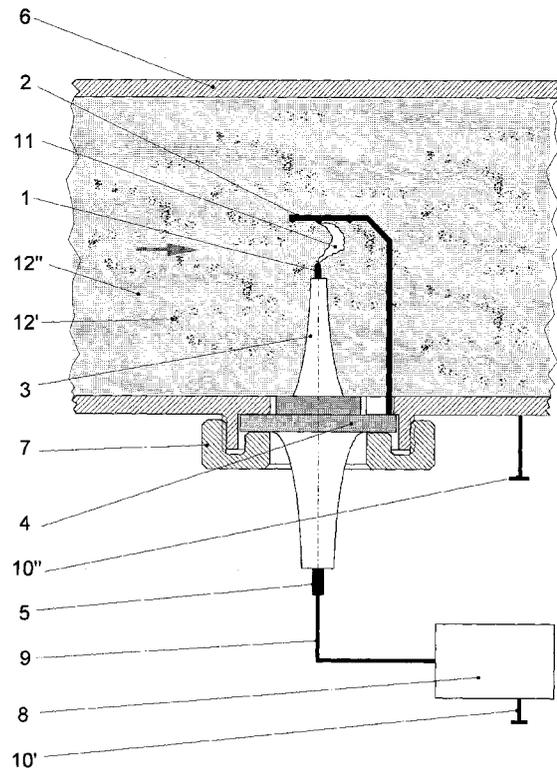
56 **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:**

DE 195 36 705 A1  
DE 34 28 371 A1  
DE 34 14 542 A1

Kraftfahrtechnisches Taschenbuch (Bosch)  
21. Aufl. VDI-Verlag, Düsseldorf (1992),  
S. 518-519;

54 **Meßsonde und Meßverfahren zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden unbrennbaren Gasen**

57 **Meßsonde zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden unbrennbaren Gasen, die in der Art einer Zündkerze für Ottomotoren mit Mittelelektrode (1) und Masseelektrode (2) aufgebaut ist, zwischen denen eine Hochspannung anlegbar ist, die ausreichend ist, um das zwischen den Elektroden befindliche Gas und die im Gas vorliegenden Partikel zu ionisieren und somit auch Funken zwischen den Elektroden entstehen zu lassen, wobei der Abstand zwischen der Mittelelektrode (1) und Masseelektrode (2) viel größer als üblicherweise bei Zündkerzen ist, die Mittelelektrode (1) und die Masseelektrode (2) in Bezug auf die Strömungsrichtung des zu untersuchenden Gases positionierbar sind und die Mittelelektrode beheizbar ist.**



**DE 198 53 841 C 2**

In dieser Beschreibung wird die Anwendung der Meßsonde und des Verfahrens zur schnellen Erfassung des Rußgehaltes und/oder der Rußpartikelkonzentration in den Verbrennungsabgasen von Verbrennungsmotoren behandelt. Weitere Anwendungsfälle können entweder mit Hilfe der Patentansprüche oder durch Verallgemeinerung dieses Anwendungsfalles gewonnen werden.

Die am Motor- oder Rollenprüfstand insbesondere für den Dieselmotor übliche Untersuchung der Rußemission wurde bisher mit Hilfe folgender Methode durchgeführt:

1. Bei der Filtermethode wird eine definierte Menge Abgas durch ein weißes Filterplättchen gezogen. Die Schwärzung des Filters dient dann als Maßstab für den Rußanteil im Abgas.
2. Bei der Absorbionsmethode (Trübungsmessung) dient als Maß für die Rußkonzentration die Schwächung eines Lichtstrahls, der durch das Abgas geschickt wird ("Kraftfahrtechnisches Taschenbuch"/Bosch, 21 Auflage, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1991, Seite 518).
3. Bei der gravimetrischen Methode wird wie bei der Filtermethode eine definierte eventuell mit Luft verdünnte Menge Abgas durch ein Filterplättchen gezogen. Die Rußpartikelkonzentration der Abgase wird gravimetrisch durch die Differenz zwischen dem Gewicht des Filterplättchens vor und nach der Messung ermittelt.

