
System und Verfahren zum Erschließen von geothermischer Energie
aus zwei oder mehr Reservoiren

5

B e s c h r e i b u n g

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Systeme und Verfahren zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie.

Entsprechende Systeme sind an sich bekannt und umfassen allgemein einen
10 unterirdischen, nutzbaren Bereich mit geothermischer Energie, eine erste, an der Erdoberfläche angeordnete Erschließungsstätte, die dem nutzbaren Bereich zugeordnet ist, eine von der Erschließungsstätte ausgehende, zu dem nutzbaren Bereich in die Tiefe hinabführende, erste Fluidverbindungsleitung, eine von dem nutzbaren Bereich in der Tiefe ausgehende, aufwärts zu der Erschließungsstätte führende zweite Fluidverbindungsleitung, und eine an der
15 Erschließungsstätte angeordnete Wärmetauscheinrichtung. Die erste Fluidverbindungsleitung dient als Injektionsleitung, d.h. in ihr wird ein Wärmetauschfluid von der Erdoberfläche in die Tiefe und in den nutzbaren Bereich gefördert. Die zweite Fluidverbindungsleitung dient als Produktionsleitung, d.h. in ihr wird ein Wärmetauschfluid aus dem nutzbaren Bereich an die Erdoberfläche und in die Wärmetauscheinrichtung gefördert. Geeignete nutzbare Bereiche
20 befinden sich in einer Tiefe von ca. 1.000 Meter bis 5.000 Meter, wobei jedoch in bestimmten geologischen Formationen (z.B. Lanzarote oder Australien) oder weiter unterhalb der Erdoberfläche. In diesen Tiefen liegen aufgrund der mit zunehmender Tiefe ansteigenden Temperaturen (mittlerer Gradient ca. 3°C pro 100 Meter) Temperaturen im Bereich von 80°C bis 180°C, vorzugsweise von 100°C bis 180 °C vor. In Einzelfällen können auch Projekte ab ca.
25 300 m Tiefe und dort bereits über 180°C berücksichtigt werden. Durch die erwähnten Tiefen und dort vorherrschenden Temperaturen ist die hierin angesprochene Geothermie, die auch als tiefe Geothermie bezeichnet wird, abgegrenzt und unterscheidet sich hinsichtlich der eingesetzten Explorations-, Bohr-, Verrohrungs-, Pumpen- und Kraftwerkstechnologien grundsätzlich von der oberflächennahen Geothermie, bei der Formationen in Tiefen von
30 mehreren 10 Meter bis etwa 300 Meter, wo Temperaturen von etwa 5°C bis etwa 15° C herrschen können, erschlossen werden.

Die Wärmetauscheinrichtung weist einen Fluid-Einlass, an dem die zweite
zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung angeschlossen ist, und einen Fluid-
Auslass, an dem die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
35 angeschlossen ist, auf. Die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, der nutzbare Bereich, die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung und die Wärmetauscheinrichtung bilden ein im Wesentlichen geschlossenes Kreislaufsystem für ein

darin umströmendes Wärmetauschfluid aus. Das Wärmetauschfluid, üblicherweise Wasser, wird mittels geeigneter Pumpen in dem Kreislaufsystem umgepumpt, etwa mittels einer am Beginn der ersten Fluidverbindungsleitung (Injektionsleitung) angeordneten Injektionspumpe und einer in der Nähe der Bohrsohle der zweiten Fluidverbindungsleitung (Produktionsleitung) angeordneten Unterwasser- bzw. Förderpumpe (Englisch: downhole pump). Daher wird die

5 erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung auch als Injektionsleitung und die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung als Produktionsleitung bezeichnet. In Abhängigkeit von den hydraulischen Anforderungen des Systems können auch an verschiedenen Positionen der Injektionsleitung Unterwasserpumpen eingesetzt werden.

10 In dem Kreislaufsystem wird das Wärmetauschfluid also in die Injektionsleitung verdrückt und gelangt in die Tiefe, durchströmt den permeablen nutzbaren Bereich, kommt dabei in einen Wärmeübertragungskontakt mit der heißen permeablen geologischen Formation und nimmt entsprechend Wärmeenergie auf. Anschließend strömt das erhitzte Wärmetauschfluid durch die Produktionsleitung aufwärts und transportiert die im nutzbaren Bereich aufgenommene

15 Wärmeenergie zu der Wärmetauscheinrichtung. Beim Verdrücken an der Erdoberfläche weist das Wärmetauschfluid eine Temperatur im Bereich von ca. 50°C bis 65°C auf. Um Wärmeverluste zu vermeiden, sind die oberen Abschnitte der Injektions- und Produktionsleitungen (wo die umgebenden Formationen noch auf einer niedrigeren Temperatur als das Wärmetauschfluid sind) thermisch isoliert, um Wärmeverluste in die diese Abschnitte

20 umgebenden Formationen zu verringern.

Die Wärmetauscheinrichtung entzieht dem in dem Kreislaufsystem umströmenden Wärmetauschfluid Wärmeenergie und stellt einen Teil der so gewonnenen Energie in geeigneter Form zum Energiekonsum bereit. Die Wärmetauscheinrichtung kann etwa ein

25 Stromkraftwerk oder ein Heizkraftwerk betreiben, um gewonnene Energie in Form von elektrischer Energie oder in Form von Wärmeenergie, die beispielsweise in ein Fernwärmenetz eingespeist wird, bereitzustellen. Derzeit in der Geothermie betriebene Stromkraftwerke können Leistungen im Bereich von ca. 1 bis ca. 5 Megawatt abgeben und benötigen dafür einen Zufluss des Wärmetauschfluids (Wasser) aus der Produktionsleitung von mindestens etwa 60 bis etwa

30 100 Liter pro Sekunde (oder auch mehr) bei einer Temperatur nahe dem Siedepunkt des Wassers von etwa 80 bis etwa 160°C (oder mehr).

Eine Erschließungsstätte, die Wärmetauscheinrichtung und der von dort erschlossene geothermisch nutzbare Bereich gehören in der Regel zu einer Gemeinde. Eine andere, etwa benachbarte Gemeinde hat eine weitere eigene Erschließungsstätte, eine weitere eigene Wärmetauscheinrichtung und einen von dort erschlossenen, weiteren geothermisch nutzbaren

35 Bereich.

Die Druckschrift WO 98/22760 offenbart ein derartiges System, in dem die Injektionsleitung und die Produktionsleitung in der Tiefe durch mehrere

Wärmeabsorptionsleitungen beschrieben sind. Die Wärmeabsorptionsleitungen weisen jeweils eine Länge von mehreren Kilometern und einen Durchmesser in der Größenordnung von 10 Zentimetern auf, und sind wenigstens etwa 30 bis 50 Meter voneinander beabstandet. Im Übergangsbereich von den Wärmeabsorptionsleitungen in die Produktionsleitung wird die geologische Formation durch hydraulisch induzierte Rissbildung zerklüftet, weil es schwierig ist, beim Bohren der Wärmeabsorptionsleitungen in der Tiefe genau die Produktionsleitung zu treffen.

Die in der angesprochenen tiefen Geothermie eingesetzten Technologien des Bohrens, der Verrohrung von Bohrungen und von Pumpen sind auf dem neuesten Stand der Technik, der teilweise in der Industrie der Erdöl- und Erdgasförderung entwickelt worden ist. Auch die eingesetzten Kraftwerkstechnologien sind auf dem neuesten Stand der Technik.

Vor dem Hintergrund der begrenzten Ressourcen an Kohlenwasserstoffen (Erdöl und Erdgas), bis an technologische Grenzen entwickelter Technologie und global weiterhin zunehmendem Energiebedarf stellt sich in der tiefen Geothermie die Aufgabe, Systeme und Verfahren bereitzustellen zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie, bei denen die (Wärme)-Energieeffizienz und die Produktionszeiträume beim Fördern von Wärmeenergie signifikant größer sind als bei den derzeit bekannten Systemen und Verfahren.

Wie nach einem ersten Aspekt beansprucht, wird ein System zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie bereitgestellt. Das System umfasst einen ersten unterirdischen, nutzbaren Bereich mit geothermischer Energie, eine vorbestimmte erste Erschließungsstätte, die dem ersten nutzbaren Bereich zugeordnet ist, und eine erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, die zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet ist.

Erfindungsgemäß umfasst das System ferner mindestens einen zweiten oder mehr unterirdische nutzbare Bereiche mit geothermischer Energie und eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, die zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem zweiten nutzbaren Bereich ausgebildet ist.

Unter einer Erschließungsstätte wird hierin eine sich an der Erdoberfläche befindende Stelle verstanden, bei der sich mindestens ein Bohranfangspunkt (in der englischen Fachsprache: spud points) befindet, von dem aus eine bis in einen nutzbaren Bereich führende Bohrung hinabgeführt worden ist, die Bohrung anschließend verrohrt und auf diese Weise eine Fluidverbindungsleitung zwischen der Erschließungsstätte und dem nutzbaren Bereich hergestellt worden ist.

In einer im Sinne der vorliegenden Erfindung alternativen Begriffserklärung kann hierin unter einer Erschließungsstätte eine sich an der Erdoberfläche befindende Stelle verstanden werden, von der aus eine Fluidverbindungsleitung sich bis in einen nutzbaren Bereich mit

geothermischer Energie erstreckt und eine Fluidkommunikation zwischen dem nutzbaren Bereich und der Stelle an der Erdoberfläche ermöglicht wird.

Durch die Fluidverbindungsleitung, die sich von einem nutzbaren Bereich bis zu einer Erschließungsstätte erstreckt, wird eine Beziehung zwischen dem nutzbaren Bereich und der Erschließungsstätte hergestellt, welche hierin als Erschließung bzw. erschließende Verbindung bezeichnet wird. Es wird nun vorausgesetzt, dass es mindestens eine (erste) Erschließungsstätte und mindestens zwei von dieser Erschließungsstätte aus erschließbare, nutzbare Bereiche mit geothermischer Energie gibt.

Allgemein wird auch eine Situation betrachtet, bei der es mehrere Erschließungsstätten und mehrere nutzbare Bereiche mit geothermischer Energie gibt. Um Beziehungen bzw. Zuordnungen zwischen einer Erschließungsstätte und einem nutzbaren Bereich näher zu kennzeichnen, werden der einen Erschließungsstätte oder den mehreren Erschließungsstätten Ordnungszahlen k (wobei k eine natürliche Zahl und ein Zählindex ist und mithin gilt: $k \geq 1$) und dem einen nutzbaren Bereich oder den mehreren nutzbaren Bereichen Ordnungszahlen l (wobei l eine natürliche Zahl und ein Zählindex ist und mithin gilt: $l \geq 1$) zugeordnet.

Aufgrund eines Vergleichs der Ordnungszahlen kann nun eine Beziehung zwischen einem nutzbaren Bereich und einer Erschließungsstätte als „zugeordnet“ oder als „nicht-zugeordnet“ bezeichnet und unterschieden werden.

Eine Beziehung zwischen einem nutzbaren Bereich mit einer Ordnungszahl l und einer Erschließungsstätte mit einer Ordnungszahl m wird hierin als „zuordnungsgemäße“ Beziehung bzw. als Zuordnung bezeichnet, wenn die Ordnungszahlen l und m übereinstimmen (d.h. $l = m$). In diesem Sinne besteht also eine zuordnungsgemäße Beziehung zwischen dem ersten nutzbaren Bereich und der ersten Erschließungsstätte, zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich und der zweiten Erschließungsstätte, usw. und allgemein zwischen dem l -ten nutzbaren Bereich und der l -ten Erschließungsstätte.

Im Gegensatz dazu wird eine Beziehung zwischen einem nutzbaren Bereich mit einer Ordnungszahl l und einer Erschließungsstätte mit einer Ordnungszahl m hierin als „nicht-zuordnungsgemäße“ Beziehung bzw. als Nicht-Zuordnung bezeichnet, wenn die Ordnungszahlen l und m verschieden sind (d.h. $l \neq m$). In diesem Sinne besteht also beispielsweise eine nicht-zuordnungsgemäße Beziehung zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich und der ersten Erschließungsstätte, zwischen dem dritten nutzbaren Bereich und der ersten Erschließungsstätte, zwischen dem dritten nutzbaren Bereich und der zweiten Erschließungsstätte, ... und allgemein zwischen dem l -ten nutzbaren Bereich und der m -ten Erschließungsstätte wenn die Zählindices l und m verschieden sind, d.h. wenn gilt: $l \neq m$.

Im Sinne der so definierten Zuordnungen wird hierin eine Fluidverbindungsleitung allgemein als „zuordnungsgemäß erschließend“ bezeichnet, wenn durch die

Fluidverbindungsleitung eine Fluidkommunikation zwischen einem l-ten nutzbaren Bereich und einer l-ten Erschließungsstätte ausgebildet wird.

Im Sinne der so definierten Zuordnungen wird hierin eine Fluidverbindungsleitung allgemein als „nicht-zuordnungsgemäß erschließend“ bezeichnet, wenn durch die Fluidverbindungsleitung eine Fluidkommunikation zwischen einem l-ten nutzbaren Bereich und einer m-ten Erschließungsstätte ausgebildet wird, wobei die Zählindices l und m verschieden sind, d.h. dass gilt: $l \neq m$.

Ferner wird hierin eine Fluidverbindungsleitung allgemein als „vernetzend“ bezeichnet, wenn durch die Fluidverbindungsleitung eine Fluidkommunikation zwischen einem l-ten nutzbaren Bereich und einem m-ten nutzbaren Bereich ausgebildet wird, wobei die Zählindices l und m verschieden sind, d.h. dass gilt: $l \neq m$.

Einer Erschließungsstätte ist allgemein noch dadurch gekennzeichnet, dass hierin eine Wärmetauscheinrichtung oder eine Verbindungseinrichtung angeordnet ist.

Unter einer Wärmetauscheinrichtung kann eine Einrichtung verstanden werden, die eine Wärmeenergie-Entzugsfunktion aufweist. Mittels der Wärmeenergie-Entzugsfunktion kann die in dem Wärmetauschfluid enthaltene Wärmeenergie entzogen werden und in geeigneter Form zum Energiekonsum bereitgestellt werden, etwa innerhalb eines Systems zum Produzieren von geothermischer Energie aus einem zuströmenden Wärmetauschfluid, das in einem die vorgenannte zuordnend erschließende Fluidverbindungsleitung umfassenden Wärmetauschfluidkreislaufsystem umgepumpt wird. Ferner kann die Wärmetauscheinrichtung eine Rückführungs-Funktion aufweisen, gemäß der ein, etwa durch einen Fluid-Einlass, einströmendes Wärmetauschfluid nach dem Wärmeentzug, etwa aus einem Fluid-Auslass, heraus in eine Injektionsleitung verdrückt bzw. reinjiziert wird und/oder einströmendes Wärmetauschfluid gefördert bzw. angesaugt wird. Konkret kann eine Wärmetauscheinrichtung etwa ein Stromkraftwerk, das die aus dem Wärmetauschfluid entzogene Wärmeenergie in eine elektrische Spannung und einen elektrischen Strom transformiert, oder eine Wärmetauscheinrichtung, die die aus dem Wärmetauschfluid entzogene Wärmeenergie überträgt in ein Wärmetransportfluid, das in einem sekundären Fluidkreislaufsystem, wie etwa einem Fernwärmeübertragungsnetzwerk, von der Wärmetauscheinrichtung zu einer Vielzahl von an das Netzwerk angeschlossenen Wärmeenergie-Konsumenten und zurück zu der Wärmetauscheinrichtung umgepumpt wird, sein.

Unter einer Verbindungseinrichtung wird hierin eine Einrichtung verstanden, die eine Rückführungs-Funktion aufweist, gemäß der ein, etwa durch einen Fluid-Einlass, einströmendes Wärmetauschfluid nach dem Wärmeentzug, etwa aus einem Fluid-Auslass, heraus in eine Injektionsleitung verdrückt bzw. reinjiziert wird und/oder einströmendes Wärmetauschfluid gefördert bzw. angesaugt wird. Alternativ oder zusätzlich dazu kann die Verbindungseinrichtung die Wärmeenergie-Entzugsfunktion einer Wärmetauscheinrichtung

aufweisen, gemäß der im Betrieb des Systems aus einem zuströmenden Wärmetauschfluid, das in einem die vorgenannte zuordnend erschließende Fluidverbindungsleitung umfassenden Wärmetauschfluidkreislaufsystem umgepumpt wird, die in dem Wärmetauschfluid enthaltene Wärmeenergie entzogen wird und in geeigneter Form zum Energiekonsum bereitgestellt wird.

5 Mindestens eine Verbindungseinrichtung und/oder die Wärmetauscheinrichtung können eine Solarenergiekollektoreinrichtung umfassen, die dazu ausgebildet ist, Solarenergie zwischenzuspeichern und an das in dem Kreislaufsystem umströmende Wärmetauschfluid zu übertragen.

10 Als ein erster, mit der Erfindung erzielbarer Vorteil ist folgendes anzumerken. Weil das System den ersten nutzbaren Bereich mit dem zweiten nutzbaren Bereich verbindet bzw. vernetzt und geothermische Energie somit simultan aus beiden nutzbaren Bereichen fördert, ist die Wärmeeffizienz größer als wenn geothermische Energie – wie bisher üblich – aus nur einem nutzbaren Bereich gefördert wird. Dies ist zurückzuführen auf die begrenzte Effizienz und Genauigkeit von Stimulierungsverfahren, die in manchen Fällen eine Ausbreitungslänge von
15 etwa 200 m bis 300 m erreichen, und deren Richtung für lange Abstände von der Verrohrung kaum kontrollierbar ist. Aus diesem Grund sind eher kleinere nutzbare Bereiche und bei künstlicher Stimulierung eher kürzere Risse zu bevorzugen. Durch die Auswahl von hermetisch durch umhüllende geologische Formationen abgegrenzte nutzbare Bereiche kann das Risiko von Wasserverlusten (englischer Fachbegriff: water flooding), die größte HDR (Hot Dry Rock)
20 Projekte zum Scheitern bringen, verringert werden.

 Ein durch die Erfindung erzielbarer, zweiter Vorteil ist, dass ein Produktionszeitraum zum Fördern von geothermischer Energie (d.h. der Zeitraum, bis eine etwaige Regeneration des nutzbaren Bereichs erforderlich ist) verlängert werden oder gar eine dauerhafte Förderung erzielt werden kann. Als Hintergrund ist hierzu folgender Effekt anzumerken. Wenn einem
25 nutzbaren Bereich von dem Förderungssystem schneller (bzw. pro Zeiteinheit mehr) Wärmeenergie entzogen wird, als dem nutzbaren Bereich aus dem Erdinneren zufließt, dann erniedrigt sich die Temperatur in dem nutzbaren Bereich mehr und mehr. Dies kann so weit gehen, dass die Temperatur nicht mehr ausreicht für eine technisch erzielbare Transformation in Energie für den Energiekonsum bzw. für einen wirtschaftlich rentablen Betrieb der
30 Wärmetauscheinrichtung an der Erschließungsstätte. In einem solchen Fall muss die Förderung von Wärmeenergie aus dem nutzbaren Bereich gestoppt werden und dem nutzbaren Bereich Zeit zum Regenieren, d.h. zum Aufnehmen von aus dem Erdinneren zufließender, neuer geothermischer Energie, gegeben werden. Während einer solchen Regenerierung erhöht (erholt) sich die Temperatur und kann sich bei hinreichender Regenerationszeit der
35 ursprünglichen Temperatur vor der Erschließung wieder annähern. Dieser Effekt ist bekannt. Die für die Regeneration erforderliche Zeit stellt für den Betreiber des Förderungssystems eine Ausfallzeit dar.

Weil nun von der einen Erschließungsstätte aus zwei nutzbare Bereiche erschlossen werden, kann ein Förderbetrieb so eingerichtet werden, dass – bei vergleichbarer geförderter Wärmeenergie pro Zeiteinheit – der Wärmeentzug für jeden der beiden nutzbaren Bereiche kleiner ist als wenn – wie herkömmlich – diese Wärmeenergie pro Zeiteinheit aus nur einem nutzbaren Bereich gefördert würde. So wird ermöglicht, den Produktionszeitraum zum Fördern von geothermischer Energie (d.h. den Zeitraum, bis eine etwaige Regeneration des nutzbaren Bereichs erforderlich ist) zu verlängern oder gar eine dauerhafte Förderung zu erzielen.

Ein dritter Vorteil ergibt sich daraus, dass zumindest die vernetzende Fluidverbindungsleitung in dem Abschnitt zwischen dem ersten und dem zweiten nutzbaren Bereich durch Formationen verläuft, wo aufgrund ihrer Tiefe unter der Erdoberfläche ähnliche Temperaturen herrschen wie in den nutzbaren Bereichen. Dadurch kann in dem Abschnitt zwischen dem ersten und dem zweiten nutzbaren Bereich eine Wärmeenergieübertragung in das durchströmende Wärmetauschfluid zusätzlich zu der Wärmeenergieübertragung in dem ersten und dem zweiten nutzbaren Bereich erfolgen. Mit anderen Worten, es wird auch geothermische Energie aus den Formationen, die zwischen den nutzbaren Bereichen angeordnet sind, erschlossen. Die Erschließung der geothermischen Energie aus den Formationen zwischen den nutzbaren Bereichen erfolgt jedoch nicht mit der gleichen Wärmeenergie-Übertragungseffizienz wie in den nutzbaren Bereichen, wo das Wärmetauschfluid in direkten Kontakt mit dem Gestein in geologischer Formation kommt. Dies, weil das Wärmetauschfluid zwischen den nutzbaren Bereichen in einer Leitung geführt wird und nicht in direkten Kontakt mit dem Gestein kommt, und weil die Kontaktfläche pro Volumeneinheit niedriger ist als in den nutzbaren Bereichen.

Das System kann eine an der ersten Erschließungsstätte bereitgestellte Wärmetauscheinrichtung mit einem Fluideinlass und einem Fluidauslass umfassen. Dabei kann die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung an dem Fluideinlass und die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung an dem Fluidauslass angeschlossen sein.

Die Wärmetauscheinrichtung weist eine Funktion auf, einem im Betrieb des System in dem Wärmetauschfluidkreislaufsystem umströmenden Wärmetauschfluid Wärmeenergie zu entziehen und in geeigneter Form zum Energiekonsum bereitzustellen. Ferner ist die Wärmetauscheinrichtung dazu ausgebildet, durch ihren Fluid-Einlass einströmendes Wärmetauschfluid nach dem Wärmeentzug aus ihrem Fluid-Auslass heraus zu verdrücken bzw. zu reinjizieren. Dazu kann die Wärmetauscheinrichtung eine erste geeignet ausgebildete Pumpe (eine Injektionspumpe) zum Verdrücken des Wärmetauschfluids durch den Fluid-Auslass in die daran angeschlossene nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung umfassen. Letztere wird dadurch als Injektionsleitung betrieben.

Der zweite nutzbare Bereich kann unmittelbar oder mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt sein. Diese beiden alternativen Ausführungsformen ermöglichen eine entsprechende erste und zweite Gruppe von Weiterentwicklungen.

5 Der zweite oder ein jeweiliger weiterer nutzbarer Bereich können unmittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt sein, wozu das System ferner eine erste oder eine jeweilige weitere vernetzende Fluidverbindungsleitung, die zwischen dem zweiten oder dem jeweiligen weiteren nutzbaren Bereich und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet ist, umfassen kann.

10 Die erste nicht-zuordnungsgemäße erschließende Fluidverbindungsleitung, der zweite nutzbare Bereich, die erste vernetzende Fluidverbindungsleitung, der erste nutzbare Bereich und die erste zuordnungsgemäße erschließende Fluidverbindungsleitung können ein im Wesentlichen druckdichtes Verbindungsleitungssystem ausbilden.

15 Die erste nicht-zuordnungsgemäße erschließende Fluidverbindungsleitung, der zweite nutzbare Bereich, die erste vernetzende Fluidverbindungsleitung, der erste nutzbare Bereich, die erste zuordnungsgemäße erschließende Fluidverbindungsleitung und die Wärmetauscheinrichtung können ein im Wesentlichen geschlossenes Wärmetauschfluidkreislaufsystem für ein darin im Betrieb des Systems umströmendes Wärmetauschfluid ausbilden. Vorzugsweise ist das Wärmetauschfluidkreislaufsystem druckdicht.
20 Weil das Kreislaufsystem geschlossen ist, ist ein Verlust des Wärmetauschfluids mit zunehmender Betriebsdauer (bei einer entsprechenden Auswahl einer geeigneten geologischen Formation) gering bis kaum oder nicht vorhanden.

In Weiterführung des erfinderischen Gedankens ist es auch möglich, von einer Erschließungsstätte aus nicht nur zwei, sondern auch drei oder mehr nutzbare Bereiche zu
25 erschließen. Dazu werden im Folgenden mehrere geeignete Ausführungsformen beschrieben.

