

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Nutzung der inneren Energie einer wässrigen, Gas enthaltenden Lösung aus bestehenden und neuen Erdöl und/oder Erdgasquellen. Solche Lagerstätten umfassen unter anderem Aquifere, aber auch teilweise mit konventionellen Verfahren der Erdöl- bzw. Erdgasförderung ausgebeutete und durch Einpressen von Wasser, insbesondere Salzwasser, stabilisierte Erdöl bzw. Erdgaslager. Der Einfachheit halber werden im Rahmen der Beschreibung der vorliegenden Erfindung alle diese Lagerstätten als Aquifere und alle aus einem Aquifer entnommenen Flüssigkeiten als Aquiferfluide bezeichnet. Ein Aquiferfluid gemäss der vorliegenden Erfindung ist mit Gas gemischtes, mittels Geothermie aufgeheiztes, mehr oder weniger salz- bzw. mineralhaltiges Wasser (in der Folge als geothermisches Wasser oder geothermisches Thermalwasser oder Thermalwasser bezeichnet). Das erfindungsgemässe Verfahren nutzt die innere Energie eines Aquiferfluids in einem geschlossenen Kreislauf. Weitere Gegenstände der Erfindung sind eine hybride Geothermieanlage zur Nutzung der inneren Energie von mit Gas gemischtem geothermischem Wasser aus einem Aquifer in einem geschlossenen Kreislauf, sowie ein Umrüstungsverfahren für eine bestehende Geothermieanlage, zur verbesserten energetischen Nutzung eines Aquiferfluids.

Hintergrund

[0002] Schon seit langer Zeit wird die thermische Energie von geothermischem Thermalwasser oder Thermalsole aus Aquiferen genutzt. Als Aquifere bekannte Grundwasserleiter sind in verschiedenen Tiefen in der Erdkruste in unterschiedlichen geologischen Formationen vorhanden. Aquifere weisen neben Thermalwasser oft auch Gasvorkommen auf. Aufgrund des grossen Druckes in diesen Tiefen ist das Gas gelöst im Thermalwasser, wobei eine solche Lösung hier Aquiferfluid genannt wird. Die im Thermalwasser gelösten Gase sind in der Regel Brenngase, deren energetische oder chemische Nutzung allein nicht wirtschaftlich ist. Die im Thermalwasser gelösten Gase umfassen Methan oder andere gasförmige Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff und/oder Kohlenmonoxid, sowie andere nicht brennbare Komponenten, beispielsweise Wasserdampf und/oder Kohlendioxid. Bei der Förderung des Aquiferfluids dehnt sich das gelöste Gas aus, wird aus der Lösung vertrieben und muss – sofern es nicht einer Nutzung zugeführt wird – unter Emission klimarelevanter Gase abgeblasen oder abgefackelt werden.

[0003] Durch die heutige Bohrtechnik können Zugänge zu tief liegenden Aquiferen erstellt werden, sodass Aquiferfluid mit Anfangstemperaturen von über 60 °C aus Tiefen von bis zu einigen Kilometern gewonnen werden kann. Neben der Verwendung zum Heizen von Gebäuden wird das Thermalwasser auch zur Erzeugung von elektrischem Strom verwendet. Nach der energetischen Nutzung des Thermalwassers wird das abgekühlte Thermalwasser mittels einer Rückführvorrichtung wieder zurück in den Aquifer geführt.

[0004] Wie beispielsweise aus «Improved utilization of low temp thermal water rich in hydrocarbon gases» von Basic et al., GHC Bulletin, Summer 1990, hervorgeht, wurde Aquiferfluid, welches Thermalwasser mit darin gelöstem Methan umfasst, in der Vergangenheit vor der Nutzung der thermischen Energie vorbehandelt. Dabei wurde das Methan aus dem Aquiferfluid mit einer Gasseparationsvorrichtung separiert. Das Thermalwasser wurde energetisch in einer Einrichtung zur Nutzung der thermischen Energie genutzt und die Energie des separierten Methans wurde in einem anschliessenden Verbrennungsprozess zugänglich gemacht. Dieser Verbrennungsprozess umfasst einerseits die Verbrennung des separierten Methans in einem Gasmotor zur Stromproduktion in einem angeschlossenen Generator, – andererseits die Nutzung der durch direkte Verbrennung des Methans gewonnene Wärmeenergie zum weiteren Aufheizen des gewonnenen Thermalwassers. Nach der energetischen Nutzung des Thermalwassers und des Methans, wird das abgekühlte Thermalwasser wieder in den Aquifer injiziert, wobei die für das Einpressen notwendige Energie mittels Methanverbrennung gewonnen wird. Durch dieses Verfahren wird der Energieinhalt des Aquiferfluids gut aber nicht optimal genutzt.

[0005] Bei der Verbrennung des Methans gemäss Basic et al. entstehen Abgase, sodass diese an sich umweltfreundliche Nutzung der inneren Energie des Aquiferfluids, ebenso wie das Abfackeln, zu einer Belastung der Umwelt aufgrund der abgegebenen Verbrennungsabgase führt.

Darstellung der Erfindung

[0006] Die vorliegende Erfindung hat sich zur Aufgabe gestellt die energetische Nutzung der inneren Energie von mit Gas gemischtem geothermischem Thermalwasser in einem geschlossenen Kreislauf zu optimieren, wobei eine umweltneutrale und kohlendioxidfreie Nutzung des Aquiferfluids und eine umweltfreundliche Versorgung mit elektrischer und thermischer Energie erreicht werden soll. Unter geschlossenem Kreislauf wird im Rahmen dieser Erfindung ein Verfahren verstanden, bei dem praktisch keine Emissionen entstehen, wobei allerdings Gas entnommen und CO₂ zurückgeführt wird.

[0007] Das Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids, welches mit brennbarem Gas (in der Folge auch nur als Gas bezeichnet) gemischtes geothermisches Thermalwasser umfasst, in einem geschlossenen Kreislauf, ist gekennzeichnet durch die Schritte

- Entnahme des Aquiferfluids aus einem Aquifer mittels einer Entnahmevorrichtung,
- Separation von Gas durch Entgasung des Aquiferfluids in einer Gasseparationsvorrichtung, wobei entgastetes Thermalwasser resultiert,

- Nutzung der Wärmeenergie des entgasten Thermalwassers in mindestens einem Wärmetauscher zur Erwärmung mindestens eines im Kreislauf geführten Heizmediums, sowie
- Durchführung eines Verbrennungsprozesses des separierten Gases in einer Verbrennungsvorrichtung und Nutzung der inneren Energie des Gases durch den Betrieb eines Generators,
- Entfernung unerwünschter Stoffe aus dem Abgas mittels einer Abgasreinigungsvorrichtung umfassend eine Gaswäschevorrichtung, insbesondere eine Aminwäschanlage, zur Abtrennung des CO₂ aus den abgekühlte Abgasen, und
- Einleitung des CO₂ in das abgekühlte Thermalwasser und anschliessende Reinjektion des mit Abgas versetzten Thermalwassers in den Aquifer.

