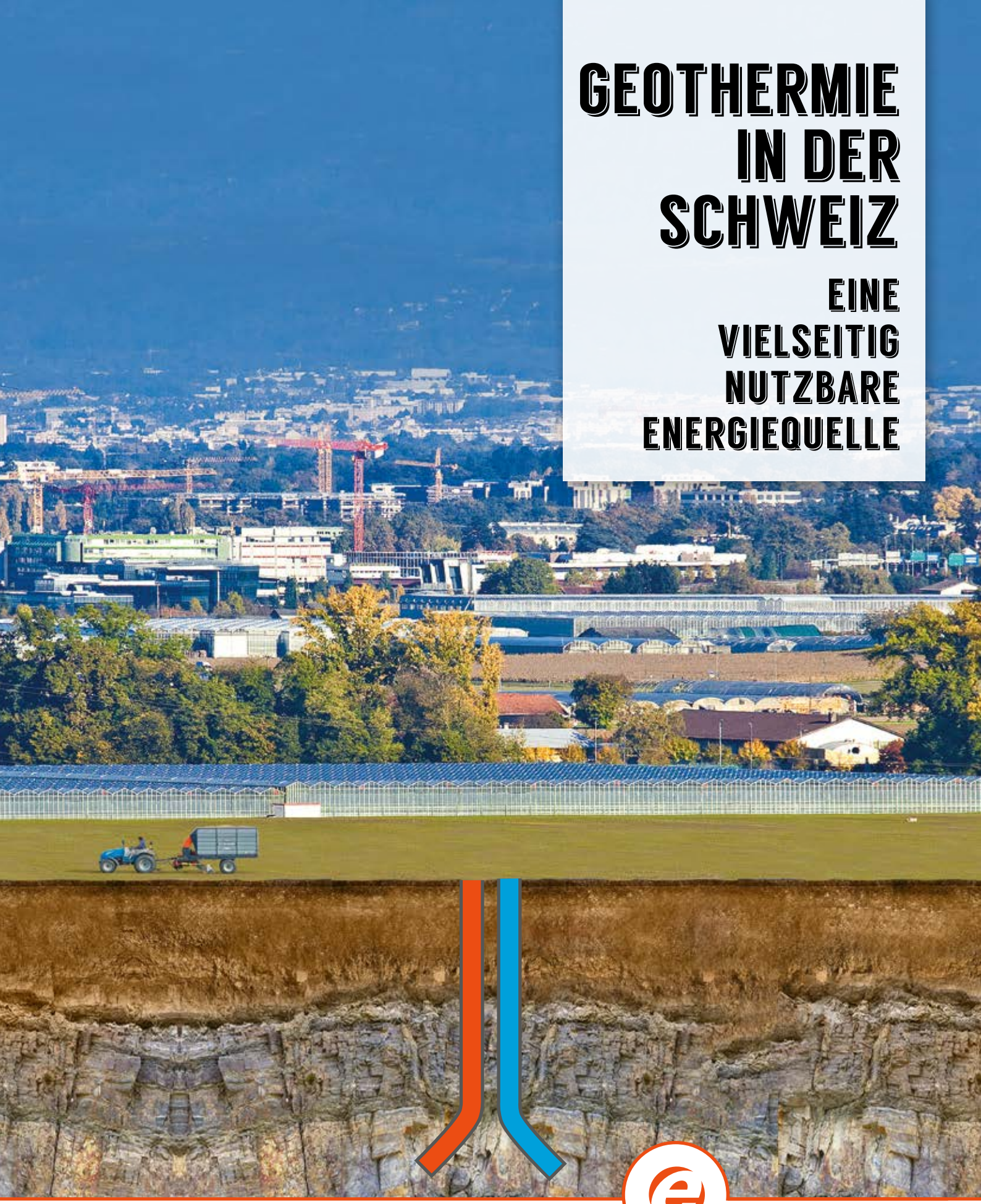
GEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ

EINE VIELSEITIG NUTZBARE ENERGIEQUELLE



energieschweiz
Unser Engagement: unsere Zukunft.

EINHEITSANGABEN MASSEINHEITEN

Leistung
1 Terawatt (TW) =
1000 Gigawatt (GW) =
1'000'000 Megawatt (MW) =
1'000'000'000 Kilowatt (kW) =
1'000'000'000'000 Watt (W)

Leistung eines Wasserkochers =
2000 W

Energiemass
1 Terawattstunde (TWh) =
1000 Gigawattstunden (GWh) =
1'000'000 Megawattstunden (MWh) =
1'000'000'000 Kilowattstunden (kWh) =
1'000'000'000'000 Wattstunden (Wh)

Energieverbrauch einer
Kühl-Gefrierkombination A^{+++} pro Jahr
= 150 kWh

Stromverbrauch in der Schweiz (2015)
= 58,20 TWh

Gesamter Energieverbrauch in der Schweiz (2015)
= 232,88 TWh

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT 5

DIE GEOTHERMIE, ERNEUERBARE ENERGIE AUF DER BASIS DER ERDWÄRME 6

VIELFÄLTIGE ANWENDUNGSFORMEN DANK BEWÄHRTEN TECHNIKEN 14

EINE UMWELTFREUNDLICHE ENERGIE 24

ANLAGEN UND PROJEKTE IN DER SCHWEIZ 28

RAHMENBEDINGUNGEN DER GEOTHERMIE 34

EINE ZUKUNFTSTRÄCHTIGE ENERGIE 36

WEITERE INFORMATIONEN 40

Titelbild: Régis Colombo, www.diapo.ch. Fotomontage: Newcom Partners
Foto links: Erdwärmesondenbohrung in Wildhaus SG auf 1100 müM. Quelle: Heim Bohrtechnik AG

Erdwärmesondenbohrung für ein Einfamilienhaus. Quelle: Geotherm SA, Belfaux (FR)

VORWORT

SEIT DEN ÖLKRISEN IN DEN 1970ER-JAHREN SUCHT DIE INTERNATIONALE GEMEINSCHAFT NACH EINER LÖSUNG, UM DIE FOSSILEN ENERGIETRÄGER ZU ERSETZEN. DIESE ANSTRENGUNGEN WERDEN INSBESONDERE AUCH VOR DEM HINTERGRUND DER BERICHTE DES WELTKLIMARATS (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC) UNTERNOMMEN. DABEI WIRD VOR ALLEM AUF EINE STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ UND AUF DIE ENTWICKLUNG ERNEUERBARER ENERGIEN GESETZT. AUF DIESE WEISE SOLLEN AUCH DIE UMWELT- UND GESUNDHEITSSCHÄDLICHEN TREIBHAUSGASEMISSIONEN SIGNIFIKANT REDUZIERT WERDEN.

In den letzten zehn Jahren hat sich der Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten Energieproduktion in Europa praktisch verdoppelt. Dies wurde hauptsächlich durch die Wasserkraft, die Energiegewinnung aus Biomasse, den erneuerbaren Energieanteil im Abfall, die Sonnenenergie und die Windenergie ermöglicht. Die Geothermie wird weltweit immer stärker genutzt, sowohl für die Wärmeerzeugung als auch für die Stromproduktion. 2015 wurde im Rahmen der UN-Klimakonferenz in Paris (COP 21) eine weltweite Allianz gegründet. Diese sogenannte «Global Geothermal Alliance» wurde von knapp 40 Staaten unterzeichnet, darunter auch von der Schweiz. Die Allianz will Entwicklungsländer mit bedeutenden geothermischen Ressourcen dabei unterstützen, das vorhandene Potenzial zu nutzen.

Mit der vom Bundesrat im Jahr 2011 verabschiedeten Energiestrategie 2050 soll die Versorgungssicherheit in der Schweiz gewährleistet werden. Im Zentrum stehen dabei substanzielle Energieeinsparungen, eine höhere Energieeffizienz, die Ausbau der Wasserkraft und eine breit angelegte Förderung der neuen erneuerbaren Energien. Im Rahmen dieser energiepolitischen Weichenstellung sollen in den nächsten Jahrzehnten der inländische Energieverbrauch sowie die Treibhausgas-Emissionen deutlich reduziert werden Ausserdem sollen die Elektrizitätsnetze rasch ausgebaut werden, und die Energieforschung soll noch vermehrt gefördert werden.

Die Geothermie gehört zu den erneuerbaren Energien, die weiterentwickelt werden sollen. Es handelt sich um eine Energiequelle mit zahlreichen Vorteilen. Dazu zählt unter anderem der Umstand, dass der Erde unabhängig von den klimatischen Bedingungen permanent Wärme entzogen und Strom erzeugt werden kann. In der Schweiz hat sich die untiefe Geothermie in Kombination mit Wärmepumpen seit den 1980er-Jahren gut entwickelt, und diese Entwicklung hält unvermindert an. Mittlerweile stehen bewährte Technologien zur Verfügung, und es wurden hohe Qualitätsstandards entwickelt. Mit erzeugten 3,4 Terawattstunden stammt ein Viertel der Wärme, die aus neuen erneuerbaren Energien gewonnen wird, von der Geothermie. Damit liegt sie hinter der Biomasse auf dem zweiten Rang (Zahlen aus dem Jahr 2015). Im Zusammenhang mit tieferen Bohrungen wurde die Geothermie dagegen bislang nur wenig genutzt. Doch diese Energie weist ein grosses Potenzial auf, insbesondere in Bezug auf die Stromproduktion.

Damit die Geothermie in der Schweiz einen wesentlichen Anteil an der Wärme- und Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien übernehmen kann, müssen die technologischen, politischen und psychologischen Hemmnisse, die mit jeder neuen Technologie verbunden sind, schrittweise beseitigt werden.

Dr. Frank Rutschmann
Leiter Sektion Erneuerbare Energien

DIE GEOTHERMIE, ERNEUERBARE ENERGIE AUF DER BASIS DER ERDWÄRME

DIE GEOTHERMIE BESTAND SCHON LANGE BEVOR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ IN ALLER MUNDE WAREN. TROTZDEM IST SIE AUCH HEUTE NOCH WEITGEHEND UNBEKANNT. DIESE RESSOURCE WEIST BETRÄCHTLICHE VORTEILE AUF, DA ES SICH UM EINE FAST UNERSCHÖPFLICHE UND UMWELTFREUNDLICHE ENERGIEQUELLE HANDELT.

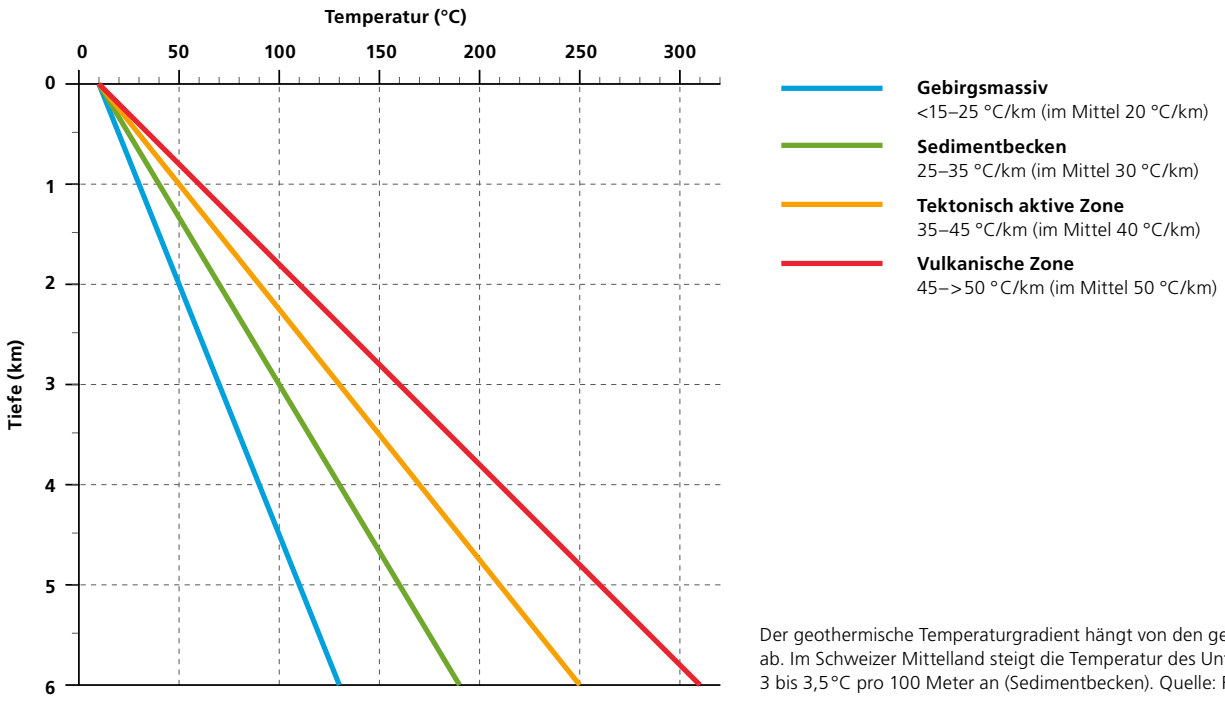
Der Begriff Geothermie leitet sich von den griechischen Wörtern gêo (Erde) und thermos (warm) ab. Die Geothermie bezeichnet die in der Erde in Form von Wärme gespeicherte Energie. Er bezeichnet zudem die Wissenschaft, welche die thermischen Phänomene im Untergrund untersucht, als auch die industriellen Verfahren, die diese Phänomene nutzen, um der Erde Energie in Form von Wärme oder Strom zu entziehen.

DIE ERDE, EIN RIESIGES WÄRMERESERVOIR

Die Wärme im Untergrund geht hauptsächlich auf die Energie, die bei der Entstehung unseres Planeten freigesetzt wurde, sowie auf die Energie zurück, die durch den Zerfall radioaktiver Isotope frei wird. Die im Untergrund gespeicherte Menge an Wärme hängt von den geologischen Gegebenheiten, von der Tiefe und vor allem vom Wassergehalt ab.

In den obersten Metern des Untergrunds wird die Temperatur durch die Sonnenstrahlung und die klimatischen Bedingungen beeinflusst. Ab einer Tiefe von 10 bis 20 Metern hängt die Temperatur nicht mehr vom Klima, von der Tageszeit oder von der Jahreszeit ab. Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur an: Dies wird als geothermischer Temperaturgradient bezeichnet. In der Schweiz beträgt dieser in der Regel 3 bis 3,5 °C pro 100 Meter. Dies bedeutet, dass die Temperatur ab einer Tiefe von 3000 Metern über 100 °C liegt. Eine Ausnahme hiervon bilden Zonen mit geothermischen Anomalien (beispielsweise Thermalquellen). Ab einer Tiefe von 5000 Metern werden meist Temperaturen von 150 bis über 200 °C erreicht.

GEOTHERMISCHE GRADIENTE °C/KM



Der geothermische Temperaturgradient hängt von den geologischen Bedingungen ab. Im Schweizer Mittelland steigt die Temperatur des Untergrunds in der Regel um 3 bis 3,5 °C pro 100 Meter an (Sedimentbecken). Quelle: F.-D. Vuataz

WÄRME, KÄLTE UND ELEKTRIZITÄT

Bei der Nutzung der geothermischen Energie geht es hauptsächlich darum, die Wärme der Erde an die Erdoberfläche zu holen. Generell wird ein Fluid genutzt, das sich beim Kontakt mit dem wärmeren Gestein im Untergrund erwärmt. Abhängig von der Temperatur des Untergrunds gibt die Geothermie auf mehreren Ebenen die Möglichkeit:

- zu heizen (Heizung, Warmwasser, landwirtschaftliche und industrielle Prozesse),
- zu kühlen,
- Wärmeenergie zu speichern (um zu heizen oder zu kühlen),
- Strom zu erzeugen, wenn die Temperatur und die Wasserergiebigkeit ausreichend hoch sind.

Wenn die Temperatur der geothermischen Ressource den Bedürfnissen entspricht, kann die Energie direkt genutzt werden. Mit dem Einsatz einer Wärmepumpe kann die Temperatur der geothermischen Ressource vor der Nutzung geändert werden.

EINE STUDIE HAT ERGEBEN, DASS 40 LÄNDER IN AFRIKA, ASIEN, OZEANIEN UND LATEINAMERIKA EINEN GROSSEN TEIL IHRES STROMBEDARFS MIT GEOTHERMIE ERZEUGEN KÖNNTEN.

