



**Europäisches Patentamt**  
**European Patent Office**  
**Office européen des brevets**

⑪ Veröffentlichungsnummer: **0 105 967**  
**B1**

⑫

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift:  
**11.06.86**

⑥① Int. Cl.⁴: **E 02 D 1/08, E 21 B 47/10**

②① Anmeldenummer: **82109653.4**

②② Anmeldetag: **19.10.82**

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zum Untersuchen der Struktur und der Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen.**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**25.04.84 Patentblatt 84/17**

⑦③ **Patentinhaber: KOHLENSÄURE-WERKE RUDOLF BUSE SOHN GMBH & CO., Sprudelstrasse Postfach 0241, D-5462 Bad Honningen (DE)**

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**11.06.86 Patentblatt 86/24**

⑦② **Erfinder: Ernst, Werner, Prof. Dr., Leutrumstrasse 9, D-7400 Tübingen 3-Kilchberg (DE)**

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH DE FR GB IT LI NL**

⑦④ **Vertreter: Patentanwälte Dipl.-Ing. Klaus Behn Dipl.-Phys. Robert Münzhuber, Widenmayerstrasse 6/IV, D-8000 München 22 (DE)**

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
**US - A - 2 429 577**  
**US - A - 2 589 219**  
**US - A - 3 010 023**  
**US - A - 3 381 523**

**EP O 105 967 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Untersuchen der Struktur und der Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen mittels Gasen, wobei zumindest an einer Injektionsstelle ein Meßgas in den Untersuchungsbereich eingeleitet und nach Durchdringen des Untersuchungsbereiches oder eines Teilbereiches desselben an mehreren Meßstellen wieder aufgefangen und gemessen wird, wobei aus der Zeit, die das Meßgas zum Durchdringen des Untersuchungsbereiches benötigt, und aus der Konzentration des aufgefangenen Meßgases die Struktur und die Durchlässigkeit des Untersuchungsbereiches bestimmt werden.

Ein solches Verfahren ist aus der US-A-2 429 577 bekannt. Dabei wird ein radioaktiv markiertes Gas in ein oder mehrere perforierte Bohrlocher eingebracht, um die Fließwege bzw. die Durchlässigkeit eines Gesteinshorizonts zu erkunden. Die Messungen erfolgen in gleichen oder in mehreren vom Einpreß-Bohrloch entfernt liegenden anderen Bohrlochern mit speziellen Detektoren, die im Bohrloch untergebracht sind. Abgesehen davon, daß das Einpressen von radioaktiven Gasen in den Untergrund mit Gefahren für die Umwelt verbunden ist, erfolgt bei dem bekannten Verfahren lediglich eine Verfolgung des Meßgases im Injektionshorizont, sodaß es damit nicht möglich ist, Risse, Klüfte, Verwerfungen und Hohlräume im Gestein oder in Erdschichten bezüglich ihrer Lage, Größe und Gestalt zu erkennen.

Weiterhin ist es aus der DE-A-2 706 584 bekannt, daß die flächenhafte Ausdehnung von unter Druck eingepreßten Gasen von der Dichte und Feuchte der Böden abhängig ist. Diese Erkenntnisse werden auch bereits für ein Verfahren zur Dichtigkeitskontrolle erdverlegter Rohöleleitungen genutzt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es nun, auf der Grundlage des eingangs erwähnten bekannten Verfahrens ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, mit deren Hilfe es gelingt, die Struktur- und Durchlässigkeitsverhältnisse in Erd- und Gesteinsbereichen zu untersuchen, natürliche oder künstliche Dämme auf Durchsickerungswege und Festigkeitsverhalten zu überprüfen, zum Verhindern von Aus- und Umspülungen hergestellte Sperrschichten auf Risse und dergleichen zu kontrollieren, unterirdische Hohlräume bezüglich Art, Größe und Gestalt zu orten, tektonische Gefüge festzustellen und andere Störungen im Untergrundgefüge und im Gefüge von Aufschüttungen zu erkennen, und zwar auf wirtschaftliche und zugleich unschädliche Weise. Die Lösung dieser Aufgabe besteht darin, daß das Meßgas mittels in den Oberflächenbereich eingebrachter, flächenhaft verteilter Flach-Meßsonden aufgefangen wird. Erfindungsgemäß werden also durch die zu untersuchenden

Bereiche oder Schichten Meßgase hindurchgeleitet und anschließend an mehreren, flächenhaft verteilten Meßstellen aufgefangen, wobei dann durch Vergleich der an den rasterartig verteilten Meßstellen erhaltenen Meßdaten eine Art von Röntgenbild gewonnen wird, das Aufschluß über die Struktur und die Durchlässigkeit der untersuchten Objekte gibt und Störungen, etwa Risse oder Hohlräume, einwandfrei erkennen läßt. Dabei ist das Verfahren vergleichsweise kostensparend durchzuführen und erbringt insbesondere bei Verwendung von Kohlendioxid als Meßgas keine nachteiligen Folgen für das Untersuchungsobjekt.

In den Ansprüchen 2 - 11 sind besondere Ausgestaltungen des Verfahrens für verschiedene Anwendungszwecke gekennzeichnet. In den Ansprüchen 12 - 17 schließlich sind Vorrichtungen angegeben, welche eine besonders zweckmäßige Durchführung des Erfindungsverfahrens gewährleisten.

Einzelheiten des Verfahrens und der Vorrichtungen werden nachfolgend anhand bestimmter Anwendungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung näher erläutert. Auf der Zeichnung zeigen:

Fig. 1, 1A, 2, 2A, 2B ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung in Anwendung auf die Überprüfung eines Dammes,

Fig. 3 und 3 A ein zweites Ausführungsbeispiel der Untersuchung eines und 3A Damm-Untergrunds und einer Überprüfung einer dem Damm vorgelagerten Sperrschicht, und

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel der Ortung eines unterirdischen Hohlraums und der Feststellung tektonischer Verwerfungen.

Als erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend die Kontrolle der Durchlässigkeits- und Setzungsverhältnisse eines Dammes erläutert. Dabei sollen vor Beschreibung der Meß- und Kontrollvorrichtung anhand der Fig. 1 und 2 zunächst die allgemeinen Grundlagen und das Verfahren erläutert werden.

Wie bereits eingangs erwähnt wurde, ist es durch Versuche über die horizontale Ausbreitung von Erdgasen in Leitungsgräben bekannt, daß die Länge der Ausbreitzzone in der Grabenachse von der Durchlässigkeit und Feuchte der Bodenoder Erdschichten abhängig ist. Ferner ist von Einpressversuchen mit Gasen für die Zwecke der Pflanzenbegasung bekannt, daß auch die flächenhafte Ausdehnung von unter Druck eingepreßten Gasen von der Dichte und Feuchte der Böden abhängt. Mit der Erfindung wird nun ein Verfahren für die Kontrolle der Durchlässigkeits- und Setzungsverhältnisse von eingespülten oder von künstlich geschütteten Erd- und Steindämmen geschaffen, wobei es sich um Dämme von Talsperren, um Seitendämme von Flüssen und Kanälen und um Deiche zur Abwehr von Hochwasser und Sturmfluten handeln kann.

Die Dichtigkeit eines Dammes gegenüber Sickerwasserzutritt ist ein entscheidendes Sicherheitsmerkmal bezüglich Ausspülungen und ungleichen Setzungen, wobei erhöhte

Wasserdurchlässigkeit vorwiegend durch Strukturänderungen und Riß- und Bruchbildungen verursacht werden, die in letzter Konsequenz einen Dammbruch nach sich ziehen können. Dabei ereignen sich Strukturänderungen und Deformationen insbesondere im oberen Bereich vielfach geschichteter, hoher Erddämme, wo es bei ungleichmäßiger Bauausführung zu unterschiedlichen Setzungen zwischen den einzelnen Erdschichten kommen kann. Rißbildungen erfolgen besonders parallel zur Dammachse und quer oder diagonal dazu. Dabei kommt den quer oder diagonal verlaufenden Rißsystemen, die meist nahezu senkrecht zum Dammkörper einfallen, eine besondere Bedeutung zu, weil sie Wege für eine konzentrierte Durchsickerung bilden, was zu einer Erosion der Deckschichten und des Dichtungskerns des Dammes führen kann. Besonders schwerwiegend ist die Entstehung von horizontalen Rissen im Dichtungskern. Derartige Risse sind von der Oberfläche her nicht zu erkennen und stellen die Hauptursache für intensive Durchsickerungen und damit für Dammbrüche dar.