Der zweite und jeder weitere nutzbare Bereich können unmittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt sein. Bei der unmittelbaren Vernetzung bzw. Vernetzungen kann das System insgesamt m nutzbare Bereiche umfassen, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt. Ferner können der zweite und jeder weitere m -te
30 nutzbare Bereiche jeweils unmittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt sein. Dadurch kann eine sogenannt parallele und unmittelbare Vernetzung von m nutzbaren Bereichen mit dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet werden.

In der Ausführungsform, in der das System zur unmittelbaren Vernetzung des zweiten nutzbaren Bereichs die erste vernetzende Fluidverbindungsleitung umfasst, die zwischen dem
35 zweiten und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet ist, kann das System zur unmittelbaren Vernetzung eines jeden der weiteren m nutzbaren Bereiche eine $(m-1)$ -te vernetzende

Fluidverbindungsleitung, die zwischen dem m-ten nutzbaren Bereich und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet ist, umfassen.

Die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung kann einen ersten Abschnitt aufweisen, der von der ersten Erschließungsstätte ausgeht und sich bis in eine Zone in der Tiefe erstreckt, wobei die Zone durch einen vorbestimmten Maximalabstand von dem ersten nutzbaren Bereich begrenzt ist und folglich um den ersten nutzbaren Bereich herum angeordnet ist. Ein sich an den ersten Abschnitt anschließender, zweiter Abschnitt der ersten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung kann dann aus der Zone in relativ geringem Abstand zu der ersten vernetzenden Fluidverbindungsleitung und durch die gleiche Formationen wie letztere zu dem zweiten nutzbaren Bereich geführt werden. Auf diese Weise können sowohl die erste als auch die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (in ihrem zweiten Abschnitt) als auch die vernetzenden Fluidverbindungsleitungen geothermische Energie aus Formationen zwischen dem ersten und zweiten nutzbaren Bereich aufnehmen.

Entsprechend kann auch die zweite nicht-zuordnungsgemäße Fluidverbindungsleitung einen ersten Abschnitt aufweisen, der von der zweiten Erschließungsstätte ausgeht und sich bis in eine zweite Zone in der Tiefe erstreckt, wobei die zweite Zone durch einen vorbestimmten zweiten Maximalabstand von dem zweiten nutzbaren Bereich begrenzt ist. Ein sich an den ersten Abschnitt anschließender, zweiter Abschnitt der zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung kann dann aus der zweiten Zone in relativ geringem Abstand zu der zweiten vernetzenden Fluidverbindungsleitung und durch die gleiche Formationen wie letztere zu dem ersten nutzbaren Bereich geführt werden.

Auf diese Weise können sowohl die erste als auch die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zumindest in ihren jeweiligen zweiten Abschnitten (ab der ersten bzw. zweiten Zone) geothermische Energie aus Formationen zwischen dem ersten und zweiten nutzbaren Bereich aufnehmen.

Vorzugsweise können dabei jeweils zwei oder mehr der m-1 vernetzenden Fluidverbindungsleitung einen gemeinsamen Leitungsabschnitt umfassen. In dieser Ausführungsform kann ein Ende des gemeinsamen Leitungsabschnitts in den ersten nutzbaren Bereich münden. Dem zweiten und dritten nutzbaren Bereich kann ein Bohr-Anfangspunkt (in der englischen Fachsprache: spud point) zugeordnet sein, und von dem Bohr-Anfangspunkt kann eine Erschließungsbohrung mit einem Endabschnitt ausgehen, der in einer vorbestimmten, den zweiten und dritten nutzbaren Bereich enthaltenden, dreidimensionalen, kugelförmigen Untergrundzone enthalten ist. Dabei können der zweite und dritte nutzbare Bereich als ein Cluster angesehen werden, der vollständig innerhalb einer kugelförmigen Umgrenzung angeordnet ist, wobei diese Umgrenzung einen Zentrumspunkt und einen vorbestimmten Maximalradius aufweist, wobei der Maximalradius so gewählt ist, dass die Umgrenzung den

zweiten und den dritten nutzbaren Bereich vollständig enthält. Die Erschließungsbohrung kann einen innerhalb dieser Untergrundzone angeordneten Abzweigabschnitt aufweisen. Von dem Abzweigabschnitt ausgehend können jeweils eine erste, zweite und dritte verrohrte Abzweigbohrung ausgebildet sein, wobei die zweite bzw. dritte Abzweigbohrung jeweils einen oder mehrere bis in den zweiten bzw. dritten nutzbaren Bereich hineingetriebene Endabschnitte und die erste Abzweigbohrung einen oder mehrere bis in den ersten nutzbaren Bereich hineingetriebenen Endabschnitte aufweist. In dieser Ausführungsform umfasst die erste vernetzende Fluidverbindungsleitung, die sich vom zweiten bis in den ersten nutzbaren Bereich erstreckt, die zweite verrohrte Abzweigbohrung, den Abzweigabschnitt und die erste verrohrte Abzweigbohrung, wohingegen die zweite vernetzende Fluidverbindungsleitung, die sich vom dritten bis in den ersten nutzbaren Bereich erstreckt, die dritte verrohrte Abzweigbohrung, den Abzweigabschnitt und die erste verrohrte Abzweigbohrung umfasst. Auf diese Weise ist auch ein dritter nutzbarer Bereich von einer (hier z.B. der ersten) Erschließungsstätte aus erschließbar.

In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, in der von einem dem Cluster mit dem zweiten und dritten nutzbaren Bereich zugeordneten Bohranfangspunkt eine Erschließungsbohrung mit einem in dem kugelförmigen Endabschnitt angeordneten Endabschnitt ausgeht, kann dahingehend erweitert werden, dass von dem Bohranfangspunkt aus nicht nur zwei (der zweite und dritte) sondern noch mehr (prinzipiell viele) nutzbare Bereiche erschlossen werden können. Eine Begrenzung der Anzahl der erschließbaren nutzbaren Bereiche ist gegeben durch eine Begrenzung der Anzahl von Abzweigbohrungen, die aus der (einen) Erschließungsbohrung heraus hergestellt werden können. Diese Anzahl kann jedoch wiederum dadurch erhöht werden, dass aus einer Abzweigbohrung oder mehreren der von der Erschließungsbohrung heraus hergestellten Abzweigbohrungen noch weitere Abzweigbohrungen hergestellt werden, usw..

Um von einer Erschließungsstätte aus nicht nur zwei, sondern auch drei oder mehr nutzbare Bereiche zu erschließen, werden im folgenden noch weitere geeignete Ausführungsformen beschrieben.

Der zweite und jeder weitere nutzbare Bereich können mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt sein. Bei der mittelbaren Vernetzung bzw. den mittelbaren Vernetzungen kann das System insgesamt m nutzbare Bereiche umfassen, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt. Ferner kann das System folgendes umfassen: insgesamt m vorbestimmte Erschließungsstätten, wobei die zweite bis m -te Erschließungsstätte dem zweiten bis m -ten nutzbaren Bereich zugeordnet sind, insgesamt $m-1$ weitere, zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitungen, die jeweils zwischen der zweiten bzw. m -ten Erschließungsstätte und dem zweiten bzw. m -ten nutzbaren Bereich ausgebildet sind, insgesamt m weitere, nicht-zuordnungsgemäß erschließende

Fluidverbindungsleitungen, die zwischen der jeweiligen m-ten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet ist. Die zwischen der m-ten Erschließungsstätte und dem m-ten nutzbaren Bereich ausgebildete, zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung ermöglicht einerseits, dass der m-te nutzbare Bereich mit weniger Bohr- und Verrohrungsaufwand erschlossen werden kann, als wenn der m-te nutzbare Bereich von der ersten Erschließungsstätte ausgehend erschlossen werden würde, und andererseits, dass der m-te nutzbare Bereich leichter und kostengünstiger, etwa durch hydraulisch induzierte Rissbildung (Englisch: hydraulic fracturing), stimuliert werden kann.

In einer alternativen Ausführungsform eines Systems, in der mindestens ein zweiter nutzbare Bereich (d.h. $m=2$) mittelbar mit dem ersten nutzbaren Bereich und der ersten Erschließungsstätte vernetzt ist, können die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, der zweite nutzbare Bereich, die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, die zweite Erschließungsstätte, die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, der erste nutzbare Bereich und die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung ein im Wesentlichen druckdichtes Verbindungsleitungssystem ausbilden. Eine derartige mittelbare Leitungsführung wird im Folgenden auch als kreuzvernetzende Anordnung von Fluidverbindungsleitung bezeichnet.

In diesem System kann eine an der zweiten Erschließungsstätte bereitgestellte Verbindungseinrichtung eine Fluideinlass und einen Fluidauslass umfassen. Dabei können die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung an dem Fluideinlass und die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung an dem Fluidauslass angeschlossen sein.

In diesem System können die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, der zweite nutzbare Bereich, die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, die Verbindungseinrichtung, die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, der erste nutzbare Bereich, die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung und die Wärmetauscheinrichtung ein im Wesentlichen geschlossenes, geschlossenes Wärmetauschfluidkreislaufsystem für ein darin im Betrieb des Systems umströmendes Wärmetauschfluid ausbilden. Das Wärmetauschfluidkreislaufsystem kann druckdicht sein. Da das Kreislaufsystem geschlossen ist, ist ein Verlust des Wärmetauschfluids mit zunehmender Betriebsdauer gering, bzw. kaum oder nicht vorhanden.

Die Anordnung mit zwei nutzbaren Bereichen und zwei Erschließungsstätten, wobei die erste Erschließungsstätte über die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung mit dem ersten nutzbaren Bereich und über die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung mit dem zweiten nutzbaren Bereich

in Fluidkommunikation ist, und wobei die zweite Erschließungsstätte über die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung mit dem zweiten nutzbaren Bereich und über die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung mit dem ersten nutzbaren Bereich in Fluidkommunikation ist, wird hierin auch kreuzvernetzende

5 Anordnung von Fluidverbindungsleitung genannt.

Durch die kreuzvernetzende Anordnung und die damit erzielbare, gekoppelte und gleichzeitige Erschließung von zwei nutzbaren Bereichen werden dieselben Vorteile erzielt wie der oben bezüglich der Erfindung erwähnte erste (größere Wärmeenergie-Effizienz) und zweite (verlängerte Produktionsdauer) Vorteil.

10 In der Ausführungsform, in der der zweite nutzbare Bereich mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt ist, kann das System ferner mindestens einen weiteren dritten oder noch weitere (insgesamt: m) nutzbare Bereiche umfassen, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt. Ferner können der zweite und jeder weitere m -te nutzbare Bereiche jeweils mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem

15 ersten nutzbaren Bereich vernetzt sein. Dadurch wird eine sogenannte parallele und mittelbare Vernetzung von m nutzbaren Bereichen mit dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet. Auf diese Weise sind auch ein dritter Bereich und weitere nutzbare Bereiche von einer (hier z.B. der ersten) Erschließungsstätte aus erschließbar.

Zur parallelen und mittelbaren Vernetzung von m nutzbaren Bereichen mit dem ersten

20 nutzbaren Bereich kann das System ferner folgendes umfassen: eine vorbestimmte zweite, dritte oder mehr (insgesamt: m) Erschließungsstätten, wobei jede der zweiten, dritten oder weiteren Erschließungsstätte jeweils dem zweiten, dritten oder m -ten nutzbaren Bereich zugeordnet ist, eine zweite, dritte oder mehrere (insgesamt: m) zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitungen, die zwischen der jeweiligen zweiten, dritten oder m -

25 ten Erschließungsstätte und dem zweiten, dritten oder m -ten nutzbaren Bereich ausgebildet sind, und eine zweite, dritte oder mehrere (insgesamt: m) nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitungen, die zwischen der zweiten, dritten oder m -ten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet sind.

In einer Ausführungsform, in der zweite nutzbare Bereich mittelbar mit der ersten

30 Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt ist, kann das System mindestens einen weiteren dritten oder noch weitere (insgesamt: m) nutzbare Bereiche, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, und mindestens eine vorbestimmte zweite oder dritte Erschließungsstätte oder noch weitere (insgesamt: m) Erschließungsstätten umfassen. Dabei ist jeder der m Erschließungsstätten ein nutzbarer Bereich zugeordnet, und jedem nutzbaren

35 Bereiche und jeder Erschließungsstätte ist eine, die jeweilige Zuordnung kennzeichnende Ordnungszahl n zugeordnet, wobei n eine natürlich Zahl ist und $2 \leq n \leq m$ gilt. Zusätzlich zu der ersten ($n = 1$) zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung, kann das System

mindestens eine zweite oder eine dritte Fluidverbindungsleitung oder noch weitere (insgesamt: m) zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitungen umfassen. Dabei kann die n-te zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der n-ten Erschließungsstätte und dem (n+1)-ten nutzbaren Bereich ausgebildet und die m-te zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der m-ten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet sein. Dadurch wird eine sogenannte ringförmig-serielle Vernetzung von m nutzbaren Bereichen ausgebildet.

In den Ausführungsformen mit paralleler und mittelbarer Vernetzung von 2 oder m nutzbaren Bereichen mit dem ersten nutzbaren Bereich oder mit ringförmig-seriellen Vernetzungen von m nutzbaren Bereichen ($3 \leq n$) kann für mindestens einen ausgewählten nutzbaren Bereich aus der aus dem ersten bis m-ten nutzbaren Bereich gebildeten Gruppe und der diesem ausgewählten nutzbaren Bereich zugeordneten Erschließungsstätte gelten:

(i) mit diesem ausgewählten nutzbaren Bereich und der diesem Bereich zugeordneten Erschließungsstätte sind zwei oder mehr noch weitere nutzbare Bereiche, die in dem System zusätzlich zu den m nutzbaren Bereiche umfasst sind, parallel und mittelbar oder parallel und unmittelbar vernetzt, oder

(ii) dieser ausgewählte nutzbare Bereich und die diesem Bereich zugeordnete Erschließungsstätte sind eingebunden in eine ringförmig-serielle Vernetzung von zwei oder mehr noch weiteren nutzbaren Bereichen, die in dem System zusätzlich zu den m nutzbaren Bereiche umfasst sind.

Für die zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen kann eine der folgenden Ausführungsformen verwirklicht sein: (i) mindestens eine der zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen umfasst eine von der jeweiligen Erschließungsstätte ausgehend im Wesentlichen vertikal in die Tiefe bis in den zugeordneten nutzbaren Bereich hinein ausgebildete, verrohrte Primärbohrung, oder (ii) mindestens eine der zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen umfasst eine von der jeweiligen Erschließungsstätte ausgehende und im Wesentlichen durchgängig bis in den zugeordneten nutzbaren Bereich hinein ausgebildete, verrohrte Horizontalbohrung.

Für die nicht-zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen kann eine der folgenden Ausführungsformen (a) oder (b) verwirklicht sein.

(a) Mindestens eine der nicht-zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen umfasst eine verrohrte Bohrung, die in einem von der jeweiligen Erschließungsstätte ausgehenden, ersten Abschnitt als Primärbohrung und in einem sich an den ersten Abschnitt anschließenden, zweiten Bereich als Sekundärbohrung in der Form von einer oder mehreren Horizontalbohrungen mit jeweils einem Endabschnitt, der sich bis in den zu erschließenden nutzbaren Bereich hinein erstreckt, oder (b) mindestens eine der nicht zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen umfasst eine von der jeweiligen Erschließungsstätte

ausgehende und im Wesentlichen durchgängig bis in den jeweilig zu erschließenden, zugeordneten nutzbaren Bereich hinein ausgebildete, verrohrte Horizontalbohrung.

In der Ausführungsform (a) können 6 bis 12 Horizontalbohrungen ausgebildet sein.

5 Ferner kann die mindestens eine vernetzende Fluidverbindungsleitung, die zwischen einem i-ten nutzbaren Bereich und einem j-ten nutzbaren Bereich ausgebildet ist, mindestens eine oder mehrere, von dem i-ten nutzbaren Bereich ausgehende und im Wesentlichen durchgängig bis in einen j-ten nutzbaren Bereich hinein ausgebildete, verrohrte Horizontalbohrung(en) umfassen, die jeweils einen im i-ten nutzbaren Bereich angeordneten Anfangsabschnitt und einen im j-ten nutzbaren Bereich angeordneten Endabschnitt aufweist bzw. aufweisen. Dabei sind i, j, m und n
10 natürliche Zahlen mit $i < j$ und $i, j \leq m$, wobei $m = n - 1$ die Anzahl der vernetzenden Fluidverbindungsleitungen und n die Anzahl der nutzbaren Bereiche ist. Die Anzahl der verrohrten Horizontalbohrungen kann 6 bis 12 betragen. Auf diese Weise kann mit dem jeweiligen zweiten Abschnitt geothermischer Energie aus dem Bereich zwischen dem i-ten und dem j-ten nutzbaren Bereich erschlossen werden.

15 Eine jeweilige nicht-zugeordnete Fluidverbindungsleitung, die zwischen einer i-ten Erschließungsstätte und einem nicht der i-ten, sondern einer j-ten Erschließungsstätte zugeordneten nutzbaren Bereich ausgebildet ist, kann einen ersten Abschnitt umfassen, der von der i-ten Erschließungsstätte ausgeht und sich bis zu einem Verzweigungspunkt erstreckt. Der Verzweigungspunkt kann in einer unterirdischen, dreidimensionalen, kugelförmigen Zone
20 angeordnet sein, wobei die Zone durch einen von einem Zentrumspunkt des i-ten nutzbaren Bereichs etwa innerhalb einer durch einen vorbestimmten Maximalabstand von dem i-ten nutzbaren Bereich begrenzten, und sich um den i-ten nutzbaren Bereich erstreckenden Zone angeordnet sein. Die nicht-zugeordnete Fluidverbindungsleitung kann dann von dem Verzweigungspunkt in relativ geringem Abstand zu jeweiligen vernetzenden
25 Fluidverbindungsleitungen, die zwischen dem i-ten und dem j-ten nutzbaren Bereich und durch gleiche geologische Formationen mit geothermischer Energie wie die vernetzenden Fluidverbindungsleitung geführt werden. Auf diese Weise können sowohl die nicht-zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung (in ihren Abschnitten ab dem Verzweigungspunkt) als auch die vernetzenden Fluidverbindungsleitungen geothermische Energie aus den
30 geologischen Formationen zwischen dem i-ten und dem j-ten nutzbaren Bereich aufnehmen.

Eine von einem i-ten nutzbaren Bereich ausgehende, vernetzende Fluidverbindungsleitung und zumindest der zweite Abschnitt einer von einer i-ten Erschließungsstätte ausgehende, nicht-zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung kann jeweils als eine Vielzahl von verrohrten Dünnbohrungen (Englisch: slim-hole oder coiled
35 tubing), die in einem in dem unterirdischen dreidimensionalen Gebiet zwischen dem i-ten und dem j-ten nutzbaren Bereich im Wesentlichen parallel zueinander und um einen geeignet gewählten (in horizontaler Richtung gemessenen) Mindestabstand voneinander beabstandet

geführt sind, ausgeführt sein. Durch die parallele und beabstandete Führung der verrohrten Dünnbohrungen wird eine relativ große horizontale Fläche in den Formationen in dem unterirdischen dreidimensionalen Gebiet zwischen dem i-ten und dem j-ten nutzbaren Bereich überspannt und entsprechend mehr geothermische Energie aus diesen Gebiet erschlossen.

5 Eine jeweilige nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung kann als Injektionsleitung ausgebildet sein. Ferner kann sie und eine oder mehr verrohrte Bohrungen, Horizontalbohrungen oder Dünnbohrungen (Englisch: slim hole oder coiled tubing) umfassen.

Alternativ dazu kann eine jeweilige nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen einem i-ten nutzbaren Bereich und einer j-ten Erschließungsstätte (wobei i und j natürliche Zahlen bzw. ein Zählindex sind und wobei gilt: $i < j$) mit einem von der j-ten Erschließungsstätte ausgehenden ersten Abschnitt und einem sich an den ersten Abschnitt anschließenden, zweiten Abschnitt ausgebildet sein, wobei der zweite Abschnitt einen Endabschnitt aufweist, der sich den i-ten nutzbaren Bereich befindet. Der Abschnitt der Leitung, wo der zweite Abschnitt an dem ersten Abschnitt ansetzt, kann in einer dreidimensionalen Zone, die den der j-ten Erschließungsstätte zugeordneten, j-ten nutzbaren Bereich enthält, und deren Umgrenzung durch einen vorbestimmten Maximalabstand von dem j-ten nutzbaren Bereich definiert ist, angeordnet sein.

Noch alternativ dazu kann eine jeweilige nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung im Wesentlichen durchgängig als Horizontalbohrung oder als zwei oder mehr Dünnbohrungen ausgebildet sein. Zusätzlich kann die Horizontalbohrung einen ersten Abschnitt und einen zweiten Abschnitt aufweisen, wie vorstehend definiert, und wobei der Abschnitt der Leitung, bei welchem der zweite Abschnitt an dem ersten Abschnitt ansetzt, in einer dreidimensionalen Zone, die den der j-ten Erschließungsstätte zugeordneten, j-ten nutzbaren Bereich enthält, und deren Umgrenzung durch einen vorbestimmten Maximalabstand von dem j-ten nutzbaren Bereich definiert ist, angeordnet sein kann.

In einer noch weiteren Alternative kann eine jeweilige nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung im ersten Abschnitt als eine Primärbohrung und im zweiten Abschnitt als mindestens eine Sekundärbohrung ausgebildet sein, wobei die Sekundärbohrung in einem innerhalb der n-ten Zone angeordneten Abzweigbereich von der Primärbohrung abzweigt. Dabei kann ein Abzweigabschnitt in einer dreidimensionalen Zone, die den der j-ten Erschließungsstätte zugeordneten, j-ten nutzbaren Bereich enthält, und deren Umgrenzung durch einen vorbestimmten Maximalabstand von dem j-ten nutzbaren Bereich definiert ist, angeordnet sein.

Eine jeweilige Sekundärbohrung kann als Dünnbohrung ausgebildet sein.

35 Wenn mehrere nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen über einen wesentlichen Teil des horizontalen Abstands zwischen zwei nutzbaren Bereichen im Wesentlichen parallel zueinander und um einen geeignet gewählten Minimalabstand

beabstandet voneinander geführt werden, kann, wie bereits oben erwähnt, aus den zwischen den beiden nutzbaren Bereichen angeordneten Formationen geothermische Energie erschlossen werden.

In dem System kann mindestens eine der nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen als eine verrohrte Horizontalbohrung oder mehrere verrohrte Horizontalbohrungen oder Dünnbohrungen ausgeführt sein.

Die erste nicht-zuordnungsgemäße Fluidverbindungsleitung kann einen ersten Abschnitt aufweisen, der von der ersten Erschließungsstätte ausgeht und sich bis in eine Zone in der Tiefe erstreckt, wobei die Zone durch einen vorbestimmten Maximalabstand von dem ersten nutzbaren Bereich begrenzt ist und folglich um den der ersten Erschließungsstätte zugeordneten ersten nutzbaren Bereich herum angeordnet ist. Ein sich an den ersten Abschnitt anschließender, zweiter Abschnitt der ersten nicht-zuordnungsgemäßen Fluidverbindungsleitung kann als eine oder mehrere Horizontalbohrung(en) ausgeführt sein, die zwischen der Zone zu dem zweiten nutzbaren Bereich geführt wird bzw. werden.

Entsprechend kann auch zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung einen ersten Abschnitt aufweisen, der von der zweiten Erschließungsstätte ausgeht und sich bis in eine Zone in der Tiefe erstreckt, wobei die Zone durch einen vorbestimmten Maximalabstand von dem zweiten nutzbaren Bereich begrenzt ist und folglich um den der zweiten Erschließungsstätte zugeordneten zweiten nutzbaren Bereich herum angeordnet ist. Ein sich an den ersten Abschnitt anschließender, zweiter Abschnitt der zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung kann dann aus der zweiten Zone in relativ geringem Abstand zu der ersten vernetzenden Fluidverbindungsleitung und durch die gleiche Formationen wie letztere zu dem ersten nutzbaren Bereich geführt werden.

Auf diese Weise können sowohl die erste als auch die zweite nicht-zuordnungsgemäße Fluidverbindungsleitung zumindest in ihren jeweiligen zweiten Abschnitten (ab der ersten bzw. zweiten Zone) geothermische Energie aus den geologischen Formationen zwischen dem ersten und zweiten nutzbaren Bereich aufnehmen.

Mindestens der erste nutzbare Bereich kann einer der folgenden sein: (i) ein natürlich vorhandener, permeabler Bereich in einer bestimmten geologischen Formation mit geothermischer Energie, welcher Bereich im Wesentlichen hermetisch von impermeablen Formation umschlossen ist, (ii) ein durch einen Stimulationsprozess, insbesondere hydraulisch induzierte Rissbildung (in englischer Fachsprache: „hydraulic fracturing“) erzeugter permeabler Bereich in einer bestimmten, im natürlichen Zustand impermeablen geologischen Formation mit geothermischer Energie, oder (iii) ein Bereich mit einer im natürlichen Zustand geringen Permeabilität, der durch hydraulisch induzierte Rissbildung zusätzlich stimuliert worden ist und in dem die von einem Stimulationsausgangspunkt entfernten Spitzenbereiche der induzierten

Risse durch Einbringen von dem hydraulisch wirkenden Gel hinzugefügten Additiven (sogenannte Fluid-Loss-Additive) impermeabilisiert worden sind.