World Bank's Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), 2014

Je nach Geologie und Bodenbeschaffenheit versickert Regenwasser im Boden oder läuft an der Oberfläche ab. Quelle: BFE

Das Tropenhaus in Frutigen (BE) nutzt das warme Wasser aus dem Lötschbergtunnel für die Aufzucht von Stören und die Kultivierung von exotischen Früchten.
Quelle BFE

Die Geothermie wird im Industrie- und Dienstleistungssektor häufig genutzt. Hier das Zentrum D4 der SUVA in Gisikon (Luzern), welches mit geothermischer Wärme und Kälte versorgt wird und Wärme im Geothermiespeicher zwischenlagert.
Quelle: CREGE

Thermalbäder nutzen natürlich warmes Grund- oder Quellwasser. Natürliche Thermalquellen werden schon seit Jahrtausenden für Badeanlagen verwendet.
Quelle: BFE

EINE ENERGIE, DIE ALLE NUTZEN KÖNNEN

Energie aus Erdwärme bietet viele Nutzungsmöglichkeiten. Die Nutzungsart hängt von der Form der geothermischen Ressource, ihrem Potenzial, ihrer Tiefe und ihrer Temperatur ab, die in der Schweiz zwischen 5 und über 150 °C liegt.

WOHNEN, FREIZEIT UND GESUNDHEIT

Wird mit Hilfe eines Wärmepumpensystems die Wärme in geringer Tiefe genutzt (siehe S. 20), kann diese Energie zur individuellen Gebäudeheizung, zur Warmwasseraufbereitung, für Niedertemperaturnetze, für Fernwärmenetze und zur Kühlung von Gebäuden dienen. Diese letzte Nutzungsmöglichkeit ist im Vergleich mit den anderen erneuerbaren Energien ein wesentlicher Vorteil der Geothermie. In gewissen geologischen Zonen wird die Energie aus natürlichen Thermalquellen oder, mit verbesserten Temperaturen, über Bohrungen gewonnen und überwiegend für Thermalbäder oder für die Beheizung von Schwimmbädern genutzt.

INDUSTRIE

Bei industriellen Nutzungen wird das gefasste Wasser in flüssiger Form oder als Wasserdampf verwendet. Je nach Temperatur kann es für die folgenden Zwecke dienen: Trocknung von industriellen Produkten, Extraktion von chemischen Substanzen, Herstellung von Papiermasse, Verdampfung von konzentrierten Lösungen (Herstellung von Süsswasser durch Meerwasserentsalzung) sowie Enteisung und Schneeräumung auf Strassen. Wenn das geothermische Fluid sehr heiss ist und verschiedene Salze enthält, können ihm in gewissen Fällen, abgesehen von der Wärme, bestimmte Nebenprodukte wie Brom, Jod, Bor und Lithium entzogen werden. Ausserdem können aus dem Fluid gelöste Gase wie Methan oder Kohlendioxid extrahiert werden. Sofern die Temperatur im Untergrund genügend hoch ist, kann auch die Erzeugung von Elektrizität in Betracht gezogen werden.

LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG

In mehreren Ländern ist die Beheizung von Gewächshäusern eine bedeutende Anwendungsform der Geothermie. In Fischfarmen wird das warme Wasser entweder direkt oder mit Hilfe eines Wärmetauschers genutzt, wenn seine Zusammensetzung für die Fischzucht nicht geeignet ist. Die Erdwärme kann auch für die Trocknung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen, Holz oder Fischen genutzt werden.

« Die Beheizung der Treibhäuser benötigt jährlich 20’000 MWh. Mit öffentlicher und privater Unterstützung habe ich entschieden, in zwei Tiefbohrungen zu investieren. Diese ermöglichen mir, heisses Wasser aus dem Untergrund zu fördern und damit jährlich 5000 Tonnen CO_2 zu vermeiden, welche mit der früheren Heizung emittiert wurden. Diese benötigte 80% Gas und 20% Heizöl. »

Hansjörg Grob, Gemüseproduzent aus Schlattingen (TG)

NUTZUNGSFORMEN UND NUTZER NACH GEOTHERMIETYP

NUTZUNGSFORM	NUTZERTYP	GEOTHERMIETYP	TEMPERATUR DES UNTERGRUNDS	TIEFE
Heizung und Warmwasser, Kühlung	**Einfamilienhaus**	Erdwärmekörbe, Erdwärmesonde (EWS)	5–20 °C	1,5–4 m bei Erdwärmekörben, 50–250 m bei Erdwärmesonden
	Einfamilienhaus, Mehrfamilienhäuser	Tiefe Erdwärmesonde	20–35 °C	250–800 m
	Einfamilienhaus, Mehrfamilienhäuser, Überbauung	Grundwassernutzung*	5–15 °C	10–50 m
	Einfamilienhaus (Neubau), Mehrfamilienhäuser, Industriebauten	Geostrukturen	5–15 °C	10–50 m
	Mehrfamilienhäuser, Quartiere, Industriebauten	Erdwärmesondenfelder	5–35 °C	30–800 m (< 250 m für die Kühlung)
Heizung und Warmwasser, Wärme für Landwirtschaft und Industrie	**Mehrfamilienhäuser, Überbauung, Quartiere, Ortschaften, Landwirtschafts- oder Industriebetriebe**	Thermalwasser, Tunnelwasser, mitteltiefes hydrothermales System*	20–100 °C	bis 3000 m
Heizung und Warmwasser, Strom	**Mehrfamilienhäuser, Überbauung, Quartiere, Ortschaften, Landwirtschafts- oder Industriebetriebe**	Tiefes hydrothermales System*	ab 100 °C	ab 3000 m
		Petrothermales System	ab 100 °C	ab 3000 m

* Im Untergrund natürlich vorkommendes Wasser

ZAHLREICHE VORTEILE DER GEOTHERMIE

Unter den verschiedenen Energieformen, die vom Menschen genutzt werden, weist die geothermische Energie zahlreiche Vorteile auf:

HEIZUNG, KÜHLUNG UND ELEKTRIZITÄT

Wie die Solarenergie, die Biomasse und der erneuerbare Energieanteil im Abfall ist die Geothermie eine erneuerbare Energiequelle, die, abhängig von den geologischen Bedingungen und von der Art der eingesetzten Technik, Wärme und/oder Elektrizität liefern kann. Im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energiequellen hat sie den grossen Vorteil, dass sie auch zum Kühlen genutzt werden kann.

JEDERZEIT UND ÜBERALL VERFÜGBAR

Wie die Energie aus Kernkraftwerken und Laufwasserkraftwerken (die an Flüssen oder grossen Bächen errichtet werden) ist die Geothermie eine Bandenergie. Dies bedeutet, dass sie jederzeit nutzbar ist, da sie ausschliesslich von den intrinsischen Eigenschaften des Untergrunds abhängt. Die Verfügbarkeit von Geothermiekraftwerken liegt im weltweiten Durchschnitt bei 90% und kann bei Wärmenetzen sogar einen Wert von annähernd 100% erreichen. Die Geothermie ist damit auch eine ideale Ergänzung anderer erneuerbarer Energien wie der Windenergie und der Solarenergie, die von den klimatischen und saisonalen Bedingungen abhängen. Sie steht auf unserem Planeten überall in grossen Mengen zur Verfügung. Ihr Potenzial würde theoretisch ausreichen, um den gesamten Energiebedarf weltweit zu decken.

ERNEUERBARE ENERGIE

Die Geothermie gilt als erneuerbare Energie, da die Erdwärme fast unerschöpflich ist. Die nachhaltige Bewirtschaftung eines geothermischen Reservoirs, in welches das abgekühlte Wasser ständig wieder reinjiziert wird, setzt voraus, dass nicht mehr Wärme entzogen wird, als vom geothermischen Reservoir auf natürliche Weise abgegeben wird. So kann diese Energie während vielen Jahren genutzt werden. Bei einer starken Nutzung kann der Untergrund mit Hilfe von erneuerbaren Energien oder mit vorhandener Abwärme regeneriert werden.

VOR ORT VERFÜGBARE ENERGIE

Da die Energie vor Ort erzeugt wird, besteht in energetischer Hinsicht eine grössere Unabhängigkeit. Überdies müssen keine Energieträger transportiert oder gelagert werden.

EINE SAUBERE ENERGIE

Aus der Geothermie resultieren nur wenige umweltschädliche Emissionen. Als Wärmequelle kann sie unmittelbar genutzt werden, und sie erfordert weder einen Verbrennungsprozess noch eine andere Energieumwandlung. Emissionen fallen nur bei den Bohrarbeiten für die Bohrlöcher sowie im Zusammenhang mit den Materialtransporten für die Durchführung der Bohrungen und die Errichtung der geothermischen Anlage an (wie bei allen Tiefbau-Baustellen). Hinsichtlich Umweltfreundlichkeit liegt die Geothermie hinter der Wasserkraft auf dem zweiten Rang.

STABILE PREISE UND WETTBEWERBSFÄHIGE KOSTEN IM VERGLEICH MIT DEN ANDEREN ERNEUERBAREN ENERGIEN

Die Geothermie weist tiefe Betriebskosten auf. Es müssen keine fossilen Brennstoffe beschafft werden, und die Anlagen erfordern nur wenig Unterhalt. Nach der Realisierung einer Geothermieanlage bleiben die Energiekosten über einen langen Zeitraum stabil und vorhersehbar. Die Kosten der erzeugten Energie hängen von den folgenden Faktoren ab:

- Bohrungstiefe
- Art der erzeugten Energie (Wärme oder Elektrizität)
- Entwicklungsstand der eingesetzten Technologie

KAUM SICHTBARE AUSWIRKUNGEN

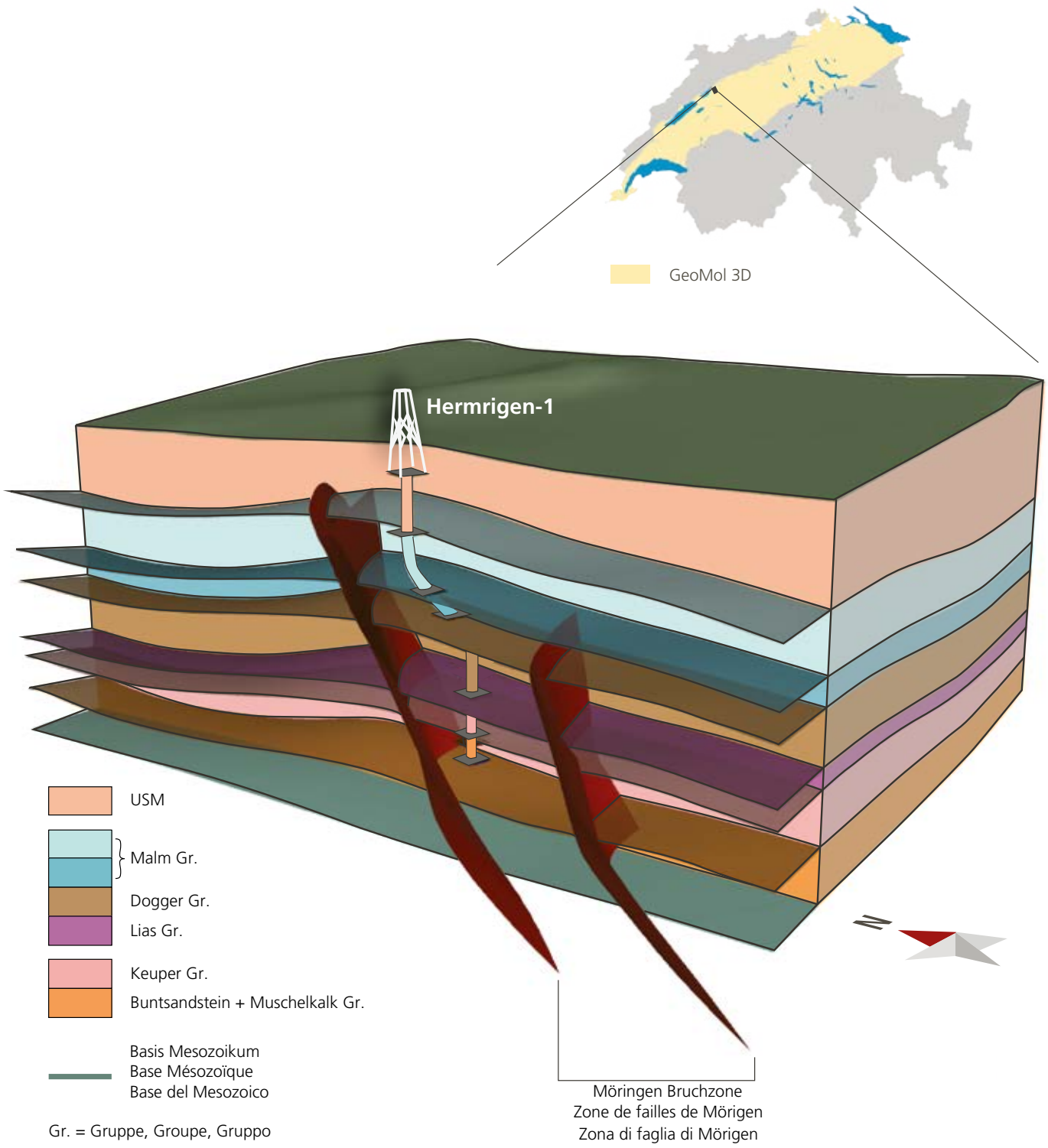
Die sichtbaren Auswirkungen und der Flächenbedarf einer Geothermieanlage sind sehr gering. Der spezifische Flächenbedarf pro erzeugte Energieeinheit liegt tiefer als bei den meisten anderen Energiequellen. Wenn die Nutzung einer geothermischen Ressource abgeschlossen ist, lässt sich die Anlage an der Erdoberfläche ohne grossen Aufwand rückbauen.

AUF DEN ENERGIEBEDARF AUSGERICHTETE LÖSUNGEN

Die geothermische Energie kann zum Heizen und Kühlen sowie für die Stromerzeugung genutzt werden. Ein Geothermiekraftwerk lässt sich genau nach den Schwankungen der benötigten Leistung steuern. Falls die Qualität der geothermischen Ressource nicht ausreicht, um in den Wintermonaten die Spitzen des Wärmeverbrauchs zu decken, kann die Geothermie mit anderen Energieträgern gekoppelt werden, wie beispielsweise mit der Nutzung von Abwärme, mit der thermischen Solarenergie, mit Energie aus Biomasse, mit Gas und mit Öl.

SPEICHERKAPAZITÄT

Der Untergrund lässt sich als geothermischer Speicher verwenden, um die Nutzung einer erzeugten Energie aufzuschieben bis Bedarf besteht. So kann beispielsweise im Sommer einem Gebäude Wärme entzogen und in den Untergrund injiziert werden. Diese Wärme wird im Winter zurückgewonnen, um das Gebäude zu heizen.



Um detaillierte Kenntnisse über die Beschaffenheit des Untergrunds zu erlangen, müssen Bohrungen vorgenommen werden. Diese tragen dazu bei, 3D-Modelle der geologischen Schichten und Strukturen zu erarbeiten. Dabei handelt es sich um eine wichtige Phase jedes Projekts für tiefe Geothermie. Quelle: swisstopo

ZWEI GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

Die grössten Herausforderungen dieser Energiequelle betreffen in erster Linie Anlagen, mit denen die Wärme aus grosser Tiefe erschlossen wird.

UNSICHERHEITEN BEZÜGLICH DES UNTERGRUNDS

Ohne Bohrung ist es schwierig, die Eigenschaften des tiefen Untergrunds abzuschätzen (Brüche, Spalten, Porosität, Durchlässigkeit) und die Position und Ausdehnung der natürlichen unterirdischen Fliesswege vorherzusehen, durch die das geothermische Fluid fliessen kann. Länder, die seit langem ihre Gas- oder Ölvorkommen nutzen, haben bereits in grossen Teilen ihres Untergrunds Bohrungen vorgenommen. Auf diese Weise haben sie detaillierte Kenntnisse über die Beschaffenheit des Untergrunds erlangt. In der Schweiz haben bislang lediglich 16 Tiefenbohrungen punktuell nützliche Hinweise geliefert.

HOHE ANFANGSINVESTITION FÜR DIE TIEFE GEOTHERMIE

Wie bei anderen erneuerbaren Energien fallen bei der Geothermie verhältnismässig tiefe Betriebskosten an. Hingegen wird die Errichtung von grossen geothermischen Kraftwerken häufig durch die hohen Investitionskosten behindert. Um sich Gewissheit über das Bestehen einer geothermischen Ressource zu verschaffen, muss eine erste Bohrung vorgenommen werden. Wie bei jeder Untersuchung des Untergrunds (Abklärung von Öl-, Gas-, Wasser-, Erzvorkommen) ist damit das Risiko eines Misserfolgs verbunden. In der Explorationsphase (Tiefenbohrungen und Tests) fallen 65 bis 75% der gesamten Investitionskosten an.