[0008] Die Abgasreinigung kann beispielsweise optimiert werden indem der Verbrennungsvorrichtung eine Mischvorrichtung zum Mischen von Gas mit Verbrennungsluft vorgeschaltet wird, wobei das Mischverhältnis in der Mischvorrichtung mittels im Abgasstrom angeordneter Lambdasonde gesteuert wird, und gegebenenfalls Vorheizen der Gas-Luft-Mischung vor deren Einspeisung in die Verbrennungsvorrichtung. Eine alternative oder zusätzliche Möglichkeit, die Zusammensetzung des Abgases zu optimieren umfasst eine der Verbrennungsvorrichtung nach- und der Gaswäschanlage vorgeschaltete Abgasreinigungsvorrichtung, insbesondere einen Katalysator. Meist ist aber Abgasreinigung bzw. CO₂-Gewinnung mittels Gaswäsche ausreichend.

[0009] Durch das vorliegende Verfahren wird eine abgasfreie elektrische und thermische Nutzung von lokal verfügbaren fossilen Vorkommen von Aquiferfluiden erreicht.

[0010] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Geothermieanlage zur Nutzung der inneren Energie von mit brennbaren Gasen gemischtem geothermischem Thermalwasser aus einem Aquifer in einem geschlossenen Kreislauf, umfassend mindestens eine Entnahmevorrichtung für Aquiferfluid, eine Gasseparationsvorrichtung zur Auftrennung des Aquiferfluids in Thermalwasser und Gas, mindestens einen Wärmetauscher zur Nutzung der im Thermalwasser enthaltenen thermischen Energie zur Erwärmung von im Kreislauf geführtem Heizmedium, eine Verbrennungsvorrichtung für separiertes Gas mit mindestens einem daran gekoppelten Generator zur Erzeugung von elektrischem Strom, einen im Abgasstrom nach den Vorrichtungen zu dessen thermischer Nutzung angeordneten Gaswäscher, insbesondere einem Aminwäscher, zur Abtrennung des CO₂, eine Zuleitung für das nach Gaswäsche erhaltene CO₂ in eine Rückführleitung für das aus dem mindestens einen Wärmetauscher ausgetretene Thermalwasser und mindestens eine Rückführvorrichtung zur Reinjektion des mit Kohlendioxid versetzten abgekühlten Thermalwassers durch eine Reinjektionsbohrung in den Aquifer.

[0011] In einer bevorzugten Ausführung umfasst die hybride Geothermieanlage ferner eine der Verbrennungsvorrichtung vorgeschalteten Mischvorrichtung zum Mischen des Gases mit Verbrennungsluft und/oder eine der Verbrennungsvorrichtung nachgeschaltete Abluftreinigungsvorrichtung, wie einen Katalysator.

[0012] In einer weiteren bevorzugten Ausführung umfasst die Geothermieanlage ferner mindestens einen im Abgasstrom angeordneten und der Abgasreinigungsvorrichtung nachgeschalteten Wärmetauscher.

[0013] In noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Vermischung des CO₂ mit dem abgekühlten Thermalwasser in einem Rieselwäscher, insbesondere einem mit Füllkörpern zumindest teilweise gefüllten Rieselwäscher, in dem das Gas unter dem erwünscht hohen Druck vorliegt und mit Wasser «berieselt» wird, bis es mit CO₂ gesättigt ist.

[0014] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind ein spezieller Separator, gegebenenfalls mit nachgeschalteten Vorrichtungen zur Nutzung der im heissen Gas enthaltenen thermischen Energie und/oder eine Verbrennungsvorrichtung mit Zusatzausstattung, welche eine optimal saubere Verbrennung gewährleistet. Solche Vorrichtungen können zur Nachrüstung bestehender Anlagen ausgelegt und für die Verwendung in entsprechenden Umrüstungsverfahren optimiert sein.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Weitere Ausgestaltungen, Vorteile und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und aus der nun folgenden Beschreibung anhand der Figuren. Dabei zeigt

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Geothermieanlage umfassend die zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens notwendigen oder sehr wünschenswerten Vorrichtungen und

Fig. 2 eine schematische Ansicht einer mit mehr Vorrichtungen ausgestatteten Geothermieanlage zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens.

Weg(e) zur Ausführung der Erfindung

[0016] In den Figuren ist eine hybride Geothermieanlage 1 schematisch dargestellt, die mit einem Aquifer 0 in einer geologischen Formation verbunden ist. Dieser Aquifer 0 enthält Aquiferfluid A, welches mit Gas G versetztes Thermalwasser T ist. Das Aquiferfluid A weist vorzugsweise eine Anfangstemperatur T_i von 60 °C und höher auf, sowie einen Anfangsdruck p_i im Aquifer 0, der grösser ist als der Atmosphärendruck.

[0017] Als Aquiferfluid A ist prinzipiell jedes Aquiferfluid A geeignet, wobei Aquiferfluide A hoher Temperatur und mit hohem Gasgehalt bevorzugt sind. Bei Aquiferfluiden mit so tiefem Salzgehalt, dass bei der Einspeisung des mit CO₂ angereicherten, abgekühlten Thermalwassers keine Kristallisation erfolgt, welche zum Verstopfen der Einspeisleitungen führen könnte, sind die Wartungsarbeiten üblicherweise gering. Massnahmen, welche ein Verstopfen der Bohrungen und Leitungen generell verhindern, sind unten beschrieben.

[0018] Durch mindestens eine und vorzugsweise mehrere, beispielsweise 4, Entnahmebohrung 100, die von einigen Metern bis in Tiefen von einigen Kilometern unter die Erdoberfläche reichen können, wird mindestens ein Zugang zum Aquifer 0 erreicht. Mittels einer Entnahmevorrichtung 10 im Bereich der jeweiligen Entnahmebohrung 100 wird Aquiferfluid A in die Geothermieanlage 1 eingespeist.

[0019] Vorzugsweise verfügt jede Entnahmebohrung 100 über eine Entnahmevorrichtung 10 und jede Entnahmevorrichtung 10 umfasst eine Entnahmepumpe. Die Entnahme über mehr als eine, vorzugsweise vier Entnahmebohrungen mittels je einer Pumpe hat den Vorteil, dass die Pumpen im Normalbetrieb mit reduzierter Leistung, bei 4 Pumpen z.B. 2/3 ihrer Maximalleistung, betrieben werden können. Dadurch kann die Lebensdauer der Pumpen erhöht werden und fällt eine Pumpe, z.B. bei deren Wartung, aus, so kann die Förderleistung auf einfache Art konstant gehalten werden, indem die Leistung der anderen Pumpen entsprechend erhöht wird.

