

SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) CH

706 301 B1

(19)

(51) Int. Cl.: **E21B** 43/26 (2006.01)
E21B 43/17 (2006.01)
F24J 3/08 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00389/12

(22) Anmeldedatum: 20.03.2012

(43) Anmeldung veröffentlicht: 30.09.2013

(24) Patent erteilt: 30.11.2015

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.11.2015

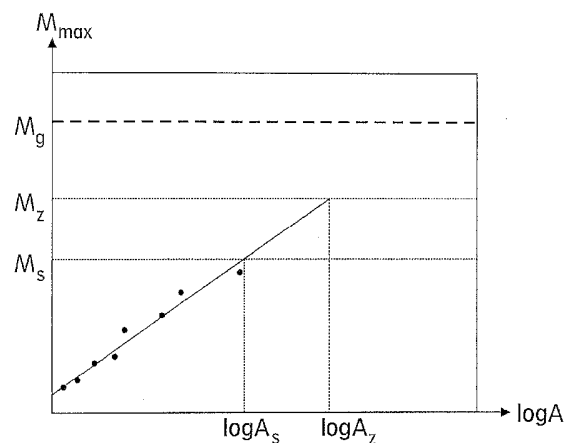
(73) Inhaber:
Geo-Energie Suisse AG, Steinentorberg 26
4051 Basel (CH)

(72) Erfinder:
Dr. Peter Martin Meier, 8057 Zürich (CH)

(74) Vertreter:
Wagner Patent AG, Bächerstrasse 9
8832 Wollerau (CH)

(54) Verfahren zur Herstellung einer Anlage zur Extraktion von Wärme aus einer Gesteinsformation.

(57) Bei Herstellung einer Anlage zur Extraktion von Wärme aus einer Gesteinsformation wird nach Absenken einer Injektionsbohrung eine Teststimulation durchgeführt, bei der eine Kluftzone mit einer Austauschfläche (A) angelegt, deren Fläche eine Sicherheitsgrenze (A_s) nicht überschreitet. Dabei wird ein etwa linearer Zusammenhang zwischen dem Logarithmus der zunehmenden Austauschfläche (A) und der jeweils bis dahin aufgetretenen maximalen Magnitude ($M_{\max}$) induzierter seismischer Erschütterungen ermittelt. Dieser wird der folgenden Anlage von Produktionskluftzonen zugrunde gelegt, indem deren Austauschfläche (A) jeweils durch eine Zulässigkeitsgrenze (A_z) begrenzt wird, bei welcher der besagte lineare Zusammenhang auf eine vorher festgelegte zulässige Magnitude (M_z) führt. Dadurch können Erschütterungen an der Erdoberfläche, die über einem zulässigen Grenzwert liegen, zuverlässig ausgeschlossen werden. Die zulässige Magnitude (M_z) liegt um einen Sicherheitsfaktor unterhalb einer Grenzmagnitude (M_g), bei der Schäden an Gebäuden sicher ausgeschlossen werden können.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Anlage zur Extraktion von Wärme aus einer unter der Erdoberfläche liegenden Gesteinsformation. Bei derartigen Anlagen wird kaltes Wasser von der Erdoberfläche aus in eine heisse Gesteinsformation eingeleitet, dort aufgeheizt und wieder an die Erdoberfläche zurückgeleitet. Das aufgeheizte Wasser kann zur Stromerzeugung oder zum Heizen von Gebäuden oder beidem eingesetzt werden.

Stand der Technik

[0002] Ein gattungsgemässes Verfahren ist aus US 4 223 729 A bekannt. Ähnliche Verfahren sind in US 3 878 884 A und US 3 786 858 A beschrieben. US 7 320 221 B2 zeigt ein weiteres ähnliches Verfahren sowie eine entsprechende Anlage mit einem Kraftwerk.

[0003] Es hat sich gezeigt, dass bei der Herstellung von Klüftzonen derartiger Anlagen, vor allem in kristallinem Gestein, seismische Erschütterungen auftreten, welche durchaus ein kritisches Ausmass annehmen und etwa zu Schäden an Gebäuden führen können. Dies ist ein gravierendes Problem, vor allem in Fällen, wo eine solche Anlage in der Nähe eines bewohnten Gebiets hergestellt werden soll, was sich wegen der Möglichkeit, aus der Gesteinsformation extrahierte Wärme auch zum Heizen zu nutzen, an sich empfiehlt.