Mindestens ein anderer nutzbarer Bereich, beispielsweise der zweite nutzbare Bereich, kann einer der folgenden sein: (i) ein natürlich vorhandener, permeabler Bereich mit geothermischer Energie in der gleichen oder einer anderen permeablen geologischen Formation, welcher Bereich im Wesentlichen hermetisch von impermeablen Formation umschlossen ist, (ii) ein durch einen Stimulierungsprozess, insbesondere hydraulisch induzierte Rissbildung erzeugter permeabler Bereich in der gleichen oder in einer anderen geologischen permeablen Formation mit geothermischer Energie als der erste nutzbare Bereich, in einer im natürlichen Zustand impermeablen geologischen Formation, oder (iii) ein Bereich mit einer im natürlichen Zustand geringen Permeabilität in der gleichen oder einer anderen geologischen Formation, der durch hydraulisch induzierte Rissbildung zusätzlich stimuliert worden ist und in dem die von einem Stimulationsausgangspunkt entfernten Spitzenbereiche der induzierten Risse durch Einbringen von dem hydraulisch wirkenden Gel hinzugefügten Additiven (sogenannte Fluid-Loss-Additive) impermeabilisiert worden sind.

In allen bisher beschriebenen Ausführungsformen kann eine jeweilige n-te zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der n-ten Erschließungsstätte und dem n-ten nutzbaren Bereich eine verrohrte Produktionsbohrung oder eine verrohrte, von der n-ten Erschließungsstätte ausgehende Horizontalbohrung mit einem im Wesentlichen vertikalen Anfangsabschnitt, der einen n-ten nutzbaren Bereich angeordneten Endabschnitt aufweist (für jede Ordnungszahl n mit $1 \leq n \leq m$), vorhanden sein.

Ferner kann eine jeweilige n-te nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der n-ten Erschließungsstätte und dem j-ten nutzbaren Bereich einen ersten Abschnitt und einen sich an den ersten Abschnitt anschließenden zweiten Abschnitt umfassen (für jede Ordnungszahl j und n, für die gilt: $1 \leq j, n \leq m$ und $j \neq n$). Dabei kann sich der erste Abschnitt von der n-ten Erschließungsstätte bis in eine dem n-ten nutzbaren Bereich zugeordnete n-te Zone erstrecken, welche Zone durch einen für n-ten nutzbaren Bereich vorbestimmten Maximalabstand, der von einem Zentralpunkt in dem n-ten nutzbaren Bereich aus gemessen ist, begrenzt ist. Der zweite Abschnitt kann sich dann aus der n-ten Zone um den n-ten nutzbaren Bereich bis in den j-ten nutzbaren Bereich erstrecken.

Zum Lösen der Aufgabe, wie nach einem ersten Aspekt beansprucht, wird ein Verfahren zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie bereitgestellt. Das Verfahren zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie umfasst die folgenden Schritte: Identifizieren eines ersten unterirdischen, nutzbaren Bereich mit geothermischer Energie, Bestimmen einer vorbestimmten ersten Erschließungsstätte, die dem ersten nutzbaren Bereich zugeordnet ist, und Herstellen einer ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren

Bereich. Es versteht sich, das Produzieren von Energie in diesem Zusammenhang als Nutzbarmachung von geothermischer Energie zu verstehen ist und nicht den beiden Hauptsätzen der Thermodynamik zuwiderläuft.

Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren ferner das Identifizieren von mindestens einem
 5 zweiten oder noch weiteren unterirdischen nutzbaren Bereiche mit geothermischer Energie, und das Herstellen einer ersten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem zweiten nutzbaren Bereich. Durch diese Verfahrensschritte und auch die im Folgenden beschriebenen Verfahrensschritte werden dieselben Vorteile erzielt wie oben für das erfindungsgemäße System zum Erschließen bzw.
 10 Produzieren von geothermischer Energie. Daher werden diese nicht wiederholt.

Das Verfahren kann ferner umfassen: Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereich unmittelbar oder mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich.

An der ersten Erschließungsstätte kann eine Wärmetauscheinrichtung mit einem
 15 Fluideinlass und einem Fluidauslass eingerichtet werden, die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung wird an dem Fluideinlass angeschlossen, und der erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung wird an dem Fluidauslass angeschlossen.

Das Verfahren kann ferner umfassen: unmittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich, und Herstellen
 20 einer ersten vernetzenden Fluidverbindungsleitung zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich und dem ersten nutzbaren Bereich.

Das Verfahren kann ferner umfassen: mittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich, Bestimmen
 einer zweiten Erschließungsstätte, die dem zweiten nutzbaren Bereich zugeordnet ist,

25 Herstellen einer zweiten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung zwischen der zweiten Erschließungsstätte und dem zweiten nutzbaren Bereich, und

Herstellen einer zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung zwischen der zweiten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich, und

30 dadurch Ausbilden einer sogenannt Doppelt-Kreuz-Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen und zwei zugeordneten Erschließungsstätten.

Das Verfahren kann ferner umfassen: mittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich,
 Identifizieren von mindestens einem weiteren dritten oder noch weiteren (insgesamt: m)
 35 nutzbaren Bereichen, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, und Vernetzen des zweiten und jedes weiteren m-ten nutzbaren Bereichs jeweils mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich und dadurch Ausbilden einer

sogenannt parallelen und mittelbaren Vernetzung von m nutzbaren Bereichen mit dem ersten nutzbaren Bereich.

Das Verfahren kann ferner folgendes umfassen: mittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich umfassen, Identifizieren von mindestens einem weiteren dritten oder noch weiteren (insgesamt: m) nutzbaren Bereichen, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, Bestimmen von mindestens einer zweiten, dritten oder noch weiteren (insgesamt: m) Erschließungsstätten, Zuweisen von jeder der m Erschließungsstätten zu einem nutzbaren Bereich und Zuordnen an jeden nutzbaren Bereich und jede Erschließungsstätte von einer, die jeweilige Zuordnung kennzeichnenden Ordnungszahl n , wobei n eine natürliche Zahl ist und $2 \leq n \leq m$ gilt, und zusätzlich zu der ersten ($n = 1$) zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung, Herstellen von mindestens einer zweiten, dritten oder noch weiteren (insgesamt: m) zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen, Ausbilden der n -ten zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung zwischen der n -ten Erschließungsstätte und dem $(n+1)$ -ten nutzbaren Bereich und Ausbilden der m -ten zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung zwischen der m -ten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich, und dadurch Ausbilden einer sogenannt ringförmig-seriellen Vernetzung von m nutzbaren Bereichen.

Das Verfahren kann ferner folgendes umfassen: für mindestens einen ausgewählten nutzbaren Bereich aus der aus dem ersten bis m -ten nutzbaren Bereich gebildeten Gruppe und der diesem ausgewählten nutzbaren Bereich zugeordneten Erschließungsstätte:

(i) zusätzlich zu den m nutzbaren Bereichen, Identifizieren von zwei oder mehreren noch weiteren nutzbaren Bereichen, und entweder parallel und mittelbar oder parallel und unmittelbar Vernetzen dieses ausgewählten nutzbaren Bereichs und der diesem Bereich zugeordneten Erschließungsstätte, oder

(ii) zusätzlich zu den m nutzbaren Bereichen, Identifizieren von zwei oder mehreren noch weiteren nutzbaren Bereichen, und Einbinden dieses ausgewählten nutzbaren Bereichs und die diesem Bereich zugeordnete Erschließungsstätte in eine ringförmig-serielle Vernetzung der zwei oder mehreren noch weiteren nutzbaren Bereichen.

Weitere Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden beispielhaft anhand der beigefügten Figuren dargestellt und in weiteren Einzelheiten beschrieben. Dabei gilt:

Fig. 1 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform einer unmittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen von einer Erschließungsstätte ausgehend in einem Horizontalschnitt.

Fig. 2 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform einer unmittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen von einer Erschließungsstätte ausgehend in einem Horizontalschnitt.

Fig. 3 zeigt schematisch eine dritte Ausführungsform einer unmittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen von einer Erschließungsstätte ausgehend in einem Horizontalschnitt.

Fig. 4 zeigt schematisch eine vierte Ausführungsform einer unmittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen von einer Erschließungsstätte ausgehend in einem Horizontalschnitt.

Fig. 5 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform einer mittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen ausgehend von zwei Erschließungsstätten in einem Horizontalschnitt.

Fig. 6 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform einer mittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen ausgehend von zwei Erschließungsstätten in einem Horizontalschnitt.

Fig. 7 zeigt schematisch eine dritte Ausführungsform einer mittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen ausgehend von zwei Erschließungsstätten in einem Horizontalschnitt.

Fig. 8 zeigt schematisch eine vierte, zu der ersten Ausführungsform der Fig. 5 vergleichbare Ausführungsform einer mittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen ausgehend von zwei Erschließungsstätten in einer virtuell drei-dimensionalen Darstellung.

Fig. 9 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform für die Ausgestaltung einer nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im Bereich zwischen zwei nutzbaren Bereichen in einer vertikalen Aufsicht.

Fig. 10 zeigt schematisch eine fünfte, zu der zweiten Ausführungsform der Fig. 6 funktionell vergleichbare Ausführungsform einer Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen ausgehend von zwei Erschließungsstätten in einer Vertikalschnitt-Darstellung.

Fig. 11 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform für die Ausgestaltung einer nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im Bereich zwischen zwei nutzbaren Bereich in einer vertikalen Aufsicht.

Fig. 12 zeigt schematisch die zweite Ausführungsform aus der Fig. 11 für die Ausgestaltung einer nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im Bereich zwischen zwei nutzbaren Bereich in einer virtuell drei-dimensionalen Ansicht.

Fig. 13 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform Vernetzung von drei nutzbaren Bereichen in einer virtuell drei-dimensionalen Darstellung, wobei ein zweiter und ein dritter nutzbarer Bereich mittelbar und parallel zueinander mit einem ersten nutzbaren Bereich doppelt-kreuzvernetzt sind.

Fig. 14 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform einer Vernetzung von drei nutzbaren Bereichen in einer virtuell drei-dimensionalen Darstellung, wobei ein erster, zweiter und dritter nutzbarer Bereich ringförmig seriell hintereinander vernetzt sind.

Fig. 15 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform einer Vernetzung von drei nutzbaren Bereichen, wobei ein zweiter und ein dritter nutzbarer Bereich parallel zueinander

und unmittelbar unter Verwendung von zwei vernetzenden Fluidverbindungsleitungen mit einem gemeinsamen Leitungsabschnitt mit einem ersten nutzbaren Bereich und einer gemeinsamen Erschließungsstätte vernetzt und dazu von einer zweiten Erschließungsstätte (Bohranfangsstelle) aus unter Benutzung einer Erschließungsbohrung angeschlossen sind.

5 Fig. 16 zeigt schematisch eine Ausführungsform einer sternartigen Vernetzung von drei Clustern mit jeweils zwei nutzbaren Bereichen, wobei ein erster, zweiter und dritter Cluster parallel zueinander mit einem ersten zentralen nutzbaren Bereich und einer gemeinsamen, zentralen Erschließungsstätte vernetzt sind, und wobei die Vernetzung eines jeden Clusters eine parallele und unmittelbare Vernetzung eines zweiten und eines dritten nutzbaren Bereichs
10 des Clusters mit dem ersten nutzbaren Bereich (unter Verwendung einer Erschließungsbohrung für den jeweiligen zweiten und dritten nutzbaren Bereich des Clusters sowie einer vernetzenden Fluidverbindungsleitung mit einem gemeinsamen Leitungsabschnitt, dessen einer Endabschnitt in dem zentralen ersten nutzbaren Bereich angeschlossen sind) und einer nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung zwischen der zentralen
15 Erschließungsstätte (Bohranfangsstelle) und der Erschließungsbohrung umfasst,

Fig. 17 zeigt schematisch eine sechste, hinsichtlich der Vernetzung mit der in Fig. 5 gezeigten Ausführungsform funktionell gleichartigen Ausführungsform einer mittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen, wobei sowohl die zuordnungsgemäßen als auch die nicht-zuordnungsgemäßen Fluidverbundungsleitungen aus Horizontalbohrungen hergestellt
20 worden sind.

In der nachfolgenden Beschreibung wird der Begriff „Leitung“ als Abkürzung bzw. Synonym für den in den Begriff Fluidverbindungsleitung verwendet, insoweit dies nicht ausdrücklich anders angegeben ist.

Bei der in Fig. 1 gezeigten ersten Ausführungsform eines vernetzten Systems
25 zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie umfasst das System 1 einen ersten geothermischen nutzbaren Bereich 10, eine an der Erdoberfläche 5 angeordnete einzige Erschließungsstätte 40, einen zweiten geothermisch nutzbaren Bereich 20, der beabstandet ist zu und nicht auf natürliche Weise in Fluidkommunikation verbunden ist mit dem ersten nutzbaren Bereich 10, eine von der
30 ersten Erschließungsstätte 40 ausgehende erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 42, die den ersten nutzbaren Bereich 10 mit der Erschließungsstätte 40 verbindet, eine erste vernetzende Fluidverbindungsleitung 46 zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 10 und dem zweiten nutzbaren Bereich 20, und eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 44
35 zwischen der ersten Erschließungsstätte 40 und dem zweiten nutzbaren Bereich 20. Das System 1 umfasst ferner eine an der Erschließungsstätte 40 angeordnete

Wärmetauscheinrichtung 80 mit einem Fluideinlass 82 zum Anschließen einer Produktionsleitung und einem Fluidauslass 84 zum Anschließen einer Injektionsleitung.

Die zuordnungsgemäß erschließende Leitung 42 und die vernetzende Leitung 46 sind aus einer von der Erschließungsstätte 40 ausgehenden, durchgängigen

5 Horizontalbohrung 42-H ausgebildet. Die Horizontalbohrung 42-H wurde verlaufsgesteuert erzeugt und verläuft ausgehend von der Erschließungsstätte 40 zunächst im Wesentlichen vertikal in die Tiefe und wird langsam horizontal gesteuert in der Richtung des ersten nutzbaren Bereichs 10 und erstreckt sich dann möglichst zentral bzw. mittig in den ersten nutzbaren Bereich 10 hinein und weiter durch den

10 Bereich 10 hindurch in einer im Wesentlichen horizontalen Richtung bis sie mit ihrem Endabschnitt den zweiten nutzbaren Bereich 20 zentral bzw. möglichst mittig erreicht. Im Verlauf des Abschnitts der Horizontalbohrung 42-H zwischen dem ersten 10 und dem zweiten 20 nutzbaren Bereich umgeht die Horizontalbohrung, wo erforderlich, unverhältnismäßig schwierig zu durchbohrende Formationen und erreicht zumindest in

15 ihrem Endabschnitt die vertikale Höhe bzw. Teufe des zweiten nutzbaren Bereichs 20, die verschieden von der vertikalen Höhe bzw. Teufe des ersten Bereichs 10 sein kann. Danach wird die Horizontalbohrung 42-H durchgängig von der Erschließungsstätte 40 durch den ersten nutzbaren Bereich 10 hindurch und bis zu dem zweiten nutzbaren Bereich 20 verrohrt mit einer dem Fachmann bekannten Verrohrungstechnologie. Die

20 Verrohrung ist aus Metall, insbesondere einem speziell für diesen Einsatzzweck in Bezug auf Druck- und Temperaturbeständigkeit und Elastizität speziell für diese Anwendungen entwickelten Stahl ausgebildet. Am Ende des Verrohrungsprozesses befindet sich ein Endabschnitt der Verrohrung der Bohrung 42-H im Wesentlichen mittig bzw. zentral in dem zweiten nutzbaren Bereich 20. Am unteren Ende der Verrohrung

25 wird ein Rohrschuh eingesetzt entsprechend den voraus berechneten Anforderung der Verrohrungstechnologie und der hydraulischen Bedingungen. Zum Herstellen von Fluidkommunikation zwischen dem Inneren des Endabschnitts der Verrohrung und der umgebenden geologischen Formation wird in Fig. 1 in der Leitung 46 eine Öffnung im Bohrschuh verwendet. Alternativ oder zusätzlich könnte in der Verrohrungswand eine

30 etwa lineare Anordnung von Löchern bzw. Perforation ausgebildet werden.

Die nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 44 ist mit einer anderen Bohrtechnologie in zwei nacheinander und unterschiedlich hergestellten Abschnitten, einem ersten Abschnitt 44-1 und einem zweiten Abschnitt 44-2, hergestellt. Der erste Abschnitt 44-1 führt ausgehend von der Erschließungsstätte 40 im

Wesentlichen vertikal in die Tiefe bis in die Nähe des ersten nutzbaren Bereichs 10 und ist als Sackbohrung niedergebracht.

Mit der Formulierung „Nähe des Bereichs 10“ ist hierin eine den Bereich 10 in allen drei Raumrichtungen umgebenden Zone 12 zu verstehen, deren maximale
5 Ausdehnung durch einen vorbestimmten Maximalabstand 14 begrenzt ist. Dabei kann der Maximalabstand 14 etwa für alle Raumrichtungen einheitlich von einem vorbestimmten Zentrum des Bereichs 10 aus gemessen werden. Wenn ein hinreichend wohl definierter Rand des nutzbaren Bereichs 10 definiert werden kann, kann der
10 Maximalabstand 14 auch als Abstand in Bezug auf einen nächstgelegenen Punkt auf dem Rand des Bereichs 10 entlang einer vom bzw. bis ins Zentrum des Bereichs 10 in der betreffenden Raumrichtung verlaufenden Verbindungslinie gemessen werden. Der die Ausdehnung der Zone 12 festlegende, vorbestimmte Maximalabstand 14 ist aufgrund bohrtechnischer Überlegungen so gewählt, dass die nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 44 zumindest in ihrem zweiten Abschnitt 44-2 in
15 dem Raumbereich zwischen dem ersten 10 und dem zweiten 20 nutzbaren Bereich in einem vorbestimmten, relativ geringen Vertikal-Abstand zu der vernetzenden Fluidverbindungsleitung 46 geführt ist.

Der im Wesentlichen vertikal verlaufende erste Abschnitt 44-1 der nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 44 wird mit dem Fachmann
20 bekannter Bohrtechnologie für im Wesentlichen vertikales Bohren als sogenannte Primärbohrung, mit einem relativ großen Durchmesser und als Sackbohrung bis in die den ersten nutzbaren Bereich 10 umgebende Zone 12 niedergebracht. Anschließend wird die Primärbohrung in dem Fachmann ebenfalls bekannter Verrohrungstechnologie verrohrt. Nach dem Verrohren der Primärbohrung 48-1 wird in einem Abzweigabschnitt
25 47 eine Vielzahl von relativ dünneren Abzweigbohrungen, der in der englischen Fachsprache sogenannte „Side-Track Wells“, durch die Verrohrung hindurch und durch die geologischen Formationen hindurch bis in den zweiten nutzbaren Bereich 20 hinein geführt mittels dem Fachmann ebenfalls bekannter Dünnbohrtechnologien, die in der englischen Fachsprache als „Slim-Hole Drilling“ oder „Coiled Tubing Drilling“ bekannt
30 sind. Diese Dünnbohrtechnologien erlauben eine Führung der Bohrung entlang eines steuerbaren, hier jedoch im Wesentlichen in horizontaler Richtung verlaufenden Verlaufs. Der Verlauf der Abzweigbohrungen 48-2, die auch Sekundärbohrungen in Bezug auf die Primärbohrung 48-1 genannt werden, erfolgt in Anlehnung, d.h. wie bereits erwähnt in einem relativ nahen, vorbestimmten Abstand, etwa einem Vertikal-

Abstand, zu der Horizontalbohrung 46 in dem Raumbereich zwischen dem ersten 10 und zweiten 20 nutzbaren Bereich.

Auch wenn in Fig. 1 und ebenso in den Figuren 2 bis 4, 8 bis 10, 13 bis 15 zur Darstellung einer Vielzahl von Dünnbohrungen und 17 jeweils schematisierend drei
5 Dünnbohrungen gezeigt sind, so ist die Anzahl der Dünnbohrungen in der Realität größer und liegt zwischen etwa 5 und 15, vorzugsweise im Bereich von etwa 6 bis 10. Die Abzweigbohrungen 48-2 werden in dem Fachmann mittels Technologie über deren gesamte Länge vom Abzweighbereich 47 bis in den zweiten nutzbaren Bereich 20 verrohrt. Am Ende des Verrohrungsvorgangs befinden sich die verrohrten
10 Endabschnitten der durch die Verrohrung entstandenen, mehreren Teilleitungen im zweiten Abschnitt 44-2 der Leitung 44 in dem zweiten nutzbaren Bereich 20. Der Innendurchmesser der Teilleitungen im zweiten Abschnitt 44-2 der Leitung 44 ist signifikant kleiner, typischerweise im Bereich von etwa 2-7 Zoll, als im Vergleich zum Durchmesser der Leitung 44 im ersten Abschnitt 44-1, wo er typischerweise zwischen
15 etwa 7 bis 15 Zoll beträgt. Der Durchmesser und die Anzahl der Bohrungen, insbesondere im zweiten Abschnitt 44-2 werden bei der Planung der Bohrung entsprechend unter anderem der hydraulischen Anforderungen im voraus berechnet und geplant.

Nach dem Verrohren aller Leitungen 42, 46 und 44 wird in dem zweiten und
20 ersten nutzbaren Bereich 20 und 10, wenn bzw. weil im Beispiel der Fig. 1 keine natürliche Permeabilität vorhanden ist, ein sogenannter Stimulierungsprozess durchgeführt, das heißt es werden hydraulisch induzierte Risse bzw. Zerklüftungen in der geologischen Formation im nutzbaren Bereich 20 ausgehend vom Endabschnitt der Verrohrung, genauer durch die Öffnung im Bohrschuh (und/oder lateral ausgebildete
25 Perforationen in der Verrohrungswand) in dem Fachmann bekannter Weise ausgebildet. Für einen derartigen Stimulierungsprozess ist in der englischen Fachsprache der Begriff „Hydraulic Fracturing“ bekannt. Die hydraulisch induzierte Rissbildung dient dazu, die Permeabilität der geologischen Formation in dem nutzbaren Bereich 20 zu vergrößern und in der geologischen Formation Zerklüftungen, in der englischen Fachsprache
30 sogenannte „Fractures“ auszubilden. Dazu wird die Verrohrung über ihre gesamte Länge von der Erschließungsstätte 40 bis zur Bohrsohle mit einer hydraulischen Druck übertragenden Flüssigkeit, einem sogenannten Gel oder Slurry, gefüllt und anschließend von der Erschließungsstätte 40 aus mit Druck beaufschlagt. Der Druck wird über einen an die vorher bestimmten geomechanischen, insbesondere

geoelastischen Eigenschaften der geologischen Formation des nutzbaren Bereichs angepassten Zeitverlauf, das heißt mit einer gesteuerten Druck-Zeit-Abhängigkeit gesteuert und dabei die den Druck übertragende Flüssigkeit, das Gel, nachgefüllt entsprechend dessen beim Eindringen in die geologische Formation sich öffnenden

5 Volumen der Risse bzw. Zerklüftungen. Wenn der so aufgebaute Druck einen vom Gestein und der geologischen Formation abhängigen Schwellwertdruck überschreitet, beginnt in dem Gestein bzw. in der Formation die Ausbildung von Rissen, ausgehend von den Positionen, wo die Druckbeaufschlagung anfänglich stattfindet. Im Fall des Bereichs 20 in Fig. 1 ist die Öffnung im Bohrschuh die Ausgangsposition für das

10 Stimulierungsverfahren. Im Beispiel des nutzbaren Bereichs 10 in Fig. 1 und in der Praxis relativ häufig werden die Risse ausgehend von lateralen Öffnungen bzw. Perforationen 69 in der Verrohrungswand initiiert. Die Risse nehmen an Dicke bzw. Breite zu und breiten sich in einer zu ihrer Dicke lateralen Richtung aus, solange wie der beaufschlagte hydraulische Druck oberhalb des Schwellwerts gehalten und an der

15 Erschließungsstätte 40 die hydraulische Flüssigkeit nachgefüllt wird. Durch die Höhe des beaufschlagten hydraulischen Drucks, dessen Einwirkzeit auf die geologische Formation und die Menge der pro Zeiteinheit an der Erschließungsstätte 40 nachgefüllten und entsprechend durch die Austrittsöffnung der Verrohrung wird das Ausmaß der induzierten Rissbildung bzw. der induzierten Zerklüftung ausgedrückt in

20 Termen eines Rissbildungsabstands in Bezug auf den Initiierungspunkt der Rissbildung und einer Rissbreite bzw. in Termen einer Erhöhung der Permeabilität für einen Fluidstrom durch das Gestein bzw. die geologische Formation im stimulierten nutzbaren Bereich gesteuert. Die den hydraulischen Druck übertragende Flüssigkeit enthält feste Bestandteile, die in der englischen Fachsprache sogenannten „Proppants“. Diese

25 dienen dazu, die erzeugten Risse bzw. Zerklüftungen möglichst dauerhaft offen zu halten.