2014 WIESEN DIE IN 26 LÄNDERN ERRICHTETEN GEOTHERMIEKRAFTWERKE EINE GESAMTLEISTUNG VON 13’000 MW AUF. DIES ENTSPRICHT UNGEFÄHR DER GESAMTLEISTUNG ALLER IN DER SCHWEIZ INSTALLIERTEN STROM-PRODUKTIONSANLAGEN.

DIE GESCHICHTE DER GEOTHERMIE

Vor 15’000 bis 20’000 Jahren hat der Mensch damit begonnen, Fumarolen und warme Quellen in vulkanischen Gebieten zum Heizen, Kochen und Baden zu nutzen. Später wurden Thermalbäder gebaut und Fangobehandlungen mit Schlammpackungen angewandt, vor allem von den Römern.

Ab dem Jahr 1330 wird in französischen und italienischen Archiven die gewerbliche Nutzung der Erdwärme für das Waschen von Wolle und Häuten oder die Extraktion von chemischen Substanzen erwähnt.

Erst im 19. Jahrhundert entwickelte sich die industrielle Nutzung der Erdwärme. Dies wurde durch den technischen Fortschritt und die bessere Kenntnis des Untergrunds ermöglicht.

1930 wurde in Reykjavik (Island) das erste moderne, mit Geothermie versorgte Fernwärmenetz errichtet. Seither wurden in Europa und in den Vereinigten Staaten zahlreiche Fernwärmenetze auf der Basis der Geothermie in Betrieb genommen.

1904 wurde in Larderello, Italien, weltweit zum ersten Mal Strom aus Geothermie erzeugt. Am gleichen Ort wurde 1913 das erste Geothermiekraftwerk errichtet. Was die Entwicklung und Nutzung der Geothermie zur Stromerzeugung betrifft, gehörten im 20. Jahrhundert auch Japan, die Vereinigten Staaten und Neuseeland zu den Wegbereitern.

Erst seit den 1970er-Jahren weist die Geothermie weltweit einen signifikanten Anteil an der Strom- und Wärmeerzeugung auf. Gefördert wurde diese Entwicklung durch die Ölkrisen und das Bestreben gewisser Länder, für die Erzeugung der benötigten Energie eine im eigenen Land verfügbare Ressource zu verwenden.

Larderello 1904: Eine mit geothermischem Dampf betriebene Turbine ist mit einem Dynamo verbunden und erzeugt, erstmals in der Geschichte, elektrische Energie aus Geothermie. Quelle: Enel Green Power - Geotermia

VIELFÄLTIGE ANWENDUNGSFORMEN DANK BEWÄHRTEN TECHNIKEN

ES WURDEN VERSCHIEDENE TECHNOLOGIEN ENTWICKELT, UM DIE DEM UNTERGRUND ENTZOGENE ENERGIE ZU HEIZ- UND KÜHLZWECKEN SOWIE FÜR DIE STROMERZEUGUNG ZU NUTZEN. DIE MEISTEN DIESER TECHNOLOGIEN HABEN SICH BEREITS SEIT JAHRZEHNTEN BEWÄHRT, UND MIT DER ZEIT WURDEN SIE IMMER LEISTUNGSFÄHIGER.

VERSCHIEDENE ARTEN VON GEOTHERMIE

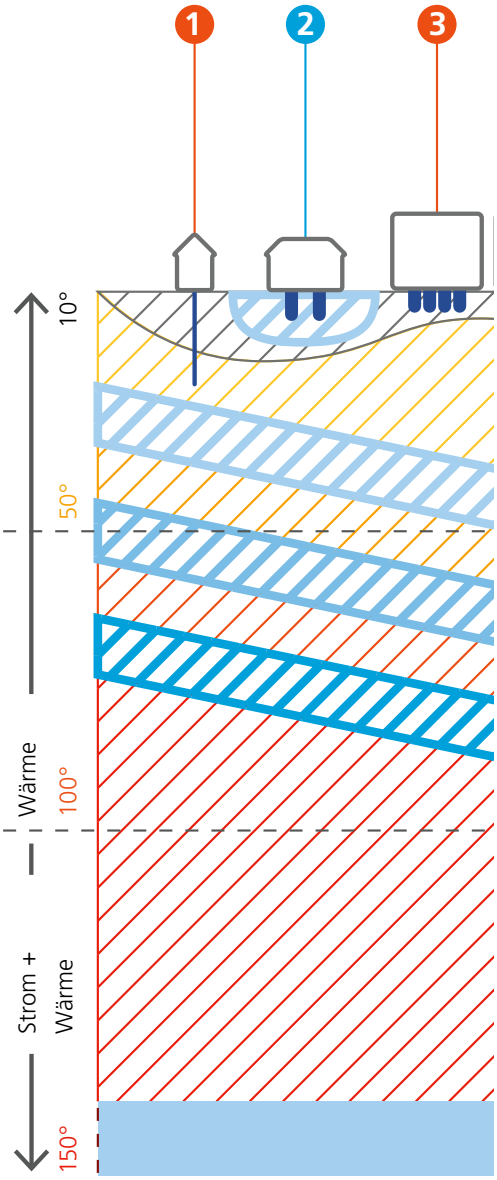
1. Erdwärmesonden/Erdwärmekorb, - register
2. Grundwassernutzung
3. Geostrukturen
4. Erdwärmesondenfeld
5. Tiefe Erdwärmesonde

6. Thermalbad

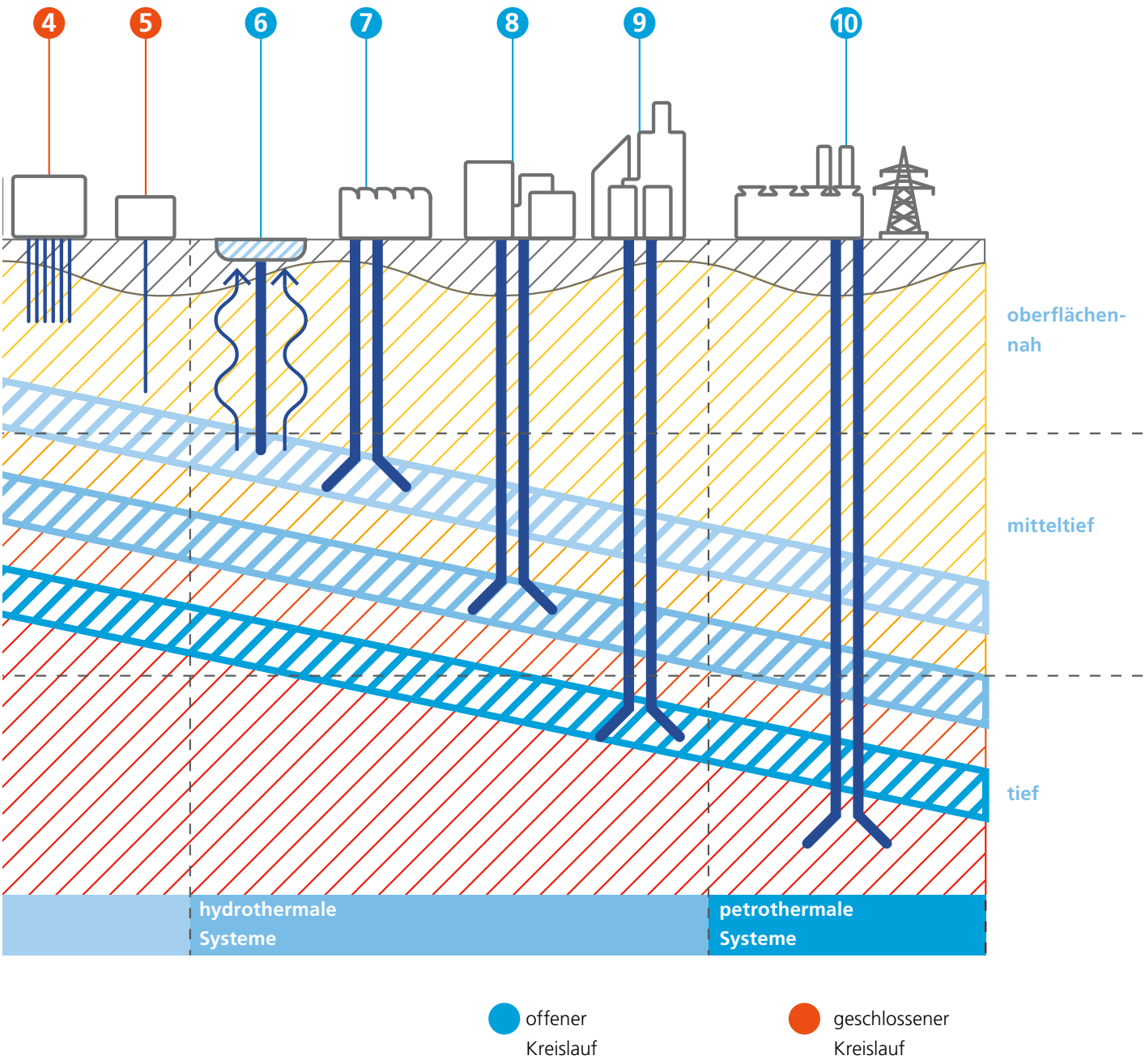
Hydrothermale Systeme, mitteltief:

7. Wärme für Landwirtschaft, Industrie
8. Wärme für Heizen und Warmwasser

9. Hydrothermale Systeme, tief: Wärme und Strom
10. Petrothermale Systeme: Wärme und Strom



Die Geothermie auf der Basis von stimulierten Systemen in grosser Tiefe (petrothermale Geothermie oder EGS) dagegen befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Sie weist ein riesiges Potenzial auf, denn sie ermöglicht das Entziehen von Wärme und die Stromerzeugung durch die Extraktion von Energie im Untergrund unter praktisch allen geologischen Bedingungen. Was die verschiedenen geothermischen Systeme anbelangt, wird grundsätzlich zwischen den folgenden beiden Systemen unterschieden: zum einen die Systeme mit offenem Kreislauf, die natürlich vorhandenes Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit nutzen, und zum anderen die Systeme mit geschlossenem Kreislauf, in diesen eine Wärmeträgerflüssigkeit (eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel) zirkuliert, um die Wärmeenergie in der Tiefe aufzunehmen. Für alle diese Systeme sind Bohrungen und permanente Anlagen erforderlich.



Für die Wärme- und Kälteversorgung im Energieverbund Aargauertrasse in Zürich werden Grundwasser und Abwärme aus dem Swisscom-Rechenzentrum genutzt. Quelle: ewz

HEIZEN UND KÜHLEN

Ab einer Tiefe von einigen Metern ist die Temperatur des Untergrunds während des ganzen Jahres konstant. In diesem Bereich kann Wärmeenergie entzogen und gespeichert werden. Diese lässt sich zum Heizen und Kühlen verwenden. Ein entscheidendes Kriterium für die Wahl des geothermischen Systems ist das Vorhandensein von Wasser im Boden. Denn das Wasser erhöht die Wärmeleitfähigkeit des Bodens und bewirkt, dass die Energie dem Untergrund besser entzogen werden kann.

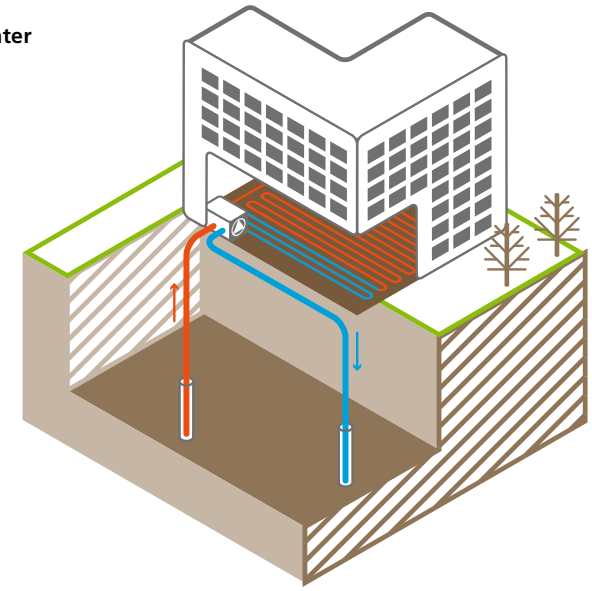
Man spricht von Freecooling oder Geocooling, wenn Gebäude gekühlt werden können, indem man die Wärmeträgerflüssigkeit in der Fussbodenheizung zirkulieren lässt. Diese Besonderheit im Energiesektor hat mehrere Vorteile: Das System ermöglicht Komfort im Sommer, regeneriert den Untergrund mit Raumwärme und erspart dem Nutzer eine Kältemaschine.

GRUNDWASSER

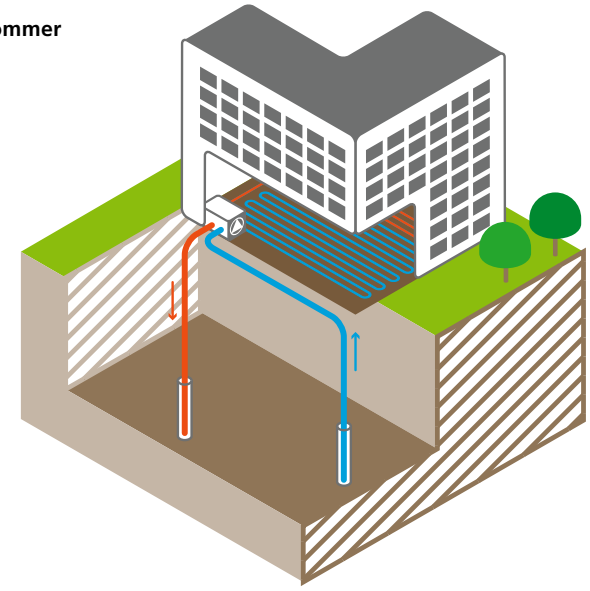
Bei günstigen hydrogeologischen Bedingungen bieten sich Grundwassernutzungen an. Hierbei kann das Wasser, das dem Grundwasser über einen oder mehrere Brunnen in geringer Tiefe entnommen wird, für die Heizung, das Warmwasser oder die Kühlung genutzt werden. Das Grundwasser, dessen Temperatur während des ganzen Jahres stabil ist (5–15 °C), wird mit einer Tauchpumpe entnommen und anschliessend zu einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe geleitet, welche die Wärme an das Heizsystem abgibt und dort die Temperatur noch erhöht. Das abgekühlte Wasser wird über eine Injektionsbohrung oder eine Versickerungsanlage zurückgeführt (siehe untenstehenden Kasten). Im Sommer kann das Grundwasser direkt zur Gebäudekühlung verwendet werden, ohne dass die Wärmepumpe in Betrieb gesetzt wird. Da das Grundwasser häufig für die Trinkwassergewinnung verwendet wird, ist die thermische Nutzung in gewissen Gebieten eingeschränkt, um diese Ressource zu schützen.

Wärme und Kälteproduktion mit Geothermie

Winter



Sommer



SINGLETTE UND DOUBLETTE

Das durch eine Förderbohrung entnommene Wasser ermöglicht den Energietransport vom Untergrund an die Oberfläche. Nachdem die Wärme dem Wasser entzogen wurde, kann der Abfluss des abgekühlten Wassers in die Natur auf verschiedene Weise erfolgen:

- grundsätzlich in einer Injektionsbohrung, welche in einem gewissen Abstand von der ersten Bohrung vorgenommen wird oder über eine Versickerungsanlage (bei Grundwassernutzungen). Dies ist eine sogenannte geothermische Doublette.
- selten an der Oberfläche in einen Wasserlauf oder einen See, wenn das abgekühlte Wasser gering mineralisiert und nicht schweflig ist. Dies wird als geothermische Singlette bezeichnet.

Die geothermische Doublette weist mehrere Vorteile auf: Rückgabe des Wassers in dieselbe Gesteinsschicht dank einem geschlossenen Kreislauf, Erhaltung des hydraulischen Durchflusses und Stabilität des Betriebsdrucks. Die geothermische Doublette wird bei allen Arten von Aquiferen (Wasser führende Gesteinsschicht) zwischen einigen Metern und mehreren Kilometern Tiefe eingesetzt. Ihre Erstellung unterliegt den Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung.