Darstellung der Erfindung

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemässes Verfahren anzugeben, bei welchem keine durch induzierte seismische Erschütterungen verursachten Schäden auftreten. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 gelöst.

[0005] Beim erfindungsgemässen Verfahren wird die Grösse der Austauschflächen der einzelnen Produktionsklüftzonen auf eine tolerierbare Fläche beschränkt, derart, dass bei der Erzeugung der Produktionsklüftzone keine seismischen Störungen auftreten, die eine tolerierbare Magnitude überschreiten. Diese kann so festgelegt werden, dass sie um einen Sicherheitsfaktor unter einer Zulässigkeitsgrenze liegt, bei der gerade noch keine Schäden zu befürchten sind. Das erfindungsgemässe Verfahren erlaubt es mithin, Schäden sicher auszuschliessen und dabei dennoch verhältnismässig grosse Austauschflächen der einzelnen Produktionsklüftzonen zuzulassen, d.h. mit denselben nahe an einen Grenzwert zu gehen, wie es aus ökonomischen Gründen erwünscht ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0006] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 schematisch eine Anlage zur Extraktion von Erdwärme aus einer Gesteinsformation mit einem Kraftwerk und

Fig. 2 einen Graphen, der die Abhängigkeit der maximalen Magnitude der bei der Erzeugung einer Klüftzone ausgelösten seismischen Ereignisse vom Logarithmus der Grösse der Austauschfläche der Klüftzone darstellt.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0007] Die in Fig. 1 gezeigte Anlage weist eine Injektionsbohrung 1 und eine Produktionsbohrung 2 auf, welche sich beide etwa senkrecht, ausgehend von der Erdoberfläche 3, in eine Gesteinsformation 4 erstrecken, welche in einigen Kilometern Tiefe liegt und z.B. eine Temperatur von ca. 120 °C oder mehr aufweisen kann. Die Injektionsbohrung 1 und die Produktionsbohrung 2 sind also parallel zueinander und in der Regel um einige hundert Meter, z.B. zwischen 200 m und 800 m, voneinander beabstandet. Von der Injektionsbohrung 1 geht eine Zuleitungsbohrung 5 aus, welche zur Senkrechten geneigt ist und z.B. waagrecht sein kann. Sie kann, je nach den Materialeigenschaften der Gesteinsformation 4, verrohrt und stellenweise perforiert sein, oder auch nicht. Von der Produktionsbohrung 2 zweigt eine Ableitungsbohrung 6 ab, welche zur Zuleitungsbohrung 5 parallel ist und vorzugsweise etwas höher liegt. Es ist auch möglich, mehrere auf verschiedenen Höhen von der Injektionsbohrung abzweigende Zuleitungsbohrungen und entsprechende von der Produktionsbohrung abzweigende Ableitungsbohrungen anzulegen, oder pro Zuleitungsbohrung mehrere Ableitungsbohrungen vorzusehen. Es kann aber auch eine Gruppe von mehreren nahe beieinander liegenden Injektionsbohrungen mit jeweils einer Zuleitungsbohrung und/oder eine derartige Gruppe von Produktionsbohrungen mit jeweils einer Ableitungsbohrung angelegt werden.

[0008] Die Zuleitungsbohrung 5 und die Ableitungsbohrung 6 sind durch eine Anzahl von flachen Produktionsklüftzonen 7 verbunden, welche ungefähr kreisförmig oder elliptisch sind und deren Randzonen sie schneiden. Die Produktionsklüftzonen 7 folgen in Längsrichtung der Zuleitungsbohrung 5 und der Ableitungsbohrung 6 in einem Abstand von z.B. 25 m aufeinander, wobei ihr Abstand von ihrer seitlichen Ausdehnung abhängt. Ihre Zahl kann z.B. zwischen 10 und 40 betragen. Damit die Zuleitungsbohrung 5 und die Ableitungsbohrung 6 die Produktionsklüftzonen 7 etwa unter einem rechten Winkel schneiden, sind sie so ausgerichtet, dass sie ungefähr normal auf einer Ebene stehen, in der sich Brüche in der

Gesteinsformation 4 vorzugsweise ausbilden. Diese Ebene ist in der Regel im Wesentlichen senkrecht und ihre Ausrichtung ist über die Gesteinsformation 4 auch sonst einigermaßen konstant.