Es ist dem Fachmann auf dem Gebiet der Geomechanik bekannt, dass derartig hydraulisch induzierte Risse bzw. Zerklüftungen sich mit ihrer Dicke bzw. Spaltbreite in Richtung des geringsten Stresswertes, in der Geomechanik mit σ_3 bezeichnet, des

30 dreidimensionalen, aus den drei Hauptkomponenten σ_1 , σ_2 und σ_3 gebildeten geomechanischen Stresstensors ausbilden, vgl. hierzu auch die Fig. 18 und diesbezüglichen folgenden Ausführungen. Die mit ihrer Spaltdicke in der Richtung von σ_3 initiierten Risse bzw. Zerklüftungen breiten sich anschließend in den zu dieser Richtung (σ_3) senkrechten Richtung, und zwar in allen möglichen zu dieser Richtung

senkrechten, die Richtungen der Komponenten (σ_1 , σ_2) enthaltenden, vertikalen Ebene lateral vom dem Initiierungspunkt ausgehend. Dabei nimmt die im Wesentlichen in der Richtung von σ_3 zu messende Spaltbreite so lange zu, wie der Druck aufrechterhalten und die sich in die ausbildenden Risse bzw. Zerklüftungen ausbreitende Flüssigkeit an
5 der Erschließungsstätte nachgefüllt wird.

Die Richtung des minimalen geotektonischen Stresswerts σ_3 des geomechanischen Stresstensors ist idealerweise horizontal, sie kann jedoch von der horizontalen Richtung abweichen, insbesondere dann, wenn geodynamische bzw. tektonische Stressfelder, die aus dem Erdmantel stammen, ihre Wirkung in die
10 Lithosphäre übertragen und dabei auch die geologischen Strukturen beeinflussen. Dementsprechend ist die Ausbreitungsrichtung der Risse bzw. Zerklüftungen in der zur Richtung von σ_3 senkrechten Ebene, typischerweise also in einer im Wesentlichen vertikalen Ebene, die die Komponenten (σ_1 , σ_2) des Stresstensors enthält. Dabei können wie gesagt durch die Wirkung geodynamischer bzw. tektonischer Stressfelder
15 von der Vertikalität auftreten.

Zur Interpretation der Fig. 18 sei hier, ohne in tiefere Einzelheiten der Geomechanik einzugehen, zum Verständnis Folgendes angemerkt. Der geomechanische Stress, bei dem ein Gestein seine elastische Eigenschaft verliert und reißt, ist von der Richtung im dreidimensionalen Raum, in der der Stress wirkt, abhängig
20 und kann im Allgemeinen durch ein Ellipsoid mit drei verschiedenen Hauptachsenlängen mathematisch dargestellt werden. Die in Fig. 18 schematisch gezeigten drei Vektoren σ_1 , σ_2 und σ_3 symbolisieren mit ihren Längen und ihren Richtungen die Längen und Richtungen der drei Hauptachsen des dreidimensionalen Ellipsoids, mit dem mathematisch die Richtungsabhängigkeit des geomechanischen
25 Zerreißstresses des Gesteins beschrieben wird. Dabei steht:

- σ_1 für den größten Wert des geotektonischen Stresses;
- σ_3 für den kleinsten Wert des geotektonischen Stresses, und
- σ_2 für den zwischen σ_1 und σ_3 liegenden zweitgrößten Wert des geotektonischen Stresses.

Typischerweise ist die Richtung des größten Stresswerts σ_1 eine im Wesentlichen vertikale Richtung. Der Wert von σ_1 ist auch durch die Höhe bzw. das Gewicht der darüber liegenden geologischen Schichtungen mitbestimmt. Dementsprechend sind die Richtungen von σ_2 und σ_3 typischerweise horizontal ausgerichtet.
30

Was hier vorstehend beispielhaft bezüglich der Wirkungsweise der Stimulierung bzw. hydraulischen Rissbildung ausgeführt worden ist, gilt nicht nur für die Rissbildung im zweiten nutzbaren Bereich 20 der Fig. 1, sondern ist auch auf die Situation im ersten nutzbaren Bereich 10 der Fig. 1 und ebenso auf die in den übrigen beigefügten Figuren 2 bis 17 gezeigten nutzbaren Bereiche anwendbar. Einzelheiten zur Wirkweise der eingesetzten Stimulierungsverfahren wird in der weiter folgenden Beschreibung nicht wiederholt.

Nach diesem Exkurs in die Geomechanik wird zurück verwiesen auf die in Fig. 1 gezeigte Situation. Die nutzbaren Bereiche 10 und 20 werden technisch wie folgt weiter erschlossen. Die Stimulierung des zweiten nutzbaren Bereich 20 erfolgt ausgehend von der Bohrsohle der Leitung 46 (und/oder lateral durch Löcher bzw. Perforationen (nicht gezeigt) Endabschnitt der Verrohrung) Dabei breiten sich die in einer im Wesentlichen vertikalen Ebene orientierten Risse bzw. Zerklüftungen aus mit einer anfänglichen Ausbreitungsrichtung wie in Fig. 1 durch den Pfeil 28 symbolisiert ist. Der Stimulierungsprozess wird solange fortgesetzt, bis die Risse bzw. Zerklüftungen einen ausreichend großen Bereich ergriffen haben. Das Ausmaß dieses Bereiches wird im voraus berechnet und geplant und dient dazu, den thermischen Austausch zwischen der geothermisch heißen Matrix (Formation) und der durchströmenden Wärmetauschflüssigkeit in einem erheblichen Umfang zu vergrößern. Erst nach der Ausbildung des (künstlich) stimulierten nutzbaren Bereichs 20 wird die Horizontalbohrung 44-2 in den permeabilisierten nutzbaren Bereich (20) geführt.

Mit dem durch das Vorstehende vermittelten Verständnis der ursprünglich in der Erdöl- und Erdgasindustrie entwickelten und nun auch in der (tiefen) Geothermie einsetzbaren Stimulierungstechnologien kann nun auch der Begriff „nutzbarer Bereich“ wie folgt präzisiert werden: Ein geothermisch nutzbarer Bereich in einer geologischen Formation kann ein natürlich vorhandener Bereich mit einer für die Strömung des Wärmetauschfluids ausreichend großen Permeabilität sein, innerhalb dessen sich eine Fluidkommunikation ausbildet durch Öffnungen (etwa durch den offenen bzw. geöffneten Rohrschuh der Leitung 64, wie in Fig. 1 im zweiten nutzbaren Bereich 20 angedeutet, oder durch in einer Verrohrungswand ausgebildete Löcher bzw. Perforationen 68, wie in Fig. 1 im ersten nutzbaren Bereich 10 angedeutet. Der geothermisch nutzbare Bereich umfasst dann dasjenige effektive Volumen in der geologischen Formation, in das hinein sich Fließpfade, die in der englischen Fachsprache sogenannten „Flow Lines“ des durch den Druckgradienten zwischen den

zwei innerhalb des nutzbaren Bereichs ausgebildeten Leitungsöffnungen getriebenen Strömung des in dem System 1 in dem Kreislaufsystem verwendeten Wärmetauschfluids. Im allgemeinen ist das Wärmetauschfluid Wasser. Es gibt jedoch auch besondere Fälle in Formationen mit besonders hohen Formationstemperaturen, etwa um 180° C, Ammoniakwasser als Wärmetauschfluid eingesetzt wird.

Unter dem Begriff „nutzbarer Bereich“ ist hierin der von den Fließlinien in einer Formation erfasste Bereich zu verstehen. Dieser Begriff kann eine natürlich vorhandene geologische Formation mit ausreichender Permabilität, ein durch Stimulationstechniken erzeugter (eröffneter) permeabilisierter Bereich in einer natürlich impermeablen Formation.

Nach der Stimulation des zweiten nutzbaren Bereichs 20 wird noch der erste Bereich 10 aktiviert bzw. stimuliert. Dazu ist in dem sich durch den ersten nutzbaren Bereich 10 erstreckenden Verlauf der verrohrten Horizontalbohrung 42-H (bzw. im Verlauf der Leitung 46) ein Abschnitt, der im Wesentlichen im Zentrum des zu stimulierenden nutzbaren Bereichs 10 in der Planung ausgewählt. In diesem Abschnitt wird vorzugsweise in einer linearen Anordnung entlang der Rohrlängsrichtung eine Vielzahl von Löchern bzw. Perforationen 68 in der Verrohrung ausgebildet. Anschließend werden Stimulationsverfahren durch die Perforationen 68, jedoch nicht in der im Voraus geplanten Position der Rohrverschleißeinrichtung (in der englischen Fachsprache „Packer“) 63, verbreitet bis das gewünschte Ausmaß des nutzbaren Bereichs 10 erreicht wird. Ein Diaphragma 62 aus Beton wird zwischen den Perforationen 68 gespritzt, wie in Fig. 1 symbolisiert um Kürzschlüsse für den Fließpfad von Wasser entlang der Rohrwand zu vermeiden und den durchflossenen Bereich zu erweitern. Schließlich wird eine Rohrabdichtungseinrichtung 63, in der englischen Fachsprache „Packer“, in der Leitung 46 bohrungsaufwärts in Bezug auf das Diaphragma 62 eingebracht und installiert und dauerhaft fluiddicht verschlossen.

Zum Einrichten eines geschlossenen Kreislaufsystems für ein umlaufendes Wärmetauschfluid werden in dem Kreislaufsystem an geeigneten, vorbestimmten und geplanten Stellen Förderpumpen innerhalb der Verrohrung positioniert. So wird nach der Aktivierung des ersten nutzbaren Bereichs 10 eine erste Förderpumpe 60 bohrungsaufwärts der Löcher 68 im Bereich 10 der Leitung 46 installiert. Eine zweite Förderpumpe 61 wurde bereits nach der Stimulierung des zweiten nutzbaren Bereichs 20 durch die Bohrsohle der Leitung 46 in der Nähe bzw. in einem Endabschnitt der

Leitung 46 positioniert und installiert, bevor die Leitung 46 durch die Abdichtungseinrichtung 63 im ersten Bereich 10 verschlossen worden ist.

Auf die vorbeschriebene Weise ist in dem System 1 ein geschlossenes Kreislaufsystem für das Wärmetauschfluid hergestellt worden. Das Kreislaufsystem umfasst die nicht-zuordnungsgemäß erschließende Leitung 44 mit ihrem ersten 44-1 und zweiten 44-2 Abschnitt (dargestellt durch die die Strömungsrichtung andeutenden Pfeile 86-1 und 86-2), den Strömungsbereich (genauer gesagt den von den Strömungslinien erfassten Bereich) in dem zweiten nutzbaren Bereich 20 (symbolisiert durch den Pfeil 86-3), die vernetzende Leitung 46 (das heißt den sich von deren Bohrsohle bis zu der Rohrabdichtungseinrichtung 63 erstreckenden Abschnitt der verrohrten Bohrung 42-H) den von den Strömungslinien im ersten nutzbaren Bereich 10 erfasste Bereich, der sich von den bohrungsabwärts in Bezug auf die Verschlusseinrichtung 63 ausgebildeten Löcher 68' in der Wand der Verrohrung bis zu der bohrungsaufwärts bezüglich der Verschlusseinrichtung 63 ausgebildeten Löchern 68 ausbildet (symbolisiert durch die Pfeile 86-5 und 86-6), die zuordnungsgemäß erschließende Leitung 42 (d.h. der sich von der Verschlusseinrichtung 63 bis zur Erschließungsstätte 40 erstreckende Teil der verrohrten Horizontalbohrung 42-H, dargestellt durch die Pfeile 86-7 und 86-8).

Der zweite nutzbare Bereich 20 ist unmittelbar, d.h. ohne Verwendung einer zweiten Erschließungsstätte vernetzt mit dem ersten nutzbaren Bereich 10 und der Erschließungsstätte 40 durch die nicht-zuordnungsgemäß erschließende Leitung 44 und die vernetzende Leitung 46.

Die Leitung 46 mit der Förderpumpe 61 wirkt als Produktionsleitung im herkömmlichen Sinne für den zweiten nutzbaren Bereich 20 und als Injektionsleitung im herkömmlichen Sinne für den ersten nutzbaren Bereich 10. Die Leitung 42 mit der Förderpumpe 60 wirkt als Produktionsleitung für den ersten nutzbaren Bereich 10. Das Kreislaufsystem für das umlaufende Wärmetauschfluid ist geschlossen, wenn der erdoberflächenseitige Anfangsabschnitt (in Fig. 1 bei 6) der Injektionsleitung 44 für den zweiten nutzbaren Bereich 20 an den Injektionsauslass (Fluidauslass 84) der Wärmetauscheinrichtung 80 und der Endabschnitt der Leitung 42 an den Produktionseinlass (Fluideinlass 82) der Wärmetauscheinrichtung 80 angeschlossen ist.

Wenn das Kreislaufsystem (48-1, 48-2, 20, 46, 10, 42, 80) geschlossen ist, wird das Wärmetauschfluid durch die Leitung 44 (44-1, 44-2) in den zweiten nutzbaren Bereich 20 injiziert, nimmt dort geothermische Energie auf, wird mittels der Leitung 46

aus dem Bereich 20 herausgefördert und in den ersten nutzbaren Bereich 10 injiziert, nimmt dort zusätzliche geothermische Energie auf und wird anschließend daraus mittels der Leitung 42 herausgefördert und der Wärmetauscheinrichtung 80 zugeführt. Auch beim Durchströmen von zumindest dem zweiten Abschnitt 44-2 der Leitung 44 und durch die Leitung 46 nimmt das Wärmetauschfluid Wärmeenergie auf. Zumindest die in diesen Leitungsabschnitten 44-2 und 46 und die im zweiten nutzbaren Bereich 20 aufgenommene Wärmeenergie geht über das hinaus, was bei den bisher üblichen Erschließung eines nutzbaren Bereichs, hier z.B. der eine nutzbare Bereich, von einer Erschließungsstätte, hier 40, erschlossen würde. In der Wärmetauscheinrichtung 80 wird die so aus dem zweiten 20 und dem ersten 10 nutzbaren Bereich geförderte geothermische Energie mittels Wärmetauschern entzogen und in geeigneter Form für den Energiekonsum zur Verfügung gestellt. Ferner umfasst die Einrichtung 80 zumindest eine Förderpumpe, die als Injektionspumpe eingesetzt wird zum Reinjektieren (Verdrücken) des Wärmetauschfluids in die Injektionsleitung 44 des Kreislaufsystems.

Auch die in den Fig. 2, 3 und 4 gezeigten Ausführungsformen eines Systems 2, 3, 4 zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie verwirklicht hinsichtlich des Betriebs zum Produzieren geothermischer Energie das anhand der Fig. 1 bereits beschriebene Konzept der unmittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen 10, 20 von einer einzigen Erschließungsstätte 40. Dazu umfassen die in den Fig. 2, 3 und 4 gezeigten Systeme 2, 3 und 4 jeweils einen ersten nutzbaren Bereich 10 mit geothermischer Energie, die erste vorbestimmte Erschließungsstätte 40, die dem ersten nutzbaren Bereich 10 zugeordnet ist, eine erste zuordnungsgemäß erschließende Leitung 42 zwischen der ersten Erschließungsstätte 40 und dem ersten nutzbaren Bereich 10 und einen zweiten nutzbaren Bereich 20 mit geothermischer Energie, sowie ferner eine erste vernetzende Leitung 46 zwischen dem ersten 10 und dem zweiten 20 nutzbaren Bereich und eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Leitung 44 zwischen der ersten Erschließungsstätte 40 und dem zweiten nutzbaren Bereich 20.

Bei Verwirklichung des den Fig. 1 bis 4 gemeinsamen Konzepts mit den vorgenannten Komponenten, die die unmittelbare Vernetzung des zweiten nutzbaren Bereichs 20 von einer einzigen Erschließungsstätte 40 aus ermöglicht, unterscheiden sich jedoch die in den Fig. 1 bis 4 gezeigten Ausführungsformen voneinander hinsichtlich der für die Herstellung der Leitungen 44, 46 und 42 verwendeten

Technologien, etwa zum Bohren, Verrohren und Stimulieren der nutzbaren Bereiche 10 und 20.

Zum Herstellen des in der Fig. 2 gezeigten Systems 2 wird die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 42 unter Benutzung von dem Fachmann bekannter Vertikalbohrungstechnologie als von der Erschließungsstätte 40 aus im Wesentlichen vertikal in die Tiefe vorangetriebene Primärbohrung, die den ersten nutzbaren Bereich 10 direkt trifft bzw. durchdringt und als Sackbohrung endet, niedergebracht. Die so hergestellte Primärbohrung wird über ihre gesamte Erstreckungslänge von der Erschließungsstätte 40 bis zur Bohrsohle im bzw. unterhalb des ersten nutzbaren Bereichs 10 verrohrt. Anschließend wird ausgehend von einem vorbestimmten Abzweigbereich eine Abzweigbohrung, in der englischen Fachsprache ein sogenannter „Side-Track Well“, begonnen. Zum Herstellen der ersten vernetzenden Fluidverbindungsleitung 46 werden ausgehend von besagter Abzweigstelle mehrere im Wesentlichen in horizontaler Richtung zum zweiten nutzbaren Bereich 20 hin geführte und mit ihrem Endabschnitt den zweiten nutzbaren Bereich 20 im Wesentlichen zentral bzw. mittig treffende Dünnbohrungen 95-1, 95-2, 95-3 ausgebildet. Selbstverständlich wird der Verlauf dieser Bohrungen vorgeplant, etwaig schwierig zu durchdringende geologische Formationen werden nach Möglichkeit umgangen und Höhen- bzw. Teufenunterschiede zwischen dem ersten 10 und dem zweiten 20 nutzbaren Bereich ausgeglichen. Die Horizontalbohrungen werden ebenfalls über ihren gesamten Verlauf von dem Abzweigpunkt an der Primärbohrung bis zu der Bohrsohle im zweiten nutzbaren Bereich 20 verrohrt. Anschließend wird der zweite nutzbare Bereich 20 aus den Endabschnitten der hergestellten Leitung/en 46 mittels hydraulisch-induzierter Rissbildung stimuliert, in Abhängigkeit von den Gegebenheiten der geologischen Formation aus der offenen Bohrsohle heraus oder/und durch in der Seitenwand des Endabschnitts ausgebildete Perforationen initiiert und abgeschlossen.

Die nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 44 wird in zwei Abschnitten, einem ersten Abschnitt 44-1 und einem zweiten Abschnitt 44-2 ausgebildet. Der erste Abschnitt 44-1 (Primärbohrung 48-1) wird als Vertikalbohrung ausgehend von der Erschließungsstätte 40 hergestellt, so dass ein Endabschnitt der Bohrung in relativer Nähe zu dem ersten nutzbaren Bereich 10 ist, d.h. wie bereits bezüglich der Fig. 1 beschrieben, innerhalb einer durch einen vorbestimmten Maximalabstand 14 vom ersten nutzbaren Bereich 10 aus definierten Zone 12. Die Primärbohrung 48-1 endet als Sackbohrung in der durch den Maximalabstand 14

definierten Zone 12. Anschließend wird die Primärbohrung über ihre gesamte Länge verrohrt. Danach werden zum Herstellen des zweiten Abschnitts 44-2, ausgehend von einem sich innerhalb der Zone 12 angeordneten, vorbestimmten Abzweigabschnitt 47 ausgehend, mehrere Abzweigbohrungen mit ebenfalls bekannter („Multi-Lateral Side-Track Wells“) Abzweigbohrtechnologie ausgebildet. Die mehreren, etwa 5 bis 15, möglicherweise 6 bis 10, Abzweigbohrungen werden im Rahmen der mechanischen Belastbarkeit (in der englischen Fachsprache: „Dog-Leg Severity“) des Bohrgestänges, die in diesen Tiefen bzw. Bohrlochlängen beschränkt ist, langsam in im Wesentlichen horizontaler Richtung navigiert, bis in den zweiten nutzbaren Bereich 20 hineingeführt und jeweils über ihre gesamte Länge verrohrt. Die Bohrsohle der als Sackbohrung ausgeführten Primärbohrung 48-1 wird mittels eines Packers (nicht bezeichnet) verschlossen. Falls erforderlich, wird ausgehend von und durch die offenen Bohrsohlen der mehreren multi-lateralen Bohrungen der Leitung 44-2 mittels hydraulisch induzierter Rissbildung der zweite nutzbare Bereich 20 zusätzlich im Bereich um die Endabschnitte der mehreren multi-lateralen Bohrungen herum stimuliert. Dadurch wird eine Fluidverbindung zwischen der Sohle der Leitung 46 und den Sohlen (oder lateralen Perforationen) der mehreren Leitungen im Abschnitt 44-2 hergestellt. Eine erste Förderpumpe 61 wird durch die Leitung 42 und die Leitung 46 in den Endabschnitt der Leitung 46 in zweiten nutzbaren Bereich 20 eingebracht und installiert. Der erste nutzbare Bereich 10 wird ausgehend von Löchern oder Perforationen (nicht gezeigt) mittels hydraulischer Rissbildung stimuliert. Anschließend werden in der Leitung 46 bohrungsabwärts in Bezug auf den Abzweigpunkt jedoch in der Nähe desselben und auf jeden Fall innerhalb des vorgesehenen ersten nutzbaren Bereichs 10 mehrere Löcher (Perforationen) 68 und 69 zum Herstellen der Fluidkommunikation von der Position 69 zur Position 68 in der Wand der Verrohrung der Leitung 46 und 42-H ausgebildet. In einer im voraus geplanten Position wird in der Leitung 42 bohrungsaufwärts bezüglich des Abzweigpunkts eine Rohrverschlusseinrichtung 63 (Packer) zum permanenten Verbleib eingebracht und installiert. Eine zweite Förderpumpe 60 in der Leitung 42 bohrungsaufwärts in Bezug auf die Löcher 68 eingebracht. Der Anfangsabschnitt an der Erdoberfläche 5 der Leitung 42 wird an den Fluideinlass 82 der an der Erschließungsstätte 40 eingerichteten Wärmetauscheinrichtung 80 und der erdoberflächenseitige Anfangsabschnitt an der Erdoberfläche 5 der Leitung 44 wird an den Fluidauslass 84 der Einrichtung 80 angeschlossen. Damit ist das Kreislaufsystem geschlossen.

In Fig. 2 umfasst das Kreislaufsystem für das Wärmetauschfluid die nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 44 mit ihrem ersten und zweiten Abschnitt 44-1, 44-2 (Richtungspfeile 86-1, 86-2), die Fluidverbindung zwischen den Bohrsohlen der mehreren aus den Dünnbohrungen hergestellten Leitungen des Abschnitt 44-2 und der Bohrsohle der Leitung 46 (Pfeil 86-3), die Leitung 46 (Pfeil 86-4), die Fluidverbindung im ersten nutzbaren Bereich 10 von den Löchern 69 zu den Löchern 68 (Pfeile 86-5 und 86-6), die Leitung 42 (Pfeil 86-7) und die Wärmetauscheinrichtung 80.

Bei der in Fig. 3 dargestellten dritten Ausführungsform des Konzepts der Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen 10, 20 von einer Erschließungsstätte 40 aus wird in dem in Fig. 3 gezeigten System 3 ebenfalls ein geschlossenes Kreislaufsystem zum Produzieren von geothermischer Energie aus den nutzbaren Bereichen 10 und 20 hergestellt in Form einer zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 42 zwischen der ersten Erschließungsstätte 40 und dem ersten nutzbaren Bereich 10, einer ersten vernetzenden Fluidverbindungsleitung 46 zwischen dem ersten 10 und dem zweiten 20 nutzbaren Bereich und einer ersten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 44 zwischen der ersten Erschließungsstätte 40 und dem zweiten nutzbaren Bereich 20.

Die zuordnungsgemäß erschließende Verbindungsleitung 42 wird in bereits beschriebener Weise in Form einer von der Erschließungsstätte 40 ausgehenden vertikalen Primärbohrung, die im ersten nutzbaren Bereich 10 endet, ausgebildet.

Anschließend an die Verrohrung (und Zementierung) der Bohrung 42 wird ein Stimulationsprozess durchgeführt, um den ersten nutzbaren Bereich 10 künstlich herzustellen. Die Verrohrung wird lateral perforiert und eine Unterwasserpumpe 60 eingebracht und installiert.

Die nicht-zuordnungsgemäß erschließende Verbindungsleitung 44 wird wiederum in zwei Abschnitten, einem ersten Abschnitt 44-1 und einem zweiten Abschnitt 44-2 ausgebildet in vergleichbarer Weise wie bei der in Fig. 2 gezeigten zweiten Ausführungsform.

