

⑫

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑰ Anmeldenummer: 82109653.4

⑸ Int. Cl.³: **E 02 D 1/08, E 21 B 47/10**

⑱ Anmeldetag: 19.10.82

④ Veröffentlichungstag der Anmeldung: 25.04.84
Patentblatt 84/17

⑦ Anmelder: **KOHLensäURE-WERKE RUDOLF BUSE SOHN GMBH & CO., Sprudelstrasse Postfach 0241, D-5462 Bad Honningen (DE)**

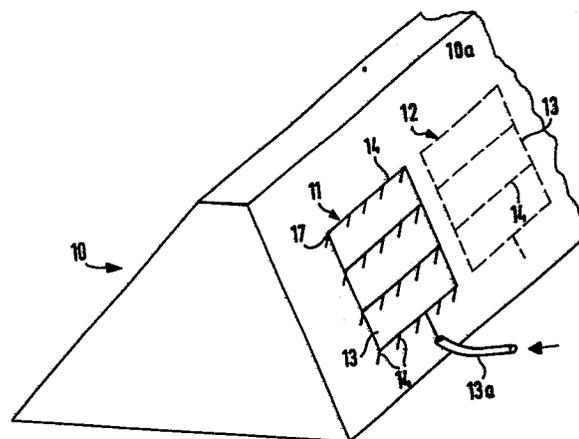
⑦ Erfinder: **Ernst, Werner, Prof. Dr., Leutrumstrasse 9, D-7400 Tübingen 3-Kilchberg (DE)**

⑧ Benannte Vertragsstaaten: **AT BE CH DE FR GB IT LI NL**

⑦ Vertreter: **Patentanwälte Dipl.-Ing. Klaus Behn Dipl.-Phys. Robert Münzhuber, Widenmayerstrasse 6/IV, D-8000 München 22 (DE)**

⑤ **Verfahren und Vorrichtung zum Untersuchen der Struktur und der Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen.**

⑤ Es wird ein Verfahren geschaffen, mit dessen Hilfe Struktur und Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen untersucht werden können. Das Verfahren besteht darin, dass ein Messgas in den Untersuchungsbereich eingeleitet und das Messgas nach Durchdringen des Untersuchungsbereiches an mehreren Stellen wieder aufgefangen und gemessen wird, wobei dann aus den Messdaten der verschiedenen Messstellen auf die Struktur und die Durchlässigkeit des Untersuchungsbereiches geschlossen werden kann. Das Verfahren ist insbesondere zur Überprüfung von Dämmen und zur Ortung von unterirdischen Hohlräumen und tektonischen Störungen geeignet. Ausserdem werden Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens offenbart.



VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM UNTERSUCHEN DER STRUKTUR UND DER DURCHLÄSSIGKEIT VON ERD- UND GESTEINSBEREICHEN

Die Erfindung betrifft die Untersuchung der Struktur und Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen und schafft Verfahren und Vorrichtungen zum Durchführen solcher Untersuchungen.

Durch Versuche über die horizontale Ausbreitung von Erdgasen in Leitungsgräben ist es bekannt, daß die Länge der Ausbreitungszone in der Grabenachse von der Durchlässigkeit und Feuchte der Boden- oder Erdschichten abhängig ist. Weiterhin ist es aus der DE-OS 2 705 584 bekannt, daß auch 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 Rohölleitungen genützt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es nun, auf der Grundlage des Diffundierens von Gasen durch Erde und Gestein ein Verfahren und Vorrichtungen 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 hergestellter Sperrschichten zu kontrollieren, unterirdische Hohlräume 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 ist im Hauptanspruch gekennzeichnet. Erfindungsgemäß werden also durch die zu untersuchenden Bereiche oder Schichten Meßgase hindurchgeleitet und anschließend an verschiedenen 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 ein/Ausführungsbeispiel der Untersuchung eines 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 Ausbreitungszone in der Grabenachse von der Durchlässigkeit und Feuchte der Boden- oder 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, dammerhält 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 Ribbildungen 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 CO_2 mit dem Sickerwasser eine Verbindung (H_2CO_3) eingeht und damit die Löslichkeit von kalkigen und mergenartigen Dammaterialien erhöht, ist infolge der geringen Verweilzeit der Gase im Dammkörper und der geringen Neigung des CO_2 , mit Wasser Kohlensäure zu bilden, vernachlässigbar. Selbstverständlich können aber auch andere Gase, bei-

spielsweise Methan, Propan, SO_4 oder aktivierte Gase eingesetzt werden, vorausgesetzt, daß sie keine hohe Reaktionsfähigkeit oder Löslichkeit bezüglich Wasser und Dammaterial 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 (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 Plastikschläuche 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 Ver-

längerung 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, Kohlendioxid-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 Damms 10, im allgemeinen die Wasserseite des Damms, 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_2 , 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 spiralg 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 CO₂, 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 wer-

den. 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 70m, 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 Dich-

tungskörper 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. Von der 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 Vorrichtungsstrecken 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 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