[0009] Im Betrieb wird an der Erdoberfläche 3 in die Injektionsbohrung 1 gepumptes kaltes Wasser durch die Zuleitungsbohrung 5 auf die einzelnen Produktionskluftzonen 7 verteilt. Dort wird es aufgeheizt durch die Ableitungsbohrung 6 und die Produktionsbohrung 2 zurück an die Erdoberfläche 3 gepumpt.

[0010] Jede Produktionskluftzone 7 bildet eine Austauschfläche einer bestimmten Grösse, welche aus den Grenzflächen vieler kleinerer Spalten besteht, die ein Netz in der Gesteinsformation 4 bilden. Wenn das Wasser durch die Produktionskluftzone 7 fließt, nimmt es durch thermischen Kontakt mit der Austauschfläche Wärme auf, sodass es sich allmählich annähernd auf die Temperatur der Gesteinsformation 4 erwärmt. Die Grösse der Austauschfläche ist, neben der Temperatur der Gesteinsformation 4, massgebend dafür, wie viel Wärmeleistung aus der Produktionskluftzone 7 jeweils gewonnen werden kann.

[0011] Die Wasserdurchlässigkeit der Produktionskluftzone muss in einem bestimmten Rahmen liegen. Ist sie zu hoch, entsteht ein thermischer Kurzschluss, die Durchflussrate ist zu gross und das Wasser nimmt zu wenig Wärme auf. Ausserdem wird die Durchflussrate der übrigen Produktionskluftzonen beeinträchtigt. Bei zu geringer Durchflussrate in einer Produktionskluftzone, sei es wegen zu geringer Wasserdurchlässigkeit derselben oder zu hoher Durchlässigkeit einer parallelen Produktionskluftzone, kann nicht genug Wärme abtransportiert werden.

[0012] Durch die ziemlich grosse Zahl paralleler Produktionskluftzonen 7 ist eine sehr grosse Zahl von Fließwegen vorhanden, was eine ökonomische Betriebsweise der Anlage ermöglicht. Es ist so auch ohne grossen Verlust möglich, eine Produktionskluftzone, die einen zu geringen Strömungswiderstand aufweist, durch Einpressen von Zement oder eines anderen spaltenfüllenden Mediums zu versiegeln, wie dies in Fig. 1 anhand der versiegelten Produktionskluftzone 12 gezeigt ist.

[0013] An der Erdoberfläche 3 wird die aufgenommene, im heissen Wasser gespeicherte Wärme in einem Wärmetauscher mindestens z.T. an einen Sekundärkreis abgegeben, wobei es sich abkühlt. Anschliessend wird es in die Injektionsbohrung 1 zurückgeleitet, sodass im Wesentlichen ein geschlossener Kreislauf vorliegt. Die im Sekundärkreis zirkulierende Flüssigkeit wird durch die Wärmeaufnahme verdampft und in einem in der Nähe der Produktionsbohrung 2 liegenden Kraftwerk 8 zum Antrieb einer Turbine zur Stromerzeugung verwendet. Alternativ oder zusätzlich kann das erhitzte Wasser auch Wärme für einen Endverbraucher liefern, z.B. zu Heizzwecken.

[0014] Die Anlage umfasst ausserdem ein Überwachungsnetz, das eine Vielzahl von Messstationen 9 mit jeweils einem Seismometer oder Geophon umfasst. Ein grosser Teil davon ist über die Erdoberfläche 3 oberhalb der Gesteinsformation 4 verteilt, weitere sind in einem senkrechten Bohrloch 10 oder auch mehreren solchen Bohrlöchern angeordnet. Die Messstationen 9 sind mit einer Recheneinheit 11 verbunden, an welche die von ihnen ermittelten Daten in Echtzeit übertragen werden.

[0015] Das Überwachungsnetz wird für die Herstellung der Anlage benötigt und daher zuerst installiert, nachdem allfällig dazu nötige Bohrungen wie das Bohrloch 10 angelegt wurden, und die Messstationen 9 mit der Recheneinheit 11 verbunden. Das Überwachungsnetz soll ermöglichen, seismische Vorgänge im Untergrund mit einer Mindestgenauigkeit von 10 m horizontal und 25 m vertikal zu lokalisieren. Da die Magnitude der seismischen Vorgänge, die beim Anlegen einer Kluftzone auftreten, mit der Grösse der Austauschfläche zunimmt, lässt sich durch Überwachung und Begrenzung der Letzteren auch die besagte Magnitude begrenzen.