Die kontinuierliche Meßergebnisse der Rauchgasmessung sind sowohl abhängig vom Meßverfahren als auch von der Art der Motorbelastung und lassen sich im allgemeinen nicht direkt vergleichen ("Kraftfahrtechnisches Taschenbuch"/Bosch, 21 Auflage, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1991, Seite 519).

Die kontinuierliche Bestimmung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration z. B. am laufenden (on board) Fahrzeug, die einerseits Rückmeldung über die Güte der Gemischbildung und die Vollständigkeit der Verbrennung und andererseits Auskunft über das Niveau der Emissionen geben kann, blieb bis zum jetzigen Zeitpunkt nur als unerfüllter Wunsch aller Verbrennungsmotorenentwickler.

Um die Bedeutung einer solchen Entwicklung besser zu verstehen, wird als Beispiel der Fall eines abgasturboaufgeladenen Dieselmotors mit Direkteinspritzung (TDI-Motor) ausgewählt. Bei diesem Motor erfolgt zur Zeit die Motorsteuerung meist nur basierend auf den einmalig gespeicherten Kennfeldern (kennfeldbasierend).

Eine erste Rückkopplung über das Ablaufen der gesteuerten Prozesse – wenn ein Nadelbewegungsfühler vorhanden ist – bietet das Nadelhubsignal, d. h. der dynamische Einspritzbeginn kann dadurch tatsächlich erfaßt und z. B. mit Hilfe des in der Verteilereinspritzpumpe integrierten Spritzverstellers entsprechend geregelt werden.

Eine weitere Rückkopplung wird für die Erfassung der angesaugten Luftmasse eingesetzt, die entweder direkt mittels eines Luftmassenmessers oder über die Erfassung des Saugrohrdruckes erfolgt. Die so gewonnene Information über die angesaugte Luftmasse stimmt nur dann mit der Realität überein, wenn der Motor im Stationärbetrieb arbeitet. Ist dies nicht der Fall, muß man dann mit geeigneten Algorithmen die Instationarität der Luftströmung entsprechend kompensieren.

Darüber hinaus gibt es über die tatsächliche Größe der eingespritzten Kraftstoffmasse, über die Qualität der Gemischbildung, über die Effektivität und Vollständigkeit der

Verbrennung und über die Menge oder Konzentrationen der ausgestoßenen Schadstoffe keine weiteren Informationen on board mehr zu gewinnen.

Da die Motorsteuerung nur basierend auf den einmalig gespeicherten Kennfeldern erfolgt, aus denen durch Interpolation bezüglich Drehzahl, Last, Kühlmitteltemperatur und Umgebungszustand (Temperatur und Druck) die notwendigen Werte für den Winkel des Mengenstellwerks (der die Menge des eingespritzten Kraftstoffs bestimmt) und z. B. für die Breite der PWM(Pulse width modulated oder Tastverhältnis)-Signale zur Steuerung des AGR(Abgasrückführung)-, Waste gate(Bypassventil für die Abgase, das vor der Turbine eines Abgasturboladers plaziert ist)- bzw. VTG(variable Turbinengeometrie) -Ventils gewonnen werden, gibt es auch keine Möglichkeit, die Steuerung den veränderten Betriebsbedingungen anzupassen.

Dementsprechend, wenn Veränderungen im Motorverhalten auftreten (z. B. ein niedriger Verdichtungsdruck wegen des aufgetretenen Verschleißes, Fehlfunktion einer oder mehrerer Einspritzdüsen usw.) und in den Eigenschaften der Betriebsstoffe (etwa veränderte Kraftstoffqualität, z. B. bezüglich der Cetanzahl), dessen Ausgleich vorerst während der Entwicklungsphase nicht in den Kennfeldern eingebunden wurde, reagiert dann die Motorsteuerung mit Sicherheit nicht optimal.

Eine Rußsonde und ein schnelles Rußmeßverfahren werden eine schnelle on board Erfassung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration ermöglichen, was eine Regelung im geschlossenen Kreis zur Begrenzung des Rußausstoßes erlauben wird.