[0020] Das aus dem Aquifer 0 mittel mindestens einer Entnahmevorrichtung 10 entnommene Aquiferfluid A wird einer Gasseparationsvorrichtung 11 zugeleitet. Durch diese Gasseparationsvorrichtung 11 wird das Gas G und insbesondere der Anteil reinen Methans bzw. brennbarer Kohlenwasserstoffe dem Aquiferfluid A entnommen und getrennt vom Thermalwasser T geführt und genutzt.

[0021] Die Auftrennung des Aquiferfluids A in Thermalwasser T und (methanreiches) Gas G erfolgt vorzugsweise mittels einer Separationsvorrichtung 11, in der die Oberfläche des Aquiferfluids A stark vergrössert wird. Infolge der grossen Oberfläche, der hohen Temperatur des Aquiferfluids, welche der im Aquifer vorgefundenen Temperatur T_i (oft 60 °C oder höher) entspricht, und der Entspannung des Aquiferfluids A von p_i auf einen viel geringeren Druck, wie geringen Überdruck von z.B. 20 bis 500 hPa (alle Druckangaben bezeichnen den Überdruck gegenüber dem Umgebungsdruck), wird das Gas G vollständig oder zumindest nahezu vollständig vom Thermalwasser getrennt. Weitere Massnahmen sind nicht erforderlich. Die Oberflächenvergrösserung in der Separationsvorrichtung 11 kann auf verschiedene Arten erzielt werden, insbesondere dadurch, dass das Aquiferfluid A in heftige Bewegung versetzt wird, beispielsweise durch heftiges Rühren, oder durch Einsprühen des Aquiferfluids A in die Separationsvorrichtung 11 in Form kleiner Tröpfchen.

[0022] Die thermische Energie des gasfreien bzw. entgasten Thermalwassers T wird innerhalb der Geothermieanlage 1 mittels einer Pumpe 18 mindestens einer Vorrichtung zur Nutzung der thermischen Energie 12–16 zugeführt und in dieser mindestens einer Vorrichtung zur Nutzung der thermischen Energie, insbesondere mindestens einem Wärmetauscher (dargestellt sind drei Wärmetauscher 12, 13, 14) bzw. einer Vorrichtung zur Erzeugung von Strom, wie einer Niederdruck-Wasserdampfmaschine oder einer Abwärmeverstromungsanlage oder einer ORC (Organic-Rankine-Cycle)-Verstromungsanlage 15, 16 (siehe unten) zur Erwärmung mindestens eines im Kreislauf geführten Heizmediums oder Wärmeträgermediums genutzt. Das Heizmedium aus den Wärmetauschern 12, 13, 14 wird in nachfolgenden Prozessschritten, insbesondere in Form von Fernwärme zur Beheizung von Wohnungen, Treibhäusern etc. nutzbar gemacht, das Wärmeträgermedium zur Stromerzeugung.

[0023] Optional und bevorzugt, kann das Thermalwasser in einem der Wärmetauschern 12, 13, 14 vorgeschalteten Wärmetauscher 15, im Rahmen eines Verfahrens zur Erzeugung von Strom, z.B. mittels einer Niederdruck-Wasserdampfmaschine oder einer Abwärmeverstromungsanlage oder einer ORC-Verstromungsanlage (15, 16), insbesondere mittels eines ORC-Verfahrens (Organic-Rankine-Cycle) für Gasturbinen, zur Gewinnung elektrischer Energie verwendet werden. Im ORC-Verfahren wird ein Wärmeträgermedium in einem Wärmetauscher 15 über den Siedepunkt erhitzt, dieses Wärmeträgermedium zum Betrieb einer Gasturbine 16 verwendet und nach Kondensation wieder dem Wärmetauscher 15 zugeführt. Für ein solches Verfahren geeignet sind Wärmeträgermedien mit Siedepunkten, die ca. 15 bis 25 °C unterhalb der Temperatur des Thermalwassers liegen, beispielsweise im Bereich von 45 bis 50 °C, wie 49 °C. Obschon der Wirkungsgrad solcher ORC-Verfahren gering ist (üblicherweise <20%, meist <15%) hat es sich gezeigt, dass die hier erzeugte Energie meist für die Pumpenleistung ausreicht, die z.B. notwendig ist, um die in den anschliessenden Wärmetauschern 12, 13, 14 erwärmten Heizkreisläufe aufrecht zu erhalten.

[0024] Da das abgetrennte Gas G einen hohen Feuchtigkeitsgehalt aufweist, wird es vor der Einspeisung in die Verbrennungsvorrichtung in einer Trocknungsvorrichtung 22 getrocknet. Dadurch wird der Gasverbrennung minimal verdünntes Gas G zugeführt. Da das Gas zudem eine erhöhte Temperatur ähnlich T_i aufweist, kann dessen thermische Energie in mindestens einer Vorrichtung zur Nutzung thermischer Energie, wie einem Wärmetauscher 21 oder Kondensator 22, genutzt werden, beispielsweise zur (Vor)erwärmung des Heizmediums, welches anschliessend in einem mit Thermalwasser betriebenen Wärmetauscher 12, 13, 14 seine Endwärme erhält.

[0025] Um den Verbrennungsprozess zu optimieren kann der Verbrennungsvorrichtung 24 nicht reines Gas G sondern in einer Mischvorrichtung 23 mit Luft vorgemischtes Gas G zugeführt werden.

[0026] Das gegebenenfalls mit Luft vorgemischte Gas G wird in einer bevorzugten Ausführungsform vor Eintritt in die Verbrennungsvorrichtung 24 vorgeheizt. Dies kann mittels eines Wärmetauschers 26 erfolgen, dessen Heizmedium, z.B. Wasser, in einem im Abgasstrom angeordneten Wärmetauscher 29 durch Abgase aus der Gasverbrennung erhitzt wurde.

[0027] In einer Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens wird mit einer Lambdasonde der Restsauerstoffgehalt des Abgases gemessen und dann das Verhältnis von zugeführter Verbrennungsluft zu Gas G, insbesondere Methan, entsprechend gesteuert, entweder in einer Mischvorrichtung 23 oder direkt in der Verbrennungsvorrichtung 24. Das Verhältnis kann derart eingestellt werden, dass die Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad und unter Erzeugung von möglichst wenig Schadstoffen erfolgt. Um bei der späteren Reinjektion in den Aquifer 0 Schäden im Aquifer 0 zu verhindern, muss vor allem darauf geachtet werden, dass kein Sauerstoff im Abgas vorhanden ist, da dieser, insbesondere durch chemischen Methanabbau, Schäden im Aquifer 0 anrichten kann. Dies kann durch Gaswäsche in einer Gaswäschanlage, insbesondere einem Aminwäscher 30 mit daran gekoppelter Ammoniumcarbonat-Spaltung 31 (siehe unten), erzielt werden, gegebenenfalls zusammen mit einer gesteuerten Verbrennung und/oder einer anschliessenden Abgasbehandlung in Abgasbehandlungsvorrichtung 27, z.B. mittels Katalysator.