[0016] Anschliessend wird die Injektionsbohrung 1 von der Erdoberfläche 3 aus in die Gesteinsformation 4 bis in eine Zieltiefe von z.B. zwischen 4 km und 5 km getrieben. Dann wird eine Probestimulation vorgenommen, bei der durch Anwendung von Druck, z.B. durch Einleiten von Wasser in die Injektionsbohrung 1 unter hohem Druck, eine Probekluftzone 13 angelegt wird. Dabei wird mit einer Teststimulation begonnen, bei der die Austauschfläche so begrenzt wird, dass an der Erdoberfläche 3 sicher keine gefährlichen Erschütterungen auftreten können. Es ist möglich, dass dort überhaupt keine eindeutig auf induzierte seismische Vorgänge zurückführbaren Messwerte festgestellt werden können, sondern nur in den in Bohrlöchern angeordneten Messstationen 9.

[0017] Trotzdem kann die Lage der Orte, an denen während der Teststimulation induzierte seismische Erschütterungen aufgetreten sind, mittels des Überwachungsnetzes ermittelt werden, indem die an den Messstationen 9 auftretenden Bodenbewegungen registriert und die Daten an die Recheneinheit 11 geleitet werden, welche anhand der Ankunftszeiten der seismischen Wellen jeweils in an sich bekannter Weise die Orte berechnet, an denen die Ereignisse, welche die Wellen ausgelöst haben, stattfanden. Daraus berechnet die Recheneinheit 11 eine diese Orte einhüllende Austauschfläche – sowie ihre Grösse A, die im Folgenden ebenfalls als Austauschfläche bezeichnet wird – und ausserdem die Magnituden der besagten Ereignisse. Der Logarithmus $\log A$ der sich im zeitlichen Ablauf ausbreitenden Austauschfläche A kann mit der maximalen Magnitude $M_{\max}$ der bis zum jeweils gleichen Zeitpunkt aufgetretenen seismischen Erschütterungen in Relation gesetzt werden, wie in Fig. 2 dargestellt ist.

[0018] Bei der Teststimulation wird die Austauschfläche A der erzeugten Kluftzone auf einen Wert beschränkt, der als Sicherheitsgrenze A_s bezeichnet wird, da unterhalb derselben die Magnituden zuverlässig unterhalb einer sicheren Magnitude M_s (s. Fig. 2) liegen, die wesentlich kleiner ist als eine zulässige Magnitude M_z , die als oberer Grenzwert für die tolerierbaren Magnituden $M_{\max}$ festgelegt wurde. Diese ist wiederum um einen Sicherheitsfaktor kleiner als eine Grenz-

magnitude M_g , welche der Magnitude entspricht, bei welcher gerade noch keine Schäden an Gebäuden auftreten. Die Erschütterungen bei der Teststimulation sind somit sicher ungefährlich.

[0019] Es hat sich gezeigt, dass zwischen dem Logarithmus der Austauschfläche A einer Kluftzone $\log A$ und der maximalen Magnitude $M_{\max}$ der seismischen Vorgänge, die bei ihrer Erzeugung auftreten, ein ungefähr linearer Zusammenhang besteht. Man kann daher bei der Teststimulation aus den genannten Grössen einen Seismizitätsfaktor bestimmen, der diese lineare Abhängigkeit wiedergibt. Bei Vorliegen mehrerer Ereignisse, d.h. Vergrößerungen der Austauschfläche A und gleichzeitigem Auftreten neuer maximaler Magnituden $M_{\max}$ (Punkte in Fig. 2), kann man am Ende der Teststimulation eine Regressionsgerade bestimmen, welche z.B. die mittlere quadratische Abweichung minimiert und erhält damit eine lineare Abhängigkeit der maximalen Magnitude $M_{\max}$ der seismischen Erschütterungen, die bei der Erzeugung einer Kluftzone induziert werden, vom Logarithmus der Austauschfläche A , $\log A$ und zugleich ein Mass der zu erwartenden Streuung. Letztere kann auch in die Bestimmung des Sicherheitsfaktors einfließen, mit dem aus der Grenzmagnitude M_g die zulässige Magnitude M_z bestimmt wird und der ansonsten z.B. 0,3 Magnitudeneinheiten betragen kann, was unter der Annahme eines konstanten Spannungsabfalls einem Beben mit der doppelten Scherfläche entspricht.