Folgende Versuche zur kontinuierlichen Bestimmung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration sind bisher bekannt: DE 195 36 705 A1, DE 34 14 542 A1 und DE 34 28 371 A1.

In der DE 195 36 705 A1 ist eine Meßsonde zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden unbrennbaren Gasen (Rußteilchen in Abgasen) aufgezeigt, bei der zwischen einer Mittelelektrode und einer Masselektrode eine Hochspannung angeleitet wird, um durch das zwischen den Elektroden befindliche Gas und die im Gas vorliegenden Partikel einen Strom zu leiten, wobei der minimale Abstand zwischen den Elektroden viel größer als bei Zündkerzen ist. Das dort vorgeschlagene Meßverfahren schreibt vor, daß das Niveau der elektrischen Spannung konstant gehalten und die Größe des dadurch zwischen den Elektroden entstehenden Stromes als Maß für die Partikelkonzentration verwendet wird.

In der DE 34 14 542 A1 ist eine Meßsonde zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden unbrennbaren Gasen (Rußteilchen in Abgasen) beschrieben, die eine Mittelelektrode und eine Hohlzylinderelektrode aufweist, zwischen denen eine Spannung anlegbar ist, wobei der durch die Spannung bewirkte Strom durch das zwischen der Mittel- und Hohlzylinderelektrode befindliche Gas mit den darin befindlichen Partikeln meßbar ist. Das dort vorgeschlagene Meßverfahren schreibt ebenfalls vor, daß das Niveau der elektrischen Spannung konstant gehalten und die Größe des dadurch zwischen den Elektroden entstehenden Stromes als Maß für die Partikelkonzentration verwendet wird.

In der DE 34 28 371 A1 ist eine Meßsonde zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden unbrennbaren Gasen (Rußteilchen in Abgasen) aufgezeigt, bei der zwischen einer Mittelelektrode mit einem Isolator und einer Masselektrode (Wandung der Wirbelkammer) eine Hochspannung anlegbar ist, und die Leitfähigkeit des dazwischen befindlichen Gases mit den Partikeln darin meßbar ist, wobei der Isolator der Mittelelektrode (Glühstiftkerze)

heizbar ist. Das dort vorgeschlagene Meßverfahren schreibt ebenfalls vor, daß das Niveau der elektrischen Spannung konstant gehalten und die Größe des dadurch zwischen den Elektroden entstehenden Stromes als Maß für die Partikelkonzentration verwendet wird, wobei zudem die Mittelelektrode beheizt wird.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Rußsonde und ein schnelles Rußmeßverfahren bereitzustellen, die eine schnelle on board Erfassung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration ermöglichen, was eine Regelung im geschlossenen Kreis zur Begrenzung des Rußaustosses erlaubt wird.

#### Beschreibung der neuen Lösung und Darstellung einiger Anwendungsfällen

Wie in den **Fig. 1** und **2** dargestellt und gemäß dem 1. Patentanspruch, ist die neue Rußsonde in der Art einer üblichen Zündkerze für Ottomotoren gebaut. Sie besteht aus einer Mittelelektrode (1), einer mit dem Metallgehäuse (4) verbundenen Masseelektrode (2), einem Isolator (3) (z. B. aus  $Al_2O_3$ -Keramik) zur elektrischen Isolierung der Mittelelektrode (1) zur Masse bzw. Masseelektrode (2) und einem Anschlußbolzen (5). Die Mittelelektrode (1) und die Masseelektrode (2) sind in Bezug auf die Strömungsrichtung des zu untersuchenden Gases positionierbar, und die Mittelelektrode ist beheizbar.

Die elektrische Hochspannung wird mit Hilfe des Gerätes (8) erzeugt und über den Hochspannungsleiter (9) zum Anschlußbolzen (5) der Rußsonde weitergeleitet. Die Masse (10') des Gerätes (8) und die (10'') der Rußsonde müssen für diese Bauart zusammen verbunden sein.