Die erwähnten Gefahren des Auftretens von Deformationen und Rißbildungen erfordern sorgfältige Kontrollen der Dämme. Zur Überwachung der Dämme gibt es bisher für die Zeit während und nach der eigentlichen Bauphase verschiedene Methoden. Zu den bekanntesten Methoden zählen die Messungen der vertikalen und horizontalen Bewegungen im Damminneren mit Hilfe von Inklinometern, Strainmessern, Piezometern und Druckgebern. Alle bisher bekannten Methoden und bautechnischen Maßnahmen haben jedoch den Nachteil, daß sie finanziell aufwendig sind und nur örtlich begrenzte Dammelemente erfassen können.

Demgegenüber wird nun mit der Erfindung ein weitgehend sicheres und wenig aufwendiges Kontrollverfahren geschaffen. Das Verfahren beruht auf der Feststellung und Messung der Strömungswege von injizierten Gasen. Bekanntlich vermögen Gase durch kleinste Porenquerschnitte und Porenverbindungskanäle zu diffundieren, wenn ein Druckgefälle gegeben ist. Nun besitzen Dämme infolge bautechnischer Verdichtungen oder besonderer setzungstechnischer Maßnahmen normalerweise nur eine sehr geringe horizontale Durchlässigkeit für Flüssigkeiten und Gase, horizontal durchlaufende Risse der oben beschriebenen Art vergrößern jedoch das Gefüge des Dammkörpers und ermöglichen damit einen wesentlich erhöhten Gasdurchgang. Wird nun gemäß der Erfindung Meßgas unter geringst notwendigem Druck in den Damm eingeleitet, dann erhält man ein horizontal ausgerichtetes Strömungsbild und kann einen erheblichen Teil der eingeleiteten Gase auf der Gegenseite des Dammes wieder auffangen und messen. Die Konzentrationen der dort ankommenden Gase und die Zeit, die sie zum Durchströmen des Dammquerschnittes benötigen, stellen Maßangaben für die Durchlässigkeit des

Dammes dar. Durch die Anordnung einer Vielzahl von Meßpunkten läßt sich somit eine "Abbildung" des Damm-Innengefüges erzielen, die exakte Auskünfte über Störungen, beispielsweise horizontale Risse ergibt. Es ist dabei auch möglich, dammachsenparallele, mehr oder weniger senkrecht zum natürlichen Untergrund verlaufende Risse, wie sie etwa bei gestörten Setzungsverhältnissen Böschungsabbrüchen, Abscherungen und Grundbrüchen entstehen können, festzustellen. In einem solchen Fall folgen nämlich die injizierten Gase nur anfänglich einem horizontal vorgezeichneten Strömungsweg und gehen dann in das senkrecht gerichtete Gefüge über, was durch Gasmessungen an der Dammoberseite feststellbar ist.

Das Verfahren nach der Erfindung beruht also darauf, daß unter Druck in den Dammkörper eingeleitete Gase sich entlang der normalen oder gestörten Sedimentstrukturen ausbreiten und im Normalfall einem dem elektrischen Potential vergleichbaren Strömungsbild folgen. Bei einer erheblichen Dichtigkeit der Dämme gelangt nur ein kleiner Teil der injizierten Gase nach erheblicher, in der Größenordnung von Stunden liegender Verzögerung auf der der Injektionsseite gegenüberliegenden Dammseite an. Bei vorhandenen horizontalen Durchlässigkeiten aufgrund von Rißbildungen jedoch erhöht sich die Menge der auf der anderen Seite ankommenden Gase bei gleichzeitiger Verminderung der Diffusionszeit. Dieses Strömungsbild der injizierten Gase ändert sich jedoch bei Vorhandensein mehr oder weniger vertikal zur Dammhöhe verlaufender Risse, die parallel, diagonal oder senkrecht zur Dammachse gerichtet sein können. Die Gasausbreitung erfolgt dann bevorzugt in diesen Rissen, wodurch ein größerer Gasanteil in Richtung zur Dammkrone abwandert. Auch dort sind die Konzentrationen und die Zeit der ankommenden Gase ein direktes Maß für den Ort, die Größe und die Durchlässigkeit der Störstellen.

Als Injektionsgas wird insbesondere Kohlendioxid verwendet, welches den Vorteil der leichten Verfügbarkeit, Transportfähigkeit und Meßbarkeit besitzt. Die Gefahr, daß  $\text{CO}_2$  mit dem Sickerwasser eine Verbindung ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) eingeht und damit die Löslichkeit von kalkigen und mergenartigen Dammmaterialien erhöht, ist infolge der geringen Verweilzeit der Gase im Dammkörper und der geringen Neigung des  $\text{CO}_2$ , mit Wasser Kohlensäure zu bilden, vernachlässigbar. Selbstverständlich können aber auch andere Gase, beispielsweise Methan, Propan,  $\text{SO}_4$  oder aktivierte Gase eingesetzt werden, vorausgesetzt, daß sie keine hohe Reaktionsfähigkeit oder Löslichkeit bezüglich Wasser und Dammmaterial aufweisen und einwandfrei meßbar bzw. nachweisbar sind.

Eine Vorrichtung zur Kontrolle eines Dammes gemäß diesem Verfahren ist in den Fig. 1 und 2 dargestellt. Dabei ist in Fig. 1 mit 10 ein Damm bezeichnet, auf dessen einer Seite 10a, im allgemeinen der sogenannten Luftseite

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

(Landseite), eine Gas-Injektionseinrichtung vorgesehen ist. Die Gas-Injektionseinrichtung besteht beim dargestellten Ausführungsbeispiel aus einer ersten Einheit 11 und einer zweiten Einheit 12. Die Einheit 11 weist einen im wesentlichen rechteckigen Rohrrahmen auf, bestehend aus zwei vertikalen Rohren 13 und vier horizontalen Rohren 14. Die vertikalen Rohre 13 sind an ihren Enden geschlossen. Mit 13a ist ein Gasanschluß bezeichnet. Die horizontalen Rohre 14 münden in die Rohre 13, stehen also mit deren Innenraum in Verbindung und weisen in gleichmäßiger Verteilung Öffnungen auf, von denen Plastschläuche 15 mit Absperrventilen 16 abgehen, an die Injektionsrohre 17 mit Abdichtungskegel 17a angeschlossen sind, wie dies am besten aus Fig. 1A ersichtlich ist. Die weitere Einheit 12 entspricht im wesentlichen der Einheit 11. Es können weitere - nicht gezeichnete - Einheiten vorgesehen sein, die Rollen aufweisen, mit deren Hilfe sie auf der Einheit 11 verschoben werden können, zu welchem Zweck die Oberseiten der Vertikalrohre 13 der Einheit 11 schienenartig ausgebildet sind. Auf diese Weise ergibt sich eine Anordnung in Art einer Ausziehleiter. Selbstverständlich kann die "Ausziehleiter" aus mehreren solchen Einheiten bestehen, je nach Höhe des Dammes.

Bei einer praktischen Ausführungsform weist die Vorrichtung 11 eine Anzahl von sechzehn Injektionsrohren 17 aus Leichtmetall mit einer Länge von 0,5 m auf, die in gleichen Abständen auf die vier Horizontalrohre 14 verteilt sind. Die Vorrichtung 11 weist dabei eine Länge und eine Höhe von jeweils 3 m auf. Durch eine weitere Einheit kann eine Verlängerung der Höhe bis auf 6 m erfolgen. Dabei ist darauf hinzuweisen, daß es auch möglich ist, einen gesonderten, starren Rahmen vorzusehen, der gegebenenfalls teleskopartig ausziehbar ist, auf welchem Rahmen dann eine oder mehrere Einheiten 11 bzw. 12 rollbar angeordnet sind. Die Verwendung eines gesonderten Rahmens erbringt dabei den Vorteil, daß dieser dann bei Anbringung von Querstegen zugleich als Leiter für die Bedienungspersonen dienen kann.

Zum Betrieb der Vorrichtung werden die Injektionsrohre 17 in den Damm eingestoßen oder in vorbereitete Bohrlöcher eingesteckt, wobei die Kegel 17a als Abdichtung dienen. Daraufhin wird unter geringem Druck stehendes Kohlendioxid oder ein anderes Meßgas den Vorrichtungen 11 und 12 zugeführt, und zwar durch Anschluß der Meßgasquelle 18 (Fig. 2B) an den Gasanschluß 13a bzw. einen vergleichbaren Anschluß der Vorrichtung 12. Als Meßgasquelle können ein Tank mit flüssigem Kohlendioxid mit Verdampfer, Kohlensäure-Druckflaschen oder Druckflaschen oder Behälter mit Methan, Propan oder Schwefeldioxid Verwendung finden. Für eine besonders gleichmäßige Zuführung des Gases zu den Injektionsrohren 17 kann es vorteilhaft sein, nicht nur an der bezeichneten Stelle 13a, sondern auch an den Unterseiten der anderen Vertikalrohre 13 einen Gasanschluß vorzusehen.