[0020] Der Seismizitätsfaktor ergibt sich als Steigung der Regressionsgeraden. Der oben beschriebene lineare Zusammenhang hängt stark von der Art der Gesteinsformation 4 ab, insbesondere ist der Seismizitätsfaktor bei kristallinem Gestein deutlich grösser als bei Sedimentgestein. Grenzen für den Seismizitätsfaktor ergeben sich auch aus bekannten Zusammenhängen der möglichen Magnituden mit Eigenschaften der Gesteinsformation, was die Feststellung und Eliminierung allfälliger Ausreisser unter den Messwerten ermöglicht.

[0021] Aus der zulässigen Magnitude M_z kann nun mittels des linearen Zusammenhangs zwischen der maximalen Magnitude $M_{\max}$ und dem Logarithmus der Austauschfläche $\log A$ sehr einfach eine obere Zulässigkeitsgrenze A_z für die Grösse der Austauschfläche der Produktionskluftzonen 7 ermittelt werden. Zuerst kann damit die Testkluftzone zur Probekluftzone 13 erweitert werden, wobei die Austauschfläche bis zur vorher ermittelten Zulässigkeitsgrenze A_z ausgeweitet wird, sodass die maximale Magnitude $M_{\max}$ induzierter seismischer Ereignisse unter der Voraussetzung des ermittelten linearen Zusammenhangs höchstens unwesentlich über die zulässige Magnitude M_z hinausgeht und damit um einen Sicherheitsabstand unterhalb der Grenzmagnitude M_g bleibt. Die dabei auftretenden seismischen Erschütterungen werden weiterhin überwacht und die Annahmen bezüglich des Seismizitätsfaktors laufend überprüft.

[0022] Während der Teststimulation können Parameter wie Permeabilität, Transmissivität, mittlerer Spannungsabfall u.a. der Gesteinsformation 4 ermittelt werden. Falls dies, in Verbindung mit der Abhängigkeit von $M_{\max}$ von $\log A$, zum Ergebnis führt, dass die Gesteinsformation 4 für die in Aussicht genommenen Zwecke nicht geeignet ist, kann das Verfahren abgebrochen werden. Ansonsten erlaubt die ermittelte Ausrichtung der Probekluftzone 13, die Richtung der Zuleitungsbohrung 5 festzulegen, vorzugsweise etwa senkrecht darauf. Sie wird von der Injektionsbohrung 1 aus z.B. 1000 m weit in die Gesteinsformation 4 getrieben und erforderlichenfalls verrohrt und stellenweise perforiert.

[0023] Die Erzeugung der Produktionskluftzonen 7 kann dann, wenn man davon ausgeht, dass die Eigenschaften der Gesteinsformation 4 einigermaßen konstant sind, jeweils so gesteuert werden, dass die Grösse der Austauschfläche A die Zulässigkeitsgrenze A_z erreicht, aber nicht überschreitet. Dadurch kann die Grösse der Austauschfläche nahe an das wirtschaftliche Optimum herangeführt werden, ohne dass die Gefahr des Auftretens von Schäden bestünde.

[0024] Dies kann durch Überwachung der Ausdehnung der Austauschfläche A durch das Überwachungsnetz und die Recheneinheit 11 in Echtzeit und entsprechende Steuerung, etwa Überwachung und Begrenzung verschiedener Parameter, z.B. der Pumprate, des Volumens, des Drucks des in die Injektionsbohrung 1 eingeleiteten Wassers, geschehen oder durch Regelung dieser Parameter, ebenfalls mittels der Recheneinheit 11, aufgrund von Modellen oder von empirisch ermittelten Zusammenhängen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass getroffene Massnahmen mit einer gewissen Verzögerung im Untergrund wirksam werden.