Als erstes Anwendungsbeispiel und gemäß dem 4. bzw. dem 5. Patentanspruch zeigt die **Fig. 1** den Anbau der Rußsonde in einem Abgasrohr (6). Die Rußsonde wird mit der Mutter (7) am Abgasrohr (6) in der Art befestigt, daß die Masseelektrode (2) in einer Ebene parallel zur Strömungsrichtung liegt. Wenn elektrische Hochspannung vom Gerät (8) erzeugt wird, dann werden zwischen den Elektroden, genauer gesagt zwischen der Spitze der Mittelelektrode (1) und den Spitzen (2') (s. auch das Detail von **Fig. 2**) der Masseelektrode (2) – abhängig vom Spannungsniveau und von der Konzentration der groben (12') und der feinen (12'') Rußpartikel im Abgas – entweder Funken (11) oder nur Ionisationsströme entstehen. Da die Rußpartikel einen niedrigeren spezifischen Widerstand als die Luft besitzen, wird die Erfassung der Partikelkonzentration im Abgas gemäß dem 2. Patentanspruch für eine unbeheizte und gemäß dem 3. Patentanspruch für eine beheizte Rußsonde durchgeführt.

Als zweites Anwendungsbeispiel zeigt die **Fig. 3** den Anbau der Rußsonde in einem Abgasrohr (6), wobei die Mittelelektrode (1) und die Masseelektrode (2) getrennt am Abgasrohr befestigt sind. Diese Anordnung bietet zusätzlich folgende Möglichkeiten an:

1. Der Abstand zwischen den Elektroden und die relative Lage der Elektroden im Abgasrohr ist einfacher zu gestalten.
2. Eine größere Freiheit in der Formgebung der Masseelektrode (z. B. als ebene oder gebeugte Platte aus Blech oder Drahtgitter usw.) und somit eine genauere Erfassung des Rußgehaltes wird ermöglicht.

Als drittes Anwendungsbeispiel kann als Masseelektrode direkt die aus Metall angefertigte Wand des Abgasrohrs verwendet werden. Somit wird die Erfassung des Rußgehaltes auch im Falle von Abgasrohren mit relativ kleinen Innendurchmessern ermöglicht.

Wenn zum Beispiel die am unbeheizten Isolator (3) haftenden Rußpartikel eine elektrisch leitende Rußschicht (die praktisch einen Kurzschluß zwischen den Elektroden darstellt) auf der Isolatoroberfläche gebildet haben, wird die zwischen der Mittelelektrode (1) und Masse (10'') eingesezte Hochspannung durch diese Schicht so hohe elektrische Ströme erzeugen, daß die haftende Rußschicht zum Abbrennen gebracht wird. In dieser Art wird die Selbstreinigung der unbeheizten Rußsonde erreicht.

Der Zustand (Druck, Temperatur, Zusammensetzung) der Abgase spielt eine gewisse Rolle bei der Feststellung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration. Da z. B. die Temperatur der Abgase und das Luft-Kraftstoff-Verhältnis, mit dem die Verbrennung im Zylinder erfolgt, praktisch von allen heutzutage entwickelten Steuergeräten erfaßt werden, können jedoch deren Einflüsse bei der Feststellung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration – wenn eine erhöhte Genauigkeit angestrebt wird – zum Beispiel mit Hilfe von Kennlinien kompensiert werden.

Will man nun die Erfassung des Rußgehaltes in den Abgasen auch während der Startphase des Motors durchführen können, dann soll die Rußsonde unmittelbar vor dem Motorstart durch Abbrennen der abgelagerten Rußschicht gereinigt werden. Während der ersten Motorumdrehungen, Zeitabschnitt in dem üblicherweise noch kein Kraftstoff der angesaugten Luft zugemischt und somit nur Luft (mit eventuell wenigen Restabgasen) ausgestoßen wird, kann das Kalibrieren einer gemäß dem 5. Patentanspruch in der unmittelbaren Nähe von Auslaßventilen eingebauten Rußsonde erfolgen.

Das Kalibrierverfahren der Rußsonde kann immer wieder während jedes Schubbetriebs des Motors wiederholt werden, da die Kraftstoffzufuhr in diesen Betriebspunkten ebenfalls unterbrochen wird.