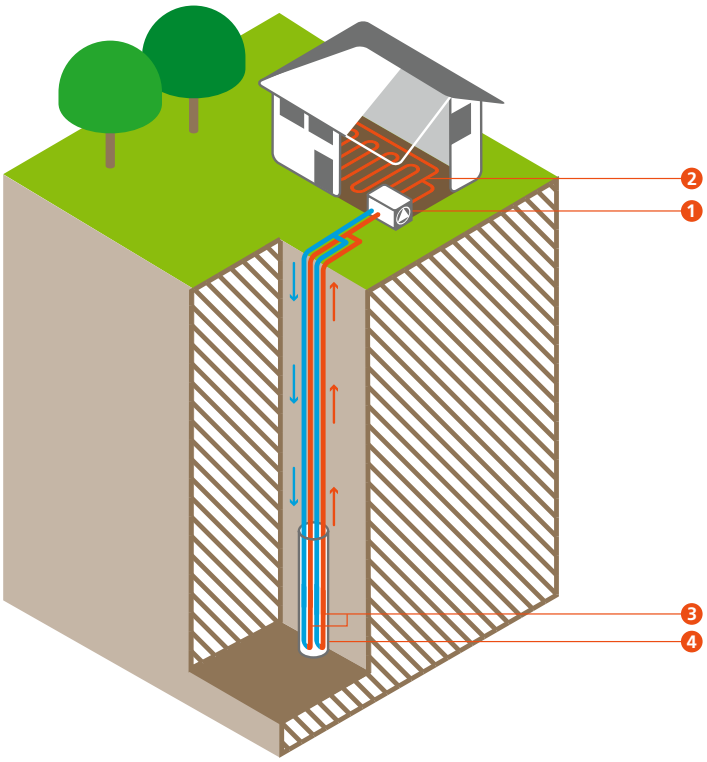
ERDWÄRMESONDEN

Die Wärmeenergie wird aus dem Untergrund gewonnen, indem vertikal ein Wärmetauscher in Form eines Doppel-U-Rohrs (oder manchmal eines Koaxialrohrs) installiert wird, eine sogenannte **vertikale Erdwärmesonde**. Die Bohrungen werden häufig neben, aber manchmal auch unter dem zu beheizenden Gebäude erstellt. Innerhalb der Sonde zirkuliert Wärmeträgerflüssigkeit in einem geschlossenen Kreislauf, entzieht dem Untergrund Wärmeenergie und liefert diese zur Sole-Wasser-Wärmepumpe im Haus. Diese Wärmepumpe zieht die Erdwärme ab und leitet sie in den Heizkreislauf (Fussbodenheizung oder Radiatoren). In der Regel dient sie auch zur Warmwasseraufbereitung.

Die vertikale Erdwärmesonde kann technisch gesehen in jedem geologischen Umfeld installiert werden, sofern das nutzbare Grundwasser geschützt bleibt (insbesondere bei einer Trinkwassernutzung). Die Tiefe der Sonde hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens, von der Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe und vom Wärmebedarf ab. Bei einem Einfamilienhaus reicht, je nach Grösse des Hauses und seiner Wärmedämmung, eine Sondentiefe von 100 bis 200 Metern aus.

vertikale Erdwärmesonde

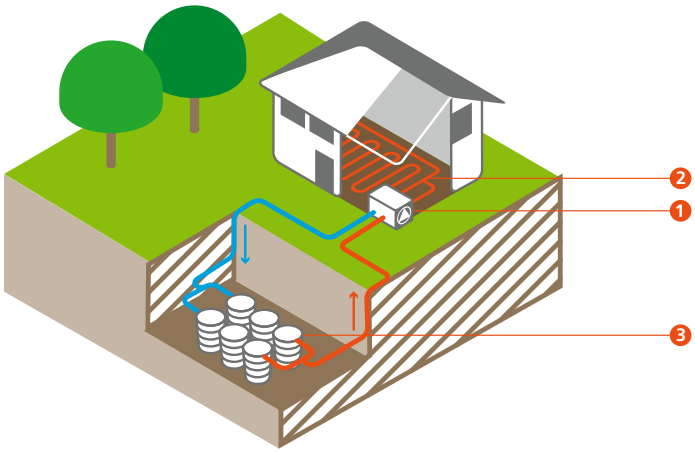
1. Wärmepumpe
2. Bodenheizung
3. Wärmetauscher – Doppel-U-Rohr
4. Bohrung (< 20 cm Durchmesser)



Falls nicht in die Tiefe gebohrt werden kann, aber eine grosse Grundstücksfläche vorhanden ist, stehen alternativ **Erdwärmekörbe** oder **Erdwärmeregister** zur Auswahl, deren Installation in geringer Tiefe erfolgt. Beim ersten System handelt es sich um ein sehr langes, spiralförmiges Rohrbündel. Das zweite System ist ein Netz aus horizontal platzierten Wärmekollektoren. In den Kollektoren zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit bis zur Wärmepumpe.

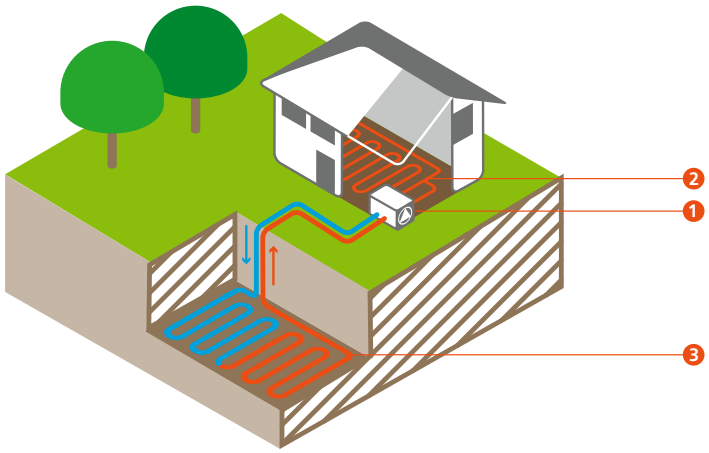
Erdwärmekorb

1. Wärmepumpe
2. Bodenheizung
3. Erdwärmekörbe



Horizontal Kollektoren

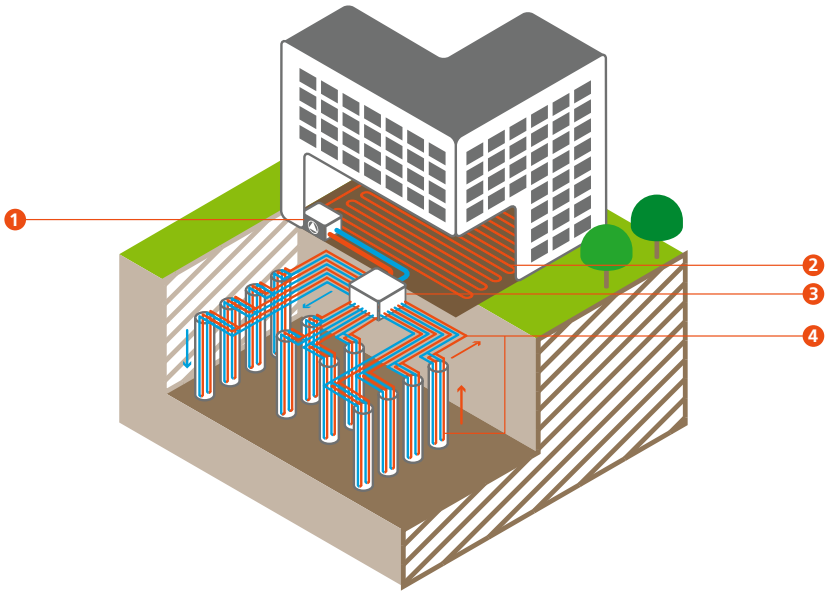
1. Wärmepumpe
2. Bodenheizung
3. Horizontal Kollektoren



Die Zusammenlegung von vielen vertikalen **Erdwärmesonden**, ein sogenanntes Erdwärmesondenfeld, ermöglicht die Nutzung des Erdreichs zum Heizen und Kühlen von grösseren Wohnbauten oder von Industrie- und Verwaltungsgebäuden. Die Erdwärmesonden werden an einen Verteiler angeschlossen, der eine oder mehrere Wärmepumpen versorgt. Die Erdwärme wird dem Untergrund während der Heizsaison entzogen. Für die Gebäudekühlung im Sommer wird die Wärme aus den Gebäuden in das Erdwärmesondenfeld injiziert, womit der Erdspeicher wieder mit Wärme aufgeladen wird. Dies wird als geothermische Speicherung bezeichnet.

Erdwärmesondenfeld

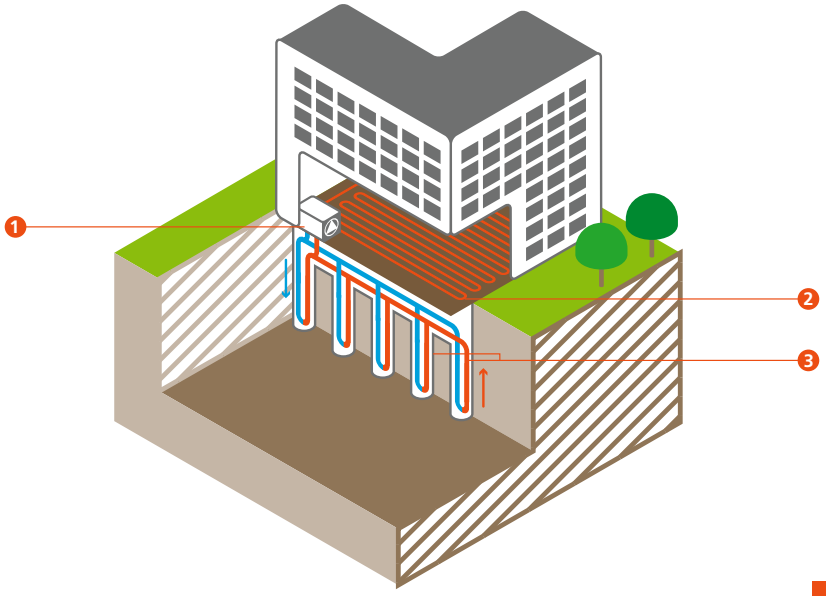
1. Wärmepumpe
2. Bodenheizung
3. Verteiler/Sammler
4. Erdwärmesondenfeld



Nach dem gleichen Prinzip wie die vertikalen Erdwärmesonden werden **Geostrukturen** (z. B. Energiepfähle) bei grossen Gebäuden verwendet, wenn das Erdreich etwas unstabil ist und ohnehin Fundamentpfähle angebracht werden müssen. Bei diesen Geostrukturen handelt es sich um Pfeiler und Wände, die bis in einer Tiefe von 10 bis 100 Metern installiert werden und das Gebäudefundament sicherstellen. Sie verwenden die gleiche Technik wie Erdwärmesonden indem eine Wärmeträgerflüssigkeit durch die Wärmetauscher fliesst. Das Systemprinzip für das Heizen im Winter und das Kühlen im Sommer ist vergleichbar mit einem Erdwärmesondenfeld. Die Leitungen führen zu einem Verteiler, der eine oder mehrere Wärmepumpen versorgt. Bei einem Bauvorhaben muss diese Technologie von Anfang an in das Projekt integriert werden.

Geostrukturen

1. Wärmepumpen
2. Bodenheizung
3. Fundationspfähle, die mit Wärmetauschern ausgerüstet sind

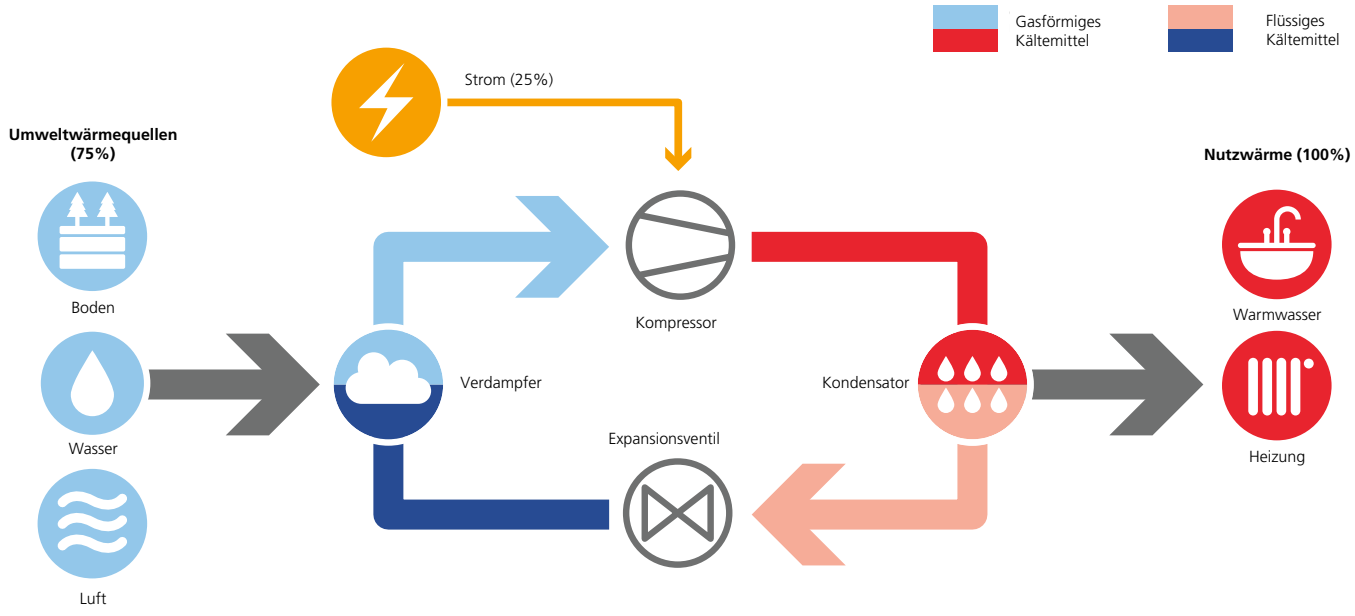


WAS IST EINE WÄRMEPUMPE (WP)?

Eine Wärmepumpe ist ein Wärme- oder Kälteerzeuger, welcher der Umwelt (Boden, Wasser oder Luft) Wärmeenergie entzieht bzw. zuführt. Im Rahmen der Geothermie wird die Wärme aus dem Untergrund zum Kältemittel der Wärmepumpe geleitet. Anschliessend verwandelt sich das Kältemittel in Dampf. Dieser wird in der Folge komprimiert, wodurch sich seine Temperatur erhöht. In einem nächsten Schritt gelangt der Dampf in einen Kondensator, wo er sich wieder verflüssigt und die Wärme an den Heizkreislauf abgibt. Die Wärme wird somit im Kondensator freigesetzt und an die Wärmeträgerflüssigkeit im Heizkreislauf abgegeben, die durch die Radiatoren oder die Fussbodenheizung zirkuliert. Schliesslich wird die Flüssigkeit der Wärmepumpe entspannt (ihr Druck und ihre Temperatur nehmen ab), und sie kehrt in den Verdampfer zurück, wo sie erneut die Wärme aus dem Untergrund aufnehmen kann.

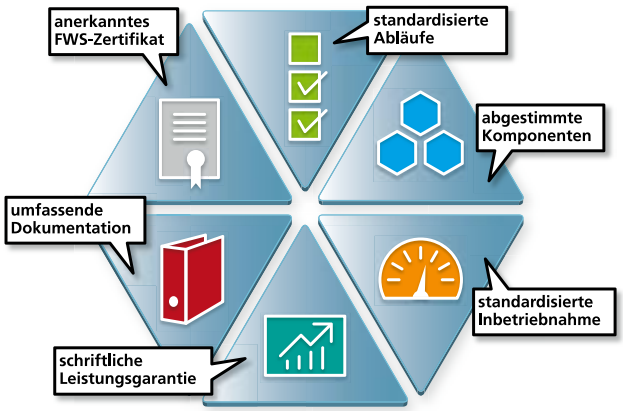
Die Komprimierung des Kältemittels benötigt elektrische Energie. Doch die gesamte Energie, die durch die Wärmepumpe in Form von Wärme abgegeben wird, ist deutlich höher, als der Strombedarf, der für den Betrieb des Systems nötig ist. Bei einer Erdwärmesonden-Anlage liefert die Wärmepumpe vier bis fünf Mal mehr Energie an das System, als sie für ihren Betrieb benötigt. In diesem Zusammenhang spricht man von der Leistungszahl. Diese ist umso höher, desto geringer der Temperaturunterschied zwischen der Temperatur der Wärmequelle und der Nutztemperatur für die Raumwärme ist.

Falls es sich um eine reversible Wärmepumpe handelt, kann sie auch zur Kühlung eingesetzt werden, indem der Betriebskreislauf umgekehrt wird. Mit Wärmepumpen können die CO_2-Emissionen reduziert werden, um bis zu 80% im Vergleich mit einer modernen Ölheizung und um bis zu 70% gegenüber einer Gasheizung.



Das Schweizer Label «Wärmepumpen-System-Modul» ermöglicht die Erstellung von sehr effizienten Wärmepumpen-Anlagen – sowohl bei Sanierungen als auch bei Neubauten. Der neue Standard macht Offerten vergleichbar, regelt die Schnittstellen und sorgt dafür, dass alle Leistungen auch tatsächlich erbracht werden. Mindestens jede fünfte Anlage wird im Rahmen eines engen Qualitätssicherheitssystems geprüft.