Bezugszeichenliste

[0025]

- 1 Injektionsbohrung
- 2 Produktionsbohrung
- 3 Erdoberfläche
- 4 Gesteinsformation
- 5 Zuleitungsbohrung
- 6 Ableitungsbohrung
- 7 Produktionskluftzone
- 8 Kraftwerk

- 9 Messstation
- 10 Bohrloch
- 11 Recheneinheit
- 12 versiegelte Produktionskluftzone
- 13 Probekluftzone
- A Austauschfläche
- A_s Sicherheitsgrenze
- A_z Zulässigkeitsgrenze
- M maximale Magnitude
- M_s sichere Magnitude
- M_z zulässige Magnitude
- M_g Grenzmagnitude

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Anlage zur Extraktion von Wärme aus einer Gesteinsformation (4), indem
 - von der Erdoberfläche (3) aus eine annähernd senkrechte Injektionsbohrung (1) in die Gesteinsformation (4) getrieben wird,
 - ausgehend von der Injektionsbohrung (1) eine gegen die Horizontale hin abgewinkelte Zuleitungsbohrung (5) angelegt wird,
 - von der Erdoberfläche (3) aus eine annähernd senkrechte Produktionsbohrung (2) in die Gesteinsformation (4) getrieben wird,
 - ausgehend von der Produktionsbohrung (2) mindestens eine zur Zuleitungsbohrung (5) etwa parallele Ableitungsbohrung (6) angelegt wird,
 - durch Einleiten von Wasser in die Injektionsbohrung (1) und/oder die Produktionsbohrung (2) unter Druck mehrere voneinander beabstandete, jeweils die Zuleitungsbohrung (5) und die Ableitungsbohrung (6) verbindende sich über eine Austauschfläche (A) erstreckende flache Produktionskluftzonen (7) erzeugt werden, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Anlegen der Produktionskluftzonen (7)
 - ein Überwachungsnetz aus Messstationen (9) aufgebaut wird, welche jeweils der Ermittlung von seismischen Erschütterungen widerspiegelnden Messwerten dienen,
 - nach dem Anlegen der Injektionsbohrung (1) und/oder der Produktionsbohrung (2) mindestens eine Probestimulation durchgeführt wird, wobei
 - eine Teststimulation ausgeführt wird, bei der durch Druck eine flache Testkluftzone erzeugt wird, bei der die Grösse der Austauschfläche (A) eine Sicherheitsgrenze (A_s) nicht überschreitet, welche so gering ist, dass die maximale Magnitude (M_{max}) dadurch ausgelöster seismischer Erschütterungen unterhalb einer sicheren Magnitude (M_s) liegt,
 - jeweils die maximale Magnitude (M_{max}) der durch die Teststimulation ausgelösten seismischen Erschütterungen und die Grösse der Austauschfläche (A) aus durch das Überwachungsnetz festgestellten Messwerten abgeleitet werden,
 - aus der maximalen Magnitude (M_{max}) der durch die Teststimulation ausgelösten seismischen Erschütterungen und der jeweils erreichten Grösse der Austauschfläche (A) eine lineare Abhängigkeit der maximalen Magnitude (M_{max}) der bei der Erzeugung einer Kluftzone auftretenden seismischen Erschütterungen vom Logarithmus der Grösse der Austauschfläche (A) derselben ermittelt wird,
 - bei der Erzeugung der Produktionskluftzonen (7) jeweils die Grösse der Austauschfläche (A) auf eine Zulässigkeitsgrenze (A_z), bei der die Extrapolation der maximalen Magnitude (M_{max}) der ausgelösten seismischen Erschütterungen mittels der ermittelten linearen Abhängigkeit zu einem Ergebnis führt, das bei einer vorgegebenen zulässigen Magnitude (M_z) liegt, begrenzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor Anlegen der Zuleitungsbohrung (6) die Testkluftzone zu einer Probekluftzone (13) erweitert wird, wobei die Austauschfläche (A) vergrössert wird, bis die Grösse der Austauschfläche (A) die Zulässigkeitsgrenze (A_z) erreicht.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuleitungsbohrung (5) und/oder die Ableitungsbohrung (6) nach Erzeugung der Probekluftzone (13) etwa senkrecht auf dieselbe angelegt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Produktionskluftzonen (7) durch Einleitung von Wasser in die Injektionsbohrung (1) oder die Produktionsbohrung (2) erzeugt werden und die mindestens