[0028] Nach der Verbrennungsvorrichtung 24 wird durch einen darin durchgeführten Verbrennungsprozess des Gases G ein Generator 25 angetrieben, welcher elektrische Energie liefert, die zum Betrieb von Vorrichtungen, wie Pumpen, innerhalb der Geothermieanlage verwendet oder ins Stromnetz eingespeist werden kann. Als Verbrennungsvorrichtung 24 können Gasmotoren oder Gasturbinen eingesetzt werden.

[0029] Eine der Verbrennungsvorrichtung 24 und dem Generator 25 gegebenenfalls nachgeschaltete Abgasbehandlungseinrichtung 27 sorgt dafür, dass eine bessere Verbrennung des Gases G und des Luftsauerstoffs erreicht wird, und dass vorzugsweise auch Kohlenmonoxid und Stickoxide entfernt werden, derart, dass die entstehenden weitergeleiteten Abgase vorzugsweise arm an bzw. frei von Sauerstoff, Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden und Kohlenmonoxid sind und hauptsächlich Kohlendioxid, Stickstoff und Wasser enthalten. Als Abgasbehandlungseinrichtung 27 können beispielsweise Lambdasonden zusammen mit unterschiedlichen, bekannten Abgaskatalysatoren verwendet werden. Die Wahl eines geeigneten Katalysators richtet sich nach der Art der verwendeten Verbrennungsvorrichtung. Für Verbrennungsvorrichtungen, die bei Lambda-Werten von 1 betrieben werden, eignen sich beispielsweise geregelte Katalysatoren, wie ein Drei-Wege-Katalysator, bei Magermotoren ein Oxidationskatalysator, etc.

[0030] Der Energieinhalt des aus der Verbrennungsvorrichtung austretenden Abgasstroms wird, gegebenenfalls nach katalytischer Nachbehandlung, in mindestens einer nachgeschalteten Abgasenergienutzvorrichtung zusätzlich genutzt. Der durch den Verbrennungsprozess resultierende Abgasstrom weist Temperaturen von einigen hundert °C, in der Regel grösser als 500 °C auf, dessen Energieinhalt als Wärmequelle oder zur weiteren Stromerzeugung, z.B. in einem ORC-Verfahren, verwendet werden kann. Derzeit bevorzugt ist die Verwendung als Wärmequelle.

[0031] Für die Nutzung als Wärmequelle kann der Abgasstrom direkt zur Erwärmung eines Heizmediums, z.B. von Thermoöl oder Wasser, in einem oder mehreren Wärmetauschern 28, 29 verwendet werden. So kann z.B. das mit mehr als 500 °C, wie 520 °C, aus der Verbrennungsvorrichtung bzw. dem Katalysator austretende Abgas in einem Wärmetauscher 28 erst zur Erwärmung von Heizmedium verwendet werden, welches seinerseits wieder zur Rückgewinnung des CO₂ nach Aminwäsche (siehe unten) verwendet werden kann, und das auf unter 200 °C, wie 140 °C, abgekühlte Abgas kann in einem weiteren Wärmetauscher 29 zur Erhitzung von Heizmedium eingesetzt werden, das beispielsweise zur Vorwärmung des Luft-Gas-Gemisches vor dessen Zuführung zur Verbrennungsvorrichtung 24 dienen kann, sollte eine solche Vorwärmung vorgesehen sein. In dieser Stufe ist üblicherweise nur eine geringe weitere Abkühlung erwünscht, d.h. auf etwas über 100 °C, wie 120 °C, so dass keine Kondensation innerhalb der Leitungen erfolgt.

[0032] Anstelle der Nutzung der Energie des heissen Abgases als Heizmittel, kann dieses direkt aus der Verbrennungsvorrichtung 24 bzw. der Abgasreinigungsvorrichtung 27 oder nach mindestens einem oder zwischen mehreren Wärmetauschern 28, 29 auch zur weiteren Erzeugung elektrischer Energie verwendet werden. Die Gewinnung elektrischer Energie kann beispielsweise in einem ORC-Verfahren (Organic-Rankine-Cycle) für Dampfturbinen – wie oben bereits beschrieben, aber gegebenenfalls mit Heizmedium mit höherem Siedepunkt – durchgeführt werden, aber auch mittels anderer Vorrichtungen zur Erzeugung von Strom, wie Niederdruck-Wasserdampfmaschinen oder Abwärmeverstromungsanlagen. Abwärme der Verbrennungsgase nach Erzeugung des elektrischen Stromes kann wie oben beschrieben zur Aufheizung des Luft-Gas-Gemisches oder zur Aufheizung von abgekühltem Thermalwasser oder abgekühltem, im Kreislauf geführtem Heizmedium für Fernwärme verwendet werden.

[0033] Das gesamte abgekühlte und energetisch genutzte Abgas, welches hauptsächlich aus Kohlendioxid besteht, wird zur Entfernung anderer Gase, wie Stickstoff und allenfalls geringer Reste an Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Sauerstoff, – gegebenenfalls nach Vorwäsche – einem Gaswäscher 30 zugeführt, in dem das CO₂ aus dem Gasstrom entfernt wird, insbesondere einer Aminwäschanlage, in der das CO₂ mit einem Amin, wie einem Amin der Formel NR_xH_{3-x}, beispielsweise einem Alkylamin, aus dem Gasstrom entfernt wird. Die gelöste Ammoniumcarbonat enthaltende Lösung wird anschliessend bei einer Temperatur oberhalb 100 °C, wie bei 140 °C, in einer Vorrichtung zur Zersetzung von Ammoniumcarbonat (HNR_xH_{3-x}) yH₂-yCO₃ (amine cooker) 31 (vorzugsweise erhitzt mittels Heizmedium, das durch Abgas, z.B. in Wärmetauscher 28 erhitzt wurde), zersetzt. Das in Vorrichtung 31 freigesetzte Amin wird in den Gaswäscher 30 zurückgeführt und das feuchte CO₂ über einen Kondensator 32 (gegebenenfalls einen Wärmetauscher und diesem nachgeschaltet ein Kondensator 32) und einen Verdichter 33 dem abgekühlten, zu recycelnden Thermalwasser in der Rückföhrleitung 17

mittels einer Vermischungsvorrichtung, wie einem Rieselwäscher, 34 beigemischt. Das im Kondensator 32 abgeschiedene Wasser mit einer Temperatur von üblicherweise unter 170 °C kann gegebenenfalls zur Gewinnung der darin enthaltenen Wärmeenergie dem Thermalwasser zugeführt werden, welches in einem Verfahren zur Erzeugung von Strom, wie einem ORC-Verfahren 15, 16 und/oder zur Erzeugung von Fernwärme in einem der Wärmetauscher 12, 13, 14 verwendet wird. Ist dem Kondensator 32 ein Wärmetauscher vorgeschaltet, so kann die darin gewonnene Energie z.B. zur Aufheizung des Thermalwassers für die Verwendung im ORC-Verfahren 15, 16 genutzt werden, oder zur direkten zusätzlichen Erwärmung des Wärmeträgermediums im ORC-Verfahren.