Die Rußsonde kann gemäß dem 6. und dem 7. Patentanspruch als Sensor in der Motorsteuerung von Diesel- und Ottomotoren (auch die Ottomotoren stoßen im Magerbetrieb relativ viel Ruß aus)

1. sowohl in den Regelkreisen zur Begrenzung des Rußgehaltes und/oder der Rußpartikelkonzentration zum Beispiel bei schnellen Laständerungen des Motors
2. als auch im Rahmen von On Board Diagnosis (OBD)-Funktionen, um durch die Überwachung der Höhe des Rußausstoßes Auskunft über die Fehlfunktion der verschiedenen Systeme (wie Einspritzung, Kühlung, Abgasrückführung, Aufladung, Schmierung usw.) des Motors zu gewinnen,

integriert werden.

#### Patentansprüche

1. Meßsonde zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden unbrennbaren Gasen, die in der Art einer Zündkerze für Ottomotoren mit Mittelelektrode (1) und Masseelektrode (2) aufgebaut ist, zwischen denen eine Hochspannung anlegbar ist, die ausreichend ist, um das zwischen den Elektroden befindliche Gas und die im Gas vorliegenden Partikel zu ionisieren und somit auch Funken zwischen den Elektroden entstehen zu lassen, wobei der Abstand zwischen der Mittelelektrode (1) und Masseelektrode (2) viel größer als üblicherweise bei Zündkerzen ist, die Mittelelektrode (1) und die Masseelektrode (2) in Bezug auf die Strömungsrichtung des zu untersuchenden Gases positionierbar sind und die Mittelelektrode beheizbar ist.

2. Meßverfahren zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden Gasen, das mit Hilfe einer Meßsonde nach Anspruch 1 ausgeführt wird, mit folgenden Schritten:

- Anheben der elektrischen Spannung zwischen der Mittel- und Masseelektrode bis ständig Funken zwischen den Elektroden auftreten, 5
- schrittweises Absenken der elektrischen Spannung, bis zwischen den Elektroden keine Funken mehr auftreten, 10
- Verwendung des Minimalniveaus der elektrischen Spannung, bei der noch Funken auftreten, als Maß für die Partikelkonzentration.

3. Meßverfahren zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden unbrennbaren Gasen, 15

das bei Partikeln mit einem gegenüber dem Gas niedrigeren spezifischen Widerstand mit Hilfe einer beheizten Meßsonde nach Anspruch 1 ausgeführt wird, oder das bei Partikeln mit einem gegenüber dem Gas höheren spezifischen Widerstand mit Hilfe einer Meßsonde nach Anspruch 1 ausgeführt wird, wobei

- entweder die Höhe der elektrischen Spannung zwischen der Mittel- und Masseelektrode konstant gehalten and die Größe des dadurch zwischen den Elektroden entstehenden Ionisationsstroms als Maß für die Partikelkonzentration verwendet wird 25
- oder die Größe des durch Anlegen der Spannung zwischen den Elektroden entstehenden Ionisationsstroms durch Variation der Höhe der elektrischen Spannung, die nun als Maß für die Partikelkonzentration verwendet wird, konstant gehalten wird. 30 35

4. Meßsonde nach Anspruch 1, die so ausgestaltet ist, daß sie als Rußsonde an jeder beliebigen Stelle in einem Abgassystem einsetzbar ist.

5. Meßsonde nach Anspruch 4, die so ausgestaltet ist, daß sie als Rußsonde in unmittelbarer Nähe von Auslaßventilen von Verbrennungsmotoren einbaubar ist. 40

6. Meßverfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, das als Rußmeßverfahren zur schnellen Erfassung des Rußgehaltes und/oder der Rußpartikelkonzentration in Verbrennungsabgasen verwendet wird und mit einer Meßsonde nach Anspruch 4 durchgeführt wird, die an beliebiger Stelle im Abgassystem eingesetzt wird. 45