Lediglich zur Erschließung des zweiten nutzbaren Bereichs 20, jedoch nicht zur anschließenden Produktion von geothermischer Energie aus den beiden Bereichen 10 und 20, die ausschließlich von der Erschließungsstätte 40 aus erfolgt, wird eine nur temporär benutzte, zweite Erschließungsstelle 90 eingerichtet zum Herstellen von Erschließungsbohrungen 92, 98, 91 für den zweiten nutzbaren Bereich 20 und zum

Einbringen der entsprechenden Verrohrungen in die Erschließungsbohrungen. Zum Stimulieren des zweiten nutzbaren Bereichs 20 wird die Erschließungsbohrung 92 in Vertikalbohrtechnologie als Primärbohrung ausgeführt und der zweite nutzbare Bereich 20 durch die Perforationen im Bohrsohlenbereich der Bohrung 92 initiiert und fortgesetzt, bis als vorgeplantes Ergebnis eine gewünschte Ausdehnung des eröffneten zweiten nutzbaren Bereichs 20 erzielt worden ist. Eine zweite Erschließungsbohrung 98 ist ausgehend von der Erschließungsstätte 90 niedergebracht, so dass die Bohrsohle in dem designierten zweiten nutzbaren Bereich 20 (oder auch außerhalb jedoch in der Nähe desselben, d.h. in einer durch einen vorbestimmten Maximalabstand 28 um den Bereich 20 definierten Zone 22) angeordnet ist. Die Leitung 46 wird als Sekundärbohrung in der Form von mehreren von der Bohrung 98 von einem gemeinsamen Abzweigabschnitt 95 ausgehenden Horizontalbohrungen (Dünnbohrungen 95-1, 95-92, 95-3) ausgebildet, so dass die Endabschnitte der mehreren Bohrungen den ersten nutzbaren Bereich 10 erreichen. Die Erschließungsbohrung 92 und die Verbindungsbohrung 98 können auch für eine frühere Produktion von geothermischer Energie aus dem zweiten nutzbaren Bereich 20 eingerichtete, ehemalige Injektions- bzw. Produktionsleitungen sein. Jedenfalls ist von der Erschließungsbohrung 92 in einem Abzweigabschnitt 93 ausgehend als Abzweigbohrung eine Verbindungsbohrung 91 hergestellt mittels moderner, vollkommen verlaufsgesteuerter und zielgerichteter Horizontal-Bohrtechnologie. Bohrziel für diese Bohrung 91 ist es, die Verbindungsbohrung 98 zu treffen. Die Verbindungsbohrung 91 hat das Bohrziel verlaufgesteuert erreicht und wurde verrohrt. In der Bohrung 92 wurde bohrungsabwärts des Abzweigbereichs 93 eine erste Förderpumpe 61 eingebracht und installiert. Bohrungsaufwärts des Abzweigabschnitts 93 wurde eine Verschießeinrichtung 93 (Packer) eingebracht und installiert. In der Bohrung 98 wurde bohrungsaufwärts in Bezug auf den Mündungsbereich der Verbindungsbohrung 91 eine Verschießeinrichtung 64 (Packer) eingebracht und installiert. Der erste nutzbare Bereich 10 wurde schon ausgehend von der Leitung 42 hydraulisch stimuliert; die anfängliche Ausbildungsrichtung ist in Fig. 3 durch den Pfeil 18 gekennzeichnet. Eine zweite Förderpumpe 60 wurde im Endabschnitt der Leitung 42 eingebracht und installiert.

Nach dem Anschließen der Anfangsabschnitte (bezogen auf die Erdoberfläche 5) der Leitungen 44 und 42 an die Wärmetauscheinrichtung 80 (Fluidauslass 84 bzw. Fluideinlass 82) ist ein geschlossenes Kreislaufsystem hergestellt. Dieses umfasst den

ersten 44-1 und zweiten 44-2 Abschnitt der Leitung 40, die Fluidverbindung im zweiten nutzbaren Bereich 20 zwischen dem Endabschnitt der Leitung (bzw. Leitungen) des Abschnitts 44-2 und der Sohle der verrohrten Bohrung 92 im Bereich von der Sohle bis zum Abzweigabschnitt 93 (hier unterstützt durch die Förderpumpe 61), die

5 Verbindungsbohrung 91 und die vom Abzweigungsbereich 95 in der Bohrung 98 ausgehenden multi-lateralen Bohrungen 95-1 bis 95-3, die Fluidverbindung im ersten nutzbaren Bereich 10 zwischen den Endabschnitten der Bohrungen 95-1 bis 95-3 und der Sohle der Leitung 42, die Leitung 42 und die Wärmetauscheinrichtung 80.

Bei der in Fig. 4 gezeigten vierten Ausführungsform unterscheidet sich das System 4 von dem in Fig. 3 gezeigten System 3 im Wesentlichen hinsichtlich der Erschließung des zweiten nutzbaren Bereichs 20 und der Leitungsführung im Bereich 20. Die Herstellung der zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 42 für den ersten nutzbaren Bereich 10, die Stimulierung des ersten nutzbaren Bereichs 10 und die Herstellung der vernetzenden Fluidverbindungsleitung 44 in der Form eines ersten Abschnitts 44-1 (Primärbohrung) und davon abzweigenden Sekundärabschnitts (mehrere Horizontalleitungen im Abschnitt 44-2 hergestellt aus von der Primärbohrung abzweigenden Sekundärbohrungen 48-2) entsprechen der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform des Systems 3.

Von einer nur vorübergehend zur Erschließung des zweiten nutzbaren Bereichs 20 eingerichteten, zweiten Erschließungsstätte 90 ist eine Vertikalbohrung als Primärbohrung in den zweiten nutzbaren Bereich 20 niedergebracht, so dass die Bohrsohle der Primärbohrung 94-1 mittig bzw. zentral den zweiten nutzbaren Bereich 20 erreicht. Der zweite nutzbare Bereich 20 wurde ausgehend von der Bohrsohle der Bohrung 94-1 hydraulisch stimuliert. Eine von einem vorbestimmten Abzweigabschnitt 93 ausgehende Abzweigbohrung 97 wurde bereits in Richtung des ersten nutzbaren Bereichs 10 weisend ausgebildet als Sackbohrung bis zu einem Endabschnitt (bei 96 in Fig. 4) und in der Form von mehreren Horizontalbohrungen bis in den ersten nutzbaren Bereich 10 hinein fortgesetzt und verrohrt. Dabei wurde die Verbindung zwischen den mehreren Horizontalbohrungen 95-1 bis 95-2 und der Abzweigbohrung 97 unter Verwendung bekannter Verbindungstechnologie (in der englischen Fachsprache: „Liner“) beim Punkt 96 mit einer Verrohrung der Abzweigbohrung 97 verbunden. Alternativ können die Bohrungen 95-1,95-2,95-3 als Sidetrack Bohrungen aus der Verrohrung 46 hergestellt werden. Zum Fertigstellen des Kreislaufsystems für das Wärmetauschfluid wurde eine erste Förderpumpe 61 in der verrohrten Bohrung 94-1

bohrungsabwärts bezüglich des Abzweigabschnitts 93 eingebracht und installiert, eine Verschlusseinrichtung 63 ebenfalls in der Bohrung 94-1 jedoch bohrungsaufwärts in Bezug auf den Abzweigabschnitt 93 eingebracht und installiert, und eine zweite Förderpumpe 60 im Endabschnitt der Leitung 42 eingebracht und installiert.

5 Das so hergestellte Kreislaufsystem umfasst die Leitung 44 mit ihrem ersten 44-1 und zweiten 44-2 Abschnitt, die Fluidverbindung im zweiten nutzbaren Bereich 20 zwischen den Sohlen der Leitungen des zweiten Abschnitts 44-2 und der Sohle der verrohrten Bohrung 44 im Bereich von der Sohle bis zum Abzweigabschnitt 93, die Abzweigbohrung 97 und deren Fortsetzung in Form der mehreren verrohrten
10 Horizontalbohrungen 95-1 bis 95-2, die Fluidverbindung im ersten nutzbaren Bereich 10 zwischen den Endabschnitten der Bohrungen 95-1 bis 95-3 und der Sohle der Leitung 42, die Leitung 42 und die Wärmetauscheinrichtung 80.

In den Figuren 5, 6 und 7 werden eine erste, zweite und dritte Ausführungsform eines Systems 100, 100' und 100'' zum Produzieren von geothermischer Energie
15 dargestellt. In diesen Ausführungsformen eines Systems 100, 100', 100'' ist das Konzept einer mittelbaren Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen und zwei Erschließungsstätten realisiert. Den in den Figuren 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen ist gemeinsam, dass jedes System 100, 100', 100'' folgendes umfasst: einen ersten unterirdischen nutzbaren Bereich 110 mit geothermischer Energie,
20 einen zweiten unterirdischen nutzbaren Bereich 120 mit geothermischer Energie, eine erste vorbestimmte Erschließungsstätte 140, die dem ersten nutzbaren Bereich 110 zugeordnet ist, eine zweite vorbestimmte Erschließungsstätte 150, die dem zweiten nutzbaren Bereich 120 zugeordnet ist, eine erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 142 zwischen der ersten Erschließungsstätte 140 und dem
25 ersten nutzbaren Bereich 110, eine zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 152 zwischen der zweiten Erschließungsstätte 140 und dem zweiten nutzbaren Bereich 120, eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 144 zwischen der ersten Erschließungsstätte 140 und dem
30 zweiten nutzbaren Bereich 120, eine zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 145 zwischen der zweiten Erschließungsstätte 150 und dem ersten nutzbaren Bereich 110, und eine an der ersten Erschließungsstätte 140 angeordnete Wärmetauscheinrichtung 180. Letztere weist zumindest die gleichen Funktionalitäten auf wie die in den Figuren 1 bis 4 gezeigte Wärmetauscheinrichtung 80 und umfasst weist einen Fluideinlass 182 zum Anschließen einer Produktionsleitung, in

der geothermische Energie aus einem oder mehreren (hier insbesondere: zwei) nutzbaren Bereichen gefördert wird, und einen Fluidauslass 184, an dem eine Injektionsleitung des geothermischen Systems angeschlossen wird. Mit dem Anschließen der an der ersten Erschließungsstätte 140 angeordneten

5 Wärmetauscheinrichtung 180 an die erdoberflächenseitigen Anfangsabschnitte der Produktions- und Injektionsleitungen ist ein Kreislaufsystem für das im Betrieb umlaufende Wärmetauschfluid geschlossen. Noch gemeinsam ist den in den Figuren 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen, dass an der zweiten Erschließungsstätte 150 eine sogenannte Verbindungseinrichtung 190 bereitgestellt ist, die in vergleichbarer Weise

10 zur Wärmetauscheinrichtung 180 ebenfalls einen Fluideinlass 192 und einen Fluidauslass 194 aufweist. An dem Fluideinlass 192 bzw. Fluidauslass 194 ist ein entsprechender, erdoberflächenseitiger Anfangsabschnitt einer Produktions- bzw. einer Injektionsleitung des geothermischen Systems angeschlossen.

Weiterhin gemeinsam ist den in den Fig. 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen

15 die konzeptuelle Ausgestaltung der mittelbaren Vernetzung der zwei nutzbaren Bereiche 110 und 120. Der erste nutzbare Bereich 110 ist in die Vernetzung eingebunden durch die erste zuordnungsgemäß erschließende Leitung 142, die den Bereich 110 mit der ersten Erschließungsstätte 140 verbindet, und die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 154, die den Bereich 110 mit

20 der zweiten Erschließungsstätte 150 verbindet. Der zweite nutzbare Bereich 120 ist in die Vernetzung eingebunden durch die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 152, die den zweiten nutzbaren Bereich 120 mit der zweiten Erschließungsstätte 150 verbindet, und die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 144, die den Bereich 120 mit der ersten

25 Erschließungsstätte 140 verbindet. Die erste 144 und die zweite 154 nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung ist, und das ist eine Gemeinsamkeit mit der in den Fig. 1 bis 4 gezeigten Ausführungsformen, nämlich der nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 44 (ungeachtet der mehreren dafür möglichen Ausführungsformen), dass die Leitungen 144 und 145 von

30 den jeweiligen Erschließungsstätten 140, 150 ausgehend, zunächst als im Wesentlichen vertikal in die Tiefe und in die Nähe der den Erschließungsstätten 140, 150 zugeordneten nutzbaren Bereiche 110, 120 mit einem ersten Abschnitt 144-1, 154-1 und einem zweiten Abschnitt ausgebildet sind. Der jeweilige erste Abschnitt 144-1, 154-1 ist als Primärbohrung ausgebildet. Ein jeweiliger, sich an den ersten Abschnitt

144-1, 154-1 anschließender zweiter Abschnitt 144-2, 154-2 weist einen bogenförmigen Anfangsabschnitt und einen sich daran anschließenden Bereich, der sich bis in den jeweiligen lateral entfernten nutzbaren Bereich 120, 110 hinein erstreckt. Die jeweiligen bogenförmigen Abschnitte in den Leitungen 144, 154 sind „in der Nähe“ desjenigen nutzbaren Bereichs 110, 120 ausgebildet, der derjenigen Erschließungsstätte 140, 150 zugeordnet ist, von dem die Leitung 144, 154 ausgeht. Der jeweilige zweite Abschnitt 144-2, 154-2 der Leitungen 144 und 154 ist als von der Primärbohrung abzweigende Sekundärbohrung oder eine Vielzahl sekundärer Dünnbohrungen ausgebildet ist. Die Leitungen 144 und 154 können auch jeweils als eine durchgängige, von der jeweiligen zugeordneten Erschließungsstätte 140, 150 ausgehende, vorzugsweise verlaufsgesteuerte Horizontalbohrung ausgebildet werden. Und sie können bezüglich der eingesetzten Bohr- und Verrohrungstechnologie in vergleichbarer oder verschiedener Art und Weise hergestellt werden.

Wie aus einer Betrachtung der Fig. 5 bis 7 nahe gelegt ist, wird die Konfiguration der Leitungen 142, 144 und der Leitungen 152, 154 hierin als die beiden nutzbaren Bereiche 110 und 120 mittelbar und doppelt kreuz-vernetzt bezeichnet.

Die in den Fig. 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen unterscheiden sich hinsichtlich der Ausgestaltung der an der zweiten Erschließungsstätte 150 angeordneten Verbindungseinrichtung 190. Bei der in Fig. 5 gezeigten ersten Ausführungsform weist die Verbindungseinrichtung 190 eine bloße Funktion des Förderns des Wärmetauschfluids aus der angeschlossenen Produktionsleitung 152 und des Reinjektierens (Verdrückens) des Wärmetauschfluids in die als Injektionsleitung dienende, zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Leitung 154. Dazu ist die Verbindungseinrichtung 190 etwa als bloße Förder- bzw. Pumpstation 191 ausgebildet und umfasst eine an dem Fluideinlass 192 angeschlossene Förderpumpe und/oder eine, gegebenenfalls mit Ansaugfunktion versehene Injektionspumpe, die den Fluidauslass 194 betreibt. Bei der in Fig. 6 gezeigten zweiten Ausführungsform ist die Verbindungseinrichtung 190 als Förder- und/oder Pumpstation und Wärmetauschstation 195, beispielsweise als eine Wärmetauscheinrichtung 170 mit einem Fluideinlass 172 und einem Fluidauslass 174 ausgebildet. Die Wärmetauscheinrichtung 170 weist einen vergleichbaren Aufbau auf wie die an der ersten Erschließungsstätte 140 angeordnete Wärmetauscheinrichtung 180. Bei der in Fig. 7 gezeigten dritten Ausführungsform weist die Verbindungseinrichtung 190 (wie die in Fig. 5 gezeigte Ausführungsform) eine Funktion des Förderns bzw. Pumpens auf und ist dazu als Förder- bzw. Pumpstation

190 ausgebildet. Zusätzlich weist die Verbindungseinrichtung 190 in der Fig. 7 eine Solarenergiekollektoreinrichtung 196 auf, die dazu dient, Solarenergie aufzufangen, zwischenzuspeichern und mittels Wärmetausch dem durch die Förder- bzw. Pumpstation 191 im Betrieb durchströmenden Wärmetauschfluid zuzuführen. Mittels der Solarenergiekollektoreinrichtung 196 können etwaige Wärmeverluste des in dem Kreislaufsystem der Fig. 7 umlaufenden Wärmetauschfluids entlang des Strömungsweges in Formationen, deren Temperatur unterhalb der Temperatur des strömenden Wärmetauschfluids ist, ausgeglichen werden. Jedenfalls wird dem im Betrieb umströmenden Wärmetauschfluid zusätzlich zu der in den nutzbaren Bereichen 110 und 120 aufgenommenen geothermischen Energie noch Energie solaren Ursprungs zugeführt.

Fig. 8 zeigt schematisch eine vierte Ausführungsform für ein System 100, das im Hinblick auf die Vernetzung der Leitungen dem in Fig. 5 gezeigten System 100 entspricht. In Fig. 8 ist jedoch eine schematische, virtuell dreidimensionale Ansicht des unterirdischen Teils des Systems gewählt. Das in Fig. 8 gezeigte System umfasst die gleichen funktionellen Elemente, die in Fig. 8 auch mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind, wie bei dem in Fig. 5 gezeigten System 100. Wie bereits bezüglich der Fig. 5 bis 7 als Möglichkeit erwähnt, ist bei der in Fig. 8 gezeigten Ausführungsform die von der ersten Erschließungsstätte 140 ausgehende erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 144 in ihrem ersten Abschnitt 144-1 als vertikal in die Nähe des ersten nutzbaren Bereichs 110 als Sackbohrung abgeschlossene Primärbohrung und in ihrem zweiten Abschnitt 144-2 als eine Vielzahl von von der Primärbohrung 148-1 (als „Sidetrack“) abzweigende gerichtete Dünnbohrungen ausgebildet. Diese werden wiederum im Rahmen der zulässigen Beanspruchung des Dünnbohrungs-Bohrgestänges relativ langsam in einer in einer im Wesentlichen horizontalen Richtung gebohrt und nach dem Bohren über ihre gesamte Länge von dem Abzweigpunkt 147 bis zu ihrer jeweiligen Bohrsohle durchgängig verrohrt. In technologisch vergleichbarer Weise ist auch die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 154 in zwei Abschnitten 154-1 und 154-2 hergestellt, im ersten Abschnitt 154-1 als im Wesentlichen vertikal in die Tiefe und in die Nähe des zweiten nutzbaren Bereichs führende Primärbohrung 158-1, und im zweiten Abschnitt 154-2 als eine Vielzahl von in Dünnbohr- (Slim-Hole bzw. Coiled Tubing) Technologie hergestellten, von einem Abzweigpunkt 157 von der Primärbohrung 158-1 ausgehenden gerichteten Dünnbohrungen ausgebildet, die beanspruchungsgemäß

bezüglich des Bohrgestänges relativ langsam in einer im Wesentlichen horizontalen Richtung gebohrt werden.

Fig. 9 zeigt schematisch eine erste Ausführungsform für die Ausgestaltung bzw. Führung einer Vielzahl von im Wesentlichen horizontal verlaufenden Bohrungen, die in 5 Dünnbohr (Slim-Hole bzw. Coiled Tubing) Technologie als Sekundärbohrung, abzweigend von einer gemeinsamen Primärbohrung hergestellt sind. Das in Fig. 9 gezeigte Konzept ist übertragbar auf die in den Fig. 1 bis 4 gezeigten Ausführungsformen mit den nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 44, insbesondere auf deren zweite Abschnitte 44-2; auf die 10 in den Fig. 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen mit den ersten und zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 144 und 154, insbesondere deren jeweilige zweite Abschnitte 144-2 und 154-2; auf die in Fig. 8 gezeigten Ausführungsformen mit den ersten und zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 144 und 154, insbesondere in deren 15 jeweiligen zweiten Abschnitten 144-2 und 154-2; auf die in Fig. 10 gezeigte Ausführungsform, insbesondere die dort gezeigten jeweiligen zweiten Abschnitte 144-2 und 154-2; auf das in Fig. 13 gezeigte System 200 mit den jeweiligen, in zwei Abschnitten ausgeführten Leitungen 248, 254, 268 und 269, insbesondere deren jeweilige zweite Abschnitte 248-2, 254-2, 268-2 und 269-2; auf das in Fig. 14 gezeigte 20 System 300 mit nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Verbindungsleitungen 348, 358 und 368, insbesondere deren jeweilige zweite Abschnitte 348-2, 358-2, 368-2; auf das in Fig. 15 gezeigte System 400 mit den jeweiligen nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 450 und 452, insbesondere deren jeweilige zweite Abschnitte 450-2 und 452-2; auf das in Fig. 17 gezeigte System 600 mit den 25 jeweiligen nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 648-2-1, 649-2-1, 648-2-2, 649-2-2, 648-2-3, 649-2-3, insbesondere deren jeweilige zweite Abschnitte (in Fig. 17 nicht bezeichnet), die in den „außen“ angeordneten nutzbaren Bereiche 620-1, 630-1, 620-2, 630-2, 620-3, 630-3 münden, und auf die jeweiligen vernetzenden Fluidverbindungsleitungen 646-1, 646-2, 646-3, die in dem ersten 30 nutzbaren Bereich 610 münden. Im Sinne der hier vor gezeigten Übertragbarkeit des in Fig. 9 gezeigten Konzepts ist dessen nachfolgende Beschreibung nur hinsichtlich darin verwendeten Bezugszeichen auf die in den Figuren 5 bis 8 und 10 gezeigten Ausführungsformen bezogen.

Wie in Fig. 9 zu erkennen ist, zweigen von einer Primärbohrung 148-1 ausgehend mehrere (in Fig. 9 sind schematisch lediglich drei gezeigt), etwa 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14 oder 15 in Dünnbohr (Slim-Hole bzw. Coiled Tubing) Technologie ausgeführte Sekundärbohrungen 48-2 in einer im Wesentlichen horizontalen Richtung von einer Primärbohrung 148-1 ab (wie in Fig. 9 links gezeigt) und wurden in den als Bohrziel definierten und in die Vernetzung einzubindenden, nutzbaren Bereich 120 geführt. Wie ebenfalls in Fig. 9 schematisch angedeutet, verzweigen die mehreren sekundären Dünnbohrungen 148-2 aus einem gemeinsamen Abzweigabschnitt von der Primärbohrung 148-1 ab, verlaufen in einem Divergenz-Bereich 143 in zunächst zueinander divergierenden Richtungen in der im Wesentlichen horizontalen Ebene, durchlaufen einen ersten bogenförmigen Abschnitt, sind ab dem ersten bogenförmigen Abschnitt im Wesentlichen parallel zueinander geführt bis sie den in die Vernetzung einzubindenden, nutzbaren Bereich 120 erreichen, durchlaufen dort einen zweiten bogenförmigen Abschnitt und verlaufen in einem Konvergenz-Bereich 145 in aufeinander zu konvergierenden Richtungen, bis sie relativ nahe an der zuordnungsgemäß erschließenden Leitung 152 enden. Die aufeinander zu konvergierenden Richtungen sind auf das Zentrum des nutzbaren Bereichs 120 ausgerichtet. Der nutzbare Bereich 120 ist etwa aus der Bohrsohle einer zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 152 durch hydraulisch stimulierte Bildung von Rissen 129 stimuliert bzw. aktiviert.