[0034] Das abgekühlte Thermalwasser T weist nach dem letzten Wärmetauscher, z.B. Wärmetauscher 14, eine Temperatur T_f auf, woraus der zur Lösung des Kohlendioxids im Thermalwasser notwendige Druck bestimmbar ist. Als geeignete Temperatur T_f und Temperatur des rückgeführten Thermalwassers T_r haben sich Werte kleiner gleich 35 °C, insbesondere kleiner gleich 32 °C, speziell bevorzugt Werte von kleiner gleich 30 °C, wie kleiner gleich 27 °C erwiesen. Druck und Temperatur müssen so gewählt werden, dass sich das CO₂ im gekühlten Thermalwasser vollständig löst. Zur Lösung der gesamten bei der Verbrennung entstandenen Menge an Kohlendioxid im abgekühlten Thermalwasser ist beispielsweise bei einer Temperatur von 27 °C üblicherweise ein Druck von mindestens 9 bar erforderlich.

[0035] Verfahrenstechnisch muss die Lösung des Kohlendioxids derart durchgeführt werden, dass die Bildung von Gasblasen verhindert wird, was durch die Abkühlung des Thermalwassers, Wahl des Druckes wie oben erwähnt und eine geeignete Vermischungsvorrichtung, insbesondere einen Rieselwäscher 34 erreicht werden kann. Der Rückführ-/Reinjektionsdruck p_r auf das mit Abgas bzw. CO₂-versetzte Thermalwasser entspricht üblicherweise mindestens dem Anfangsdrucks p_i auf das Aquiferfluid im Aquifer 0. Eine Explosionsgefahr bei der Einleitung des Abgases in das Thermalwasser ist ausgeschlossen, da bei der Verbrennung darauf geachtet wurde, dass sich weder brennbare Kohlenwasserstoffe noch Sauerstoff im Abgas befinden und die Prozessführung vollständig geschlossen ist, so dass Zutritt von Luftsauerstoff aus der Umgebung verhindert wird. Für die Einleitung bzw. Lösung des Kohlendioxids im Thermalwasser sollten der Gasdruck und der Flüssigkeitsstand im Rieselwäscher 34 kontrolliert werden.

[0036] Durch mindestens eine und vorzugsweise gleich viele Reinjektionsbohrungen 400 wie Entnahmebohrungen 100, an welche je eine Rückführvorrichtung 40 mit mindestens einer Reinjektionspumpe 35 gekoppelt ist, kann das mit Kohlendioxid versetzte Thermalwasser unter einer Rückführtemperatur T_r und einem Rückführdruck p_r zurück in den Aquifer 0 geleitet werden. Verschiedene Messungen haben gezeigt, dass durch die Rückführung des entstandenen Kohlendioxids die Freisetzung von Gas G aus den Gesteinsschichten des Aquifers 0 angeregt wird, sodass durch die Durchführung des Verfahrens die Nutzungsdauer des Aquifers 0 verlängert werden kann.

[0037] Eine Erhöhung des CO₂-Gehalts im geförderten Aquiferfluid infolge der Reinjektion des CO₂-haltigen Thermalwassers wird nicht festgestellt, da das abgekühlte, reinjizierte, CO₂-haltige Thermalwasser höhere Dichte aufweist als das heiße Aquiferfluid und deshalb innerhalb des Aquifers 0 absinkt, so dass in einem oberen Bereich des Aquifers 0 entnommenes Aquiferfluid CO₂-arm bleibt. Berechnungen zufolge sollte bei durchschnittlichen Aquifergrößen eine Nutzung während Jahren möglich sein, ohne dass mit einem Anstieg des CO₂-Gehalt im Aquiferfluid A von mehr als 2% gerechnet werden muss.

[0038] Das hier vorgestellte Verfahren stellt einen geschlossenen Kreislauf dar, wobei das entnommene Aquiferfluid A vollständig energetisch genutzt wird und das entnommene Thermalwasser und die erzeugten Abgase nach der Nutzung wieder über die mindestens eine Reinjektionsbohrung 400 in den Aquifer 0 zurückgespiessen werden. Die mindestens eine Reinjektionsbohrung 400 ist von der mindestens einen Entnahmebohrung 100 im Aquifer 0 vorzugsweise um einen Abstand L beabstandet angeordnet. Um den Aquifer 0 nicht zu stark zu stören ist es vorteilhaft die Entnahmebohrung 100 und die Reinjektionsbohrung 400 um einige hundert Meter bis wenige Kilometer voneinander zu beabstanden. Vorzugsweise sind die Entnahmevorrichtung 10 und die Rückführvorrichtung 40 voneinander unabhängig ausgeführt, wobei jeweils eine Pumpvorrichtung eingesetzt wird, um Aquiferfluid A bzw. mit Abgasen versetztes Thermalwasser T getrennt voneinander zu entnehmen bzw. zu reinjizieren.

[0039] Um Verstopfen der Entnahme- und der Reinjektionsbohrungen zu vermeiden hat es sich bei diesem Verfahren als machbar und bevorzugt herausgestellt, wenn die Verfahrensrichtung umkehrbar ist, d.h. dass eine Entnahmebohrung 100 zur Reinjektionsbohrung 400 wird und die Reinjektionsbohrung 400 zur Entnahmebohrung 100. Dies kann erzielt werden, indem jede Bohrung bzw. jede Entnahme- und Reinjektionsvorrichtung mit zwei Pumpen bestückt wird, von denen die eine der Entnahme, die andere der Reinjektion dient, und indem jede Bohrung mit Leitungen versehen ist, die entweder die Einspeisung in die Separationsvorrichtung 11 oder die Rückführung in den Aquifer 0 erlauben und je nach Bedarf angesteuert werden können. Weitere Voraussetzung ist, dass die Entnahmebohrungen 100 und die Reinjektionsbohrungen 400 nahe der Geothermieanlage liegen und an der Oberfläche wenig beabstandet sind, was durch schräge Ausführung der Bohrungen ermöglicht wird, z.B. derart, dass der Abstand an der Oberfläche beispielsweise 5 m bis 15 m, wie ca. 10 m, beträgt, im Aquifer 0 bis zu ca. 2 km.