1. Verfahren zum Untersuchen der Struktur und der Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen, dadurch gekennzeichnet, daß 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.
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 der 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

gebohrt und in die Injektionsbohrungen dann ein Meßgas eingeleitet wird, und daß von der Erdoberfläche, insbesondere der anderen Dammseite, vorzugsweise der Luftseite, aus in den Erdboden vertikale oder schräge Meßbohrungen zur Aufnahme des den Dammuntergrund durchdringenden Meßgases gebohrt werden.

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 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 abgedichtet werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1- 7, dadurch ge-

kennzeichnet, 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, da-

durch 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.

DIPL.-ING. KLAUS BEHN
DIPL.-PHYS. ROBERT MÜNZHUBER
PATENTANWÄLTE

0105967

WIDENMAYERSTRASSE 6, D-8000 MÜNCHEN 22

TELEFON: (089) 22 25 30 / 29 51 92 · TELEX: 5 29 568 bemue d
TELEGR./CABLE: PATENTSENIOR · FAX: (089) 29 63 03 II+III autom.

BEIM EUROPÄISCHEN PATENTAMT ZUGELASSENE VERTRETER

Kohlensäure-Werke
R. Buse Sohn GmbH

11. Oktober 1983

82 10 96 53.4

A 12782

(Neuer) Hauptanspruch

**ABGEÄNDERTER
ANSPRUCH**

1. Verfahren zum Untersuchen der Struktur und der Durchlässigkeit von Erd- und Gesteinsbereichen mittels Gasen, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest an einer Injektionsstelle ein Meßgas in den Untersuchungsbereich eingeleitet und nach Durchdringen des Untersuchungsbereiches oder eines Teilbereiches desselben an mehreren, flächenhaft verteilten Meßstellen wieder auffangen 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.