Es wird daran erinnert, dass ein innerhalb einer im Wesentlichen horizontalen Ebene gemessene Abstand zwischen der Primärbohrung 148-1 und dem zu vernetzenden nutzbaren Bereich 120 – oder auch ein Abstand zwischen zwei nutzbaren Bereichen, die unterschiedlichen Erschließungsstätten zu geordnet sind – relativ lang sein kann und zwischen etwa 1000 m und 5000 m, typischerweise jedoch etwa 2000 m bis 3000 m beträgt. Durch die im Wesentlichen parallele Verlaufsführung der Sekundärbohrungen 148-2 wird von den parallel verlaufenden Bohrungen 148-2 eine in der im Wesentlichen horizontalen Ebene liegende, relativ große Fläche aufgespannt bzw. überspannt. Die parallel verlaufenden Bohrungen 148-2 fangen die durch diese Fläche aus dem Erdinneren nach außen (das heißt in der Erdkruste vertikal nach oben) durch Wärmeleitung übertragene geothermische Energie teilweise auf. Die durch den in Fig. 9 gezeigten Verlauf der von den parallel geführten Bohrungen aufgespannte Fläche und die von dieser Fläche bzw. von dem durch die Bohrungen 148-2 strömenden Wärmetauschfluid aufgefangene geothermische Energie wird – zusätzlich zu der in den

vernetzten nutzbaren Bereichen aufgenommenen geothermischen Energie – von dem durch die Bohrungen 148-2 durchströmenden Wärmetauschfluid aufgenommen. Daher trägt die von den Bohrungen 148-2 im Wesentlichen horizontal aufgespannte Fläche bzw. die aufspannende Führung der Horizontalbohrungen 148-2 zu einer Erhöhung der

5 Wärmeenergieübertragungseffizienz auf das Wärmetauschfluid bei.

Fig. 10 zeigt schematisch eine zweite Ausführungsform für eine mögliche Ausgestaltung einer nicht-zuordnungsgemäß erschließenden (oder einer vernetzenden) Fluidverbindungsleitung mit einer Weiterentwicklung, die die Stimulierung der nutzbaren Bereiche 110 und 120 aus den Fluidverbindungsleitungen heraus auf der Grundlage der

10 in den Figuren 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen für eine Doppeldiagonal-Vernetzung zwischen den beiden nutzbaren Bereichen. Das in Fig. 10 gezeigte Konzept ist jedoch auch übertragbar auf die Ausgestaltung von vernetzenden Fluidverbindungsleitungen, insbesondere deren Endabschnitte, die als Ausgangspunkte für Stimulierungsverfahren ausgestaltet sein sollten/sind. In Fig. 10 sind funktionell und

15 strukturell gleichartige Elemente des in der Fig. 10 gezeigten Kreislaufsystems mit den gleichen Bezugszeichen versehen wie die entsprechenden, in den Figuren 5 bis 7 gezeigten Elemente. In besonderer Ausgestaltung der in den Figuren 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen sind in dem in Fig. 10 gezeigten System 100' die jeweiligen zweiten Abschnitte 144'-2 und 158'-2 der ersten bzw. zweiten nicht-zuordnungsgemäß

20 erschließenden Fluidverbindungsleitungen 144' bzw. 154' ausgebildet als von einem jeweiligen ersten Abschnitt 144-1 bzw. 154-1 einer Primärbohrung ausgehende, zwei oder mehrere, in Dünubohr- (Slim-Hole oder Coiled Tubing) Technologie und in Horizontalbohrtechnologie ausgestaltete Bohrungen 148'-2 und 158'-2. Die Bohrungen 148'-2 und 158'-2 verlaufen ab ihrem jeweiligen Abzweigpunkt 147, 157 in einem

25 Abschnitt mit voneinander divergierenden Richtungen, etwa vergleichbar wie in dem in Fig. 9 gezeigten Divergenz-Bereich 143, danach weitestgehend im Wesentlichen parallel zueinander in einer im Wesentlichen horizontalen Ebene und sind bis zu ihrem als Bohrungsziel vorgesehenen und noch zu stimulierenden nutzbaren Bereich 120' bzw. 110' weitergeführt. In den Figuren 10 und 11 werden nun die nutzbaren Bereiche

30 110 und 120 hydraulisch stimuliert. Das jeweils verwendete Stimulierungsverfahren wird aus einer Vielzahl von Bohrungen 148'-2 und 158'-2 (Fig. 10) bzw. 158-2 (Fig.11) initiiert, und zwar bevor die Bohrung 147-1 gebohrt wird. Die initiierten Risse breiten sich in der Richtung des mittleren tektonischen Hauptstress σ_2 (144-3) aus. Die Vektoren 117 und 127 (in Fig. 10) bzw. 117 (in Fig. 11) sind Darstellungen der

Ausbreitungsrichtung der sich ausbildenden Risse. Gleichzeitig zeigen die Vektoren auch die Strömungsrichtung umlaufenden Wärmetauschfluids (z.B. des Wassers) beim Durchströmen des nutzbaren Bereichs 110' und 120' (in Fig. 10) und 110 (in Fig. 11) in der Produktionsphase des Systems zum Produzieren von geothermischer Energie.

5 In Fig. 10 ist angedeutet, dass lineare Anordnungen mit mehreren Öffnungen (z.B. Perforationen) in den Endabschnitten der verrohrten Leitungen 154-2 ausgebildet sind, aus denen heraus bei einer simultanen Druckbeaufschlagung von der Erschließungsstätte 110 aus ein Gebiet zwischen den parallel verlaufenden Endabschnitten der verrohrten Leitungen 154-2 stimuliert wird. So wird die
10 Fluidverbindung vom Endabschnitt der nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 154' zu den Endabschnitten der zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 142 herstellt. In analoger Weise wird der zweite nutzbare 120' durch simultane Stimulierung aus zwei im Wesentlichen parallel verlaufenden Horizontalbohrungen 148-2 ausgebildet und die Fluidverbindung von dem
15 Endabschnitt der nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Leitung 144'-2 zum Endabschnitt der zweiten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 152 ausbildet.

Eine Fortbildung bezüglich der Geometrie, insbesondere eine Vergrößerung des von der Stimulierung erfassten Volumenbereichs in der geologischen Formation in
20 Bezug auf die vorstehend mit Bezugnahme auf die Fig. 10 beschriebene simultane Stimulierung durch hydraulisch induzierte Rissbildung aus zwischen benachbarten, parallelen (verrohrten) Bohrungen ist in der Fig. 11 in einer schematischen Vertikalsicht und 12 in einer virtuell dreidimensionalen Ansicht gezeigt. In der Ansicht der Fig. 12 ist zu erkennen, dass die Weiterbildung eine verbesserte Definierbarkeit und Vergrößerung
25 des stimulierten dreidimensionalen Gebiets zwischen den Endabschnitten der mehreren im zweiten Abschnitt 154-2 der Leitung 154 und im zweiten Abschnitt der Leitung 144 bezieht. Von der aus einer Primärbohrung hergestellten Leitung 154 zweigen mehrere Sekundärleitungen 158 ab, die aus von der verrohrten Primärbohrung 158-1 148-1
30 ausgehen und als abgezweigte Horizontalbohrungen (Sekundärbohrungen) weitegeführt worden sind. Wie aus der Fig. 12 ersichtlich ist, sind die mehreren Dünnbohrungen 158-2 zumindest paarweise im Wesentlichen parallel zueinander bis in die Nähe der vorher aus einer vertikalen Primärbohrung ausgebildeten, zuordnungsgemäß erschließenden Leitung 142 geführt und in der Nähe der Leitung 142 jeweils paarweise parallel zueinander und paarweise in unterschiedlichen Teufen

gemessen entlang der Leitung 142 geführt. In dem entlang der Leitung 142 durch die mehreren Paare von Endabschnitten der Bohrungen 158-2 definierten Bereich sind von der zuordnungsgemäß erschließenden Leitung 142 abgehende Abzweigbohrungen 143 jeweils in bogenförmiger Form ausgebildet, so dass die Bögen der mehreren

5 Abzweigbohrungen 143 im Wesentlichen in einer gemeinsamen vertikalen, die Leitung 142 enthaltenden Ebene verlaufen, wobei die Ebene, wie aus Fig. 12 entnommen werden kann und in Fig. 11 noch besser ersichtlich ist, eine Symmetrieebene bezüglich der Endabschnitte der Leitungen 158-2 ist. Jeweils für Paare von parallel geführten Endabschnitten der Leitungen 158-2 wird hydraulisch stimuliert. Die aus der Anordnung

10 der jeweiligen Paare von zwei Druckwellen resultierenden Druckfeldlinien 117 sind in den Figuren 11 und 12 gezeigt. Zumindest in dem von den Druckfeldlinien 117 erfassten, dreidimensionalen Raumgebiet wird der erste nutzbare Bereich 110 ausgebildet, wie in den Figuren 11 und 12 ersichtlich. Die Abzweigbohrungen 143 werden verrohrt und mit einer Vielzahl von Löchern (Perforationen) versehen, so dass

15 durch diese erzeugten Löcher eine Gesamteinströmfläche mit einem relativ großen Gesamteinströmquerschnitt und einer größeren Flächenerstreckung innerhalb der Symmetrieebene für die Einströmfläche in die Abzweigleitungen 143 und in die Bohrsohle der Vertikalbohrung 142 entsteht. Die durch die Ausbildung der Endabschnitte der Leitungen 158-2 erzielte größere räumliche Ausdehnung des ersten

20 nutzbaren Bereichs 110 und die durch die dicht perforierten Abzweigbohrungen 143 vergrößerte und weiter verteilte Einströmfläche wird im Betrieb mit umlaufenden Wärmetauschfluid eine bessere Fluidkommunikation mit höherer Permeabilität und verbesserter Wärmeenergie-Übertragungseffizienz in dem ersten nutzbaren Bereich 110 erzielt. In gleicher Weise kann auch die Stimulierung des zweiten nutzbaren

25 Bereichs 120 verbessert werden. Die in den Fig. 11 und 12 gezeigte Ausführungsform mit dem Ziel einer verbesserten Stimulierung und einer Vergrößerung eines jeweilig künstlich auszubildenden nutzbaren Bereichs kann selbstverständlich nicht nur für die Endabschnitte der Dünnbohrungen in den Figuren 11 und 12, sondern allgemein auf alle zuordnungsgemäß erschließenden (etwa im Wesentlichen vertikal verlaufenden)

30 Fluidverbindungsleitungen, wie etwa die Leitungen 44 und 54 in den Fig. 1 bis 4, die Leitungen 144 bzw. 154 in den Fig. 5 bis 8, und auch für die in den Fig. 3 und 4 gezeigten, vernetzenden Fluidverbindungsleitungen 46 verwendet werden.

In der in Fig. 13 gezeigten Ausführungsform eines Systems zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie umfasst das System 200 eine erste

Erschließungsstätte 240, einen der ersten Erschließungsstätte 240 zugeordneten nutzbaren Bereich 210, eine zweite Erschließungsstätte 250, einen der zweiten Erschließungsstätte 250 zugeordneten nutzbaren Bereich 220, eine dritte Erschließungsstätte 260 und ein der dritten Erschließungsstätte 260 zugeordneten nutzbaren Bereich. In diesem System 200 sind der erste nutzbare Bereich 210 und der zweite nutzbare Bereich 220 doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend miteinander verbunden und in einer Weise, die als dazu parallele Vernetzung bezeichnet werden soll, sind der erste nutzbare Bereich 210 und der dritte nutzbare Bereich 230 doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend miteinander verbunden.

10 Im Einzelnen umfasst dazu das System 200 eine erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 242 zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 210 und der ersten Erschließungsstätte 240, eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der ersten Erschließungsstätte 240 und dem zweiten nutzbaren Bereich 220, eine zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich 220 und der zweiten Erschließungsstätte 250, und eine zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der zweiten Erschließungsstätte 250 und dem ersten nutzbaren Bereich 210. Durch die vorgenannten Fluidverbindungsleitungen 242, 248, 252 und 254 sind der erste 210 und der zweite 220 nutzbare Bereich gemäß den in den 20 Fig. 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend miteinander verbunden.

Des Weiteren umfasst das System 200 eine dritte zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen dem dritten nutzbaren Bereich 230 und der dritten Erschließungsstätte 260, eine dritte nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 268 zwischen der dritten Erschließungsstätte 260 und dem ersten nutzbaren Bereich und eine vierte nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der ersten Erschließungsstätte 240 und dem dritten nutzbaren Bereich 230. Mittels der vorgenannten Fluidverbindungsleitungen 260, 268 und 269 sowie der Fluidverbindungsleitung 242 30 sind der erste 210 und der dritte 230 nutzbare Bereich ebenfalls gemäß der in den Fig. 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend miteinander verbunden.

Mittels jeweils doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließender Verbindungen sind also der erste und der zweite nutzbare Bereich 210 und 220 und in einem

(schaltungstechnischen) Sinne parallel dazu der erste nutzbare Bereich und der dritte nutzbare Bereich 210 und 230 miteinander verbunden.

Die erste bis vierte nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 248, 254, 268 und 269 sind jeweils in zwei Abschnitten ausgebildet, wobei der erste Abschnitt jeweils aus einer Vertikalbohrung, die von einer jeweiligen Erschließungsstätte in die Tiefe und in die Nähe des der jeweiligen Erschließungsstätte zugeordneten nutzbaren Bereichs führt, und wobei der zweite Abschnitt jeweils als von einem Endabschnitt, der sich in der Nähe eines jeweiligen nutzbaren Bereichs befindet, abzweigt und in der Tiefe in einer im Wesentlichen horizontalen Richtung bis in den benachbarten, in die jeweilige doppelt diagonale Vernetzung einzubindenden nutzbaren Bereich führt, vgl. dazu die Fig. 13. Der erste Abschnitt 248-1 der ersten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 248 und der erste Abschnitt 269-1 der vierten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung sind als ein gemeinsam genutzter Abschnitt ausgebildet und aus einer von der ersten Erschließungsstätte 240 aus in die Tiefe in die Nähe des ersten nutzbaren Bereichs 210 führenden Vertikalbohrung ausgebildet. Von dieser Vertikalbohrung zweigen in der Tiefe in einem Abzweigbereich die beiden zweiten Abschnitte 248-2 und 269-2 der nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 248 und 269 ab.

An der ersten Erschließungsstätte ist eine Wärmetauscheinrichtung 280 angeordnet. An deren Fluideinlass 282 ist der erdoberflächenseitige Anfangsabschnitt der ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 242 angeschlossen. Am Fluidauslass 284 der Wärmetauscheinrichtung 280 ist der erdoberflächenseitige Endabschnitt des gemeinsamen ersten Abschnitts 248-1 und 269-1 der ersten und vierten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 248 und 269 angeschlossen. An der zweiten Erschließungsstätte 250 und an der dritten Erschließungsstätte 260 ist jeweils eine Verbindungseinrichtung (in Fig. 13 nicht gezeigt und nicht bezeichnet) bereitgestellt, um den Fluidkreislauf in den beiden „parallel geschalteten“ doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend ausgeführten Vernetzungen. Im Hinblick auf das Prinzip der parallelen doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Verbindung, das vorstehend mit Bezugnahme auf die Fig. 13 erklärt worden ist, ist es nicht relevant, ob die Verbindungseinrichtung als bloße Förder- und Pumpstation oder zusätzlich als

Wärmetauscheinrichtung, jeweils mit oder ohne Solarkollektoreinrichtung ausgestaltet ist.

Es ist offensichtlich, dass in dem in der Fig. 13 gezeigten System 200 zusätzlich zu dem zweiten und dritten nutzbaren Bereichen 220 und 230 noch ein dritter oder auch
5 weitere nutzbare Bereiche jeweils in doppelt diagonal-vernetzter Weise parallel zueinander und parallel zu den beiden nutzbaren Bereichen 220 und 230 mit dem ersten nutzbaren Bereich 210 verbunden werden können. Mit anderen Worten, es können nicht nur zwei, sondern auch drei oder mehrere nutzbare Bereiche parallel zueinander in doppelt diagonal-vernetzter Weise mit dem ersten nutzbaren Bereich
10 verbunden bzw. vernetzt werden.

In der Fig. 14 gezeigten Ausführungsform eines Systems zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie umfasst das System 300 drei (eine erste, zweite und dritte) Erschließungsstätten 340, 350, 360 und drei (einen ersten, zweiten und dritten) nutzbaren Bereich 310, 320 und 330, die jeweils einer Erschließungsstätte
15 zugeordnet sind. Das System 300 umfasst ferner eine erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 342 zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 310 und der ersten Erschließungsstätte 340, eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 348 zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich 320 und der ersten Erschließungsstätte 340, eine zweite zuordnungsgemäß
20 erschließende Fluidverbindungsleitung 352 zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich 320 und der zweiten Erschließungsstätte 350, eine zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 358 zwischen dem dritten nutzbaren Bereich 330 und der zweiten Erschließungsstätte 350, eine dritte zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 362 zwischen dem dritten nutzbaren Bereich
25 330 und der dritten Erschließungsstätte 360 und eine dritte nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 368 zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 310 und der dritten Erschließungsstätte 360. Durch die vorgenannten Fluidverbindungsleitungen sind der zweite nutzbare Bereich 320 und der erste nutzbare Bereich 310 in doppelt diagonal-vernetzter Weise miteinander verbunden, der dritte
30 nutzbare Bereich 330 und der zweite nutzbare Bereich 320 ebenfalls in doppelt diagonal-vernetzter Weise miteinander verbunden, und der erste nutzbare Bereich 310 mit dem dritten nutzbaren Bereich 330 ebenfalls in doppelt diagonal-vernetzter Weise miteinander verbunden. Im Gegensatz zu der in Fig. 13 gezeigten Ausführungsform sind also bei der in Fig. 14 gezeigten Ausführungsform die drei nutzbaren Bereiche 310,

320 und 330 in einer (schaltungstechnisch gesprochen) ringartigen Weise und jeweils seriell hintereinander „geschaltet“ verbunden, insbesondere doppelt diagonal-vernetzt verbunden.

Es ist offensichtlich, dass in Fig. 14 gezeigte ringförmig serielle (jeweils doppelt
5 diagonal-vernetzte) Vernetzung noch ein oder mehrere weitere nutzbare Bereiche in serieller Weise eingebunden werden können.

Es ist aus einer Betrachtung der Fig. 14 zusammen mit der Fig. 13 auch offensichtlich, dass von jeder der drei in Fig. 14 gezeigten Erschließungsstätten 340, 350 und 360 aus jeweils zwei oder auch mehrere nutzbare Bereiche jeweils parallel
10 zueinander mit einer der in Fig. 14 gezeigten Erschließungsstätten 340, 350 und 360 vernetzt (insbesondere doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend verbunden) werden können.

Es ist beim Betrachten der Fig. 13 auch offensichtlich, dass von jeder der in Fig. 13 gezeigten Erschließungsstätten 240, 250 und 260 ausgehend jeweils zwei oder
15 mehr noch weitere nutzbare Bereiche mit der jeweiligen in Fig. 13 gezeigten Erschließungsstätte (doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend) in paralleler Weise vernetzt werden kann oder dass jede der in Fig. 13 gezeigte Erschließungsstätte 240, 250 und 260 eingebunden ist in eine ringartige jeweils seriell hintereinander „geschaltete“ (das heißt doppelt diagonal-vernetzte) Vielzahl von weiteren nutzbaren
20 Bereichen vernetzt sein kann.

Mittels paralleler oder ringartig serieller Vernetzung können also auch vielfältige komplexe Netzwerke von Vernetzungen zwischen nutzbaren Bereichen gebildet werden.

Bei der in Fig. 15 gezeigten Ausführungsform eines Systems 400 zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie sind zwei nutzbare Bereiche
25 420 und 430 unmittelbar und parallel zueinander mit einem nutzbaren Bereich 410 vernetzt. Im Einzelnen umfasst das System 400 eine erste Erschließungsstätte 440, einen ersten nutzbaren Bereich 410, einen zweiten nutzbaren Bereich 420, einen dritten nutzbaren Bereich 430, eine erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 442 zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 410 und der
30 ersten Erschließungsstätte 440, eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 450 zwischen der ersten Erschließungsstätte 440 und dem zweiten nutzbaren Bereich 420, eine zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 452 zwischen der ersten Erschließungsstätte 440 und dem dritten nutzbaren Bereich 430, eine erste vernetzende Fluidverbindungsleitung 454

zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich 420 und dem ersten nutzbaren Bereich 410 und eine zweite vernetzende Fluidverbindungsleitung 456 zwischen dem dritten nutzbaren Bereich 430 und dem ersten nutzbaren Bereich 410. An der ersten Erschließungsstätte 440 ist eine Wärmetauscheinrichtung 480 mit ihrem Fluideinlass 482 an den erdoberflächenseitigen Anfangsabschnitt der zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 442 und mit ihrem Fluidauslass 484 an einen erdoberflächenseitigen Anfangsabschnitt eines gemeinsamen ersten Abschnitts 450-1, 452-1 der ersten und zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 450 und 452 angeschlossen. Auf diese Weise wird ein erstes Kreislaufsystem für ein im Betrieb umlaufendes Wärmetauschfluid geschlossen, indem der zweite und der erste nutzbare Bereich 420 und 410 eingebunden sind und es wird auch ein zweites Kreislaufsystem geschlossen, indem der dritte und der erste nutzbare Bereich 430 und 410 eingebunden sind. Die beiden vorgenannten Kreislaufsysteme sind (in einer „schaltungstechnischen“) Weise parallel zueinander ausgebildet in dem gleichen Sinne, wie in Fig. 13 ein zweiter und ein dritter nutzbarer Bereich 220 und 230 parallel zueinander an dem einen ersten nutzbaren Bereich 210 parallel zueinander vernetzt sind. Die beiden vorgenannten Kreislaufsysteme umfassen als gemeinsame Elemente die zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 442, die Wärmetauscheinrichtung 480 und den gemeinsamen ersten Abschnitt 450-1, 452-1 der beiden nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen 450 und 452.

Zur Herstellung des Systems 400 wurde von einer zweiten Erschließungsstätte 490 aus eine vertikal in die Tiefe gerichtete Erschließungsbohrung 470 hergestellt, wobei ein Endabschnitt der Erschließungsbohrung 470 als Sackbohrung ausgebildet ist. Von einem Abzweigabschnitt 493 aus ist eine zweite Abzweigbohrung 472 hergestellt worden, die bis in den zweiten nutzbaren Bereich 420 hineingeführt worden ist. Von dem Abzweigabschnitt 493 ist auch eine dritte Abzweigbohrung 473 abgezweigt und bis in den dritten nutzbaren Bereich 430 geführt. Schließlich ist von dem Abzweigabschnitt 493 ausgehend noch eine erste Abzweigbohrung 471 aus hergestellt. Die erste Abzweigbohrung 471 weist eine vorbestimmte Länge auf bis zu ihrem Ende (in Fig. 15 bei 76), von wo aus sie in der Form von mehreren Dünnbohrungen in einer im Wesentlichen horizontalen Richtung bis in den ersten nutzbaren Bereich 410 hinein weitergeführt ist. Selbstverständlich sind die Erschließungsbohrung 470, die erste, zweite und dritte Abzweigbohrung 471, 472, 473, und die die erste Abzweigbohrung

471 verlängernden mehreren Dünnbohrungen, die bis in den ersten nutzbaren Bereich 410 hineingeführt sind, allesamt verrohrt.

Eine erste Förderpumpe 61 ist in der verrohrten Erschließungsbohrung 470 bohrungsabwärts von dem Abzweigbereich 493 eingebracht und installiert. Eine zweite Förderpumpe 60 ist in einem Endabschnitt in der Tiefe der zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 442 eingebracht und installiert. Eine Rohrabdichtungseinrichtung (ein Packer) 63 ist in der verrohrten Erschließungsbohrung 470 bohrungsaufwärts in Bezug auf den Abzweigbereich 493 eingebracht und installiert. Ein erster Filter 67 ist in der ersten Abzweigbohrung 471 von der zweiten Erschließungsstätte 490 aus durch die Erschließungsbohrung 470 eingebracht und installiert. Ein zweiter Filter 66 ist im erdoberflächenseitigen Anfangsabschnitt des von der ersten Erschließungsstätte 440 ausgehenden, gemeinsamen ersten Abschnitt 450-1 und 452-1 der ersten und zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung 450 und 452 eingebracht und installiert. Die Filter 66 und 67 dienen dazu, etwaige in dem im Betrieb umlaufenden Wärmetauschfluid enthaltene feste Bestandteile, die aus den Kreislaufabschnitten innerhalb der nutzbaren Bereiche mitgespült worden sein können, zurückzuhalten (herauszufiltern).

In dem so ausgebildeten System 400 umfasst nun die erste vernetzende Fluidverbindungsleitung 454 die verrohrte zweite Abzweigbohrung 472, den Abzweigabschnitt 493 der Erschließungsbohrung 470, die verrohrte erste Abzweigbohrung 471 und die von deren Ende (bei 76) weitergeführten, mehreren verrohrten Dünnbohrungen, die bis in den ersten nutzbaren Bereich 410 hineingeführt sind. Die zweite vernetzende Fluidverbindungsleitung 456 umfasst die verrohrte dritte Abzweigbohrung 473, den Abzweigabschnitt 493 der Erschließungsbohrung 470, die verrohrte erste Abzweigbohrung 471 und die von deren Ende (bei 76) aus bis in den ersten nutzbaren Bereich 410 hinein weitergeführten mehreren Dünnbohrungen.

Die verrohrte Erschließungsbohrung 470 ist an ihrem erdoberflächenseitigen Anfangsabschnitt mit einem Leitungsverschluss 499 verschlossen. Bei Bedarf kann zum Reinigen bzw. Ersetzen des ersten Filters 67 oder der ersten Förderpumpe 61 der Betrieb unterbrochen werden, die Rohrabdichtungseinrichtung 63 entfernt werden und dann die erforderlichen Wartungs- oder Austauscharbeiten an der Förderpumpe 61 oder dem Filter 67 ausgeführt werden. Danach kann die Verschlusseinrichtung 63 wieder eingebracht und installiert und der erdoberflächenseitige Anfangsabschnitt der

verrohrten Erschließungsbohrung 470 mit dem Leitungsverschluss 499 verschlossen werden. Danach kann der Betrieb wieder aufgenommen werden.

Bei der in der Fig. 16 gezeigten Ausführungsform eines Systems 500 zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie sind zwei nutzbare Bereiche 510 und 520 doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließend miteinander verbunden. Im Gegensatz zu den in den Fig. 5 bis 7 gezeigten Ausführungsformen doppelt nicht-zuordnungsgemäß erschließender Verbindungen von zwei nutzbaren Bereichen sind bei der in Fig. 16 gezeigten Ausführungsform die zugeordnet erschließenden Fluidverbindungen und die nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungen jeweils aus einer von der entsprechenden Erschließungsstätte aus geführten Horizontalbohrung hergestellt.