Weitere Informationen finden Sie unter:
www.wp-systemmodul.ch



Quelle: Publikation «Die Wärmepumpen-Heizung – Sicher, effizient, nachhaltig», BFE 2015

THERMALQUELLEN

Die meisten natürlichen warmen Quellen werden in der Regel für Thermalbäder genutzt. Nach dem Kaskadenprinzip (unterschiedliche Verwendung bei abnehmender Temperatur) kann die Restwärme anschliessend für die Gebäudeheizung und das Warmwasser dienen. Nach der Abkühlung wird das Wasser an der Oberfläche abgeleitet, beispielsweise zu einem Wasserlauf, oder in den Aquifer reinjiziert (siehe Kasten S.17).

DURCH TUNNELS DRAINIERTES WASSER

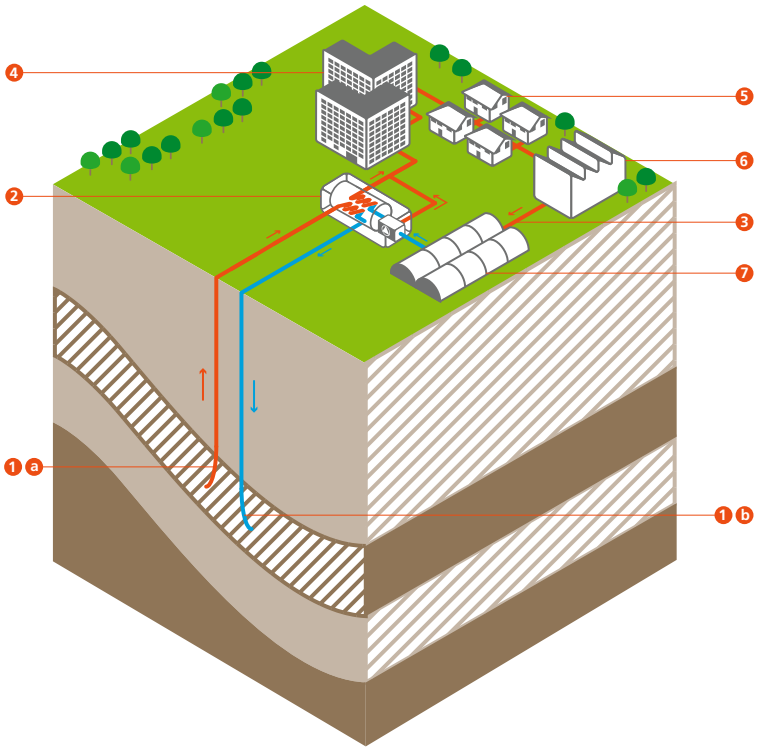
Grundwasser, das bei der Errichtung von Tunnels abgeführt wird, steht an den Portalen (Ausgängen) der Tunnels als Niedertemperatur-Energiequelle für die Beheizung und Kühlung von Gebäuden, die Warmwasseraufbereitung sowie für landwirtschaftliche und industrielle Prozesse zur Verfügung. Dies setzt voraus, dass sich die Bezüger dieser überschüssigen Wärme in der Nähe der Tunnelausgänge befinden.

HYDROTHERMALE GEOTHERMIE IN MITTLERER TIEFE

Dieses System nutzt das im Untergrund natürlich vorkommende Wasser. Die Aquifere (Wasser führende Schichten), die normalerweise in Sedimentschichten von 500 bis 3000 Metern liegen, dienen als Reservoir und Wärmetauscher. Sie geben die Möglichkeit, die Wärme des Untergrunds über ein Fernwärmenetz zu nutzen. Die nicht direkt fürs Fernwärmenetz verwendete Wärme kann für weitere Nutzungen verwendet werden: z. B. Fischzucht, Bäderkuren, Wärmeversorgung von Schwimmbädern, Beheizung von Gewächshäusern, industrielle oder landwirtschaftliche Prozesse (Nutzung nach dem Kaskadenprinzip). Mit dem ergänzenden Einsatz einer Wärmepumpe kann die Temperatur in gewissen Fällen erhöht werden.

Geothermische Systeme können mit anderen erneuerbaren Energien wie thermische Solarenergie, Biomasse und Abwärmenutzung, aber auch mit nicht erneuerbaren Energien wie Gas und Öl gekoppelt werden. Diese Modularität erleichtert den Einsatz von erneuerbaren Energien.

Hydrothermale Geothermie, mitteltief



1 a Produktionsbohrung
1 b Injektionsbohrung
2 Geothermische Heizzentrale (Wärmetauscher und Wärmepumpe)
3 Fernwärmenetz
4 Gebäude
5 Einfamilienhäuser
6 Industrie
7 Gewächshäuser

« Die Technik der geothermischen Doublette im Pariser Becken ist zu einem Vorzeigeprojekt geworden. Die erste Anlage wurde 1969 in Melun l'Almont realisiert. Die Region Ile-de-France wies 2017 die grösste Dichte von Geothermie-Anlagen weltweit auf. Knapp 40 geothermische Doubletten liefern die Energie für die Heizung und das Warmwasser von über 240'000 Wohnungen. Eine solche Anlage lässt sich durchaus auch in der Schweiz errichten. »

Christian Boissavy, Präsident der Association Française des Professionnels de la Géothermie

STROMERZEUGUNG ALS ZUSÄTZLICHE NUTZUNGSFORM

Sofern die Temperatur des entnommenen Wassers über 100 °C beträgt, kann ihm nicht nur Wärme entzogen werden, sondern es lässt sich auch Elektrizität erzeugen. Damit so hohe Temperaturen erreicht werden, müssen entweder besondere geologische Bedingungen vorliegen oder es muss eine 3000 bis 5000 Meter tiefe Bohrung vorgenommen werden.

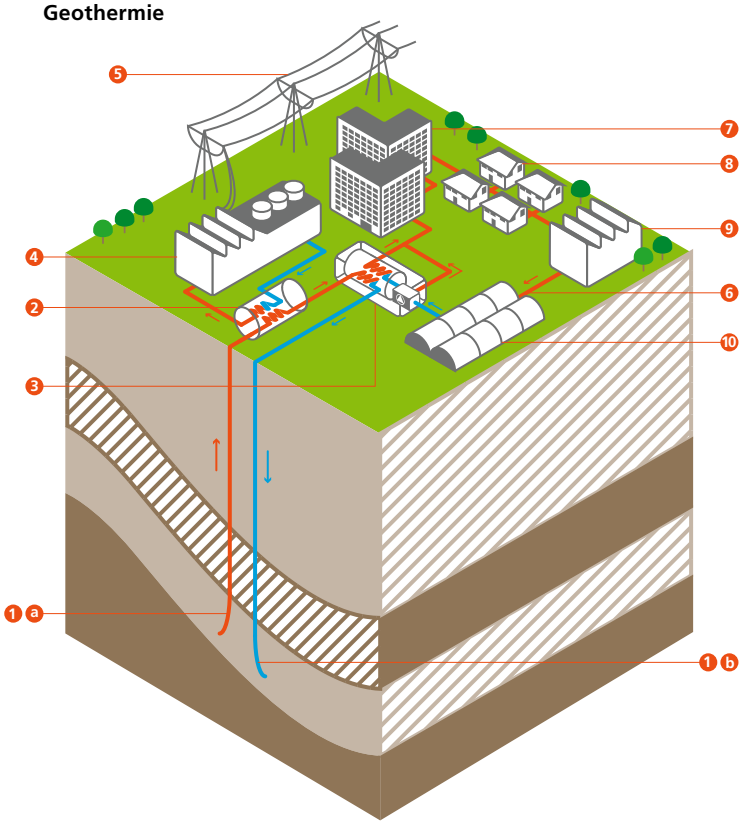
TIEFE HYDROTHERMALE GEOTHERMIE

Ein hydrothermales System in grosser Tiefe nutzt die geothermischen Fluide in den tiefen Aquiferen. Das Wasser wird mittels einer Tiefenbohrung entnommen und anschliessend nach der Abkühlung über eine zweite Bohrung, die in einem gewissen Abstand von der ersten Bohrung vorgenommen wird, reinjiziert (siehe Kasten, S. 17). Der Hauptzweck besteht darin, dem Wasser Wärme zum Heizen, für Warmwasser sowie für landwirtschaftliche und industrielle Prozesse zu entziehen. Unter bestimmten Bedingungen kann auch Strom erzeugt werden:

- Wassertemperatur über 100 °C
- genügend grosses geothermisches Reservoir und ausreichende Durchflussmenge für eine rentable und nachhaltige Stromerzeugung an der Oberfläche

Auch wenn die Art der Gesteinsformationen abgeschätzt werden kann und die hauptsächlichen Bruchzonen lokalisiert werden können, in denen die Bedingungen günstiger sind, müssen Explorationsbohrungen vorgenommen werden. Mit Hilfe solcher Bohrungen ist es möglich, das Vorhandensein produktiver Aquifere zu bestätigen und die Durchlässigkeit, die Durchflussmenge und die Temperatur zu ermitteln. Falls die Durchflussmenge zu gering ist, kann auf verschiedene Techniken wie beispielsweise die hydraulische Stimulation zurückgegriffen werden (siehe Kasten, S. 23). Die Technik mischt sich dann mit der Technik EGS, die auf der folgenden Seite erklärt wird.

Tiefe hydrothermale Geothermie



1a Produktionsbohrung
1b Injektionsbohrung
2 Wärmetauscher
3 Geothermische Heizzentrale (Wärmetauscher und Wärmepumpe)
4 Kraftwerk (Turbine, Generator, Kühlung)
5 Stromeinspeisung ins Netz
6 Fernwärmenetz
7 Gebäude
8 Einfamilienhäuser
9 Industrie
10 Gewächshäuser

MIT DEM WASSER AUS TIEFEN AQUIFEREN WERDEN IN DEUTSCHLAND SOWOHL STROM ALS AUCH WÄRME ERZEUGT

In Deutschland werden rund 30 hydrothermale Geothermieanlagen betrieben, insbesondere im Münchner Becken und in der Oberrheinischen Tiefebene. Diese Anlagen dienen für die Beheizung von Wohngebäuden, Thermalbädern und Gewächshäusern. Gegenwärtig werden rund 150 Projekte lanciert. Ein Teil der geothermischen Anlagen erzeugt auch Elektrizität mit Temperaturen zwischen 110 bis 140 °C. Allein in Südbayern wurden 2015 25 Betriebsbewilligungen und 40 Explorationsbewilligungen erteilt.

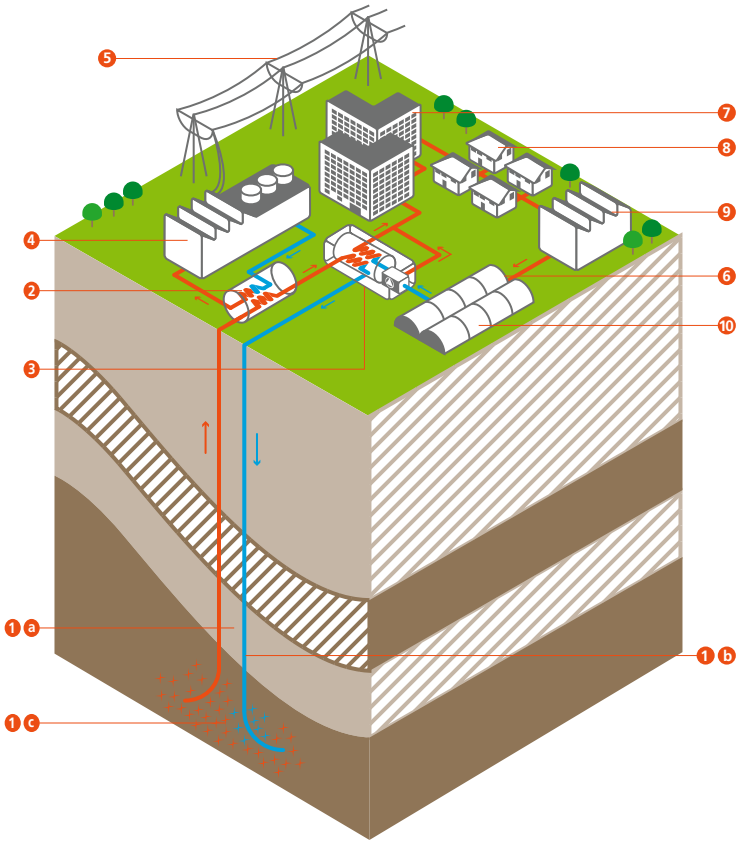
PETROTHERMALE GEOTHERMIE

Im Gegensatz zum hydrothermalen System, bei dem das Wasser natürlich zirkuliert, wird bei der petrothermalen Geothermie die Wärme genutzt, die in grosser Tiefe in kristallinem Gestein (in der Regel Granit) vorhanden ist. Die Durchlässigkeit des Kristallingesteins wird durch hydraulische Stimulation künstlich erhöht, um einen Wärmetauscher und damit ein geklüftetes geothermisches Reservoir zu schaffen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von einem künstlich erzeugten Geothermischen System (EGS, Engineered Geothermal System).

Dank diesem System kann ein Kreislauf geschaffen werden, damit sich das von der Oberfläche in eine Bohrung injizierte Wasser im unterirdischen Wärmetauscher erwärmen und anschliessend durch eine zweite Bohrung am anderen Ende des geothermischen Reservoirs an die Oberfläche und in ein Stromkraftwerk gepumpt werden kann. Dort gibt dieses unter Druck stehende und sehr heisse Wasser (in der Regel > 100 °C) seine Energie an eine Flüssigkeit im Arbeitskreislauf des Stromkraftwerkes ab. Diese verdampft und treibt zur Stromerzeugung eine Turbine und einen Generator an.

Der Hauptzweck dieses Systems ist die Erzeugung von Elektrizität. Nach Möglichkeit wird die Restwärme genutzt. Damit das System effizient betrieben werden kann, muss sich die Wärmequelle möglichst nahe beim Wärmeabnehmer (Industriegebiete, Landwirtschaftszonen) befinden.

Petrothermale Geothermie, tief



- 1a Produktionsbohrung
- 1b Injektionsbohrung
- 1c Stimuliertes Reservoir
- 2 Wärmetauscher
- 3 Geothermische Heizzentrale (Wärmetauscher und Wärmepumpe)
- 4 Kraftwerk (Turbine, Generator, Kühlung)
- 5 Stromeinspeisung ins Netz
- 6 Fernwärmenetz
- 7 Gebäude
- 8 Einfamilienhäuser
- 9 Industrie
- 10 Gewächshäuser

HYDRAULISCHE UND/ODER CHEMISCHE STIMULATION

Diese Technik wird im Rahmen von geothermischen Systemen in grosser Tiefe eingesetzt, um die Zirkulation der Flüssigkeiten um die Bohrung zu verbessern. Mit der hydraulischen Stimulation können bestehende Spalten wieder geöffnet werden, indem über einen kurzen Zeitraum eine Flüssigkeit injiziert wird. Die chemische Stimulation dient dazu, diese Öffnungen lokal zu erweitern, indem kleine Mengen von Säuren injiziert werden. Diese lösen hydrothermale Ablagerungen und Bohrspülrückstände auf. Die Säure reagiert rasch mit den Ablagerungen und wird innerhalb einiger Minuten resorbiert. Diese beiden Stimulationsarten können beim gleichen Geothermiestandort eingesetzt werden.

Eine neue Technik besteht darin, dass entlang einer horizontalen Bohrung zahlreiche kleine Stimulationen vorgenommen werden und auf diese Weise eine grosse Zahl von natürlichen vertikalen Spalten geschaffen wird. Diese Methode ist darauf ausgerichtet, die induzierte Seismizität unterhalb der Schwelle von ersten Schäden zu halten. Mit diesem Ansatz soll zudem eine bessere Energieeffizienz gewährleistet werden, indem zwischen den Produktionsbohrungen und Injektionsbohrungen viel mehr mögliche Durchflusswege für das Wasser bestehen. Dieses Verfahren wurde in der Schweiz von der Geo-Energie Suisse AG unter der Bezeichnung «Multistage-Stimulationsverfahren» entwickelt (Mehrstufen-Stimulation von isolierten Segmenten). Es wird im Jura beim Geothermieprojekt in der Gemeinde Haute-Sorne angewandt (siehe S. 33).

Die Umweltrisiken werden auf ein akzeptables Niveau limitiert: Unversehrtheit der Bohrung, kontrollierte Seismizität, Überwachung des Drucks der injizierten Flüssigkeit, Einsatz von chemischen Produkten ohne schädliche Auswirkungen auf die Umwelt, Überwachung.