Fig. 2 zeigt die gegenüberliegende Seite 10b des Dammes 10, im allgemeinen die Wasserseite des Dammes, an welcher die Meßeinrichtung vorgesehen ist. Die Meßeinrichtung besteht aus einer Vielzahl von Meßsonden 20, deren jede gemäß Fig. 2A über einen Schlauch 21 und ein Magnetventil 22 an ein Rohr 23 angeschlossen ist, welches wahlweise mit einer Vakuumpumpe 24 oder mit einem Gas-Meßgerät 25, vorzugsweise für CO<sub>2</sub>, verbunden ist. Jede Meßsonde 20 wird, wie aus Fig. 2A ersichtlich ist, durch ein Rohr gebildet, das in seinem vorderen Bereich perforiert ist und in seinem hinteren Bereich einen Abdichtungskegel 20a aufweist. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel weisen die Meßsonden 20 eine Länge von 20 cm auf und jeweils 10 Sonden 20 bilden eine Meßeinheit, wobei die einzelnen Schläuche 21 zu einem Schlauchbündel zusammengefaßt sind. Die Perforationslöcher der Meßsonden 20 sind zweckmäßigerweise spiralförmig umlaufend angeordnet.

Zunächst werden die Meßsonden 20 in die Deck- oder Isolierschicht des Dammes 10 eingedrückt oder eingeschlagen bzw. in vorgefertigte Bohrlöcher eingesetzt. Die Verteilung der Meßsonden 20 soll dabei möglichst gleichmäßig sein; die Anzahl der verwendeten Meßsonden 20 hängt von den jeweiligen Gegebenheiten ab, wobei selbstverständlich die "Auflösung" der resultierenden Abbildung um so besser ist, je dichter die Meßsonden gesteckt sind. Nach dem Einbringen der Meßsonden 20 wird das gesamte Schlauchsystem mit den daran angeschlossenen Sonden mit Luft gespült und anschließend evakuiert. Damit wird der Gaseintritt in die Sonden und der weitere Transport des Meßgases in die Meßvorrichtungen 25 erleichtert. Nach Beginn der Injektionsphase durch die Injektionseinrichtung von Fig. 1 werden die Gasanalysen von den Sonden einzeln abgerufen, d.h. die einzelnen Magnetventile 22 werden der Reihe nach geöffnet und wieder geschlossen. Die Anzeige des Analyseergebnisses erfolgt zweckmäßigerweise digital. Die Meßapparatur ist mit einer - nicht gezeichneten - starken Membranpumpe versehen, die so leistungsstark ist, daß sie das in den Sonden 20 aufgenommene Gas über die Schlauchleitungen bis zu den Meßinstrumenten 25 transportieren kann. Die Messung der Gaskonzentrationen von CO<sub>2</sub>, Methan und Propan durch die Meßgeräte 25 erfolgt zweckmäßigerweise nach dem Prinzip der Wärmetönung. Entsprechende Geräte sind auf dem Markt erhältlich. Ebenso gibt es verschiedene andere Meßsysteme für Schwefeldioxid. Die Ausgangssignale der Meßgeräte 25 werden zweckmäßigerweise einem Anzeigegerät und/oder einem Druckwerk, insbesondere einem solchen mit grafischer Darstellung, zugeführt, womit eine Art Röntgenbild der Dammstrukturen erhalten und die Auswertung erleichtert wird.

Betragen die Meßlängen mehr als 10 m, so können die einzelnen Schlauchlängen bis auf das

7-Fache vergrößert werden. Dadurch ergeben sich insgesamt 70 Meßschläuche, die im unteren Teil zu einem Schlauchbündel zusammengefaßt werden. Bei einer Abpump- und Analysenzeit von je 20 sec. Dauer sind insgesamt etwa 24 min. zur Durchführung sämtlicher Meßvorgänge an einem Schlauchstrang erforderlich. Überschreitet die Meßlänge eines Dammes 70 m, so kann eine weitere Meßeinheit von 70 m Länge als zweites Meßsystem eingesetzt werden. Bei einer Gas-Injektionsbreite von 3 m auf der Injektionsseite muß die Breite des Meßsondensystems auf der Empfangsseite wegen der Seitenstreuungseffekte des Gases etwa 6 m betragen. Für die Messung eines 6 m breiten Abschnittes sind also insgesamt drei Schlauchsysteme erforderlich, die, wie oben angegeben, bis auf 70 m ausgelegt werden können. Jedes Schlauchsystem erfordert eine Meßapparatur und eine Bedienungsperson.

Bei kleineren Dämmen erniedrigt sich die Zahl der Meßstellen entsprechend. Durch Zusammenschalten der drei Schlauchsysteme für die 6 m breite Meßfront kann mit einer Meßapparatur und mit einer Bedienungsperson gearbeitet werden. Im Falle solcher kleinerer Dämme erfolgt die Seitenverlagerung der Injektions- und Meßsysteme zweckmäßigerweise auf vorgerichteten, horizontal verlegten Leichtmetallschienen.

Bei einem zweiten, anhand der Fig. 3 und 3A erläuterten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nicht der Dammkörper selbst, sondern dessen geologischer Untergrund überprüft. Auch hierbei geht es jedoch um die Erkundung der Durchlässigkeitsverhältnisse, z.B. von porösen Ablagerungen der Talauen, die ein Unterströmen des Dammkörpers und sogar einen hydraulischen Grundbruch hervorrufen können, oder von klüftigem Fels. Dabei kann die Erkundung der Durchlässigkeitsverhältnisse im natürlichen, unbehandelten Damm-Untergrund und darüberhinaus auch in den mit Zement oder anderen Dichtungsmaterialien behandelten Sperrschichten vorgenommen werden.

In Fig. 3 ist mit 30 ein Damm bezeichnet, in dessen Dichtungskörper 31 ein Kontrollgang 32 parallel zur Damm-Längsachse verläuft. Von diesem Kontrollgang 32 aus werden nun gemäß der Erfindung Injektionsbohrungen 33 in den Damm-Untergrund gebohrt, und zwar vertikal oder schräg verlaufend. Die Bohrlöcher 33 können teilweise oder vollständig verrohrt sein, wobei im letzteren Fall am Bohrlochgrund Öffnungen zum Austritt des Injektionsgases in der Rohrwandung vorzusehen sind. Weiterhin ist zumindest eine, für die Aufnahme der Injektionsgase bestimmte Meßbohrung 34 vorgesehen, die vorzugsweise vertikal verläuft und in ihrem oberen Bereich verrohrt ist. Die Injektionsbohrungen 33 und die Meßbohrungen 34 dienen in nachfolgend beschriebener Weise zur Überprüfung des Damm-Untergrunds. Weiterhin ist in Fig. 3 bei 35 eine Sperrschicht, beispielsweise eine Zementinjektion, dargestellt, die an der Wasserseite des Dammes 30 angebracht ist und

die gegen Unterspülung schützen soll. Zur Überprüfung dieser Sperrschicht 35 dienen eine Injektionsbohrung 36, die teilweise verrohrt ist, sowie auf der Erdoberfläche angebrachte Meßsonden 37. Gemäß Fig. 3A weist eine solche Meßsonde 37 einen Abdichtungskegel 37a auf und ist über eine Schlauchleitung 38 mit Absperrventil 39 an ein - nicht gezeichnetes - Meßgerät angeschlossen. Die Meßsonde 37 ist in eine vorbereitete Bohrung 40 eingesteckt.