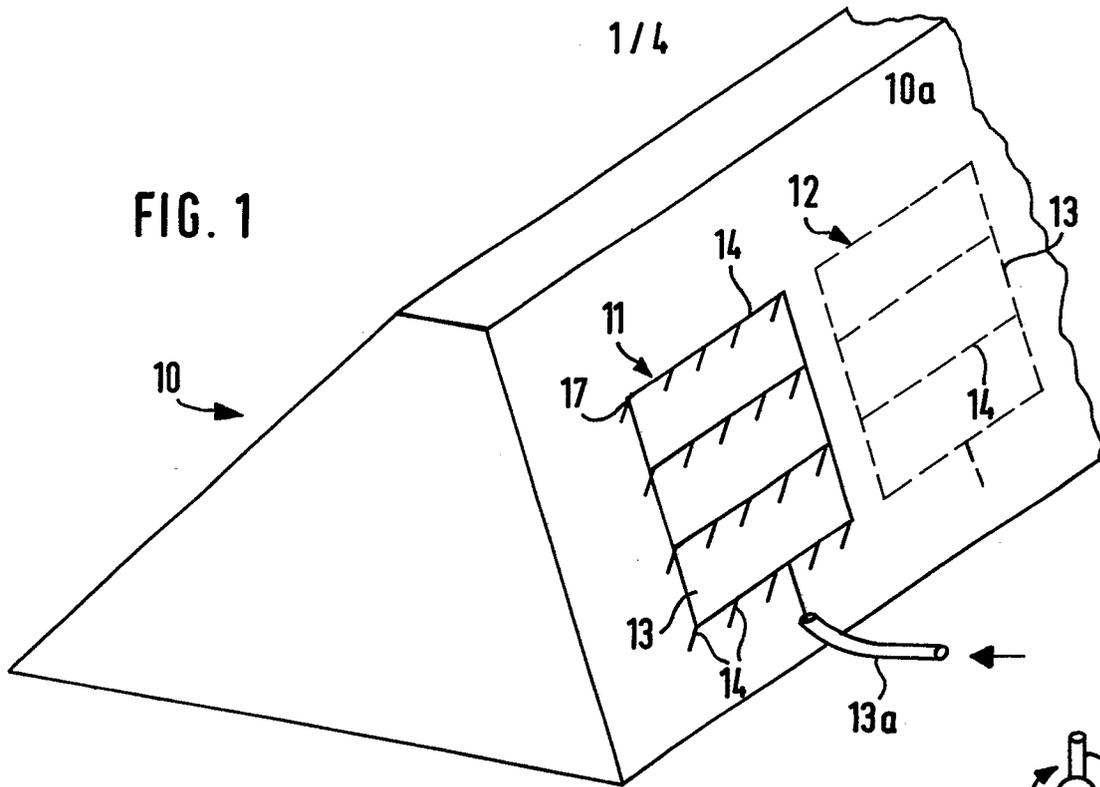


FIG. 1

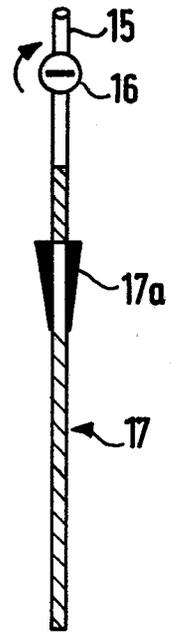