EINE UMWELTFREUNDLICHE ENERGIE

EINER DER HAUPTVORTEILE DER GEOTHERMIE BESTEHT DARIN, DASS DIESE ENERGIE PRAKTISCH KEINE CO_2-EMISSIONEN VERURSACHT UND DIE NATÜRLICHE UMGEBUNG NICHT BELASTET. SIE HAT AUCH NUR GERINGE AUSWIRKUNGEN AUF DIE LANDSCHAFT. WIE JEDE TECHNOLOGIE IST AUCH DIE GEOTHERMISCHE ENERGIE MIT GEWISSEN RISIKEN VERBUNDEN. DIESE TRETEN HAUPTSÄCHLICH WÄHREND DER BAUPHASE AUF. WENN JEDOCH DIE EINGESETZTEN TECHNOLOGIEN UND ANLAGEN FACHGERECHT INSTALLIERT UND BETRIEBEN WERDEN, LASSEN SICH DIE BESTEHENDEN RISIKEN WEITESTGEHEND VERMEIDEN.

GERINGE AUSWIRKUNGEN AUF DIE UMWELT

Während der Betriebsphase funktioniert eine Geothermieanlage ohne fossile Brennstoffe (womit keine Brennstoffe transportiert und gelagert werden müssen), und sie gibt keine toxischen Substanzen an die Umwelt ab. Das in der Tiefe entnommene Wasser enthält in gewissen Fällen chemische Elemente, die im Gestein, in dem es zirkuliert, natürlich vorhanden sind. Doch keines dieser Elemente wird an der Oberfläche an die Umwelt abgegeben, da die Flüssigkeit reinjiziert wird, damit sie erneut erwärmt werden kann. Die geringen Auswirkungen einer Geothermieanlage auf die Umwelt hängen mit den Bohrarbeiten und dem Rückbau sowie mit dem Stromkonsum der Zirkulationspumpen und/oder Wärmepumpe zusammen.

Es ist auch darauf hinzuweisen, dass die Landschaft durch die Geothermie wenig beeinträchtigt wird. Die Erdwärmesonden und die Bohrungen in die tiefen Aquifere für die Beheizung von Quartieren sind nicht bzw. kaum sichtbar. Dies gilt unabhängig von der Tiefe der Sonden und Bohrungen. Die Heizzentralen, an die diese Anlagen angeschlossen sind, befinden sich im Untergeschoss der zu beheizenden Gebäude oder in Gebäuden, die den klassischen Heizungsanlagen gleichen. Moderne Geothermiekraftwerke sind sehr kompakt und können problemlos in die Landschaft integriert werden. So wird für den Bau einer Geothermieanlage mit einer Leistung von 5 MW_{el}, die Elektrizität für rund 6000 Haushalte liefert, lediglich die Fläche eines Fussballfelds benötigt.

Die Lärmbelastung hängt hauptsächlich mit den Bauarbeiten für die Realisierung der Bohrungen und mit dem damit verbundenen Baustellenverkehr zusammen. Falls jedoch die Geothermieanlage Strom erzeugt, verursacht der Betrieb der Luftkondensatoren gewisse Geräuschemissionen.

GEFAHR EINER GEWÄSSERVERSCHMUTZUNG

Durch die Nutzung der Erdwärme wird die Qualität des Oberflächenwassers und des Grundwassers nicht beeinträchtigt. Wird indessen eine Bohrung nicht fachgerecht durchgeführt oder ist der Standort für ein Geothermieprojekt nicht geeignet, bestehen gewisse Risiken. Jede Geothermieanlage untersteht den Gewässer- und Umweltschutzvorschriften. Dadurch wird das Risiko einer Gewässerverschmutzung auf ein Mindestmass beschränkt.

« Im Bereich der Gebäudeheizung ist die Geothermie sowohl in ökologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht bereits konkurrenzlos. Wir müssen unsere Anstrengungen in Bezug auf die Stromerzeugung weiterführen, um zu sehen, ob sich auch in diesem Bereich ein ähnlicher Erfolg einstellt. »

Pierrette Rey, Pressesprecherin des WWF für die Westschweiz

EXTERNE EFFEKTE DER TIEFEN GEOTHERMIE IN DER BOHR- UND BETRIEBSPHASE

UMWELT	BOHRPHASE	BETRIEBSPHASE
BODEN	1–2 Hektare (je nach Tiefe der Bohrung)	Minim (unter Umständen im Untergrund oder in einem Gebäude)
LUFT	Beherrschbares Risiko einer Freisetzung von Gas	Keine CO_2-Emissionen, keine toxischen Gase (geschlossener Kreislauf)
WASSER	Risiko einer Verschmutzung und einer Veränderung der hydrogeologischen Bedingungen	Risiko einer Verschmutzung und einer Veränderung der hydrogeologischen Bedingungen
LÄRM	Verkehr und Bohrgerät	Bei Stromproduktion (Luftkühlsystem)
GERUCH	Gefahr einer Freisetzung bei der Bohrung	Minim
OPTISCHE BEEINTRÄCHTIGUNG	Bohrturm	Minim ohne Kraftwerk (Installationen im Untergrund oder in einem Gebäude) Erheblicher bei einem Kraftwerk
FAUNA UND FLORA	Risiko einer Beeinträchtigung des natürlichen Gleichgewichts durch die Baustelle (Licht, künstliche Wasserfläche, Fällen von Bäumen usw.)	Minim
SEISMIZITÄT	Induzierte Seismizität, die zu Schäden führen kann	Induzierte Seismizität, die zu Schäden führen kann
TRANSPORT UND TREIBSTOFF	Baustellenverkehr	Minim
ABFALL	Umgang mit dem Bohrschlamm	Minim
REVERSIBILITÄT	Zementierung und Verschluss des Bohrlochs	Rückbau der Anlage (Bohrung nicht reversibel)

Minime oder keine Beeinträchtigungen — Risiken — Potenziell erhebliche Beeinträchtigungen

DIE GEOTHERMIE DECKT AKTUELL 1% DES WELTWEITEN ENERGIEVERBRAUCHS (WÄRME UND ELEKTRIZITÄT).

GEOTHERMIE IN DER WELT

2014 betrug die elektrische Gesamtleistung der in 26 Ländern bestehenden Geothermiekraftwerke 13 Gigawatt (GW). Gemäss den Prognosen wird dieser Wert bis 2020 auf 21 GW ansteigen. Diese Anlagen erzeugten 73'500 Gigawattstunden (GWh) Strom, was 0,3% des weltweiten Verbrauchs entspricht. Mit einer installierten Leistung von 3,4 GW liegen die Vereinigten Staaten an der Spitze der Länder, die aus Geothermie Strom produzieren. Dahinter folgen die Philippinen, Indonesien, Mexiko und Italien, das in Europa mit 0,9 GW den ersten Rang belegt. Die leistungsfähigsten und effizientesten Anlagen befinden sich in Vulkanregionen und entlang von tektonisch aktiven Gebieten. In diesen Regionen können in einer Tiefe von 1000 bis 3000 Metern Fluide mit einer Temperatur von mehr als 200 °C gefasst werden. Diese werden in der Folge genutzt, um mit einer Dampfturbine Elektrizität zu erzeugen.

Die Gesamtleistung der Geothermieanlagen, die in 82 Ländern mit geothermischer Energie Wärme erzeugen, wurde 2014 auf 70 GW geschätzt.

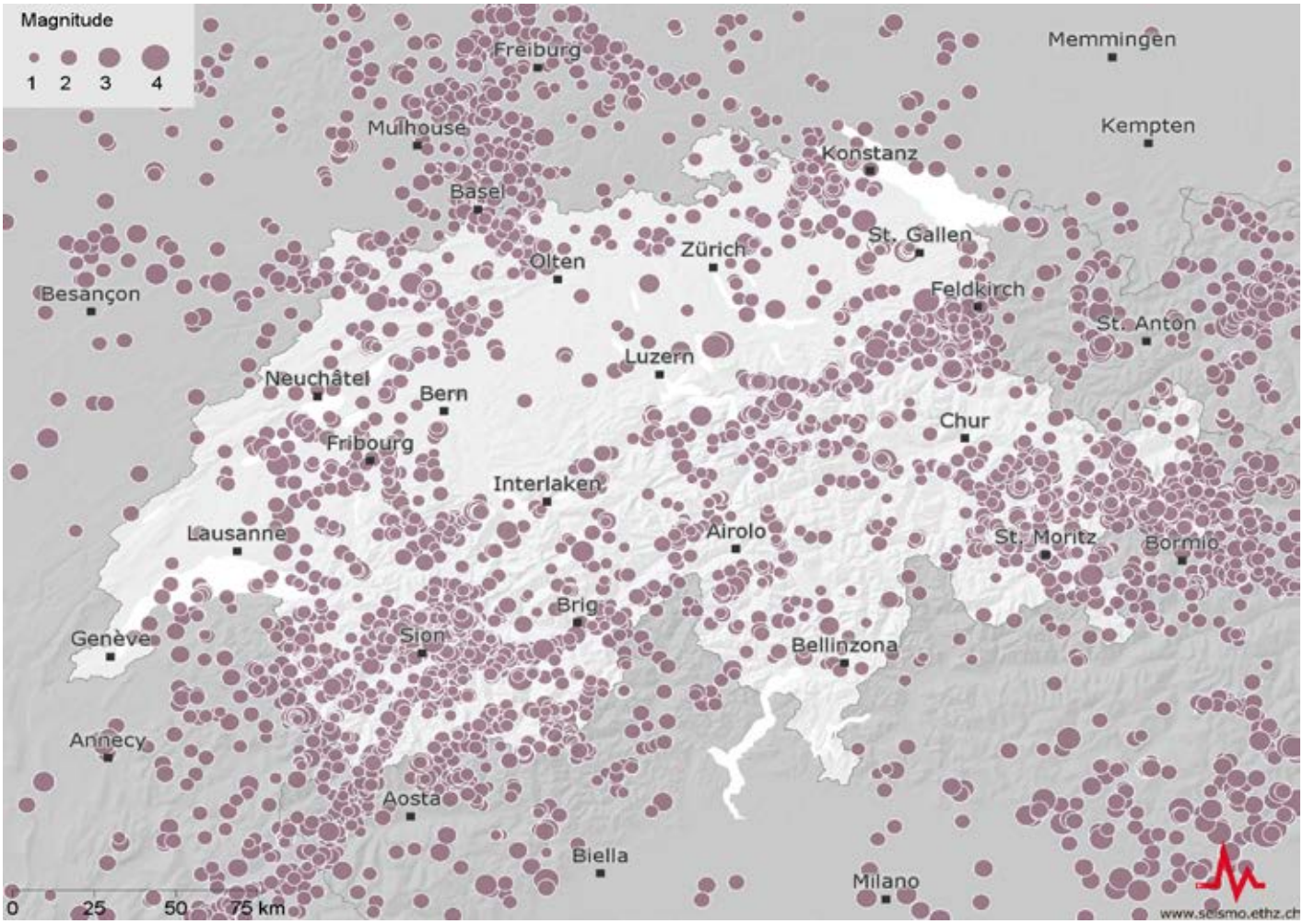
Geysire und Vulkane kommen vor allem entlang der Kontinentalplatten vor. Quelle: iStockphoto

ERDBEBENRISIKEN

Diese Risikoart bezieht sich nur auf die tiefe Geothermie und insbesondere auf die petrothermale Geothermie. Bei stimulierten geothermischen Systemen (siehe Kasten S. 23) wird Wasser unter Druck in das Gestein injiziert, um die Entstehung von Spalten zu bewirken oder bestehende Spalten zu erweitern. Dies hat den Zweck, einen Wärmetauscher zu realisieren. Dieses Verfahren hat zahlreiche Mikrobeben zur Folge, die praktisch alle nicht von der lokalen Bevölkerung wahrgenommen werden. Hingegen liefern sie wertvolle Informationen zur Grösse und Ausdehnung des geothermischen Reservoirs. In einem geringeren Ausmass ist auch während der Betriebsphase einer Geothermieanlage eine schwache induzierte Seismizität zu verzeichnen.

Dank mehreren innovativen Techniken ist es möglich, diese Risikoart zu antizipieren und die induzierten Mikrobeben auf ein annehmbares Niveau zu begrenzen. Ausserdem stehen Systeme zur Registrierung und Überwachung von mikroseismischen Ereignissen zur Verfügung, so dass die geothermischen Aktivitäten unterbrochen werden können, wenn die Häufigkeit und Intensität von Mikrobeben zunehmen. Doch obwohl die Mikroseismizität immer besser überwacht und kontrolliert wird, ist es zurzeit nicht möglich, diese Art von Ereignissen vollständig auszuschliessen oder sie lange im Voraus vorherzusagen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass im Rahmen von geothermischen Bohrungen Erdbeben mit einer Stärke von mehr als 2,5 auf der Richterskala nur selten auftreten.

In der Schweiz ereignet sich etwa zehn Mal pro Jahr ein Erdbeben mit einer Stärke von mehr als 3 auf der Richterskala. Von der Bevölkerung in der betroffenen Umgebung werden Erdbeben ab einer Stärke von 2,5 wahrgenommen. In den meisten Fällen haben diese Erdbeben eine natürliche Ursache, doch sie können auch durch den Bau von Anlagen ausgelöst werden (beispielsweise Tunnels, Staumauern, Bergbau und stimulierte geothermische Systeme). Bei den letzten beiden Ereignissen, die mit Geothermieprojekten zusammenhingen, handelte es sich um leichte Erdbeben, die 2006 in Basel und 2013 in St. Gallen aufgetreten sind. In beiden Fällen ging es um Projekte für tiefe Geothermie (siehe Kasten S. 37). Erdbeben mit einer Stärke zwischen 3 und 3,9 auf der Richterskala gelten als «leichte» Beben, da sie in der Regel keine Schäden verursachen.



Epizentren der Erdbeben mit einer Stärke von ≥ 1 zwischen 2006 und Juni 2016. Quelle: SED

ANLAGEN UND PROJEKTE IN DER SCHWEIZ

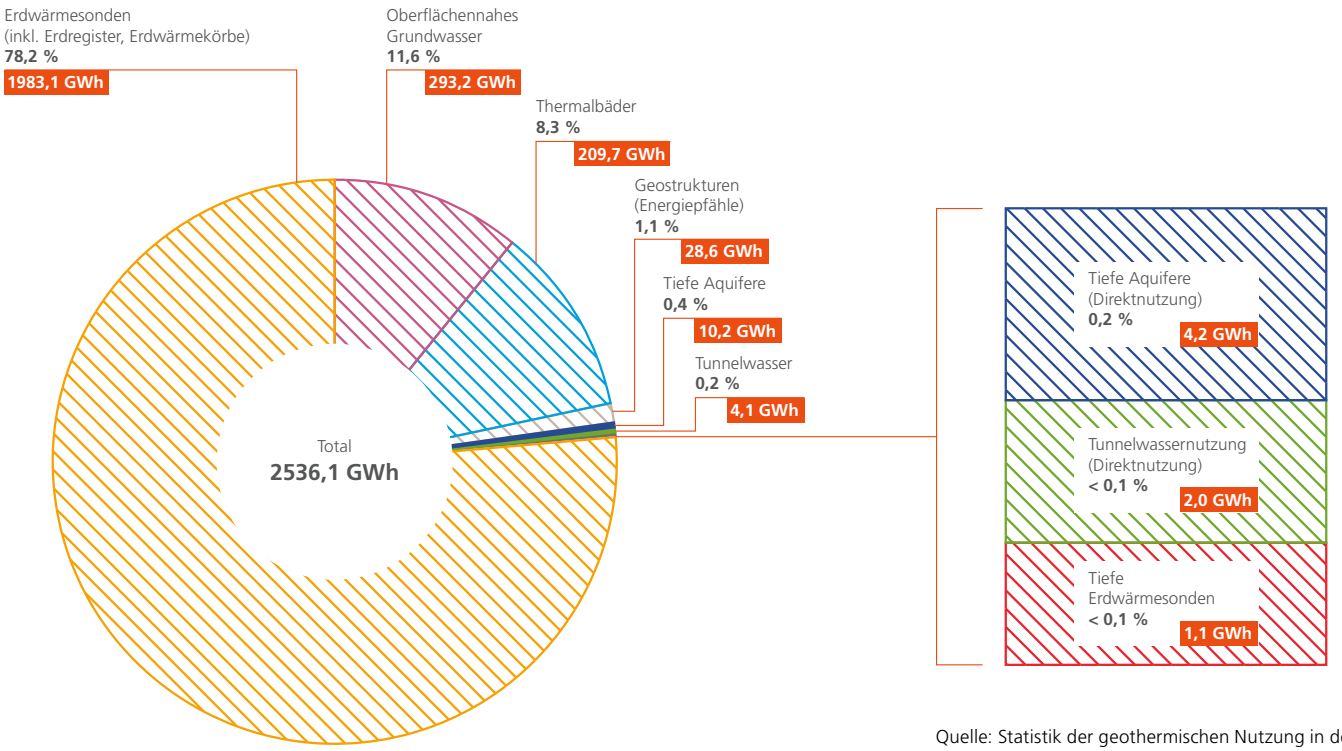
IN DER SCHWEIZ GIBT ES WEDER VULKANE NOCH ANDERE GEOTHERMISCHE ANOMALIEN, DIE EINE EINFACHE NUTZUNG DER WÄRME IM UNTERGRUND ERMÖGLICHEN WÜRDEN. TROTZDEM WIRD DIE GEOTHERMISCHE ENERGIE IN UNSEREM LAND SEIT RUND 30 JAHREN GENUTZT. DIE ERFAHRUNG ZEIGT, DASS SICH ABHÄNGIG VOM EINGESETZTEN TECHNOLOGIETYP, AUCH IN DER SCHWEIZ GEOTHERMISCHE NUTZUNGEN REALISIEREN LASSEN, DIE IN WIRTSCHAFTLICHER UND ÖKOLOGISCHER HINSICHT INTERESSANT SIND.