Die praktische Durchführung der Überprüfung des Dammuntergrunds erfolgt also mit Hilfe einer oder mehrerer Injektionsbohrungen 33 oder 36, die senkrecht oder schräg bis in eine Tiefe von 100 m in den geologischen Untergrund getrieben werden. Diese Bohrungen 33 können auch nach Beendigung der Bauarbeiten von den Kontrollgängen 32 des Erd- oder Steindammes 30 aus durchgeführt werden. Die in die verrohrten oder unverrohrten Bohrungen 33 unter Druck eingeführten Gase, vorzugsweise Kohlendioxid-Gase oder auch Methan, Propan oder Schwefeldioxid verbreiten sich je nach der Durchlässigkeit der geologischen Schichten mehr oder weniger schnell und weit im Untergrund, zum Teil auch unter Lösung im Grundwasser. Die Ausbreitung dieser Gase in der Tiefe wird durch die Meßbohrungen 34 erfaßt, deren Tiefen im wesentlichen derjenigen der Injektionsbohrungen 33 entsprechen. Die Ausbreitung der injizierten Gase erfolgt jedoch nicht nur horizontal, sondern auch in einem erheblich stärkeren Maße in Richtung zur Erdoberfläche hin. Durch die Anbringung zusätzlicher Flach-Meßbohrungen 37 bis 0,8 m Tiefe ist es möglich, auch an der Oberfläche die Ausbreitung und Geschwindigkeit der Gasverlagerung im Untergrund zu erkennen. Dabei strömt das injizierte Gas in den unverrohrten unteren Teil der Meßbohrlöcher ein, die vorher evakuiert worden sind. Das Gas wird im verrohrten Teil aufgefangen und für die Messung über möglichst kurze Plastikschläuche einem Meßgerät zugeführt, etwa in der Weise, wie beim ersten Ausführungsbeispiel beschrieben worden ist. Von den im Boden vorhandenen bzw. gebildeten Gasen werden die Meßergebnisse dabei erfahrungsgemäß kaum beeinflusst, weil die Konzentrationen der injizierten Gase wesentlich größer sind. Vorzugsweise sind auch zusätzliche Oberflächen-Meßsonden 37 vorgesehen. Im Falle einer Sperrschicht 35 durch Zementinjektionen oder Dichtungsschleier sind die durch die Injektionsbohrung 36 zugeführten Gase an einer weiteren horizontalen Ausbreitung im Untergrund gehindert und strömen deshalb schon nach kurzer Laufzeit in Richtung zur Erdoberfläche, wo diese Gase dann aufgefangen und gemessen werden können. Nur bei unterbrochener oder unzureichender Dichtigkeit der Sperrschicht 35 wird ein Teil der Gase ungehindert weiterströmen können und dementsprechend erst nach der Sperrschicht 35 zur Oberfläche gelangen. Eine Unterbrechung der Sperrschicht 35 macht sich also dadurch bemerkbar, daß im Unterbrechungsbereich die vor der Sperrschicht

35 befindlichen Meßsonden 37 wesentlich weniger Gas aufnehmen als Meßsonden eines ununterbrochenen, dichten Bereiches der Sperrschicht 35. Selbstverständlich ist es auch möglich, weitere Flach-Meßsonden hinter der Sperrschicht 35 und hinter dem Damm 30 auf der Luftseite aufzustellen, die dann das durch die Sperrschicht 35 hindurchgegangene Gas messen.

Ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem es um die Erkennung und Ortung unterirdischer Hohlräume und tektonischer Störungen des Untergrunds geht, wird nachfolgend anhand der Fig. 4 erläutert. In Fig. 4 ist mit 40 ein unterirdischer Hohlraum bezeichnet, mit 41 eine tektonische Störung. Vonder Erdoberfläche führt eine Injektionsbohrung 42 vertikal nach unten bis in den Hohlraum 40, und auf der Erdoberfläche ist eine Vielzahl von Flach-Meßsonden 43 angeordnet.

Unterirdische Hohlräume entstehen durch geologische Prozesse oder durch bergmännische Arbeiten. Bei den geologisch bedingten Hohlräumen handelt es sich um Dolinen und Höhlen. Bergmännisch verursachte Hohlräume sind Brunnen, Bohrungen, Schächte, Stollen und Vorrichtungstrecken zum Abbau von Rohstoffen. Daneben gibt es noch Hohlräume im Untergrund, die aus militärischen Gründen oder zum Schutz der Zivilbevölkerung angelegt worden sind. Lage und Verlauf dieser Hohlräume sind in vielen Fällen nicht genau bekannt. Das gilt insbesondere für alte Bergwerksanlagen, die markscheiderisch nicht mit der gleichen Genauigkeit wie die heutigen Untertagestrecken vermessen sind. Sie werden nicht selten aus Unkenntnis oder mit ungenügender Sicherheit überbaut, was nachträglich zu Setzungen der darüberliegenden Bodenschichten oder sogar zu Einbrüchen der Bauwerke führen kann.

Das Erfindungsverfahren kann nun dazu eingesetzt werden, solche unterirdischen Hohlräume unbekannter Erstreckung und Ausdehnung zu orten. Unter normalen gebirgsmechanischen Verhältnissen bildet sich oberhalb verstürzter Hohlräume ein Senkungskegel mit gerichteten und aufgeweiteten Gefügestrukturen. Diese Gefüge verlaufen in Richtung zum Hohlkörper und verursachen eine größere Durchlässigkeit zwischen dem unterirdischen Hohlraum und der Erdoberfläche. Die Tatsache, daß sich entlang solcher sekundärer Gefügezonen Gase ausbreiten können, wird nun mit der Erfindung ausgenutzt. Zu diesem Zweck werden durch die Injektionsbohrung 42 Kohlendioxidgas oder andere geeignete Gase in den Hohlraum 40 injiziert. Das unter Druck eingeleitete, zu einem Teil auch in Wasser lösliche Gas breitet sich im Hohlraum 40 seitlich aus, wobei mit zunehmender Drucksteigerung Gase über die aufgelockerten Gefügezonen nach oben diffundieren, wo sie durch die Flach-Meßsonden 43 gemessen werden. Der gasgefüllte Hohlraum 40 paust sich also sozusagen mit Hilfe der Gase an der Erdoberfläche durch. Mit anderen Worten, die

Meßsonden 43 im Bereich A von Figur 4 werden also Gas aufnehmen, wohingegen die übrigen Meßsonden 43 gasfrei bleiben. Ausbildung und Anordnung der Flach-Meßsonden 43 entsprechen dabei den Meßsonden 37 der Figur 3A.

Der praktische Weg zur Ortung unterirdischer Hohlräume 40 geht dabei von einer Vorerkundung der natürlichen Bodengasverbreitung oberhalb eines vermuteten Hohlraums aus. Die im Zusammenhang mit der Hohlraumbildung stehende natürliche Gaskonzentrierung gibt im aufgelockerten Gefüge des Gebirges rohe Anhaltswerte über die Erstreckung des Hohlraums und damit einen Anhaltspunkt für den Ansatz einer oder mehrerer Injektionsbohrungen 42. Der zweite Schritt zur genaueren Ortung unterirdischer Hohlräume 40 wird dann mit Hilfe der einen oder mehrerer Bohrungen vorgenommen. Der Landepunkt der Bohrung 42 ist nach Möglichkeit der Hohlraum 40 selbst oder das unmittelbar davon betroffene Gebirge, welches über die aufgelockerten Gefüge mit dem Hohlraum 40 in Verbindung steht. Die Bohrung 42 wird bis knapp oberhalb der Lockerzonen provisorisch verrohrt. Über den Kopf der Verrohrung erfolgt unter Druck die Injizierung der Meßgase in den Hohlraum 40. Während und nach der Injizierung werden die Bodengasmessungen zur Ermittlung der Gasgehalte in Gebieten erhöhter Durchlässigkeiten vorgenommen.

Ein besonderer Vorteil des Erfindungsverfahrens besteht darin, daß insbesondere bei Wahl von Kohlendioxid als Einpreßgas, keine bleibenden und schädlichen Auswirkungen auf Gesteine, Böden und Gebäude hervorgerufen werden, weil der größte Teil des injizierten Gases schnell zur Erdoberfläche abwandert und nur ein sehr kleiner Teil des Gases, etwa 0,1%, im Grundwasser zur Kohlensäurebildung verbraucht wird. Kohlendioxid hat den weiteren Vorteil, daß mit einfachen Meßvorrichtungen schnell und exakt quantitativ nachgewiesen werden kann. Dabei kann das Verfahren für die Ortung von Hohlräumen angewendet werden, die in Tiefen bis zu 200 m und tiefer liegen. Auch die anderen erwähnten Gase haben keine schädlichen Auswirkungen, was mit den hohen Verdünnungsgraden in den Erd- und Gesteinsschichten zusammenhängt.

Das eben beschriebene Verfahren kann aber auch dazu dienen, tektonische Störungen des Untergrunds zu erkennen. Wenn die normale Lagerung eines Gebirges durch Brüche (Auf- und Abschiebungen, aktive Klüfte) gestört ist, kann es bei künstlichen Massenauflagerungen, etwa der Errichtung von Dämmen und Gebäuden oder durch den Aufstau bei Talsperren zu einer Verstärkung der Bewegungsvorgänge der tektonischen Brüche kommen. Andererseits können solche Brüche auch die Ursache für unkontrollierte Grundwasserströmungen sein.