eine Ableitungsbohrung (6), bzw. Zuleitungsbohrung (5) nachher so angelegt wird, dass sie die Produktionskluftzonen (7) schneidet.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Messstationen (9) an der Erdoberfläche (3) oberhalb der Gesteinsformation (4) angeordnet ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Mehrzahl von Messstationen (9) in mindestens einem von der Erdoberfläche (3) ausgehenden Bohrloch (10) angeordnet ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Erzeugung einer der Produktionskluftzonen (7) jeweils die Grösse der Austauschfläche (A) aufgrund der von den Messstationen (9) des Überwachungsnetzes festgestellten Messwerte überwacht wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Erzeugung einer der Produktionskluftzonen (7) jeweils die Pumprate, das Volumen oder der Druck des eingeleiteten Wassers überwacht und derart begrenzt wird, dass die Grösse der Austauschfläche (A) die Zulässigkeitsgrenze (A_z) nicht überschreitet.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Produktionskluftzone (7), falls sie sich als ungeeignet erweist, versiegelt wird.

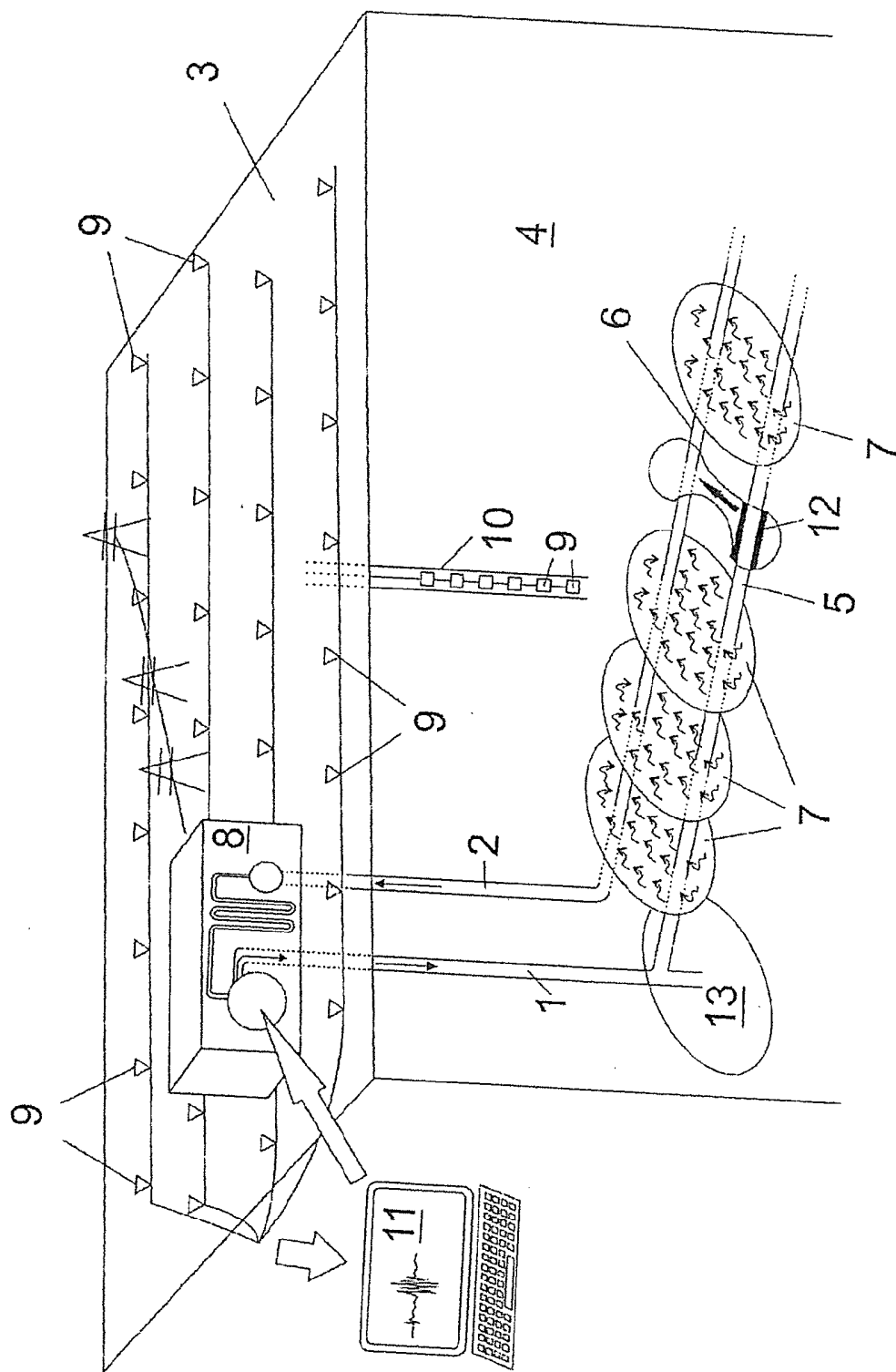


Fig. 1

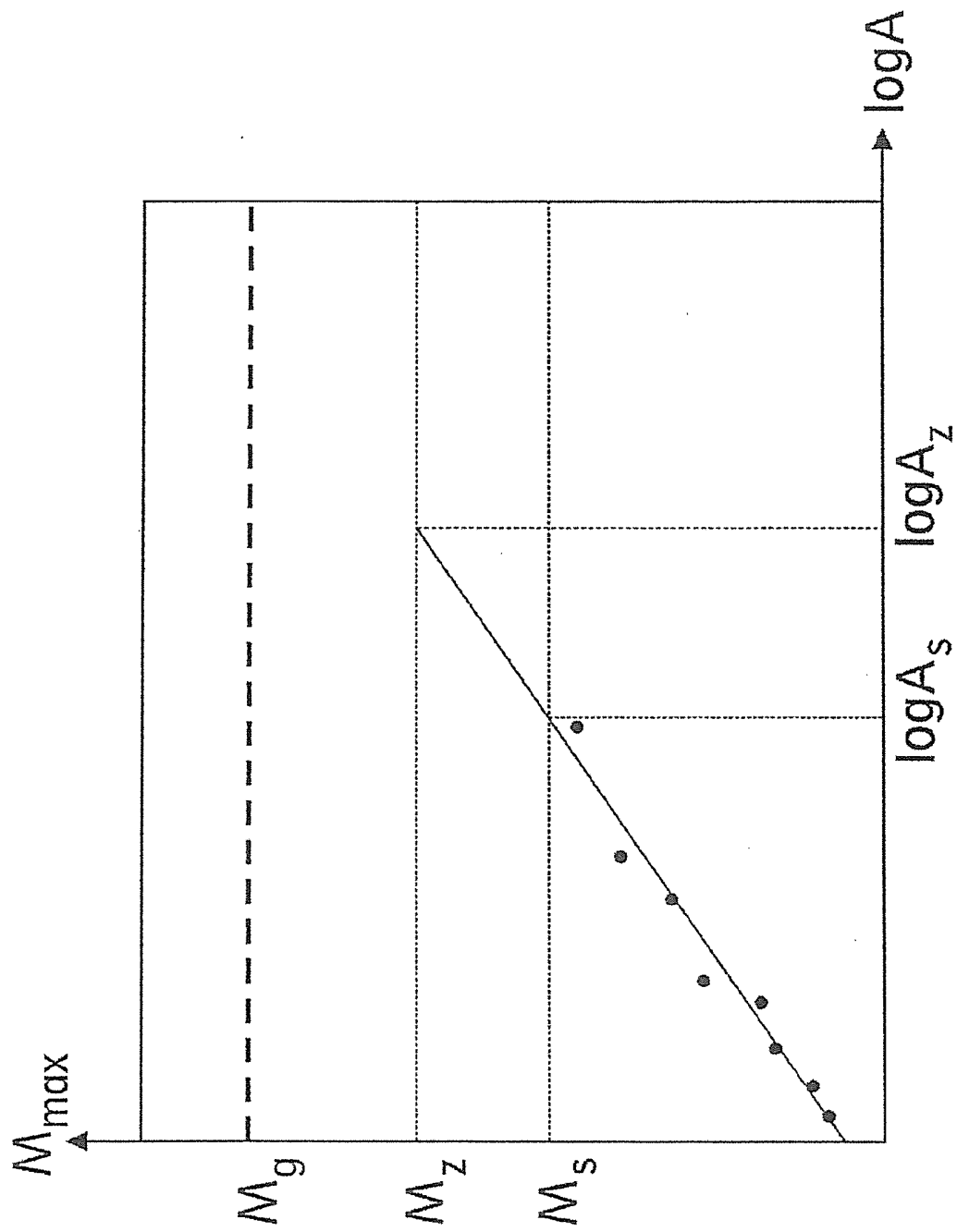


Fig. 2