AKTUELLER STAND DER GEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ

Gegenwärtig ist die Nutzung der Geothermie in der Schweiz ausschliesslich auf die Entnahme und Speicherung von Wärmeenergie zu Heiz- und Kühlzwecken beschränkt. Bislang werden in unserem Land keine Geothermiekraftwerke zur Stromerzeugung betrieben. Die häufigste Nutzungsform der untiefen Geothermie sind in der Schweiz individuelle Anlagen mit vertikalen Erdwärmesonden, die mit Wärmepumpen gekoppelt sind. Knapp 15% der Heizungen in unserem Land sind mit einer Geothermie-Wärmepumpe ausgestattet. Ausserdem kommen für den Heiz- und Kühlbedarf grosser Gebäude zunehmend Erdwärmesondenfelder zum Einsatz. Damit wird die Energieeffizienz dieser Systeme beträchtlich gesteigert.

Knapp 80% der in der Schweiz erzeugten geothermischen Energie (erneuerbarer Teil) – insgesamt 1986,1 GWh* pro Jahr – stammen von Erdwärmesonden (vertikale Erdwärmesonden, horizontale Erdreichkollektoren und Erdwärmekörbe). Das Volumen der geothermischen Energie hat sich innerhalb von zehn Jahren mehr als verdreifacht. In der Schweiz sind knapp 90’000 Erdwärmeson-

DIAGRAMM MIT ANTEILEN DER GEFÖRDERTEN GEOTHERMISCHEN (ERNEUERBAREN) ENERGIE ALLER GEOTHERMISCHEN SYSTEME IM JAHR 2015



Quelle: Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz, Ausgabe 2015, Juli 2016

den installiert, d. h. über zwei Sonden pro km²*. In wirtschaftlicher Hinsicht sind die Erdwärmesonden gegenwärtig der wichtigste Bereich des Schweizer Geothermiemarkts.

Die restliche geothermische Wärmeerzeugung (erneuerbarer Teil) verteilt sich auf die Nutzung der folgenden Bereiche: Grundwasser (293,2 GWh = über 5000 Anlagen), Thermalwasser (209,7 GWh = 15 Thermalbäder), Geostrukturen (28,6 GWh = ca. 30 Anlagen), tiefe Aquifere (14,4 GWh = 6 Anlagen), durch Tunnels drainiertes Wasser (6,1 GWh = 7 Tunnels) und tiefe Erdwärmesonden (1,1 GWh = 3 Anlagen).*

* Zahlen 2015

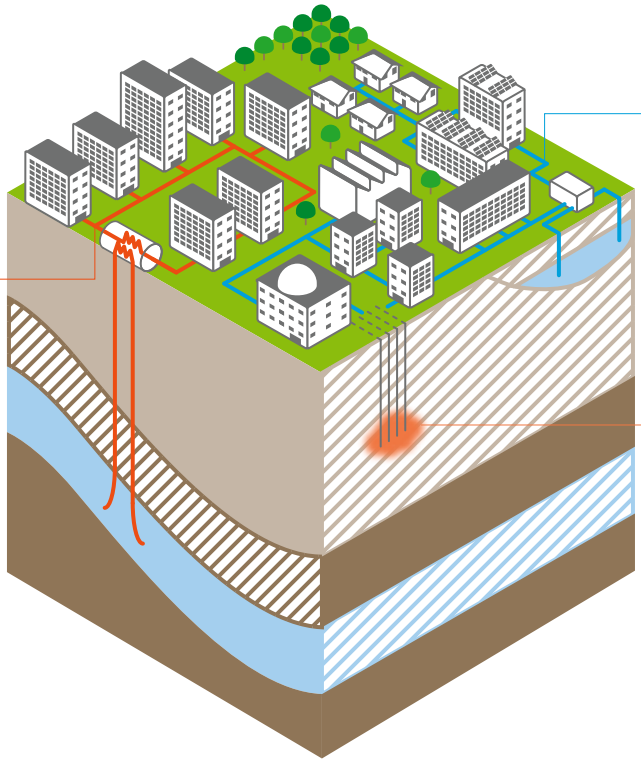
EIN NEUES KONZEPT: ANERGIE ODER DIE ÜBEREINSTIMMUNG ZWISCHEN ENERGIEBEDARF UND ABWÄRMENUTZUNG

Der Campus Science City, der zur Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich gehört, beabsichtigt, die zum jeweiligen Zeitpunkt nicht benötigte Abwärme seiner Gebäude mittels rund 800 Erdwärmesonden im Untergrund zu speichern. Diese Energie soll dann den Nutzern zum geeigneten Zeitpunkt zur Verfügung gestellt werden. Diese Systeme orientieren sich an der industriellen Ökologie, die zum Ziel hat, dass der «Abfall» der einen zum Rohstoff der anderen wird. Wenn diese Wärmeenergiespeicher in ein Netzwerk integriert werden, ergibt sich daraus ein dynamisches Speichersystem, das auch als «Anergienetz» bezeichnet wird. Dieses liefert die benötigte Energie für die Heizung, das Warmwasser und die Gebäudekühlung.

Modell für Fernwärmenetze, Kältenetze und Wärmespeicherung

Netze mit hohen Vorlauftemperaturen

Bei der mitteltiefen und tiefen Geothermie kann ein Grossteil der geförderten Wärme direkt ins Fernwärmenetz eingespiesen werden. Die Temperatur reicht aus, um auch ältere Gebäude mit höheren Temperaturanforderungen mit Wärme zu versorgen. Eine Wärmepumpe wird nicht benötigt, hilft aber, um mehr Wärme verwenden zu können.



Niedertemperatur-Netze

Neue Gebäude und Minergie-Bauten brauchen weniger hohe Temperaturen zum Heizen. Die Geothermie liefert Wärme und es ist auch möglich, diese Wärme zu speichern (Abwärme aus Industrie oder Solarthermie etc.). Die Geothermie kann auch zum kühlen verwendet werden. Eine Wärmepumpe wird benötigt und erlaubt auch, das System zu optimieren.

Wärmespeicherung mit Geothermie

Der Untergrund – sowohl das Festgestein als auch sich im Untergrund befindende Aquifere – erlaubt Wärme zu speichern. So kann Wärme aus der Kälteproduktion für spätere Wärmeanwendungen zwischengespeichert werden und umgekehrt.

In der Schweiz weisen mehrere Regionen in den Alpen, im Jura und im Mittelland Aquifere auf, die für die Nutzung der mitteltiefen Geothermie potenziell interessant sind. Diese viel zu wenig genutzte Technologie hat in unserem Land ein grosses Potenzial.

2017 waren im Bereich der mitteltiefen Geothermie acht Anlagen in Betrieb. In Weissbad, Weggis und Zürich werden mit Erdwärmesonden, die bis in eine Tiefe von 2300 Metern reichen, Gebäude und das Spa eines Hotels beheizt. In Riehen wird die Erdwärme in einem Fernwärmenetz genutzt. In Kreuzlingen, Lavey-les-Bains, Schinznach-Bad und Bassersdorf dient das warme Wasser für Thermalbäder und für die Beheizung von Anlagen. In Lavey-les-Bains befindet sich die wärmste Wasserquelle der Schweiz. Dort wurde 1972 zusätzlich zum Betrieb des Thermalbads die erste Geothermieanlage für die Beheizung von Gebäuden realisiert. Seit 1998 werden in Lavey-les-Bains 100% der für das Thermalbad benötigten Wärmeenergie durch Geothermie gewährleistet, ohne dass eine Wärmepumpe eingesetzt wird.

ÜBER 20 JAHRE ERFAHRUNG IN DER GEOTHERMIEANLAGE HASELRAIN IN RIEHEN (BS)

Seit 1994 wird in der Gemeinde Riehen die grösste Anlage der Schweiz für die Wärmeerzeugung aus hydrothermaler Geothermie betrieben. Dies ist die einzige geothermische Doubletten-Anlage der Schweiz, die auf der Nutzung eines mitteltiefen Aquifers beruht: Förderbrunnen mit einer Tiefe von 1547 m und Rückgabebrunnen mit einer Tiefe von 1247 m. Die ursprüngliche Durchflussmenge von 18 l/s konnte dank der Injektion von Salzsäure auf rund 25 l/s erhöht werden. Mit dieser Säure wurde der Kalkspat aufgelöst, der teilweise die Spalten verstopfte, durch die das Wasser fliesst (chemische Stimulation). Die Geothermie liefert gut 50% der Wärme des Fernwärmenetzes und wird mit energieeffizienten Blockheizkraftwerken sowie weiteren Wärmeproduktionszentralen zur Spitzenlastdeckung ergänzt. Dank diesem Fernwärmenetz können rund 7000 Einwohner Riehens mit Fernwärme versorgt werden. Auf diese Weise lassen sich im Endausbau 9000 Tonnen CO_2-Emissionen pro Jahr vermeiden.

Bergwasser aus Spalten und wasserführenden Gesteinsschichten dringt in Tunnel ein. Die im Bergwasser enthaltene Wärme kann wie z.B. im Tropenhaus Frutigen (Bild Seite 8) für Wärmezwecke genutzt werden. Quelle: CREGE

Bohrlochkopf der Geothermie-Anlage in Riehen.
Quelle: Wärmeverbund Riehen AG

Die Nutzung von geothermischer Energie aus Schweizer Tunnels geht auf das Jahr 1970 zurück. Von den 600 Tunnels und Galerien in der Schweiz weisen 15 ein interessantes geothermisches Potenzial auf, und bei sieben Bauwerken wird diese Energie an den Portalen (Tunnelausgänge) auch tatsächlich genutzt: Gotthard, Furka, Mappo-Morettina, Hauenstein, Ricken, Grosser St. Bernhard und Lötschberg. Die geothermische Energie dient zur Beheizung und Kühlung verschiedener Wohnungen, Gebäude, Hallen und Sportzentren, aber auch für die Fischzucht und die Beheizung von Gewächshäusern. Bei diesen Anlagen wird, mit Ausnahme der Fischzucht, eine Wärmepumpe benötigt, um die Temperatur der geothermischen Ressource zu erhöhen.

VON DEN 600 TUNNELS IN DER SCHWEIZ WEISEN 15 EIN SIGNIFIKANTES GEOTHERMISCHES POTENZIAL AUF, UND BEI SIEBEN TUNNELS WIRD DIESE ENERGIE AUCH TATSÄCHLICH GENUTZT.

DIE WICHTIGSTEN PHASEN EINES PROJEKTS FÜR MITTELTIEFE ODER TIEFE GEOTHERMIE

1. Konzept und Machbarkeitsvorstudie
Beurteilung der Projektmachbarkeit auf Grundlage der vorhandenen geologischen Dokumente, um das geothermische Potenzial zu präzisieren; vergleich dieser Informationen mit den Daten zu den Abnehmern.

2. Prospektions- und Explorationsphase: Untersuchung des Untergrunds, Suche nach Energiereserven und Zugang zur geothermischen Ressource
Durchführung von seismischen Messungen. Erstellung einer Bestandsaufnahme dieser potenziellen Ressourcen und Festlegung des optimalen Standorts für die Bohrungen zur Nutzung der geothermischen Ressourcen. Nach der Identifikation der potenziellen geothermischen Ressource: Überprüfung ihres Vorhandenseins und ihrer Eigenschaften (Temperatur, Wasserdurchfluss, Reinjektionskapazität usw.) mit Hilfe einer ersten Bohrung.

3. Realisierungsphase der Bohrungen: Fassung der geothermischen Ressource
Falls die Bohrungen erfolgreich verlaufen, kann das warme Wasser mit einer Förderbohrung an die Oberfläche geholt werden. Das abgekühlte Wasser wird in der Regel in eine andere Bohrung reinjiziert (Doubletten-Technik), um die Umwelt zu schützen und den Fortbestand der geothermischen Ressource sicherzustellen.

4. Bau- und Verteilungsphase:
Bei Wärmeerzeugung: Errichtung eines Fernwärmenetzes oder Anschluss an ein bestehendes Netz.
Bei Stromerzeugung: Bau eines Geothermiekraftwerks.

5. Betriebsphase: Erzeugung von Wärme und/oder Elektrizität und Weiterleitung an die Abnehmer
In der Betriebsphase wird die geothermische Energie in der Heizzentrale und/oder einem Stromkraftwerk für die Produktion von Wärme bzw. Strom eingesetzt. Verschiedene Systeme sind möglich (siehe Seite 21–23). Diese werden über ein Fernwärmenetz und/oder als Strom über das Stromnetz direkt oder indirekt zu den Gebäuden geleitet.

Abgesehen von diesen technischen Projektphasen, den Bewilligungsgesuchen, eines Finanzierungspakets, den Ausschreibungen sowie den Erläuterungen oder Studien zur Umweltverträglichkeit, umfassen Projekte dieser Art in der Regel auch eine Informationskampagne.

GEOTHERMISCHES POTENZIAL UND ENERGIESTRATEGIE

Nach Schätzungen, die das Bundesamt für Energie (BFE) 2013 in seiner Studie «Energieperspektiven 2050» vorgenommen hat, kann die Schweiz von den 62 TWh Strom, die jährlich im Land verbraucht werden, bis 2050 bis zu 4,4 TWh aus Geothermie produzieren (geschätztes technisches Potenzial von 80'000 TWh). Damit würden 7% des Stromverbrauchs in der Schweiz durch geothermische Energie gedeckt. Dies entspricht der Produktion von rund 110 Geothermiekraftwerken mit einer Leistung von 5 MW_{el} oder der 1,5-fachen Leistung des Kernkraftwerks Mühleberg.

Da der tiefe Untergrund der Schweiz aus kristallinem Gestein mit einem geringen natürlichen Wassergehalt besteht, bietet die petrothermale Technik das höchste Potenzial zur geothermischen Stromerzeugung. In einigen Regionen mit spezifischen geologischen Gegebenheiten können jedoch auch Projekte im Bereich der tiefen hydrothermalen Geothermie in Betracht gezogen werden. Diese Gebiete befinden sich lokal am Jurafuss, im Mittelland oder in den Voralpen und Alpen. Für die Wärmeerzeugung wurde kein Ziel festgelegt. Das BFE hält jedoch fest, dass die durch Wärmepumpen beheizte Wohnfläche zwischen 2010 und 2050 mindestens versechsfacht werden sollte.

Um einen Bruchteil des riesigen technischen Potenzials der tiefen Geothermie nutzbar zu machen, muss die Kenntnis über den Untergrund deutlich verbessert werden. Denn dabei handelt es sich um den Schwachpunkt der Schweiz: Da sie im Gegensatz zu den umliegenden Ländern über keine Tradition in der Gas- oder Erdölförderung verfügt, ist nur sehr wenig über ihren tiefen Untergrund bekannt. Nur mit Bohrungen lassen sich die thermischen und hydrologischen Bedingungen im Untergrund genau abklären.

Der gegenwärtige Kenntnisstand bezüglich der Beschaffenheit des Schweizer Untergrunds (Gesteinstyp, Vorkommen und Produktivität von Aquiferen, Verwerfungszonen usw.) stützt sich auf Daten aus bestehenden Bohrungen. Zurzeit bestehen 95 solche Bohrlöcher mit einer Tiefe zwischen 600 und 3000 m und 16 mit einer Tiefe von über 3000 m. Zum Vergleich: Bayern (D) weist eine Dichte von acht Tiefenbohrungen pro 1000 km^2 auf, gegenüber 1 im Schweizer Mittelland.

Parallel dazu erarbeitet die Landesgeologie von swisstopo dreidimensionale geologische Modelle (siehe Seite 12), um die Nutzung der geothermischen Energie zu erleichtern. Auf Bundesebene ist vorgesehen, ein Programm zur systematischen Erkundung des Untergrunds mittels mehrerer Bohrungen zu entwickeln.