FIG. 1A

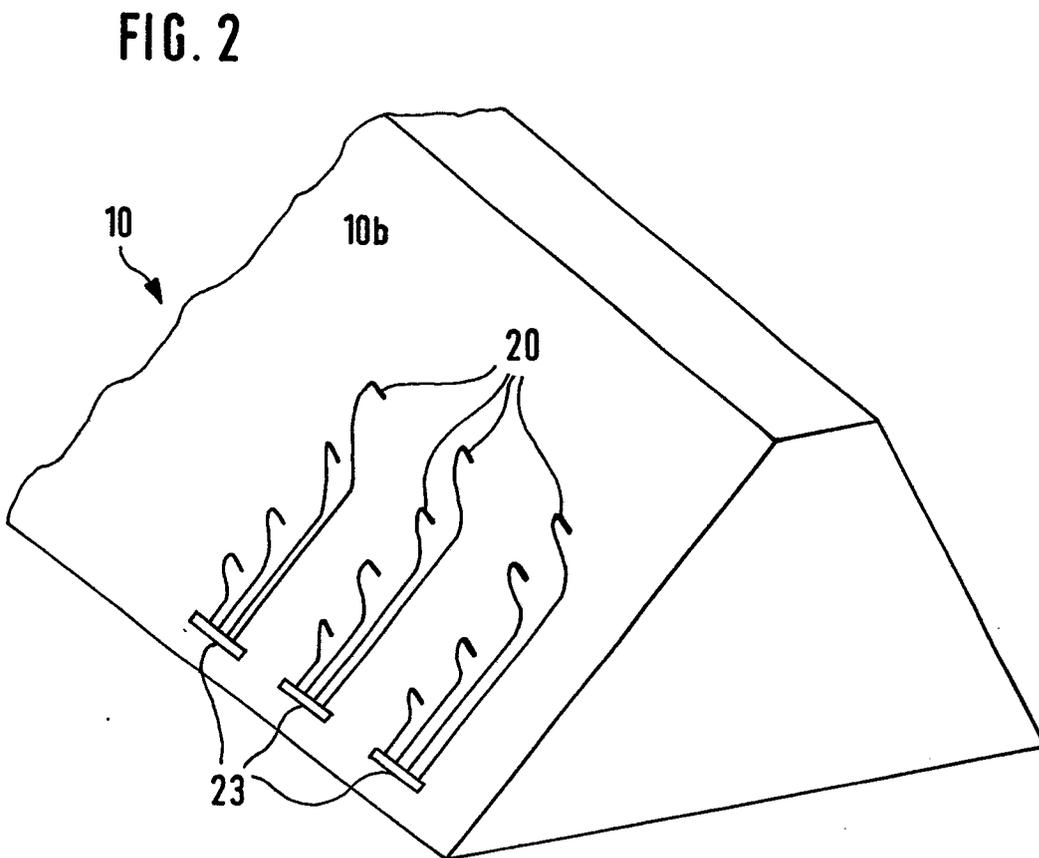


FIG. 2

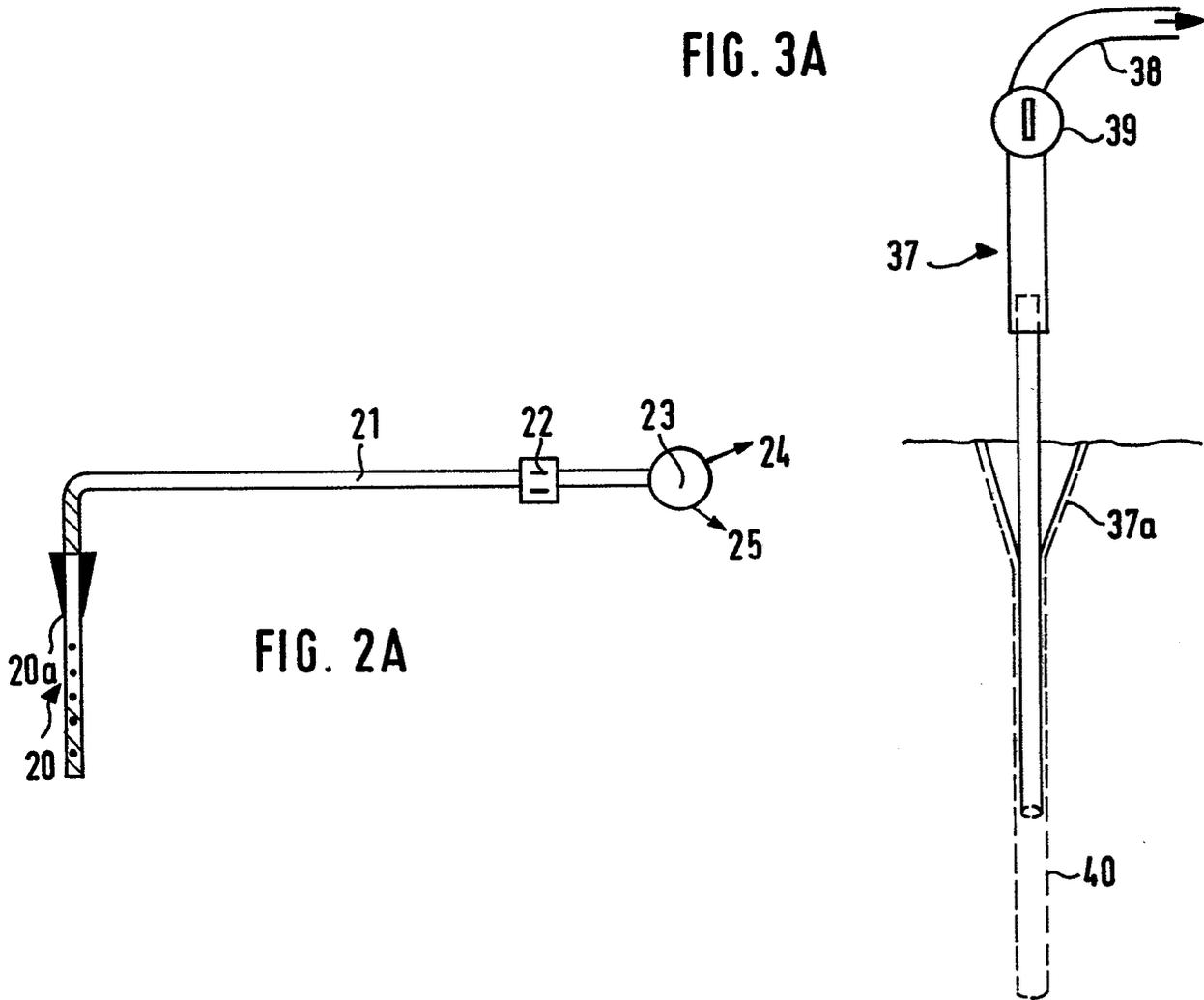