Um nun solche Brüche 41 (Figur 4) zu erkennen und zu orten, werden erfindungsgemäß durch die Injektionsbohrung 42, die von wenigen Metern bis

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

über 100 m tief sein kann, Meßgase unter Druck eingepreßt, welche sich in porösen Schichten des Untergrunds seitlich ausbreiten. Wenn diese Gase in den Bereich einer tektonischen Störung 41 gelangen, dann steigen die Gase über die durchlässige Störungsschicht 41 zur Erdoberfläche auf und werden durch die an der Erdoberfläche befindlichen Meßsonden 43 festgestellt. Die tektonische Störung 41 bildet dabei eine Art Drainage für die künstlich eingeleiteten Gase. Die Messung der Gase erfolgt in gleicher Weise wie bei der Ortung von Hohlräumen. In diesem Fall stellen die Flach-Meßsonden des Bereiches B Gas fest, während die Meßsonden außerhalb dieses Bereiches im wesentlichen gasfrei bleiben.

Besondere Anwendungsgebiete dieses Verfahrens sind neben der Erkundung von tektonischen Brüchen und Kluftsystemen im Bereich geplanter Dämme und Wasser-Stauflächen auch Speicher für die sekundäre Gaslagerung im tieferen Untergrund, natürliche Vorkommen von Erdöl und Erdgas, die durch Brüche gestört sind, Halden, Deponien und Schüttungen, deren Durchlässigkeit untersucht werden soll. Weiterhin ist die Erfindung auch anwendbar bei Kunstbauten aus nur teilbereichsweise durchlässigem Material, etwa Betondämmen mit und ohne Eisenbewehrung, die Korrosionsbereiche oder Rißsysteme aufweisen, wobei das Einleiten der Gase an entsprechenden Stellen erfolgt, etwa von bereits bestehenden Kontrollbohrungen und/oder -gängen aus. Sind dabei nur geringe Gasmengen hindurchleitbar, dann eignen sich als Meßgase insbesondere radioaktiv aktivierte Gase, weil hier selbst bei kleinsten Gasmengen exakte Messungen durch entsprechende Detektoren durchgeführt werden können; vorzugsweise wird man dabei Gase wählen, die leicht aktivierbar sind und - aus Gründen der Sicherheit - eine möglichst kurze Halbwertszeit gewährleisten. Ansonsten wird man bei geringen Durchlässigkeiten Gase möglichst geringer Dichte wählen, beispielsweise Helium, also Gase mit großer Durchdringungsfähigkeit.

Selbstverständlich können hier nicht alle Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung erschöpfend aufgezählt werden; sie ist immer dann anwendbar, wenn aus der Gasdurchlässigkeit bestimmter Boden- bzw. Gesteinsbereiche auf das Vorhandensein von Störungen im weitesten Sinn geschlossen werden kann.

### Patentansprüche

Verfahren zum Untersuchen der Struktur und der Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen mittels Gasen, wobei zumindest an einer Injektionsstelle (11, 33, 36, 42) ein Meßgas in den Untersuchungsbereich eingeleitet und nach Durchdringen des Untersuchungsbereiches oder eines Teilbereiches

desselben an mehreren Meßstellen wieder aufgefangen und gemessen wird, wobei aus der Zeit, die das Meßgas zum Durchdringen des Untersuchungsbereiches benötigt, und aus der Konzentration des aufgefangenen Meßgases die Struktur und die Durchlässigkeit des Untersuchungsbereiches bestimmt werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßgas mittels in den Oberflächenbereich eingebrachter, flächenhaft verteilter Flach-Meßsonden (20, 37, 43) aufgefangen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1 zur Überprüfung von Erd- und Gesteinsdämmen, insbesondere zur Feststellung und Ortung von Rissen, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßgas an der einen Dammseite, insbesondere der Luftseite, an mehreren Stellen in den Dammkörper eingeleitet und auf der gleichen oder der gegenüberliegenden Dammseite, insbesondere der Wasserseite, und/oder auf der Dammkrone an Meßstellen wieder aufgefangen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 zur Überprüfung von Erd- und Gesteinsdämmen mit Kontrollgängen und/oder Kontrollbohrungen, insbesondere zur Feststellung und Ortung von Rissen, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßgas von einem Kontrollgang und/oder von Kontrollbohrungen aus an mehreren Stellen in den Dammkörper eingeleitet und auf einer Dammseite, insbesondere der Wasserseite, und/oder auf der Dammkrone an Meßstellen wieder aufgefangen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 zum Untersuchen des Untergrunds von Erd- und Gesteinsdämmen, dadurch gekennzeichnet, daß von der Erdoberfläche, benachbart der einen Dammseite, aus oder von im Damm verlaufenden Kontrollgängen aus vertikale oder schräge Injektionsbohrungen in den Dammgrund

5. Verfahren nach Anspruch 1 zum Orten und Feststellen der Dimensionen unterirdischer Hohlräume, dadurch gekennzeichnet, daß von der Erdoberfläche aus vertikale oder schräg verlaufende Injektionsbohrungen bis in den Bereich des vermuteten Hohlraums, vorzugsweise bis in den Hohlraum hinein, gebohrt und in die Injektionsbohrungen ein Meßgas eingeleitet wird, und daß in der Erdoberfläche im Bereich oberhalb des vermuteten Hohlraums eine Vielzahl von Meßstellen zur Aufnahme des aufsteigenden Meßgases angeordnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1 zum Erkennen tektonischer Untergrundstörungen, insbesondere zum Orten tektonischer Brüche, dadurch gekennzeichnet, daß von der Erdoberfläche aus Meßbohrungen in den Untergrund gebohrt und in die Meßbohrungen Meßgas eingeleitet wird und daß auf der Erdoberfläche im Bereich oberhalb der vermuteten Störungen bzw. Risse eine Vielzahl von Meßstellen zur Aufnahme des aufsteigenden Meßgases vorgesehen ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 6, insbesondere 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß es mehrmal wiederholt wird, wobei auf der Grundlage der Meßergebnisse der jeweils

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

vorhergehenden Verfahrensstufe neue Injektionsbohrungen gebohrt werden.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 4 - 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Injektions- und/oder die Meßbohrungen in ihrem jeweiligen Kopfbereich verrohrt und abdichtet werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßstellen zu einem Meßfeld mit einer einzigen Erfassungsstation vereinigt werden, an welcher eine Auswertung mittels Datenverarbeitung erfolgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßgas Kohlendioxid, gasförmige Kohlenwasserstoffe und/oder aktivierte, insbesondere radioaktiv aktivierte Gase verwendet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 9, dadurch gekennzeichnet, daß unterschiedliche Meßgase verwendet werden, und zwar nacheinander oder an verschiedenen Injektionsstellen.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine Injektionseinrichtung (11, 12) aus rahmen- oder leiterartig miteinander verbundenen Rohren (13, 14), wobei an die horizontalen Rohre (14) über Schlauchleitungen (15) rohrförmige Injektionssonden (17) angeschlossen und die vertikalen Rohre (13) mit einer Meßgasquelle verbunden sind und durch eine Meßeinrichtung (20, 21, 22, 23, 25) aus einer Vielzahl von rohrartigen Meßsonden (20), die über Schläuche (21), Magnetventile (22) und ein gemeinsames Sammelrohr (23) an eine Meßvorrichtung (25) angeschlossen sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Injektionseinrichtungen (11, 12) vorgesehen sind, die vorzugsweise unmittelbar oder über ein Leitergestänge verschiebbar oder ausziehbar miteinander verbunden sind.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Meßeinrichtungen vorgesehen sind, wobei die Meßgeräte (25) an eine gemeinsame Anzeigeelemente und/oder Durckwerke enthaltende Auswertstation angeschlossen sind.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 - 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Injektions- und/oder Meßsonden (17; 20) an ihrem hinteren Ende Abdichtungskegel (17a; 20a) aufweisen.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 - 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Sammelrohre (23) der Meßeinrichtung zusätzlich an einer Vakuumpumpe (24) anschließbar sind.

17. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 4 - 7, gekennzeichnet durch eine Vielzahl von rohrförmigen Flach-Meßsonden (37, 43) mit Abdichtungskegeln (37a), die in vorgefertigte Oberflächenbohrungen einsteckbar und über Schlauchleitungen mit einer gemeinsamen Meß- und Anzeigestation verbunden sind.

18. Verfahren nach Anspruch 1,

gekennzeichnet durch seine Anwendung zur Untersuchung von Kunstbauten aus nur teilbereichsweise gasdurchlässigen Baustoffen, wie Betonbauten mit Korrosionsbereichen und/oder Rißsystemen.

## Claims

1. Process for investigating the structure and permeability of soil- and rock areas by means of gases, whereby a measuring gas is introduced into the investigation area at at least one injection point (11, 33, 36, 42) and after penetrating the investigation area or a part of the same is collected again at several measurement points and is measured, and hence the structure and permeability of the investigation area are determined from the time which the measuring gas requires for penetrating the investigation area and from the concentration of the collected measuring gas, characterised in that the measuring gas is collected by means of flat measuring probes (20, 37, 43) fitted into the surface area and distributed surface-wise.