Im Einzelnen umfasst das System 500 eine erste Erschließungsstätte 540, ein der ersten Erschließungsstätte 540 zugeordneter erster nutzbarer Bereich 510, eine zweite Erschließungsstätte 550, ein der zweiten Erschließungsstätte 550 zugeordneter, zweiter nutzbarer Bereich 520, eine erste Horizontalbohrung 542-H, die von der ersten Erschließungsstätte 540 ausgehend hergestellt wurde und die bis in den ersten nutzbaren Bereich 510 hineingeführt ist, eine zweite Horizontalbohrung 544-H, die ebenfalls von der ersten Erschließungsstätte 540 ausgeht und bis in den zweiten nutzbaren Bereich 520 hineingeführt ist, eine dritte Horizontalbohrung 552-H, die von der zweiten Erschließungsstätte 550 aus bis in den ersten nutzbaren Bereich 510 hineingeführt ist und eine vierte Horizontalbohrung 554-H, die von der zweiten Erschließungsstätte 550 aus bis in den zweiten nutzbaren Bereich 520 hineingeführt ist.

Im Hinblick auf ihre Funktionen im Kreislaufsystem für das im Betrieb umlaufende Wärmetauschfluid bzw. in der Vernetzungsarchitektur wird aus der ersten Horizontalbohrung 542-H eine erste zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 510 und der ersten Erschließungsstätte 540, aus der zweiten Horizontalbohrung 544-H eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich 520 und der ersten Erschließungsstätte 540, aus der vierten Horizontalbohrung 554-H eine zweite zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich 520 und der zweiten Erschließungsstätte 550 und aus der dritten Horizontalbohrung 552-H eine zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 510 und der zweiten Erschließungsstätte 550 hergestellt.

Das System 500 umfasst ferner eine an der ersten Erschließungsstätte 540 angeordnete Wärmetauscheinrichtung 580 mit einem Fluideinlass 582 und einem Fluidauslass 584. An den Fluideinlass 582 ist die als Produktionsleitung für den ersten nutzbaren Bereich 510 dienende, erste zugeordnet erschließende

5 Fluidverbindungsleitung angeschlossen. An den Fluidauslass 584 ist ein Anfangsabschnitt der als Injektionsleitung in der im zweiten nutzbaren Bereich 520 dienende erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung angeschlossen. An der zweiten Erschließungsstätte 550 ist eine

10 Verbindungseinrichtung 590 mit einem Fluideinlass 592 und einem Fluidauslass 594 angeordnet. An dem Fluideinlass 592 ist ein erdoberflächenseitiger Anfangsabschnitt der als Produktionsbohrung für den zweiten nutzbaren Bereich 520 dienenden zweiten zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung angeschlossen. An dem

15 Fluidauslass 594 ist ein erdoberflächenseitiger Anfangsabschnitt der als Injektionsbohrung in den ersten nutzbaren Bereich 510 dienenden zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung angeschlossen.

Auf die vorstehend beschriebene Weise ist in dem System 500 ein im Wesentlichen geschlossenes Kreislaufsystem für ein im Betrieb 500 umlaufendes Wärmetauschfluid eingerichtet. Das Kreislaufsystem umfasst die folgenden, sich sukzessive aneinander anschließenden Abschnitte: Die aus der zweiten

20 Horizontalbohrung 544-H hergestellte erste vernetzende Fluidverbindungsleitung, die von der ersten Erschließungsstätte 540 bis in den zweiten nutzbaren Bereich 520 hineinführt, die in dem zweiten nutzbaren Bereich 520 hergestellte Fluidkommunikationsverbindung durch die geologische Formation vom Endabschnitt der ersten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung zum

25 Endabschnitt der zweiten direkt zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung, die zweite zugeordnet erschließende Verbindungsleitung, die Verbindungseinrichtung 590, die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung, die von der zweiten Erschließungsstätte 550 bis in den ersten nutzbaren Bereich 510 hineinführt, die Fluidkommunikationsverbindung durch die geologische Formation

30 zwischen dem Endabschnitt der zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung bis zum Endabschnitt der ersten direkt erschließenden Fluidverbindungsleitung, die erste direkt erschließende Fluidverbindungsleitung und die Wärmetauscheinrichtung 580.

Die in Fig. 16 gezeigte Ausführungsform ermöglicht aufgrund der verwendeten Horizontalbohrungen, dass die erste Erschließungsstätte nicht im Wesentlichen vertikal oberhalb des ersten nutzbaren Bereichs 510 angeordnet zu sein braucht, sondern auch in horizontaler Richtung bzw. lateral versetzt in Bezug auf den ersten nutzbaren Bereich 510 (und selbstverständlich auch in Bezug auf den zweiten nutzbaren Bereich 520) eingerichtet sein kann. Gleichermaßen ermöglicht es die in Fig. 16 gezeigte Ausführungsform, dass auch die zweite Erschließungsstätte 550 in horizontaler Richtung bzw. lateral in Bezug auf den zweiten nutzbaren Bereich 520 (und natürlich auch in Bezug auf den ersten nutzbaren Bereich 510) versetzt eingerichtet sein kann.

Es ist offensichtlich, dass die mittels Horizontalbohrungen 542-H, 544-H, 552-H und 554-H ausgebildete, doppelt diagonal-vernetzte Vernetzung auch erweitert werden kann, um einen dritten oder auch weitere nutzbare Bereiche in die Vernetzung einzubinden. Dabei kann die Einbindung des dritten und der weiteren nutzbaren Bereiche jeweils parallel zueinander oder in einer ringartigen Weise seriell hintereinander in die Vernetzung wie in Fig. 16 gezeigt, angeschlossen bzw. eingebunden werden.

Die in Figur 17 gezeigte Ausführungsform ist beispielhaft für ein allgemeineres System 600, das folgendes umfasst: einen ersten nutzbaren Bereich 610, eine erste, dem ersten nutzbaren Bereich zugeordnete erste Erschließungsstätte 640, eine an der Erschließungsstätte 640 angeordnete Wärmetauscheinrichtung 680, eine erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung 642 zwischen dem ersten nutzbaren Bereich 610 und der ersten Erschließungsstätte 640, und zwei, drei, vier, fünf, sechs oder auch noch mehrere Erschließungsarme 605-1, 605-2, 605-3, parallel zueinander und jeweils mit dem ersten nutzbaren Bereich 610 und der ersten Erschließungsstätte 640 vernetzt sind. Jeder der Erschließungsarme 605-1, 605-2, 605-3 stellt im Wesentlichen ein System vergleichbar wie das in der Fig. 15 gezeigte System 400 dar. In einem derartigen System (dem System eines jeden der Erschließungsarme) sind von einer ersten Erschließungsstätte (440 in Fig. 16, 640 in Fig. 17) in paralleler Weise zwei nutzbare Bereiche, nämlich ein zweiter und ein dritter nutzbarer Bereich (420 und 430 in Fig. 15 und 620-1 und 630-2 in Fig. 17) unmittelbar und parallel zueinander mit einem ersten nutzbaren Bereich (410 in Fig. 15 und 610 in Fig. 17) vernetzt. Diese Vernetzung ist ausgeführt unter Verwendung einer Erschließungsbohrung (470 in Fig. 15, 694-1, 694-2, 694-3 in Fig. 17), von der aus zwei (es könnten auch drei, vier, fünf, sechs oder mehr) nutzbare Bereiche (420, 430 in Fig.

15; 620-1, 630-1, 620-2, 630-2, 620-3, 630-3 in Fig. 17) jeweils parallel zueinander und mit einer in einem Teilabschnitt gemeinsam benutzten, vernetzenden Fluidverbindungsleitung (472, 473 in Fig. 15; 646-1, 646-2, 646-3 in Fig. 17) und in entsprechender Anzahl bereitgestellten, jeweils „parallel“ verlaufenden, nicht-
5 zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitungen parallel zueinander und unmittelbar mit dem ersten nutzbaren Bereich (410 in Fig. 15; 610 in Fig. 17) vernetzt sind.

Es ist offensichtlich, dass jeder der „äußeren“ nutzbaren Bereiche 620-1, 630-1, 620-2, 630-2, 620-3, 630-3 Ausgangspunkt für eine Vielzahl (zwei, drei, vier oder mehr)
10 von parallel zueinander und unmittelbar oder mittelbar mit dem Ausgangspunkt vernetzten nutzbaren Bereichen (in Fig. 17 nicht gezeigt) sein kann. Es ist offensichtlich, dass jeder der „äußeren“ nutzbaren Bereiche 620-1, 630-1, 620-2, 630-2, 620-3, 630-3 eine „Station“ in einer Vielzahl (zwei, drei, vier oder mehr) von ringförmig seriell vernetzten nutzbaren Bereichen (in Fig. 17 nicht gezeigt) sein kann.

15



20 Vorteile des unmittelbaren oder mittelbaren Vernetzens eines zweiten oder mehreren nutzbaren Bereiche mit einem ersten nutzbaren Bereich sind im Folgenden zusammengefasst.

1. Das erfindungsgemäße Konzept des (unmittelbaren oder mittelbaren) Vernetzens von zwei oder mehr nutzbaren Bereichen kann mit bestehender (moderner) Bohrtechnologie (in englischer Fachsprache: drilling technology), bestehender Verrohrungstechnologie (in
25 englischer Fachsprache: casing technology), bestehender Verrohrungseinrichtungstechnologie (in englischer Fachsprache: well completen technology) und ggf. bestehender Stimulierungstechnologie realisiert werden.

2. Die Rückführung bzw. die Reinjektion des aus der Tiefe durch eine als Produktionsleitung dienende, zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
30 geförderten Wärmetauschfluids durch die Wärmetauscheinrichtung in eine nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung erfolgt durch im Wesentlichen horizontal verlaufende Bohrungen im Untergrund in Tiefen mit weniger Wärmeverlust als auf der Erdoberfläche

3. Zumindest in den oben beschriebenen, so genannten zweiten Abschnitten, die in der
35 Praxis etwa als horizontale Sekundärbohrungen ausgeführt sein können, kann statt eines Wärmeverlusts, wie beschrieben, in den Abschnitten zwischen den nutzbaren Bereichen, wo

Temperaturen im Bereich von ca. 80° Celsius bis ca. 180° Celsius oder mehr vorliegen, sogar eine zusätzliche Wärmeenergie-Aufnahmeeffizienz erzielt werden. Selbstverständlich müssen die Tiefe von und Abstände zwischen nutzbaren Bereichen vorgeplant werden.

5 4. Wenn eine Verbindungseinrichtung bzw. eine Wärmetauscheinrichtung (etwa ein Kraftwerk) an der Erdoberfläche zusätzlich mit Solarkollektoren ausgestattet ist, kann ein Wärmeverlust in den Leitungsabschnitten, wo die Formationstemperatur niedriger ist als die Temperatur des umlaufenden Wärmetauschfluids, geringer sein als die zusätzliche Wärmeenergie-Aufnahmeeffizienz in den (z.B. im Wesentlichen horizontal verlaufenden) Leitungsabschnitten zwischen den nutzbaren Bereichen.

10 5. Beim unmittelbaren Vernetzen von zwei oder mehr nutzbaren Bereichen kann die Wärmeenergie-Aufnahmeeffizienz (thermische Effizienz) signifikant vergrößert werden als im Vergleich zur bisher üblichen Praxis, von einer Erschließungsstätte aus nur jeweils einen nutzbaren Bereich zu erschließen.

15 6. Künstlich (d.h. durch hydraulisch induzierte Rissbildung) stimulierte nutzbare Bereiche können eine sehr große, nahezu beliebige, und nur durch die Reichweite der Rissbildung begrenzte Ausdehnung sowie eine sehr große Permeabilität haben. Durch die Vernetzung und Produktion aus mehreren nutzbaren Bereichen genügt es, in jeder der produzierten nutzbaren Bereiche kürzere Riss bzw. Zerklüftungen herzustellen als wenn – wie bisher – aus nur einem nutzbaren Bereich produziert wird. Dadurch wird das Risiko eines Wasserverlustes (in
20 englischer Fachsprache: waterflooding) in entfernt liegende, permeable Formationen vermindert und durch entsprechende Planung virtuell vollständig eliminiert werden.

25 7. Die Anzahl von unmittelbar oder mittelbar vernetzbaren, künstlich (d.h. durch hydraulisch induzierte Rissbildung) stimulierten nutzbaren Bereichen kann nahezu beliebig erhöht werden, etwa durch die oben beschriebene parallele Vernetzung von zwei oder mehreren (etwa $n \geq 2$) nutzbaren Bereichen und/oder durch ringförmig-serielle Vernetzung von mehreren (etwa $m \geq 3$) nutzbaren Bereichen.

30 8. In stimulierten nutzbaren Bereichen ist die Wärmeenergie-Aufnahmeeffizienz auch eine Funktion der Kontaktfläche zwischen der Gesteinsmatrix und dem zirkulierenden Wärmetauschfluid (Wasser). Die Kontaktfläche kann durch hydraulische Rissbildungsverfahren (Englisch: hydraulic fracturing) nahezu beliebig vergrößert werden.

35 9. Sowohl bei der unmittelbaren als auch bei der mittelbaren Vernetzung (etwa mit doppelter Kreuzvernetzung) von zwei nutzbaren Bereichen ist es möglich, den Abstand zwischen den nutzbaren Bereichen und den Abstand zwischen den Bohranfangsstätten einer Injektionsbohrung und einer Produktionsbohrung – aufgrund der Führung der vernetzenden Fluidverbindungsleitungen im Untergrund in der Tiefe bei ausreichend hohen Temperaturen – im Wesentlichen ohne Wärmeverlust nahezu beliebig zu erhöhen.

10. Sowohl bei der unmittelbaren als auch bei der mittelbaren Vernetzung ist es möglich, zusätzlich zu künstlich erzeugten nutzbaren Bereichen – und/oder auch anstelle von künstlich erzeugten nutzbaren Bereichen – selbstverständlich auch mehrere natürliche (permeable) nutzbare Bereiche mit geothermischer Energie in eine Vernetzung einzubinden bzw. zu vernetzen und somit zu nutzen.

11. Sowohl bei der unmittelbaren als auch bei der mittelbaren Vernetzung ist es offensichtlich möglich, nur eine Wärmetauscheinrichtung an der Erdoberfläche (z.B. nur ein Strom-Kraftwerk) zur Energiegewinnung aus mehreren nutzbaren Bereichen bereitzustellen und somit Kosten zu sparen.

12. Wo es im Hinblick auf eine effiziente Verteilung der gewonnenen Energie sinnvoll oder gewünscht ist – etwa wenn mehrere geothermisch nutzbare Bereiche miteinander vernetzt und von mehreren Betreibern oder Gemeinden genutzt werden – können jedoch auch mehrere Wärmetauscheinrichtung (Kraftwerke) eingerichtet werden.

13. Sind mehrere Erschließungsstätten vorgesehen, so ist es auch möglich, an einer Erschließungsstätte etwa ein Stromkraftwerk und an einer anderen Erschließungsstätte etwa eine Wärmetauscheinrichtung für die Versorgung von einem bzw. Energieeinspeisung in ein Fernwärmeverteilungsnetz einzurichten.

14. Sind mehrere Erschließungsstätten vorgesehen, so ist es auch möglich, an einer ersten und einer zweiten Erschließungsstätte jeweils eine Wärmetauscheinrichtung zum Übertragen von geothermisch geförderter Wärmeenergie in ein Wärmetransportfluid, das in einem Fernwärmeverteilungsnetz von zwei oder mehreren Fernwärme-Betreibern bzw. zwei oder mehreren Gemeinden zu versorgen.

15. Mit einer Vernetzung von mehreren nutzbaren Bereichen in unmittelbarer und/oder mittelbarer Weise werden noch folgende weitere Vorteile in Bezug auf Projekte in der hydrothermalen Geothermie erzielt, die – wie bisher üblich – nur einen geothermisch nutzbaren Bereich erschließen:

A. Es ist zu erwarten, dass mittels Vernetzung von mehreren nutzbaren Bereichen gemäß dem ersten und zweiten Aspekt in der hydrothermalen Geothermie Projekte in bis zu 90% der Erdkruste bei Tiefen von bis zu 6000 m realisiert werden können, und mit der herkömmlichen hydrothermalen Geothermie nur in bis zu 2% der Erdkruste.

B. Effizienz und Lebensdauer von Projekten mit mehreren vernetzten, nutzbaren Bereichen können in der Planungsphase geplant und vorausberechnet werden. Im Gegensatz dazu sind für herkömmliche hydrothermale und Projekte und für HDR Projekte die Effizienz und Lebensdauer meist erst am Ende des Projektes bekannt.

C. Allgemein ist zu erwarten, dass mittels Vernetzung von mehreren nutzbaren Bereichen gemäß dem ersten und zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung in der

hydrothermalen Geothermie das Risiko eines Projekts verringert und die Lebensdauer erhöht wird.

16. Mit einer Vernetzung von mehreren nutzbaren Bereichen in der hydrothermalen Geothermie werden auch Vorteile in Bezug auf Projekte erzielt, die auf dem Prinzip der "Hot-Dry-Rock" (HDR) Geothermie beruhen und – wie bisher üblich – einen geothermisch nutzbaren HDR Bereich erschließen:

A. Erfolgchancen im Hinblick auf wirtschaftlich rentable Projekte mit hydrothermalen Geothermie mit Vernetzung von mehreren nutzbaren Bereich können durch entsprechende Planung, einschließlich insbesondere der Wahl der Anzahl der vernetzten nutzbaren Bereich, durchwegs höher gestaltet werden als für konventioneller so-genannte Hot Dry Rock (HDR) Projekte.

B. Das Risiko des sogenannten Waterflooding wird verringert und kann nahezu vollständig eliminiert werden.

C. Eine Stimulierung (hydraulisch induzierte Rissbildung) kann auf kleinere Dimensionen (Länge und Breite) minimiert werden.

D. Die Produktionsdauer für einen nutzbaren Bereich kann erhöht und eine Regenerierung des geothermisch nutzbaren Bereichs kann signifikant kürzer, einfacher, erfolgreicher und kostengünstiger gestaltet werden. In günstigen Fällen kann gar eine dauerhafte Produktion eingerichtet und können Regenerierungsphasen vermieden werden.

F. Es ist zu erwarten, dass die hydraulische Effizienz signifikant höher (doppelt so hoch erscheint möglich) ist als in HDR Projekten.

G. Effizienz und Lebensdauer eines Projekts mit unmittelbarer und mittelbarer Vernetzung von zwei oder mehreren nutzbaren Bereichen können in der Planungsphase vorausberechnet und geplant werden.

17. Durch Verwenden von verrohrten Erschließungsbohrungen können Cluster von nutzbaren Bereichen mittels in der Tiefe der Erschließungsbohrungen hergestellter Abzweigbohrungen, die mit ihren Endabschnitten bis in die zu dem Cluster gehörenden, nutzbaren Bereiche hinein geführt werden. Vernetzende Fluidverbindungsleitungen können recht weitgreifende unterirdische Vernetzungen von einer großen Anzahl nutzbarer Bereiche von sehr wenigen, insbesondere nur von einer Erschließungsstätte aus, mit unterirdisch vernetzenden Fluidverbindungsleitungen erreicht werden, siehe etwa Fig. 17. Daher kann die Wärmeenergie-Übertragungseffizienz sehr hoch, die Wärmeenergie-Entnahme aus einem einzelnen nutzbaren Bereich relativ gering gehalten und so die Produktionsdauer mit wenig bis keinem Regenerierungsbedarf verlängert oder gar dauerhaft eingerichtet werden.

Bezugszeichenliste

	1, 2, 3, 4	System
	5	Erdoberfläche
5	6	Untergrund
	8	tiefer Untergrund für hydrothermale Geothermie
	10	erster nutzbarer Bereich
	12	Zone
	14	Maximalabstand
10	18	initiale Rissausbreitungs (Englisch: frac)-Richtung
	20	zweiter nutzbarer Bereich
	24	maximaler Förderabstand
	28	initiale Rissausbreitungs-Richtung
	30	dritter nutzbarer Bereich
15	38	initiale Rissausbreitungs-Richtung
	40	erste Erschließungsstätte
	42	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	44	nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	44-1	erster Abschnitt
20	44-2	zweiter Abschnitt
	45-1, 45-2, 45-3	Dünnbohrung
	46	vernetzende Fluidverbindungsleitung
	47	Abzweigbereich
	48-1	Primärbohrung
25	48-2	Sekundärbohrung
	49-1, 49-2, 49-3	Dünnbohrung
	60, 61	Förderpumpe (in Verrohrung angeordnet, Englisch: downhole pump)
	62	Diaphragma
	63, 64	Rohrabdichtungseinrichtung (Englisch: packer)
30	65	Rohrabdichtungseinrichtung in verrohrter Dünnbohrung
	66, 67	Filter
	68, 68'	Perforation
	69	Perforation in verrohrter Dünnbohrung
	80	Wärmetauscheinrichtung
35	82	Fluid-Einlass
	84	Fluid-Auslass
	86-1, ... , 86-12	Strömungsrichtung (im Kreislaufsystem)

	90	zweite Erschließungsstätte
	91	Verbindungsbohrung
	92	zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	93	Abzweigabschnitt
5	94	Erschließungsverbindung
	94-1	erster Abschnitt
	94-2	zweiter Abschnitt
	95-1, 95-2, 95-3	Dünnbohrung
	96	Übergangsbereich (Englisch: liner)
10	97	Abzweigbohrung
	98	Verrohrung
	99	Rohrverschluss
	100, ..., 100'''	System
	110, 110'	erster nutzbarer Bereich
15	118	initiale Rissausbildungen (Englisch: frac)-Richtung
	118-H	initiale Rissausbildungen-Richtung (aus Horizontalbohrung)
	120, 120'	zweiter nutzbarer Bereich
	127	initiale Rissausbildungen-Richtung (aus horizontaler Sekundärbohrung 148-2)
20	128	initiale Rissausbildungen-Richtung (aus Bohrsole)
	128-H	initiale Rissausbildungen-Richtung (aus Horizontalbohrung)
	129	Riss (Englisch: fracture)
	140	erste Erschließungsstätte
	141	Verrohrung
25	142	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	142-H	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (aus Horizontalbohrung)
	143	Divergenz-Abschnitt
	144, 144'	erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
30	144-1	erster Abschnitt
	144-2, 144-2'	zweiter Abschnitt
	144-H	erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (aus Horizontalbohrung)
	145	Konvergenz-Abschnitt
35	146	Abzweigbohrung
	147	Abzweighbereich
	148-1	Primärbohrung

	148-2	Sekundärbohrung
	149-1, 149-2	Dünnbohrung (Englisch: slim hole)
	149-3, 149-4	Dünnbohrung
	150	zweite Erschließungsstätte
5	152	zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	152-H	zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (aus Horizontalbohrung)
	154, 154'	zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	154-1	erster Abschnitt
10	154-2, 154-2'	zweiter Abschnitt
	154-H	zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (aus Horizontalbohrung)
	158-1	Primärbohrung
	158-2	Sekundärbohrung
15	170	zweite Wärmetauscheinrichtung
	190	Verbindungseinrichtung
	191	Förder- und Pumpstation
	192	Fluideinlass
	194	Fluidauslass
20	195	Förder-, Pump- und Wärmetauschstation
	196	Solarenergiekollektoreinrichtung
	200, 200'	System (mit paralleler Vernetzung)
	210	erster nutzbarer Bereich
	220	zweiter nutzbarer Bereich
25	230	dritter nutzbarer Bereich
	240	erste Erschließungsstätte
	242	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	248	erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	248-1	erster Abschnitt
30	248-2	zweiter Abschnitt
	250	zweite Erschließungsstätte
	252	zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	254	zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	254-1	erster Abschnitt
35	254-2	zweiter Abschnitt
	260	dritte Erschließungsstätte
	262	dritte zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung

	268	dritte nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	268-1	erster Abschnitt
	268-2	zweiter Abschnitt
	269	vierte nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
5	269-1	erster Abschnitt
	269-2	zweiter Abschnitt
	280	Wärmetauscheinrichtung
	282	Fluid-Einlass
	284	Fluid-Auslass
10	286-1, ... 286-12	Strömungsrichtung (im Kreislaufsystem)
	300	System (mit serieller Vernetzung)
	310	erster nutzbarer Bereich
	320	zweiter nutzbarer Bereich
	330	dritter nutzbarer Bereich
15	340	erste Erschließungsstätte
	342	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	348	erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	348-1	erster Abschnitt
	348-2	zweiter Abschnitt
20	350	zweite Erschließungsstätte
	352	zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	358	zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	358-1	erster Abschnitt
	358-2	zweiter Abschnitt
25	360	dritte Erschließungsstätte
	362	dritte zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	368	vierte nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	368-1	erster Abschnitt
	368-2	zweiter Abschnitt
30	380	Wärmetauscheinrichtung
	382	Fluid-Einlass
	384	Fluid-Auslass
	386-1, ... 386-10	Strömungsrichtung (im Kreislaufsystem)
	400	System (mit serieller Vernetzung)
35	410	erster nutzbarer Bereich
	420	zweiter nutzbarer Bereich
	430	dritter nutzbarer Bereich