FIG. 2B

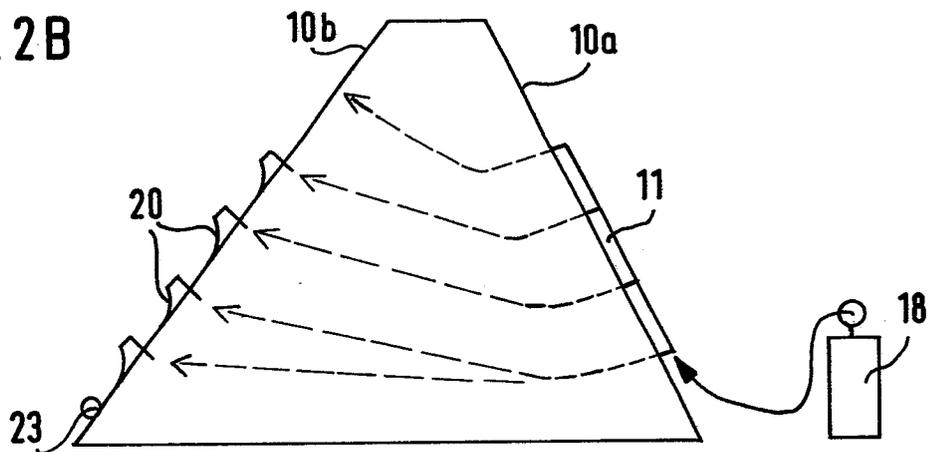
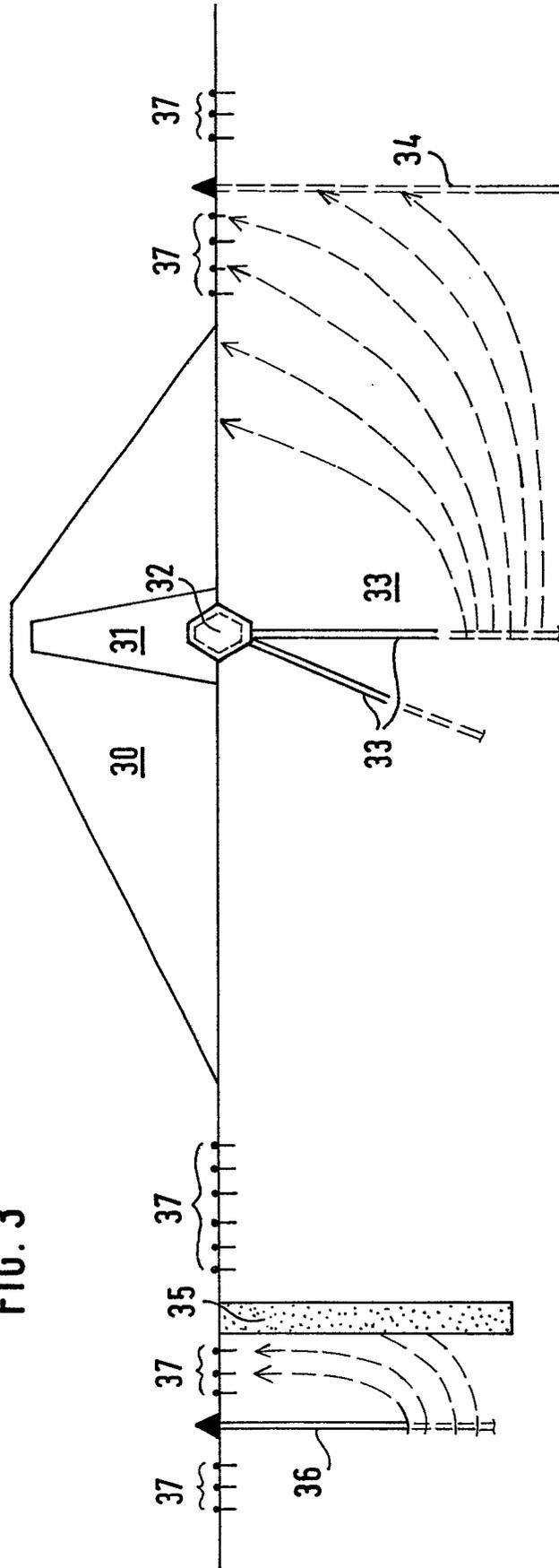