[0040] In einer Abwandlung kann neben dem in der Verbrennungsvorrichtung 24 entstandenen Kohlendioxid zusätzlich noch anthropogenes Kohlendioxid aus der Industrie oder anderen Quellen im Thermalwasser gelöst und durch die Reinjektionsbohrung 400 in dem Aquifer 0 geleitet und geologisch gespeichert werden. Damit ist eine zusätzliche Sequestrierung von Kohlendioxid erreichbar.

[0041] Eine allfällige Zuführung von zusätzlichem anthropogenem CO₂ erfolgt vorzugsweise vor dem Gaswäscher, damit dieses CO₂ mitgereinigt wird.

[0042] Die Rückführung des mit dem Abgas gemischten Thermalwassers führt unter Umständen zu einer Anregung des Aquifers 0 und kann dadurch die Nutzung der Ressourcen verlängern.

Nachrüstung:

[0043] Für einige bestehende Geothermieanlagen kann es sinnvoll sein, diese so nachzurüsten, dass das Energienutzungsverfahren an das oben erläuterte optimierte Energienutzungsverfahren angenähert werden kann oder dass sogar dieses optimierte Energienutzungsverfahren durchführbar ist. Eine bestehende Geothermieanlage zur Nutzung der inneren Energie von mit Gas G gemischtem geothermischem Thermalwasser A aus einem Aquifer 0, umfasst üblicherweise heute eine Entnahmevorrichtung 10 für Aquiferfluid A, eine Gasseparationsvorrichtung 11, eine Verbrennungsvorrichtung 24 für separiertes Gas G sowie eine Rückführvorrichtung zur Reinjektion des abgekühlten Thermalwassers T in den Aquifer 0. Solche Anlagen können einerseits durch die speziell vorteilhafte Separationsvorrichtung 11 nachgerüstet werden, in der das Gas G vom Thermalwasser T durch Erzeugung einer hohen Oberfläche, die Temperatur und die Entspannung des unter Druck geförderten Aquiferfluids erfolgt und aus der das Gas bei einer Temperatur ähnlich T_i austritt und gegebenenfalls in mindestens einer Vorrichtung zur Nutzung thermischer Energie, insbesondere Wärmetauscher/Kondensatoren 21, 22, genutzt werden kann.

[0044] Alternativ oder zusätzlich können bestehende Anlagen durch eine Abgasreinigungs-/Nutzungsanlage, umfassend mindestens eine der folgenden Zusatzvorrichtungen aufgerüstet werden:

- (i) mindestens eine Vorrichtung zur Erzeugung von Strom, wie einen Gasmotor mit nachgeschaltetem Generator und/oder eine ORC-Verstromungsanlage,
- (ii) mindestens einen Wärmetauscher zur Nutzung der im Abgas enthaltenen Energie,
- (iii) einen Gaswäscher 30, gekoppelt mit einem Verdichter zur Einleitung von CO₂ in das abgekühlte Thermalwasser vor dessen Reinjektion, wobei der Gaswäscher insbesondere ein Aminwäscher 30 mit daran anschliessender Vorrichtung zur Zersetzung des im Aminwäscher gebildeten Ammoniumcarbonats (amine cooking) 31 ist,
- (iv) einen Rieselwäscher 34 zur Vermischung des CO₂ mit dem Thermalwasser,
- (v) eine der Verbrennungsvorrichtung 24 vorgeschaltete Mischvorrichtung zum Mischen des Gases mit Verbrennungsluft 23 und/oder eine der Verbrennungsvorrichtung 24 nachgeschaltete Abgasreinigungsvorrichtung 27, umfassend einen Katalysator und eine Lambdasonde zur Steuerung der Verbrennung/Vormischung des Gases mit Verbrennungsluft,
- (vi) wenn das Aquiferfluid kein oder zu wenig Gas enthält einen Anschluss an eine Erdgas-Pipeline zur Einspeisung von Erdgas in die Mischvorrichtung 23, so dass die Geothermieanlage für das CCS (carbon capture and storage)-Verfahren eingesetzt werden kann.

[0045] Wird mindestens eine, werden vorzugsweise mehrere, speziell bevorzugt alle der obengenannten zusätzlichen Vorrichtungen (i) bis (v) und gegebenenfalls (vi) an eine bestehende Geothermieanlage angebaut, kann der Energieinhalt des Aquiferfluids A besser bis nahezu vollständig genutzt werden und die Rückführung des CO₂ enthaltenden Thermalwassers ohne Beeinträchtigung des Aquifers 0 erfolgen.

[0046] Das erfindungsgemässe Verfahren bzw. die erfindungsgemässe Geothermieanlage können auch bei Aquiferen eingesetzt werden, die wenig oder keine brennbaren Gase enthalten, vorausgesetzt, dass eine externe Gasquelle, insbesondere eine Erdgasquelle, wie eine Gas-Pipeline verfügbar ist. Bei einer solchen Anlage entfällt die Gasseparationsvorrichtung 11 und das Aquiferfluid/Thermalwasser wird direkt der Nutzung thermische Energie 12–16 zugeführt. Externes Gas wird direkt in die Verbrennungsvorrichtung, resp. dieser vorgeschaltete, die Verbrennung fördernde Vorrichtungen geleitet.

[0047] Während in der vorliegenden Anmeldung bevorzugte Ausführungen der Erfindung beschrieben sind, ist klar darauf hinzuweisen, dass die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist und in auch anderer Weise innerhalb des Umfangs der folgenden Ansprüche ausgeführt werden kann.

Bezugszeichenliste

[0048]