2. Process according to claim 1 for investigating soil and rock dams, in particular for determining and locating fissures, characterised in that the measuring gas is introduced at several points into the dam embankment on one dam side, in particular the air side, and is collected again at measuring points on the same or the opposite dam side, in particular the water side, and/or on the dam crest.

3. Process according to claim 1 for investigating soil and rock dams with control passages and/or control bores, in particular for determining and locating fissures, characterised in that the measuring gas is introduced at several points into the dam embankment from a control passage and/or from control bores, and is again collected at measuring points on one dam side, in particular the water side, and/or on the dam crest.

4. Process according to claim 1 for investigating the subsoil of soil- and rock dams, characterised in that vertical or slanting injection bores are bored into the dam base from the soil surface, adjacent to one dam side, or from control passages extending in the dam, and then a measuring gas is introduced into the injection bores, and in that vertical or slanting measuring bores for receiving the measuring gas penetrating the dam subsoil are bored into the ground from the soil surface, in particular of the other dam side, preferably the air side.

5. Process according to claim 1 for locating and determining the dimensions of underground cavities, characterised in that vertical or slanting injection bores are bored from the soil surface into the area of the supposed cavity, preferably right into the cavity, and a measuring gas is introduced into the injection bores, and in that in the soil surface in the area above the supposed cavity there is arranged a plurality of measuring

points for receiving the rising measuring gas.

6. Process according to claim 1 for detecting tectonic underground disturbances, in particular for locating tectonic fractures, characterised in that measuring bores are bored into the subsoil from the soil surface, and measuring gas is introduced into the measuring bores, and in that on the soil surface in the area above the supposed disturbances or fractures there is provided a plurality of measuring points for receiving the rising measuring gas.

7. Process according to one of claims 1 to 6, especially 5 or 6, characterised in that it is repeated several times whereby new injection bores are bored on the basis of the measurement results of the respective preceding process step.

8. Process according to claims 4 to 7, characterised in that the injection- and/or the measuring bores are cased and sealed in their respective head area.

9. Process according to one of claims 1 to 7, characterised in that measuring points are combined to form a measuring field with one single detection station at which evaluation can be carried out by means of data processing.

10. Process according to one of claims 1 to 9, characterised in that carbon dioxide, gaseous hydrocarbons and/or activated, especially radioactively activated, gases are used.

11. Process according to one of claims 1 to 9, characterised in that different measuring gases are used, one after the other or at different injection points.

12. Device for carrying out the process according to claim 2, characterised by an injection device (11, 12) of pipes (13, 14) joined together like a frame or ladder, wherein tubular injection probes (17) are attached to the horizontal pipes (14) by means of hose assemblies (15), and the vertical pipes (13) are connected to a measuring gas source, and by a measurement device (20, 21, 22, 23, 25) from a plurality of tubular measuring probes (20) which are attached to a measurement device (25) by means of flexible tubes (21), solenoid valves (22) and a common collating tube (23).

13. Device according to claim 12, characterised in that several injection devices (11, 12) are provided which are movably or slidably joined together preferably directly or by means of ladder rods.

14. Device according to claim 12 or 13, characterised in that several measurement devices are provided wherein the measuring apparatus (25) is connected to a common display element and/or evaluation station containing printing units.

15. Device according to one of claims 12 to 14, characterised in that the injection- and/or measurement probes (17; 20) have a sealing cone (17a; 20a) at their rear end.

16. Device according to one of claims 12 to 15, characterised in that the collecting pipes (23) of the measurement device can additionally be connected to a vacuum pump (24).

17. Device for carrying out the process according to one of claims 4 - 7, characterised by a plurality of tubular flat-measuring probes (37, 43) with sealing cones (37a), which can be plugged into prefabricated surface bores and are connected by means of hose assemblies to a common measurement and display station.

18. Process according to claim 1, characterised by its application in the investigation of man-made structures of construction materials that are gas-permeable only in parts, like concrete structures with corrosion areas and/or cracking systems.

## Revendications

1. Procédé pour l'étude de la structure et de la perméabilité de formations terrestres et rocheuses au moyen de gaz, un gaz de mesure étant envoyé dans la formation explorée en un point d'injection (11, 33, 36, 42) au moins et, après avoir traversé la formation explorée ou une région partielle de celle-ci, étant capté et mesuré en plusieurs points de mesure, la structure et la perméabilité de la formation explorée étant déterminées à partir du temps que le gaz de mesure a pris pour traverser la formation explorée et à partir de la concentration du gaz de mesure capté, caractérisé en ce que le gaz de mesure est capté au moyen de sondes de mesure de surface (20, 37, 43) distribuées selon deux dimensions et introduites dans la région de la surface.

2. Procédé selon la revendication 1 pour la surveillance de digues de terre et de pierres, en particulier pour la détection et la localisation de fissures, caractérisé en ce que le gaz de mesure est introduit d'un côté de la digue, en particulier du côté aval, en plusieurs points dans le corps de la digue, et est recapté en des points de mesure du même côté ou du côté opposé de la digue, en particulier du côté amont, et/ou sur le couronnement de la digue.

3. Procédé selon la revendication 1 pour la surveillance de digues de terre et de pierres dans lesquelles sont formés des galeries de contrôle et/ou des trous de sondage de contrôle, en particulier pour la détection et la localisation de fissures, caractérisé en ce que le gaz de mesure est introduit dans le corps de la digue en plusieurs points à partir d'une galerie de contrôle et/ou de trous de sondage de contrôle, et est recapté sur un côté de la digue, en particulier sur le côté amont, et/ou sur le couronnement de la digue en des points de mesure.

4. Procédé selon la revendication 1 pour l'étude du substratum de digues de terre et de pierres, caractérisé en ce qu'à partir de la surface de la terre, au voisinage de l'un des flancs de la digue ou à partir de galeries de contrôle qui s'étendent dans la digue, des forures d'injection verticales ou obliques sont formées dans la base de la digue, puis un gaz de mesure est introduit dans

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

les forures d'injection, et en ce qu'à partir de la surface de la terre, en particulier de l'autre côté de la digue, de préférence du côté aval, des forures de mesure verticales ou obliques sont pratiquées dans le sol pour capter le gaz de mesure qui a traversé le substratum de la digue.

5. Procédé selon la revendication 1 pour la localisation et la détermination des dimensions de cavités souterraines, caractérisé en ce qu'à partir de la surface de la terre, des forures d'injection s'étendant verticalement ou obliquement sont pratiquées jusque dans la région de la cavité présumée, de préférence jusque dans la cavité et un gaz de mesure est introduit dans les forures d'injection, et en ce qu'il est disposé dans la surface de la terre, dans la région située au-dessus de la cavité présumée, une multiplicité de points de mesure pour capter le gaz de mesure qui remonte.

6. Procédé selon la revendication 1 pour l'exploration de perturbations tectoniques du sous-sol, en particulier pour la localisation de fractures tectoniques, caractérisé en ce qu'à partir de la surface de la terre, des forures de mesure sont pratiquées dans le sous-sol et un gaz de mesure est introduit dans les forures de mesure, et en ce qu'il est prévu, sur la surface de la terre, dans la région située au-dessus des perturbations ou fissures présumées, une multiplicité de points de mesure pour capter le gaz de mesure qui remonte.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, en particulier 5 ou 6, caractérisé en ce qu'il est répété plusieurs fois, de nouvelles forures d'injection étant pratiquées sur la base des résultats de mesure des phases opératoires respectivement précédentes.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé en ce que les forures d'injection et/ou de mesure sont tubées et rendues étanches dans leur partie supérieure.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les points de mesure sont réunis en un panneau de mesure avec un unique poste de détection, au niveau duquel est effectuée une évaluation au moyen de traitement des données.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'on utilise, comme gaz de mesure, l'anhydride carbonique, des hydrocarbures gazeux et/ou des gaz activés, en particulier activés radioactivement.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que différents gaz de mesure sont utilisés, successivement ou en différents points d'injection.

12. Dispositif pour l'exécution du procédé selon la revendication 2, caractérisé par un dispositif d'injection (11, 12) formé de tubes (13, 14) assemblés en forme de cadre ou d'échelle, des sondes d'injection tubulaires (17) étant raccordées aux tubes horizontaux (14) par des conduites flexibles (15) et les tubes verticaux (13) étant reliés à une source de gaz de mesure, ainsi

que par un dispositif de mesure (20, 21, 22, 23, 25) formé d'une multiplicité de sondes de mesure tubulaires (20) qui sont raccordées à un dispositif de mesure (25) par l'intermédiaire de tuyaux flexibles (21), de soupapes électromagnétiques (22) et d'un tuyau collecteur commun (23).