7. Meßverfahren nach Anspruch 6, das als Rußmeßverfahren zur schnellen Erfassung des Rußgehaltes und/oder der Rußpartikelkonzentration in Verbrennungsabgasen verwendet wird und mit einer Meßsonde nach Anspruch 5 durchgeführt wird, die in unmittelbarer Nähe der Auslaßventile eingebaut wird, wobei durch Reduktion der Totzeit bei der Erfassung des Rußgehaltes und/oder der Rußpartikelkonzentration gegen Null der Rußgehalt und/oder die Rußpartikelkonzentration kontinuierlich und somit arbeitsspielsynchron erfaßt wird. 50 55

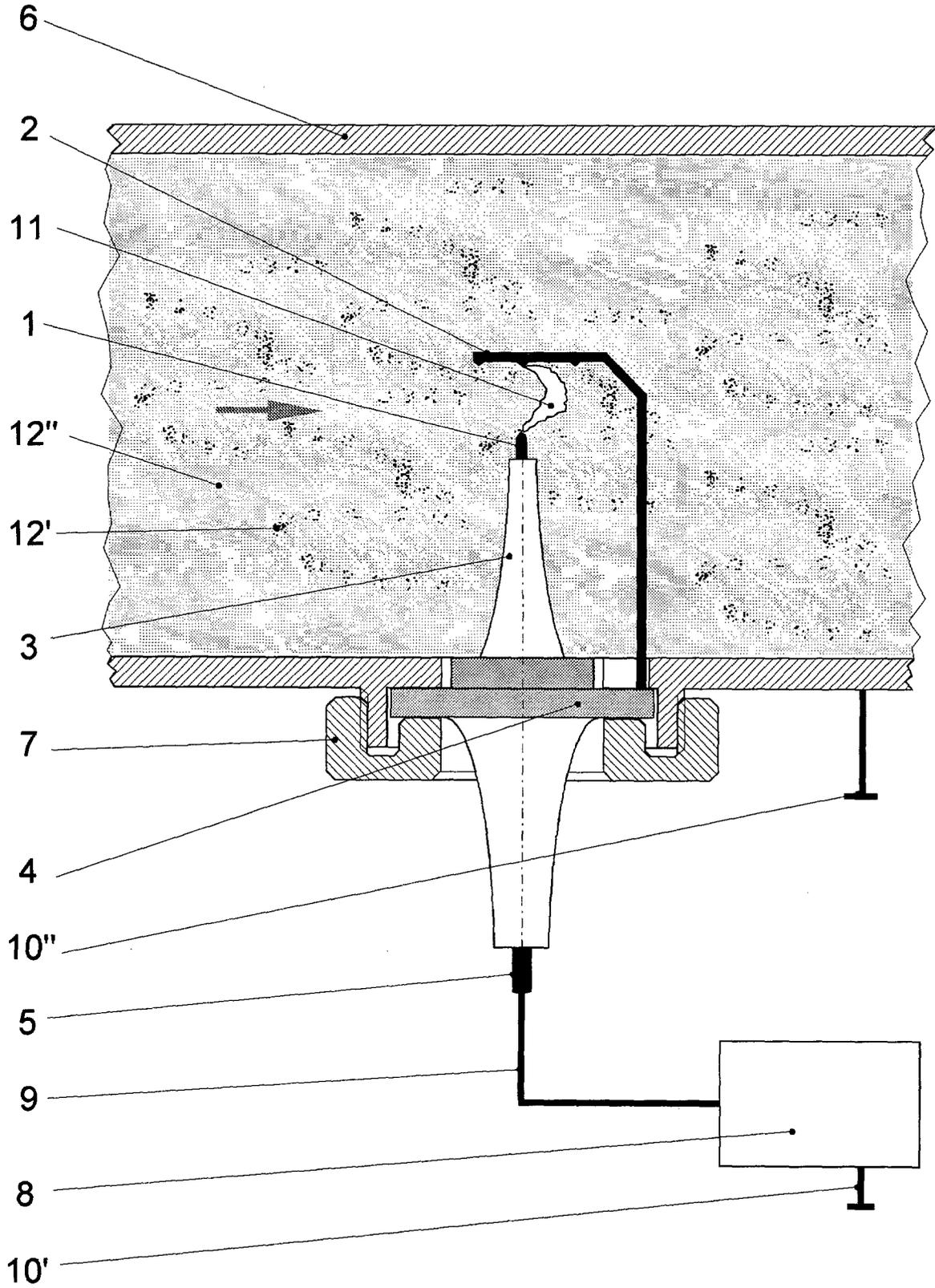
---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