- 0 Aquifer / Grundwasserleiter
- 1 Geothermieanlage

CH 710 999 A2

- 10 Entnahmevorrichtung
 - 100 Entnahmebohrung
 - 11 Gasseparationsvorrichtung (Separator)
 - 12–14 Vorrichtungen bzw. Einrichtungen zur Nutzung der thermischen Energie des Thermalwassers, insbesondere Wärmetauscher
 - 15, 16 Vorrichtungen zur Nutzung der thermischen Energie des Thermalwassers zur Stromerzeugung, wie eine Niederdruck-Wasserdampfmaschine oder eine Abwärmeverstromungsanlage oder insbesondere eine ORC-Verstromungsanlage
 - 17 Rückführ-/Reinjektionsleitung
 - 21 Vorrichtung (Wärmetauscher) zur Nutzung der thermischen Energie des Gases
 - 22 Vorrichtung (Kondensator) zur Trocknung des Gases unter Abführung von Kondenswasser und gegebenenfalls zur Nutzung der thermischen Energie des Gases
 - 23 Mischvorrichtung
 - 24 (Gas-)Verbrennungsvorrichtung
 - 25 (Strom)generator
 - 26 Wärmetauscher zur Vorwärmung des Gases
 - 27 Abgasbehandlungseinrichtung / Abgasbehandlungsvorrichtung / Abgaskatalysator und Lambdasonde
 - 28, 29 Vorrichtung zur Nutzung thermischer Energie im Abgas/Abgasenergienutzungsvorrichtung, insbesondere Wärmetauscher
 - 30 Gaswäschanlage, Gaswäscher (Aminwäscher, Aminwäschanlage)
 - 31 Vorrichtung zur Spaltung von Ammoniumcarbonat (amine cooker)
 - 32 Kondensator
 - 33 Verdichter
 - 34 Vermischungsvorrichtung, vorzugsweise Rieselwäscher
 - 35 Reinjektionspumpe
 - 40 Rückführvorrichtung/Sequestriervorrichtung
 - 400 Reinjektionsbohrung
- A Aquiferfluid / Thermalwasser mit Gas versetzt (T+G)
- Ti Anfangstemperatur des Aquiferfluids
- Pi Anfangsdruck
- T Thermalwasser
- Tf Temperatur des abgekühlten, entgasten Thermalwassers
- Tr Temperatur des rückgeführten, CO₂-haltigen Thermalwassers
- pr Rückführungsdruck auf das mit Abgas versetzte Thermalwasser
- G Gas
- L Abstand zwischen Entnahmebohrung und Reinjektionsbohrung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A), umfassend mit Gas (G) gemischtes geothermisches Thermalwasser (T) in einem geschlossenen Kreislauf, gekennzeichnet durch die Schritte
 - Entnahme des Aquiferfluids (A) aus einem Aquifer (O) mittels mindestens einer Entnahmevorrichtung (10),
 - Separation von Gas (G) durch Entgasung des Aquiferfluids (A) in einer Gasseparationsvorrichtung (11), wobei entgasetes Thermalwasser (T) resultiert,
 - Nutzung der Wärmeenergie des entgaseten Thermalwassers (T) in mindestens einem Wärmetauscher (12, 13, 14) zur Erwärmung mindestens eines im Kreislauf geführten Heizmediums, sowie
 - Durchführung eines Verbrennungsprozesses des separierten Gases (G) in einer Verbrennungsvorrichtung (24), insbesondere einem Gasmotor, und Nutzung der inneren Energie des Gases (G) durch den Betrieb eines Generators (25),
 - Entfernung unerwünschter Stoffe aus dem Abgas mittels einer Abgasreinigungsvorrichtung Umfassend eine Gaswäschanlage zur Abtrennung des CO₂ aus den abgekühlten Abgasen, insbesondere einen Aminwäscher (30) mit nachfolgender Vorrichtung zur Zersetzung des Ammoniumcarbonats (31), und
 - Einleitung des CO₂ in das abgekühlte Thermalwasser (T), insbesondere mittels einer Vermischungsvorrichtung, wie einem Rieselwäscher, (34) und anschließende Reinjektion des mit Abgas versetzten Thermalwassers in den Aquifer (O).
2. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A) nach Anspruch 1, wobei der Verbrennungsvorrichtung (24) eine Mischvorrichtung (23) zum Mischen von Gas mit Verbrennungsluft vorgeschaltet wird, wobei das Mischverhältnis in der Mischvorrichtung mittels einer im Abgasstrom angeordneten Lambdasonde gesteuert wird, und gegebenenfalls Vorheizen der Gas-Luft-Mischung vor deren Einspeisung in die Verbrennungsvorrichtung (24) in einem Wärmetauscher (26) und/oder Abgasreinigung in einer der Verbrennungsvorrichtung (24) nachgeschaltete Abgasreinigungsvorrichtung (27), insbesondere einen Katalysator.
3. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Nutzung der inneren Energie des Gases (G) neben dem Betrieb eines Generators (25), die Nutzung der thermischen Energie in der Abwärme der Abgase nach Stromerzeugung in mindestens einer weiteren Abgasenergienutzungsvorrichtung, insbesondere in mindestens einem Wärmetauscher (28, 29), umfasst.
4. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Vermischung des mit Abgas versetzten abgekühlten Thermalwassers mit Sauerstoff und damit eine Kontamination des Aquifers durch Sauerstoff bei der Reinjektion durch eine vollkommen geschlossene Prozessführung unterbunden wird.
5. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Bildung von Gasblasen bei der Reinjektion des mit Abgas versetzten Thermalwassers vermieden wird, indem ein Rückführungsdruck (pr) auf das Kohlendioxid und eine Rückföhrtemperatur Tr derart gewählt werden, dass sich das CO₂ im Thermalwasser vollständig löst.
6. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die thermische Energie des separierten Gases (G) vor der Verbrennung in mindestens einer Vorrichtung zur Nutzung thermischer Energie, insbesondere mindestens einem Wärmetauscher (21) und/oder Kondensator (22), genutzt wird.
7. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Entnahme des Aquiferfluids (A) und die Reinjektion des mit CO₂ versetzten Thermalwassers über mehrere Entnahme- bzw. Reinjektionsbohrungen (100, 400) erfolgt, wobei jede Bohrung mit einer Entnahme- bzw. Reinjektionsvorrichtung (10, 40) versehen ist und vorzugsweise jede Entnahme- bzw. Reinjektionsvorrichtung so gestaltet ist, dass sie wahlweise der Entnahme oder der Reinjektion dient.
8. Verfahren zur Nutzung der inneren Energie eines Aquiferfluids (A) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Entnahme von Aquiferfluid (A) gleichzeitig über mehrere Entnahmebohrungen (100) und die Reinjektion gleichzeitig über mehrere Reinjektionsbohrungen (400) erfolgt.
9. Geothermieanlage zur Nutzung der inneren Energie von mit Gas (G) gemischtem geothermischem Thermalwasser aus einem Aquifer (O) in einem geschlossenen Kreislauf, umfassend
 - mindestens eine Entnahmevorrichtung (10) für Aquiferfluid (A),
 - eine Gasseparationsvorrichtung (11) zur Auftrennung des Aquiferfluids in Thermalwasser (T) und Gas (G),
 - mindestens eine Vorrichtung zur Nutzung thermischer Energie, wie mindestens einen Wärmetauscher (12, 13, 14) zur Nutzung der im Thermalwasser enthaltenen thermischen Energie zur Erwärmung von im Kreislauf geföhrttem Heizmedium und/oder mindestens eine Vorrichtung zur Nutzung thermischer Energie zur Stromerzeugung, insbesondere eine ORC-Verstromungsanlage (15, 16),
 - eine Verbrennungsvorrichtung (24) für separiertes Gas, insbesondere einen Gasmotor, mit mindestens einem daran gekoppelten Generator (25) zur Erzeugung von elektrischem Strom,
 - einen im Abgasstrom nach der mindestens einen Vorrichtung zu dessen thermischer Nutzung (28, 29) angeordneten Gaswäscher (30) zur Abtrennung des CO₂,