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il est prévu plusieurs dispositifs d'injection (11, 12) qui sont de préférence reliés entre eux, directement ou par l'intermédiaire d'un système de barres d'échelle, de manière à pouvoir être déplacés ou déployés télescopiquement.

14. Dispositif selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il est prévu plusieurs dispositifs de mesure, les appareils de mesure (25) étant raccordés à un poste d'évaluation commun qui contient des éléments d'affichage et/ou des imprimantes.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, caractérisé en ce que les sondes d'injection et/ou de mesure (17; 20) comportent des cônes d'étanchéité (17a; 20a) à leur extrémité arrière.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 12 à 15, caractérisé en ce que les tubes collecteurs (23) du dispositif de mesure peuvent être raccordés en outre à une pompe à vide (24).

17. Dispositif pour l'exécution du procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisé par une multiplicité de sondes de mesure de surface tubulaires (37, 43) munies de cônes d'étanchéité (37a), qui peuvent être enfoncées dans des forures de la surface pratiquées à l'avance et qui sont raccordées par des conduites flexibles à un poste commun de mesure et d'affichage.

18. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par son application à l'inspection d'ouvrages d'art faits de matériaux qui ne sont perméables aux gaz que dans des régions partielles, notamment des constructions en béton présentant des zones de corrosion et/ou des systèmes de fissures.

FIG. 1

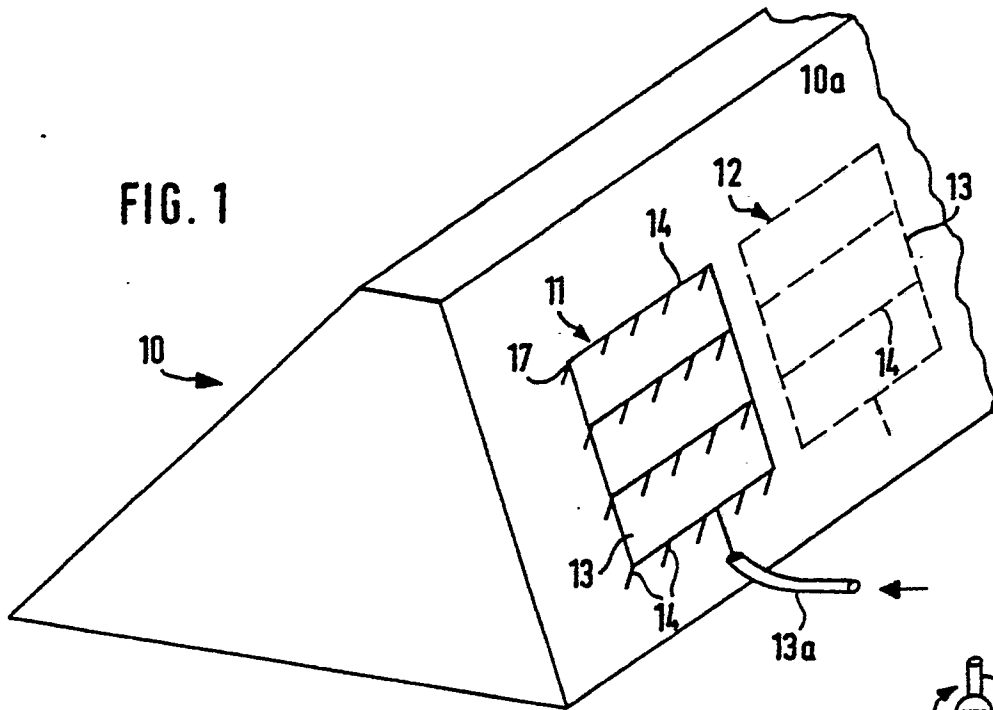


FIG. 1A

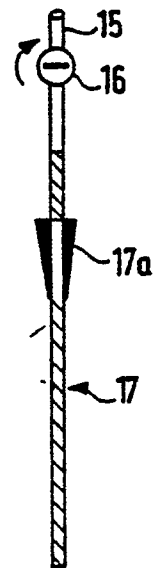
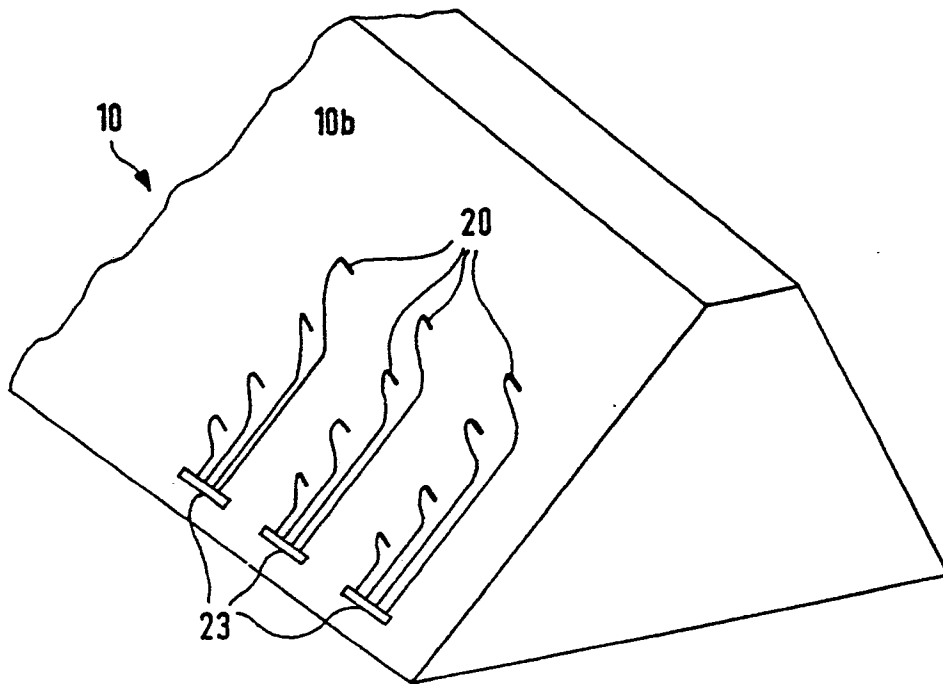