FIG. 3



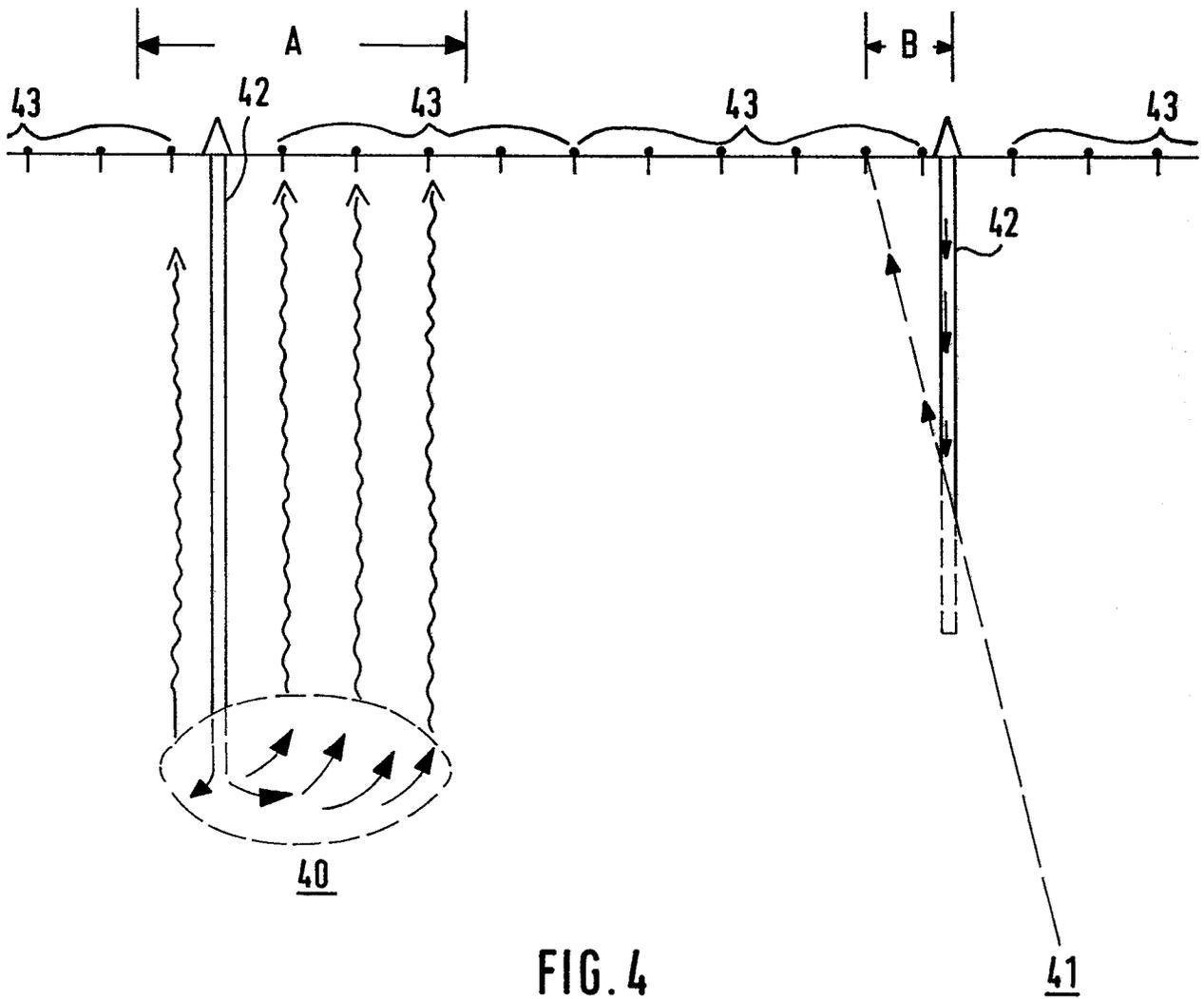


FIG. 4

41



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0105967

Nummer der Anmeldung

EP 82 10 9653

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. ³)
X	US-A-2 589 219 (BOND) * Spalte 1, Zeilen 38-47; Spalte 3, Zeilen 48-55; Spalte 4, Zeilen 57-67 *	1	E 02 D 1/08 E 21 B 47/10
A	--- US-A-2 429 577 (FRENCH) * Spalte 1, Zeilen 1-7; Spalte 2, Zeilen 12-27, 36-39, 46-55; Spalte 3, Zeilen 14-22; Spalte 4, Zeilen 34-42; Figuren 1,2,3 *	1,8,10	
A	--- US-A-3 381 523 (NETTLES) * Spalte 1, Zeilen 39-43; Spalte 3, Zeilen 28-40; Figuren *	1,10	
A	--- US-A-3 010 023 (EGAN) -----		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. ³)
			E 02 D E 21 B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 22-06-1983	Prüfer RUYMBEKE L.G.M.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	