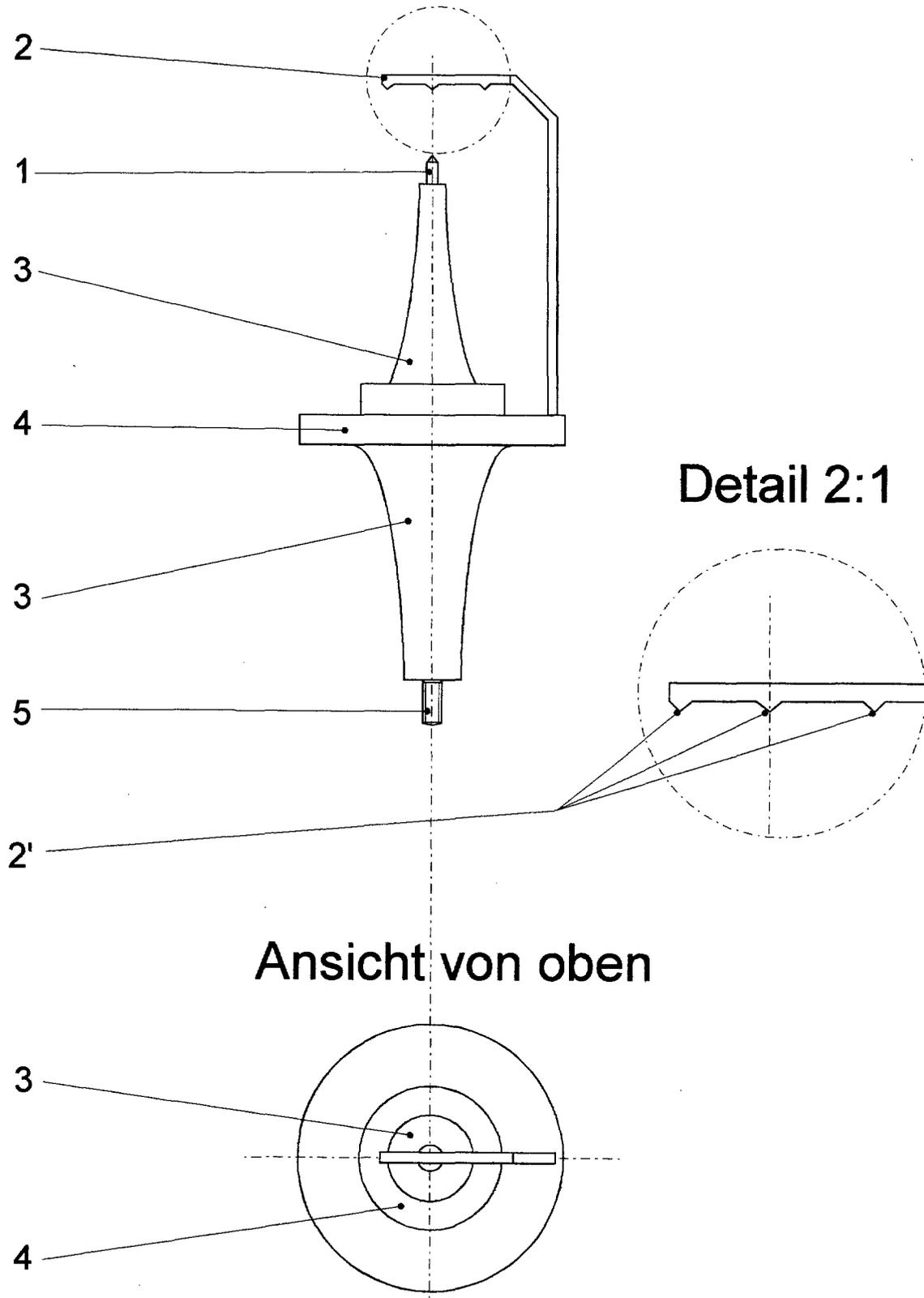
---

60