- eine Zuleitung für das nach Gaswäsche erhaltene CO₂ in eine Rückführleitung (17) für das aus dem mindestens einen Wärmetauscher (14) ausgetretene Thermalwasser umfassend eine Vermischungsvorrichtung, vorzugsweise einen Rieselwäscher (34) und
 - mindestens eine Rückführvorrichtung (40) zur Reinjektion des mit Kohlendioxid versetzten abgekühlten Thermalwassers durch eine Reinjektionsbohrung (400) in den Aquifer (0).
10. Geothermieanlage gemäss Anspruch 9, wobei die Geothermieanlage eine der Verbrennungsvorrichtung (24) vorgeschaltete Mischvorrichtung (23) zum Mischen des Gases mit Verbrennungsluft und/oder eine der Verbrennungsvorrichtung nachgeschaltete Abluftreinigungsvorrichtung (27), wie einen Katalysator, umfasst.
 11. Geothermieanlage gemäss Anspruch 10, wobei die Verbrennungsvorrichtung (24) als Gasmotor ausgestaltet ist und die Abgasbehandlungsvorrichtung (27) einen Katalysator und eine Lambdasonde umfasst und dass der Verbrennungsvorrichtung (24) eine Mischvorrichtung (23) vorgeschaltet ist, die in Abhängigkeit der Messung der Lambdasonde die Zumischung von Sauerstoff regelt, sodass eine gesteuerte Verbrennung durchführbar ist.
 12. Geothermieanlage gemäss einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei im Abgasstrom mindestens ein Wärmetauscher (28, 29) angeordnet ist.
 13. Geothermieanlage gemäss einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei diese eine Zuführleitung für zusätzliches Kohlendioxid aus einer anthropogenen Quelle aufweist, derart, dass dieses dem Abgas, vorzugsweise vor dem Gaswäscher (30), zugeführt werden kann, sodass dieses zusammen mit dem aus dem Abgas stammenden CO₂ im abgekühlten Thermalwasser mittels einer Vermischungsvorrichtung, insbesondere einem Rieselwäscher (34) gelöst und mittels Rückführvorrichtung (40) in den Aquifer (0) zurückgeführt werden kann.
 14. Geothermieanlage gemäss einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei die mindestens eine Entnahmevorrichtung (10) und die mindestens eine Reinjektionsvorrichtung (40) mit je zwei Pumpen bestückt sind, wovon die eine für die Entnahme, die andere für die Reinjektion ausgestaltet ist, und wobei die Pumpe für die Entnahme mit der Separationsvorrichtung (11) und die Pumpe für die Reinjektion mit einer Rückführleitung (17) verbunden sind, so dass die Prozessführung umkehrbar ist.
 15. Geothermieanlage gemäss einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei dem Separator (11) nachgeschaltet eine Vorrichtung zur Erzeugung von Strom angeordnet ist, insbesondere eine ORC-Verstromungsanlage (15, 16).
 16. Umrüstungsverfahren einer bestehenden Geothermieanlage, zur energetischen Nutzung eines Aquiferfluids (A), durch Aufrüsten mit mindestens einer der folgenden Zusatzvorrichtungen (i) bis (vi):
 - (i) mindestens eine Vorrichtung zur Erzeugung von Strom
 - (ii) mindestens einen Wärmetauscher zur Nutzung der im Abgas enthaltenen Energie;
 - (iii) eine der Verbrennungsvorrichtung 24 vorgeschaltete Mischvorrichtung zum Mischen des Gases mit Verbrennungsluft 23 und/oder eine der Verbrennungsvorrichtung 24 nachgeschaltete Abgasreinigungsvorrichtung 27, umfassend einen Katalysator und eine Lambdasonde zur Steuerung der Verbrennung/Vormischung des Gases mit Verbrennungsluft,
 - (iv) einen Gaswäscher 30, gekoppelt mit einem Verdichter zur Einleitung von CO₂ in das abgekühlte Thermalwasser vor dessen Reinjektion, wobei der Gaswäscher insbesondere ein Aminwäscher 30 mit daran anschliessender Vorrichtung zur Zersetzung des im Aminwäscher gebildeten Ammoniumcarbonats (amine cooking) 31 ist,
 - (v) einen Rieselwäscher 34 zur Vermischung des CO₂ mit dem Thermalwasser
 - (vi) wenn das Aquiferfluid kein oder zu wenig Gas enthält einen Anschluss an eine Gaspipeline zur Einspeisung von Gas in die Mischvorrichtung 23, so dass die Geothermieanlage für das CCS (carbon capture and storage)-Verfahren eingesetzt werden kann.
 17. Umrüstungsverfahren einer bestehenden Geothermieanlage, insbesondere nach Anspruch 16, zur energetischen Nutzung eines Aquiferfluids (A), welches mit Gas (G) gemischtes geothermisches Thermalwasser (T) aufweist, umfassend eine Entnahmevorrichtung (10) eine Gasseparationsvorrichtung (11), sowie eine Verbrennungsvorrichtung (24) für separiertes Gas (G), wobei Abgase in den Aquifer (0) mittels Rückführvorrichtung (40) reinjizierbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass an die Verbrennungsvorrichtung (24), dieser nachgeschaltet, im Abgasstrom ein Gaswäscher (30) angeordnet ist, mittels dem aus dem Abgas nach Nutzung in mindestens einer Abgasenergienutzvorrichtung (28, 29) CO₂ abgetrennt und, insbesondere mittels einer Vermischungsvorrichtung (34), wie einem Rieselwäscher, in abgekühltes Thermalwasser eingeleitet werden kann und mittels der Rückführvorrichtung (40) in den Aquifer (1) zurückführbar ist.
 18. Umrüstungsverfahren nach Anspruch 16 zur energetischen Nutzung eines Aquiferfluids (A), welches Gas (G) armes oder Gas (G) freies geothermisches Thermalwasser (T) aufweist, wobei die Geothermieanlage eine Entnahmevorrichtung (10) für Aquiferfluid (A) und Vorrichtungen (12–14) zur Nutzung der thermischen Energie des Aquiferfluids umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass sie mit einer Verbrennungsvorrichtung (24) für aus einer Pipeline entnommenes Erdgas versehen wird, dieser Verbrennungsvorrichtung (24) nachgeschaltet, im Abgasstrom ein Gaswäscher (30) angeordnet ist, mittels dem aus dem Abgas nach Nutzung in mindestens einer Abgasenergienutzvorrichtung (28, 29) CO₂ abgetrennt und, insbesondere mittels einer Vermischungsvorrichtung (34), wie einem Rieselwäscher,

CH 710 999 A2

in abgekühltes Thermalwasser eingeleitet werden kann und mittels der Rückführvorrichtung (40) in den Aquifer (1) zurückführbar ist.