	440	erste Erschließungsstätte
	442	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	450	erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	450-1	erster Abschnitt
5	450-2	zweiter Abschnitt
	452	zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	452-1	erster Abschnitt
	452-2	zweiter Abschnitt
	454	erste vernetzende Fluidverbindungsleitung
10	456	zweite vernetzende Fluidverbindungsleitung
	470	Erschließungsbohrung (verrohrt)
	470-1	erster Abzweigabschnitt (verrohrt)
	470-2	zweiter Abzweigabschnitt (verrohrt)
	470-3	dritter Abzweigabschnitt (verrohrt)
15	471	erste Abzweigbohrung
	472	zweite Abzweigbohrung
	473	dritte Abzweigbohrung
	493	Abzweigabschnitt
	499	Bohrleitungsverschluss
20	500	System
	510	erster nutzbarer Bereich
	520	zweiter nutzbarer Bereich
	540	erste Erschließungsstätte
	542	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
25	542-H	erste Horizontalbohrung
	544	erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	552-H	zweite Horizontalbohrung
	550	erste Erschließungsstätte
	552	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
30	552-H	dritte Horizontalbohrung
	544	zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	554-H	vierte Horizontalbohrung
	580	Wärmetauscheinrichtung
	582	Fluideinlass
35	584	Fluidauslass
	590	Verbindungseinrichtung
	584	Fluideinlass

	585	Fluidauslass
	600	System
	605-1	erster Erschließungsarm
	605-2	zweiter Erschließungsarm
5	605-3	dritter Erschließungsarm
	610	erster nutzbarer Bereich
	620-1	zweiter nutzbarer Bereich (im ersten Erschließungsarm)
	630-1	dritter nutzbarer Bereich (im ersten Erschließungsarm)
	620-2	zweiter nutzbarer Bereich (im zweiten Erschließungsarm)
10	630-2	dritter nutzbarer Bereich (im zweiten Erschließungsarm)
	620-3	zweiter nutzbarer Bereich (im dritten Erschließungsarm)
	630-3	dritter nutzbarer Bereich (im dritten Erschließungsarm)
	640	erste Erschließungsstätte
	642	erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
15	644	erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung
	646	erste vernetzende Fluidverbindungsleitung
	648-2-1	zweiter Abschnitt der ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im ersten Erschließungsarm
	649-2-1	zweiter Abschnitt der zweiten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im ersten Erschließungsarm
20	648-2-2	zweiter Abschnitt der ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im zweiten Erschließungsarm
	649-2-2	zweiter Abschnitt der zweiten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im zweiten Erschließungsarm
25	648-2-2	zweiter Abschnitt der ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im dritten Erschließungsarm
	649-2-1	zweiter Abschnitt der zweiten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung im dritten Erschließungsarm
	680	Wärmetauscheinrichtung
30	682	Fluideinlass
	684	Fluidauslass
	694-1	erste verrohrte Erschließungsbohrung
	694-2	zweite verrohrte Erschließungsbohrung
	694-3	zweite verrohrte Erschließungsbohrung
35	σ_1	stärkste geomechanische Stresskomponente
	σ_2	mittel-starke geomechanische Stresskomponente
	σ_3	schwächste geomechanische Stresskomponente

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. System (1; 2; 3; 4; 100-100'''; 200; 300; 400; 500; 600) zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie, mit:
- 5 einem ersten unterirdischen, nutzbaren Bereich (10; 110; 210; 310; 410; 510; 610) mit geothermischer Energie,
- einer vorbestimmten ersten Erschließungsstätte (40; 140; 240; 340; 440; 540; 640), die dem ersten nutzbaren Bereich zugeordnet ist, und
- einer ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung (42; 142; 10 242; 342; 442; 542; 642), die zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet ist,
- gekennzeichnet durch**
- mindestens einen zweiten unterirdischen nutzbaren Bereich (20; 120; 220; 320; 420; 15 520; 620; 30; 130; 230; 330; 430; 630-1, 630-2) mit geothermischer Energie, und
- eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (44; 144; 244; 344; 444; 544; 644), die zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem zweiten nutzbaren Bereich ausgebildet ist.
2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 der zweite nutzbare Bereich unmittelbar oder mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich vernetzt ist.
3. System (1, 400, 600) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es eine an der ersten Erschließungsstätte (40; 140; 240; 340; 440; 540; 600) 25 bereitgestellte Wärmetauscheinrichtung (80; 180; 280; 380; 480; 580; 680) mit einem Fluideinlass (82; 182; 282; 382; 482; 582; 682) und einem Fluidauslass (84; 184; 284; 384; 484; 584; 684) umfasst, wobei die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (42; 142; 242; 342; 442; 542; 642) an dem Fluideinlass und die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (44; 144; 244; 344; 30 444; 544; 644) an dem Fluidauslass angeschlossen ist.
4. System (1, 400; 600) nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite nutzbare Bereich (20; 420; 620) unmittelbar mit der ersten Erschließungsstätte (80; 480; 680) und dem ersten nutzbaren Bereich (10; 410; 610) 35 vernetzt ist,

wozu das System (1, 400; 600) ferner eine erste vernetzende Fluidverbindungsleitung (46; 446; 646), die zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich (20; 420; 620) und dem ersten nutzbaren Bereich (10; 410; 610) ausgebildet ist, umfasst.

- 5 5. System (1, 400; 600) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
 die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (44; 444;
 642), der zweite nutzbare Bereich (20; 420; 620), die erste vernetzende
 Fluidverbindungsleitung (46; 446; 646), der erste nutzbare Bereich (10; 410; 610), die erste
10 zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (42; 442; 642) und die
 Wärmetauscheinrichtung (80; 480; 680) ein im Wesentlichen geschlossenes, insbesondere
 druckdicht geschlossenes Wärmetauschfluidkreislaufsystem für ein darin im Betrieb des
 Systems (1; 400; 600) umströmendes Wärmetauschfluid ausbilden.
6. System (400; 600) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet,
15 dass
 der zweite nutzbare Bereich (420; 620) unmittelbar mit der ersten
 Erschließungsstätte (480; 680) und dem ersten nutzbaren Bereich (610) vernetzt ist,
 dass das System ferner mindestens einen weiteren dritten nutzbaren Bereich (430;
 620-1) oder noch weitere (insgesamt: m) nutzbare Bereiche umfasst, wobei m eine
20 natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, und
 dass der zweite (420, 620) und jeder weitere m-te nutzbare Bereiche jeweils
 unmittelbar mit der ersten Erschließungsstätte (440; 640) und dem ersten nutzbaren Bereich
 (610) vernetzt ist, wodurch eine sogenannte parallele und unmittelbare Vernetzung der m
 nutzbaren Bereichen mit dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet wird.
25
7. System (400; 600) nach Anspruch 6, wobei das System (1, 400; 600) zur
 unmittelbaren Vernetzung des zweiten nutzbaren Bereichs die erste vernetzende
 Fluidverbindungsleitung (46; 446; 646), die zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich (20;
 420; 620) und dem ersten nutzbaren Bereich (10; 410; 610) ausgebildet ist, umfasst, und
30 wobei das System (1, 400; 600) zur unmittelbaren Vernetzung eines jeden der
 weiteren m nutzbaren Bereiche eine (m-1)-te vernetzende Fluidverbindungsleitung (444,
 446; 648-1, 649-1, 648-2, 649-2, 648-3, 649-3), die zwischen dem m-ten nutzbaren Bereich
 (20; 420; 620-1, 630-1, 620-2, 630-2, 620-3, 630-3) und dem ersten nutzbaren Bereich (10;
 410; 610) ausgebildet ist, umfasst.
- 35 8. System (400; 600) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass

jeweils zwei oder mehr der m-1 vernetzenden Fluidverbindungsleitung (444, 446; 648-1, 649-1, 648-2, 649-2, 648-3, 649-3) einen gemeinsamen Leitungsabschnitt umfassen.

- 5 9. System (100, 200, 300, 500) nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite nutzbare Bereich (120; 220; 320; 520) mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte (140; 240; 340; 540) und dem ersten nutzbaren Bereich (110; 210; 310; 510) vernetzt ist,
- wozu das System (100, 200, 300, 500) ferner umfasst:
- 10 eine vorbestimmte zweite Erschließungsstätte (150; 250; 350; 550), die dem zweiten nutzbaren Bereich (120; 220; 320; 520) zugeordnet ist,
- eine zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (152; 252; 352; 452; 552), die zwischen der zweiten Erschließungsstätte (150; 250; 350; 550) und dem zweiten nutzbaren Bereich (120; 220; 320; 520) ausgebildet ist, und
- 15 eine zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (154; 254; 354; 554), die zwischen der zweiten Erschließungsstätte (150; 250; 350; 550) und dem ersten nutzbaren Bereich (110; 210; 310; 510) ausgebildet ist,
- wodurch eine sogenannt Doppelt-Kreuz-Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen und zwei zugeordneten Erschließungsstätten ausgebildet ist.
- 20 10. System (100, 200, 300, 500) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass es eine an der zweiten Erschließungsstätte (50; 150; 250; 350; 450; 550) bereitgestellte Verbindungseinrichtung (190; 290; 390; 590) mit einem Fluideinlass (192; 292; 392; 582) und einem Fluidauslass (194; 294; 394; 594) umfasst, wobei die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (142; 242; 342; 542) an dem
- 25 Fluideinlass und die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (144; 244; 344; 544) an dem Fluidauslass angeschlossen ist.
11. System (100, 200, 300, 500) nach Anspruch 2 oder 3 und 10, dadurch gekennzeichnet, dass
- 30 die erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (144; 244; 344; 544), der zweite nutzbare Bereich (120; 220; 320; 520), die zweite zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (152; 252; 352; 452; 552), die Verbindungseinrichtung (190; 290; 390; 590), die zweite nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (154; 254; 354; 554), der erste nutzbare Bereich
- 35 (110; 210; 310; 510), die erste zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (142; 242; 342; 542) und die Wärmetauscheinrichtung (180, 280, 380, 580) ein im Wesentlichen geschlossenes, insbesondere druckdicht geschlossenes

Wärmetauschfluidkreislaufsystem für ein darin im Betrieb des Systems (100, 200, 300, 500) umströmendes Wärmetauschfluid ausbilden.

- 5 12. System (200) nach Anspruch 2 oder 3 und 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass
- der zweite nutzbare Bereich (220) mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte (240) und dem ersten nutzbaren Bereich (210) vernetzt ist,
- 10 dass das System ferner mindestens einen weiteren dritten (230) oder noch weitere (insgesamt: m) nutzbare Bereiche umfasst, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, und
- dass der zweite (220) und jeder weitere m-te (230) nutzbare Bereiche jeweils mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte (240) und dem ersten nutzbaren Bereich (210) vernetzt sind, wodurch eine sogenannt parallele und mittelbare Vernetzung von m nutzbaren Bereichen mit dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet wird.
- 15 13. System (200) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass wozu das System (200) ferner umfasst:
- eine vorbestimmte zweite (250), dritte (260) oder mehr (insgesamt: m) Erschließungsstätten, wobei jede der zweiten, dritten oder weiteren Erschließungsstätte
- 20 jeweils dem zweiten (220), dritten (230) oder m-ten nutzbaren Bereich zugeordnet ist, eine zweite (252), dritte (262) oder mehrere (insgesamt: m) zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitungen, die zwischen der jeweiligen zweiten, dritten oder m-ten Erschließungsstätte und dem zweiten (220), dritten (230) oder m-ten nutzbaren Bereich ausgebildet sind, und
- 25 eine zweite (254), dritte (264) oder mehr (insgesamt: m) nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitungen, die zwischen der zweiten (250), dritten (260) oder m-ten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich (210) ausgebildet sind.
- 30 14. System (300) nach Anspruch 2 oder 3 und 10 oder 11, wobei der zweite nutzbare Bereich (320) mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte (340) und dem ersten nutzbaren Bereich (310) vernetzt ist, und gekennzeichnet durch:
- mindestens einen weiteren dritten (330) oder noch weitere (insgesamt: m) nutzbare Bereiche, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, und
- 35 mindestens eine vorbestimmte zweite (350), dritte (360) oder noch weitere (insgesamt: m) Erschließungsstätten, wobei jede der m Erschließungsstätten (340, 350, 360) einem nutzbaren Bereich (310, 320, 330) zugeordnet ist und wobei jedem nutzbaren Bereich (310, 320, 330) und jeder Erschließungsstätte (340, 350, 360) eine, die jeweilige

Zuordnung kennzeichnende Ordnungszahl n zugeordnet ist, wobei n eine natürlich Zahl ist und $2 \leq n \leq m$ gilt, und,

zusätzlich zu der ersten ($n = 1$) zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung, mindestens eine zweite (352), dritte (362) oder noch weitere (insgesamt: m) zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitungen,

wobei die n -te zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung (358, 368) zwischen der n -ten Erschließungsstätte (350, 360) und dem $(n+1)$ -ten nutzbaren Bereich (320, 330) und die m -te zugeordnet erschließende Fluidverbindungsleitung zwischen der m -ten Erschließungsstätte (360) und dem ersten nutzbaren Bereich (310) ausgebildet ist,

wodurch eine sogenannt ringförmig-serielle Vernetzung von m nutzbaren Bereichen ausgebildet wird.

15. System (200, 300) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass

für mindestens einen ausgewählten nutzbaren Bereich (210, 220, 230; 310, 320, 330) aus der aus dem ersten bis m -ten nutzbaren Bereich gebildeten Gruppe und der diesem ausgewählten nutzbaren Bereich zugeordneten Erschließungsstätte (240, 250, 260; 340, 350, 360) gilt:

(i) mit diesem ausgewählten nutzbaren Bereich und der diesem Bereich zugeordneten Erschließungsstätte sind zwei oder mehr noch weitere nutzbare Bereiche, die in dem System zusätzlich zu den m nutzbaren Bereiche umfasst sind, entweder parallel und mittelbar oder parallel und unmittelbar vernetzt, oder

(ii) dieser ausgewählte nutzbare Bereich und die diesem Bereich zugeordnete Erschließungsstätte sind eingebunden in eine ringförmig-serielle Vernetzung von zwei oder mehr noch weiteren nutzbaren Bereichen, die in dem System zusätzlich zu den m nutzbaren Bereiche umfasst sind.

16. System (500) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass eines der folgenden Merkmale erfüllt ist:

(i) mindestens eine der zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen (42, 142, 152) umfasst eine von der jeweiligen Erschließungsstätte (40; 140, 150) ausgehend im Wesentlichen vertikal in die Tiefe bis in den zugeordneten nutzbaren Bereich hinein ausgebildete, verrohrte Primärbohrung (48),

(ii) mindestens eine der zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen (542, 552) umfasst eine von der jeweiligen Erschließungsstätte (540, 550) ausgehende und im Wesentlichen durchgängig bis in den zugeordneten nutzbaren Bereich (510, 520) hinein ausgebildete, verrohrte Horizontalbohrung (542-H, 552-H).

17. System (1, 2, 3, 4, 100, 200, 300; 400 nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eines der folgenden Merkmale erfüllt ist:

5 (i) mindestens eine der nicht-zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen (154) umfasst eine verrohrte Bohrung, die in einem von der jeweiligen Erschließungsstätte (150) ausgehenden, ersten Abschnitt als Primärbohrung und in einem sich an den ersten Abschnitt anschließenden, zweiten Bereich als Sekundärbohrung in der Form von einer oder mehreren, vorzugsweise 6 bis 12, Horizontalbohrungen mit jeweils einem Endabschnitt, der sich bis in den zu erschließenden nutzbaren Bereich hinein erstreckt,

10 (ii) mindestens eine der nicht zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen (544, 554) umfasst eine von der jeweiligen Erschließungsstätte (540, 550) ausgehende und im Wesentlichen durchgängig bis in den jeweilig zu erschließenden, zugeordneten nutzbaren Bereich (510, 520) hinein ausgebildete, verrohrte Horizontalbohrung (544-H, 554-H).

15 18. System (3, 4; 400; 600) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens eine vernetzenden Fluidverbindungsleitungen (46; 444-1, 444-2) eine oder mehrere, vorzugsweise 6 bis 12, von einen jeweiligen i-ten nutzbaren Bereich (520, 530; 644, 646) ausgehende, verrohrte Horizontalbohrung (46; 446-1, 446-2) umfasst, die im Wesentlichen durchgängig bis in einen j-ten nutzbaren Bereich (510; 610) hinein ausgebildet sind und die jeweils einen Endabschnitt aufweisen, der sich bis in den zu erschließenden, j-ten nutzbaren Bereich hinein erstreckt, wobei i, j, m und n natürliche Zahlen sind mit $i < j$ und $i, j \leq m$, wobei $m = n - 1$ die Anzahl der vernetzenden Fluidverbindungsleitungen und wobei n die Anzahl der nutzbaren Bereiche ist.

19. Verfahren zum Erschließen bzw. Produzieren von geothermischer Energie, mit den folgenden Schritten:

Identifizieren eines ersten unterirdischen, nutzbaren Bereich (10; 110; 210; 310; 410; 510; 610) mit geothermischer Energie,

Bestimmen einer vorbestimmten ersten Erschließungsstätte (40; 140; 240; 340; 440; 540; 640), die dem ersten nutzbaren Bereich zugeordnet ist, und

Herstellen einer ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung (42; 142; 242; 342; 442; 542; 642) zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich,

gekennzeichnet durch

Identifizieren von mindestens einem zweiten (20; 120; 220; 320; 420; 520; 620) oder noch weiteren (30; 130; 230; 330; 430; 630-1, 630-2) unterirdischen nutzbaren Bereiche mit geothermischer Energie, und

5 Herstellen einer ersten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung (44; 144; 244; 344; 444; 544; 644) zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem zweiten nutzbaren Bereich.

20. Verfahren nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch
10 Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereich unmittelbar oder mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich.

21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, gekennzeichnet durch
15 an der ersten Erschließungsstätte (40; 140; 240; 340; 440; 540; 600), Bereitstellen einer Wärmetauscheinrichtung (80; 180; 280; 380; 480; 580; 680) mit einem Fluideinlass (82; 182; 282; 382; 482; 582; 682) und einem Fluidauslass (84; 184; 284; 384; 484; 584; 684),
Anschließen der ersten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung (42; 142; 242; 342; 442; 542; 642) an dem Fluideinlass, und Anschließen der ersten nicht-
zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung (44; 144; 244; 344; 444; 544; 644) an dem Fluidauslass.

20
22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, gekennzeichnet durch
unmittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs (20; 420; 620) mit der
ersten Erschließungsstätte (80; 480; 680) und dem ersten nutzbaren Bereich (10; 410; 610),
und
25 Herstellen einer ersten vernetzenden Fluidverbindungsleitung (46; 446; 646)
zwischen dem zweiten nutzbaren Bereich (20; 420; 620) und dem ersten nutzbaren Bereich
(10; 410; 610).

23. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, gekennzeichnet durch
30 mittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs (120; 220; 320; 520) mit der
ersten Erschließungsstätte (140; 240; 340; 540) und dem ersten nutzbaren Bereich (110;
210; 310; 510),

Bestimmen einer zweiten Erschließungsstätte (150; 250; 350; 550), die dem zweiten
nutzbaren Bereich (120; 220; 320; 520) zugeordnet ist,

35 Herstellen einer zweiten zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung
(152; 252; 352; 452; 552) zwischen der zweiten Erschließungsstätte (150; 250; 350; 550)
und dem zweiten nutzbaren Bereich (120; 220; 320; 520), und

Herstellen einer zweiten nicht-zuordnungsgemäß erschließenden Fluidverbindungsleitung (154; 254; 354; 554) zwischen der zweiten Erschließungsstätte (150; 250; 350; 550) und dem ersten nutzbaren Bereich (110; 210; 310; 510), und
 5 dadurch Ausbilden eine sogenannt Doppelt-Kreuz-Vernetzung von zwei nutzbaren Bereichen und zwei zugeordneten Erschließungsstätten.

24. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, gekennzeichnet durch
 mittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs (220) mit der ersten
 Erschließungsstätte (240) und dem ersten nutzbaren Bereich (210),
 10 Identifizieren von mindestens einem weiteren dritten (230) oder noch weiteren (insgesamt: m) nutzbaren Bereichen, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, und
 Vernetzen des zweiten (220) und jedes weiteren m-ten (230) nutzbaren Bereichs jeweils mittelbar mit der ersten Erschließungsstätte (240) und dem ersten nutzbaren Bereich (210), und
 15 dadurch Ausbilden einer sogenannt parallelen und mittelbaren Vernetzung von m nutzbaren Bereichen mit dem ersten nutzbaren Bereich.

25. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, gekennzeichnet durch
 mittelbares Vernetzen des zweiten nutzbaren Bereichs (320) mit der ersten
 20 Erschließungsstätte (340) und dem ersten nutzbaren Bereich (310),
 Identifizieren von mindestens einem weiteren dritten (330) oder noch weiteren (insgesamt: m) nutzbaren Bereichen, wobei m eine natürliche Zahl ist und $3 \leq m$ gilt, und
 Bestimmen von mindestens einer zweiten (350), dritten (360) oder noch weiteren (insgesamt: m) Erschließungsstätten, Zuweisen von jeder der m Erschließungsstätten (340,
 25 350, 360) zu einem nutzbaren Bereich (310, 320, 330) und Zuordnen an jeden nutzbaren Bereich (310, 320, 330) und jede Erschließungsstätte (340, 350, 360) von einer, die jeweilige Zuordnung kennzeichnenden Ordnungszahl n, wobei n eine natürlich Zahl ist und $2 \leq n \leq m$ gilt, und,
 zusätzlich zu der ersten ($n = 1$) zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung,
 30 Herstellen von mindestens einer zweiten (352), dritten (362) oder noch weiteren (insgesamt: m) zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitungen,
 Ausbilden der n-ten zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung (358, 368) zwischen der n-ten Erschließungsstätte (350, 360) und dem (n+1)-ten nutzbaren Bereich (320, 330) und Ausbilden der m-ten zugeordnet erschließenden Fluidverbindungsleitung
 35 zwischen der m-ten Erschließungsstätte (360) und dem ersten nutzbaren Bereich (310), und
 dadurch Ausbilden einer sogenannt ringförmig-serielle Vernetzung von m nutzbaren Bereichen.

26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass es
für mindestens einen ausgewählten nutzbaren Bereich (210, 220, 230; 310, 320, 330)
aus der aus dem ersten bis m-ten nutzbaren Bereich gebildeten Gruppe und der diesem
5 ausgewählten nutzbaren Bereich zugeordneten Erschließungsstätte (240, 250, 260; 340,
350, 360) umfasst:

(i) zusätzlich zu den m nutzbaren Bereichen, Identifizieren von zwei oder mehreren
noch weiteren nutzbaren Bereichen, und entweder parallel und mittelbar oder parallel und
unmittelbar Vernetzen dieses ausgewählten nutzbaren Bereichs und der diesem Bereich
10 zugeordneten Erschließungsstätte, oder

(ii) zusätzlich zu den m nutzbaren Bereichen, Identifizieren von zwei oder mehreren
noch weiteren nutzbaren Bereichen, und Einbinden dieses ausgewählten nutzbaren
Bereichs und die diesem Bereich zugeordnete Erschließungsstätte in eine ringförmig-
serielle Vernetzung der zwei oder mehreren noch weiteren nutzbaren Bereichen.

15

Z u s a m m e n f a s s u n g

Ein System (1; 2; 3; 4; 100-100''; 200; 300; 400; 500; 600) zum Erschließen bzw.
Produzieren von geothermischer Energie umfasst: einen ersten unterirdischen, nutzbaren
5 Bereich (10; 110; 210; 310; 410; 510; 610) mit geothermischer Energie, eine vorbestimmte
erste Erschließungsstätte (40; 140; 240; 340; 440; 540; 640), die dem ersten nutzbaren
Bereich zugeordnet ist, und eine erste zuordnungsgemäß erschließende
Fluidverbindungsleitung (42; 142; 242; 342; 442; 542; 642), die zwischen der ersten
10 Erschließungsstätte und dem ersten nutzbaren Bereich ausgebildet ist. Erfindungsgemäß
sind mindestens ein zweiter (20; 120; 220; 320; 420; 520; 620) oder noch weitere (30; 130;
230; 330; 430; 630-1, 630-2) unterirdische nutzbare Bereiche mit geothermischer Energie,
und eine erste nicht-zuordnungsgemäß erschließende Fluidverbindungsleitung (44; 144;
244; 344; 444; 544; 644) zwischen der ersten Erschließungsstätte und dem zweiten
15 nutzbaren Bereich vorgesehen.

Fig. 16