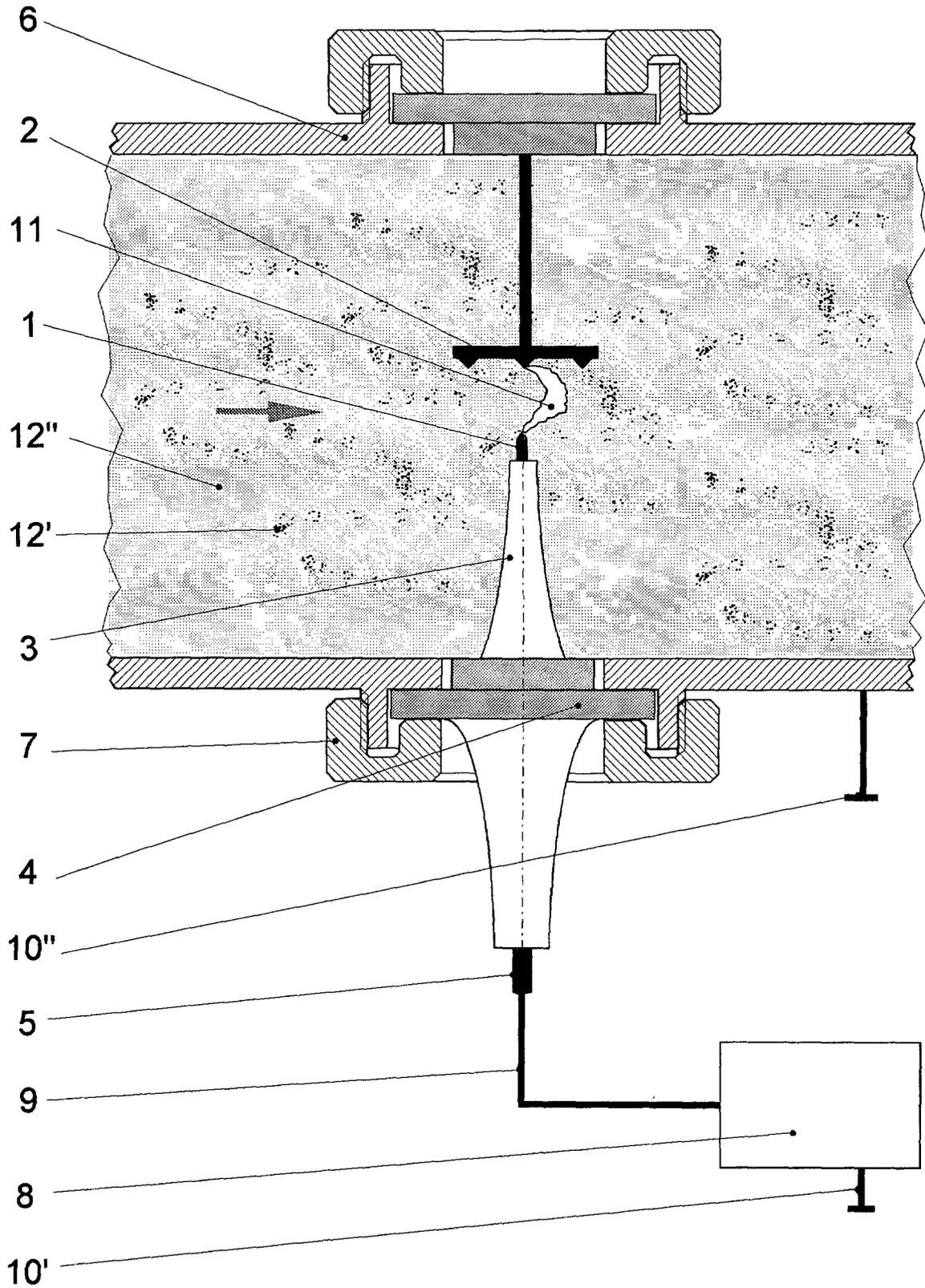
65



Figur 1



Figur 2



Figur 3