FIG. 2



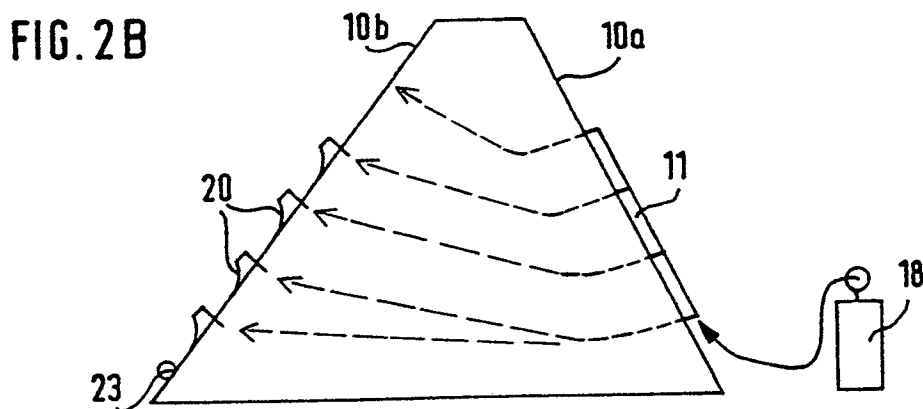
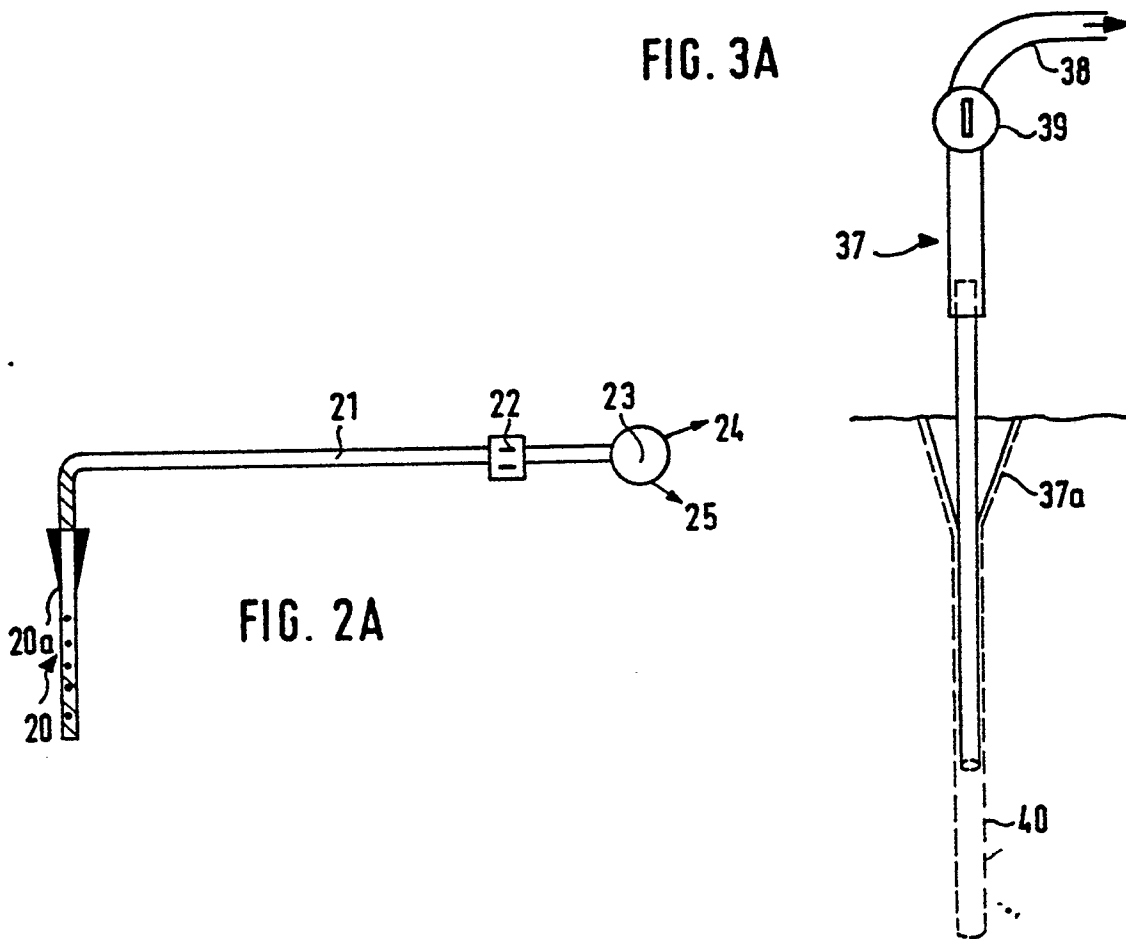
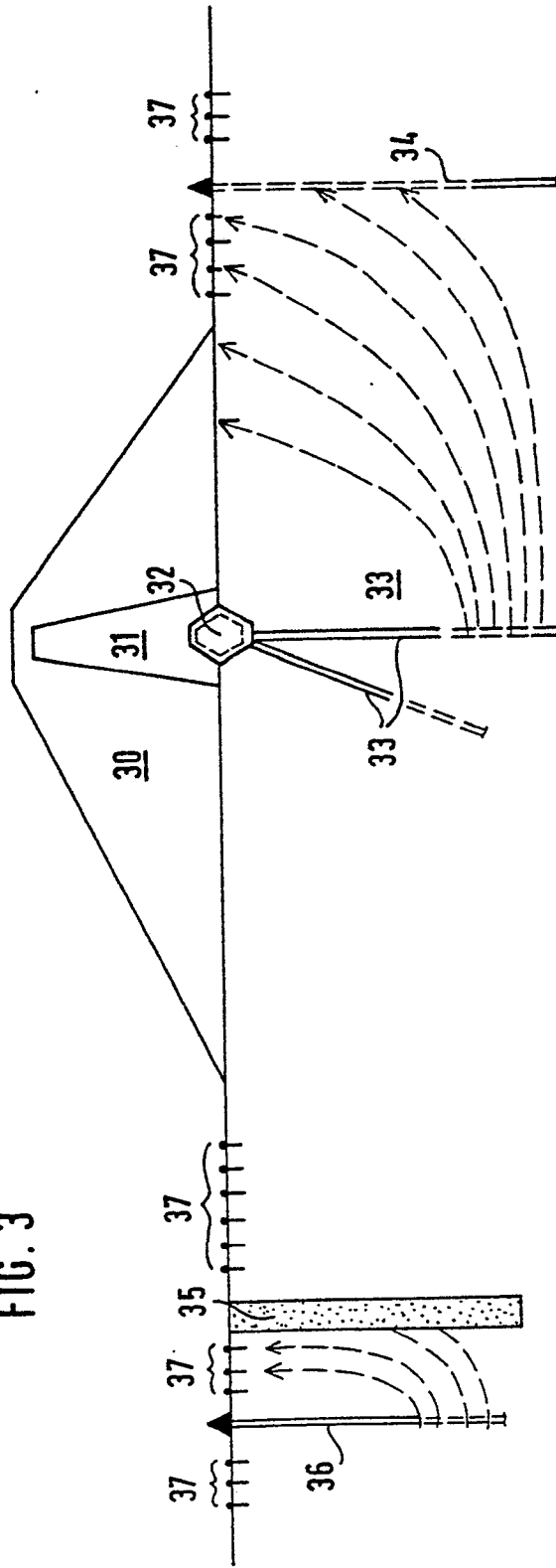


FIG. 3



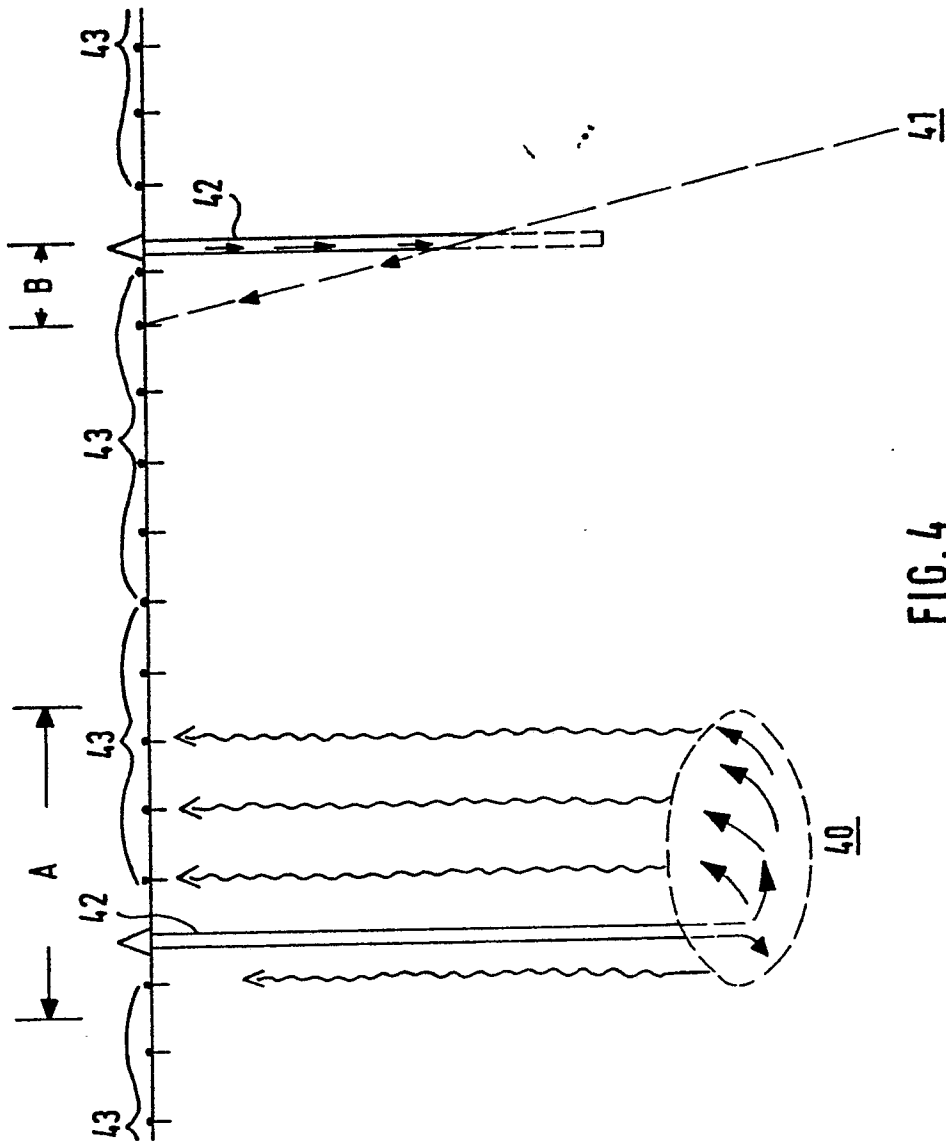


FIG. 4