« Das Bundesamt für Energie legt langfristig grosse Hoffnungen in die Stromproduktion mit Geothermie. Die grösste Hürde ist wohl die Unkenntnis über den Schweizer Untergrund. Hier unterstützen Bund, Kantone und Gemeinden Forschung und Innovation. Im Rahmen der Energiestrategie 2050 sind neu auch Erkundungsbeiträge vorgesehen. Dies schafft gute Rahmenbedingungen für Investoren. »

Dr. Frank Rutschmann, Leiter Erneuerbare Energien

Während einer seismischen Kampagne emittiert ein Vibrator auf einem LKW akustische Wellen. Die reflektierten und aufgezeichneten Signale liefern die Daten, welche es erlauben, die Beschaffenheit des Untergrundes zu bestimmen.
Quelle: Pedro Neto

2017 befand sich rund ein Dutzend Projekte im Bereich der mitteltiefen und tiefen Geothermie in Entwicklung, unter anderem:

- Hydrothermales System: AGEPP in Lavey-les Bains (VD), Plaines-du-Loup (VD), EnergeÔ La Côte (VD), GEothermie2020 (GE), Oftringen (AG)
- Petrothermales System: Haute-Sorne (JU), Avenches (VD), Etzwilen (TG), Pfaffnau und Triengen (LU).

Die fünf zuletzt genannten Projekte werden von der Geo-Energie Suisse AG entwickelt. Dieses Unternehmen, das aus einem Konsortium von sieben Schweizer Energieversorgungsunternehmen hervorgegangen ist, hat sich zum Ziel gesetzt, die Technologie der stimulierten geothermischen Systeme zu entwickeln.

Am weitesten fortgeschritten ist das Projekt in Haute-Sorne, für das 2015 eine Baubewilligung erteilt wurde. Bei diesem Projekt wurden die zahlreichen Daten und Erfahrungen aus dem EGS-Projekt in Basel berücksichtigt, um ein neues Konzept zur Multistage-Stimulation zu erarbeiten, das mehr Energie liefern und zu geringerer induzierter Mikroseismizität führen soll (siehe Kasten auf Seite 23). Im Vergleich dazu sind in Deutschland bereits sieben und in Frankreich zwei Tiefengeothermiekraftwerke in Betrieb.

Je nach Temperatur und Menge des geförderten Wassers und somit der verfügbaren Energie sind verschiedene Energienutzungsszenarien möglich. Das völlige Scheitern eines Projekts ist somit selten, da immer die Möglichkeit besteht, die Wärme des Untergrunds mit einer tiefen Erdwärmesonde zu nutzen. Zudem sind die Erkenntnisse, die eine Tiefenbohrung liefert, für künftige Projekte wichtig.

4,4 TWH_{el} = 110 ANLAGEN FÜR PETROTHERMALE GEOTHERMIE À 5 MW_{el}

GEOTHERMIE SCHWEIZ
GEOTHERMIE SUISSE
GEOTERMIA SVIZZERA

GEOTHERMIE-SCHWEIZ: DIE STIMME DER GEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ

GEOTHERMIE-SCHWEIZ fördert die geothermische Energie in der Schweiz. Dazu führt der Verband verschiedene Aktionen durch und erarbeitet Kommunikationsinstrumente. Seit er 2012 zu einem Dachverband umstrukturiert wurde, konnte die Beachtung verbessert werden, welche die Geothermie in Wirtschaft und Politik erhält. Mit seinen Informationsträgern möchte der Verband die zahlreichen Vorteile und die Risiken transparent aufzeigen, die mit dieser erneuerbaren Energie verbunden sind, um das Image und die Akzeptanz der Geothermie bei den Behörden, in der Wissenschaft, bei den Energieversorgern und in der Öffentlichkeit zu verbessern. Als Kompetenzzentrum erarbeitet GEOTHERMIE-SCHWEIZ auch Ausbildungs- und Schulungsprojekte für die Mitglieder und andere interessierte Kreise.

Geothermische Energiezentrale des «mitteltiefen» Geothermieprojektes von EnergeÔ in Vinzel (VD) mit einem Förder- und einem Reinjektionsbrunnen – Fotomontage. Quelle: EnergeÔ

RAHMENBEDINGUNGEN DER GEOTHERMIE

DIE HAUPTSÄCHLICHEN HINDERNISSE FÜR DIE TIEFE GEOTHERMIE SIND DERZEIT DIE KOSTEN DER TIEFENBOHRUNGEN, DAS RISIKO IM ZUSAMMENHANG MIT DER ERKUNDUNG DER UNTERIRDISCHEN RESSOURCEN SOWIE EIN NICHT VEREINHEITLICHTER ODER UNGEEIGNETER RECHTLICHER RAHMEN IN EINIGEN KANTONEN. NUR MIT PILOTANLAGEN LASSEN SICH DIE NOTWENDIGEN ERKENNTNISSE ZUM UNTERGRUND UND ZU DEN VERFAHREN GEWINNEN, DIE UNTER REALEN BEDINGUNGEN EINGESETZT WERDEN MÜSSEN, DAMIT SCHLIESSLICH GEOTHERMIEANLAGEN ZUR WÄRMEGEWINNUNG UND STROMERZEUGUNG GEBAUT WERDEN KÖNNEN.

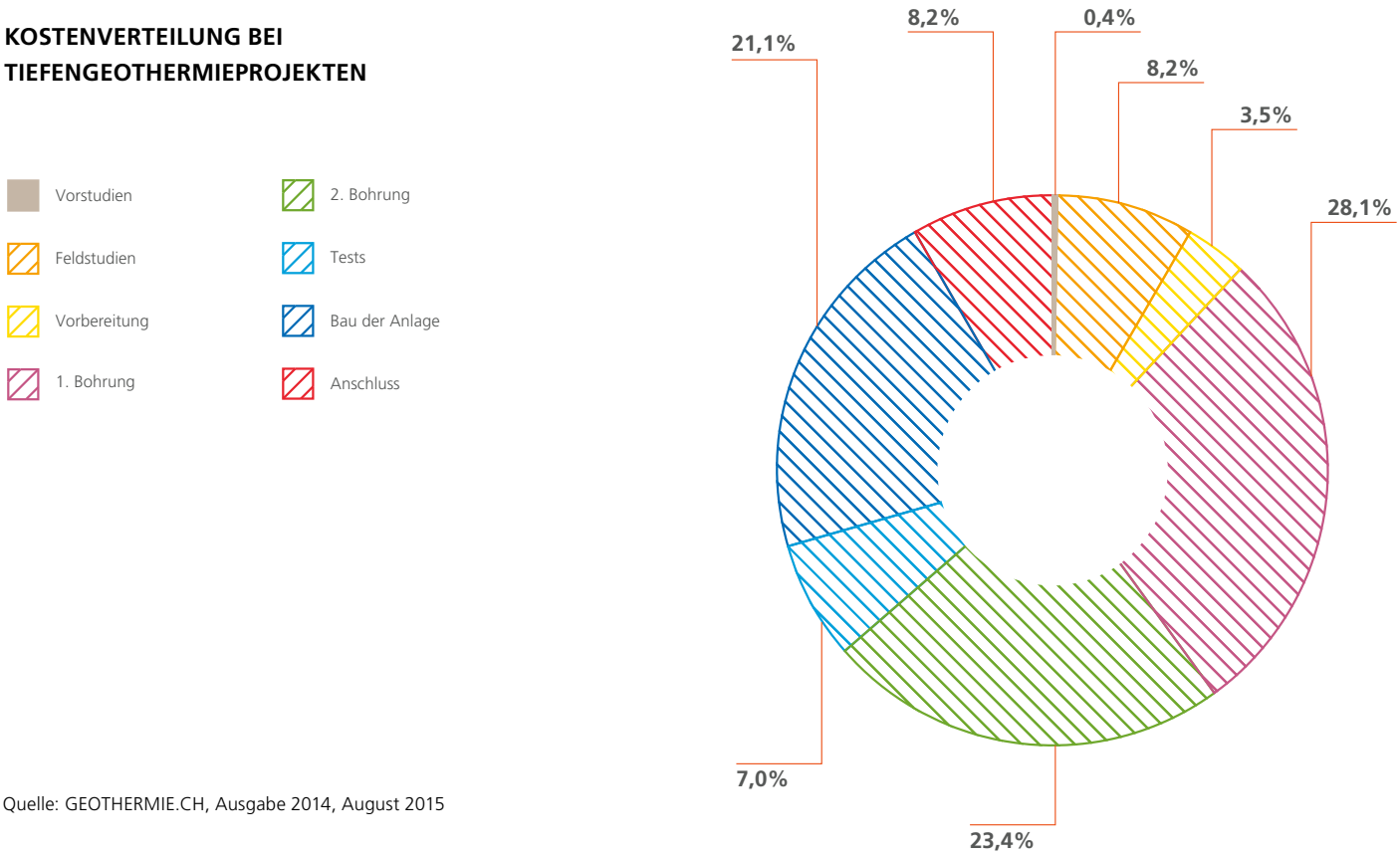
DIE KOSTEN DER GEOTHERMIE

Für die Installation einer Erdwärmesonde in einem Einfamilienhaus ist eine höhere Anfangsinvestition notwendig als für ein Gas- oder Ölheizungssystem. Dafür sind die Betriebs- und Unterhaltskosten in der Regel tiefer und bleiben über die gesamte Betriebszeit stabil. Somit handelt es sich um einen finanziell lohnenswerten Schritt. Dies gilt vor allem bei einem Neubau, aber auch im Rahmen einer Renovation einer Liegenschaft und ihrer Heizanlage.

Bei der mitteltiefen und tiefen Geothermie wird die Gesamtbilanz vor allem durch die Bohrkosten beeinträchtigt, die in der Regel auf ein Drittel bis die Hälfte der anfallenden Kosten geschätzt werden. In der Erkundungsphase stellen die Bohrkosten einen finanziellen Risikofaktor dar, da die genauen Eigenschaften des Untergrunds erst mit der Bohrung ermittelt werden können. Mit den anschliessenden Produktionstests lässt sich das technische und wirtschaftliche Potenzial der geothermischen Ressource beurteilen. Entsprechend den erzielten Ergebnissen müssen gewisse Projekte neu ausgerichtet werden.

Was die geothermische Stromerzeugung anbelangt, schätzt das Bundesamt für Energie die Gestehungskosten in der Schweiz ge-

KOSTENVERTEILUNG BEI TIEFENGEOTHERMIEPROJEKTEN



Quelle: GEOTHERMIE.CH, Ausgabe 2014, August 2015

genwärtig auf 40 bis 60 Rappen/kWh. Gemäss der Studie von TA-Swiss «Energy from the earth» (2015) dürften die Gestehungskosten künftig deutlich tiefer liegen, vor allem bei einem Verkauf der Restwärme (14 Rappen/kWh).

In Zukunft werden mehrere Faktoren dazu beitragen, dass sich die Kosten der geothermischen Energie verringern werden und dass diese Energie längerfristig gegenüber den anderen erneuerbaren Energieformen wettbewerbsfähig sein wird:

- der Rückgang der Bohrkosten dank technischen Fortschritten, die zur Folge haben, dass rascher immer tiefere Bohrungen durchgeführt werden können
- die Optimierung der Verfahren zur Erhöhung der Durchlässigkeit des Reservoirgesteins und zur Entwicklung von effizienteren Wärmetauschern
- die Verbesserung der Kenntnis über den Untergrund durch die Anwendung hochspezialisierter geophysikalischer Methoden für die Standortwahl
- ein besseres Verständnis der induzierten Seismizität und der Modellierung der Reservoire (neue 3D-Technologien)
- die Verringerung der notwendigen Energie für das Hochpumpen und Reinjizieren des geförderten Wassers
- die technischen Verbesserungen bei der Umwandlung in Strom, um bei niedrigeren Temperaturen eine höhere Effizienz zu erreichen

FINANZHILFEN

Da der Bund die Entwicklung der Tiefengeothermie in der Schweiz fördern möchte, gewährt er momentan eine Risikodeckung für Geothermieanlagen, die zur Stromerzeugung bestimmt sind. Mit dieser Massnahme sollen die mit Risiken verbundenen Investitionen gefördert und die Zahl guter Projekte erhöht werden.

Einen weiteren Anreiz bietet der Bund mit der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) für Strom aus erneuerbaren Energiequellen, d. h. dem Preis, der den Produktionskosten entspricht. Der KEV-Fond wird durch eine Abgabe gespeist, welche die Stromkonsumentinnen und -konsumenten für die Netznutzung bezahlen. Für erneuerbaren Strom aus Geothermie ist der Vergütungsbetrag seit dem 1. Januar 2014 für 20 Jahre auf 40 Rappen pro kWh festgelegt; dieser Tarif gilt für Anlagen mit einer elektrischen Leistung von höchstens 5 MW. Einige Kantone gewähren Beiträge im Rahmen von Geothermieprojekten, die sich auf geringere Tiefen beziehen.

DER RECHTLICHE RAHMEN

In der Schweiz enthält die Bundesverfassung zwar einige allgemeine Grundsätze im Bereich der Raumplanung und des Gewässer- und Umweltschutzes. Die Nutzung des Untergrunds fällt jedoch in die Zuständigkeit der Kantone. Je nach Kanton benötigen untiefe Anlagen wie Erdwärmesonden, Grundwasser-Wärmenutzungen, Erdwärmeregister und -körbe sowie Energiepfähle eine einfache Baubewilligung. Bohrungen für Erdwärmesonden und Grundwasser-Wärmenutzungen benötigen entsprechend der Gesetzgebung zum Grundwasserschutz zudem eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung (Bohrungen, Pumptests). Eine solche gewässerschutzrechtliche Bewilligung wird auch für Energiepfähle verlangt, wenn diese ins Grundwasser gebaut werden. Einzelne Kantone verlangen auch für Erdregister und Erdkörbe eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung. Grundwasser-Wärmenutzungen können zudem konzessionspflichtig sein. Ab einer gewissen Tiefe verlangt der Kanton in der Regel eine Bewilligung für die Erkundung und anschliessend eine Konzession für die Nutzung der geothermischen Ressourcen. Eine Bewilligung gibt nicht zwangsläufig Anspruch auf eine Konzession.

Je nach Kanton ist die Rechtslage für geothermische Anlagen unterschiedlich: Einige Kantone verfügen diesbezüglich über keine Regelung, andere stützen sich auf das Bergregalgesetz oder ihre kantonalen Gesetze zur Gewässernutzung, zum Gewässerschutz oder zu den Bodenschätzen. Neben diesen Bestimmungen muss ein Projekt zahlreichen weiteren Vorschriften entsprechen, die sich ebenfalls von Kanton zu Kanton unterscheiden:

- Genehmigung zur Wasserentnahme oder zur Grundwassernutzung,
- Vereinbarkeit der Anlage mit dem Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz,
- Einhaltung des kantonalen Richtplans in Übereinstimmung mit dem Raumplanungsgesetz,
- Meldung oder Umweltverträglichkeitsprüfung gemäss dem Umweltschutzgesetz,
- Studie zu den Erdbebenrisiken bei tiefen hydrothermalen und petrothermalen Systemen.

Dies hat zur Folge, dass in der Schweiz je nach Kanton andere Schritte für die Planung und einen allfälligen Betrieb von geothermischen Anlagen unternommen werden müssen.

EINE ZUKUNFTSTRÄCHTIGE ENERGIE

DIE NUTZUNG DER GEOTHERMISCHEN ENERGIE AUS GERINGER UND MITTLERER TIEFE BERUHT AUF TECHNIKEN, DIE SEIT VIELEN JAHREN SEHR GUT FUNKTIONIEREN. IN DIESEM BEREICH KONZENTRIERT SICH DIE FORSCHUNG IN ERSTER LINIE AUF DIE OPTIMIERUNG DER KOSTEN, DER QUALITÄT, DER ENERGIEEFFIZIENZ UND DER UMWELTVERTRÄGLICHKEIT DER GEOTHERMISCHEN ANLAGEN. WAS DIE ENTWICKLUNG VON PETROTHERMALEN SYSTEMEN ZUR STROMERZEUGUNG ANBELANGT, MÜSSEN HINGEGEN NOCH PILOTANLAGEN INSTALLIERT WERDEN.

DIE SCHLÜSSELTHEMEN DER FORSCHUNG

Die folgenden drei Hauptbereiche der weltweiten Forschung weisen ein hohes Entwicklungspotenzial auf:

- **Rentabilität:** Erhöhung des Wirkungsgrades dank innovativen Technologien für Pumpen, Bohrungen und Wärmetauscher; Nutzung der Restwärme; hybride Systeme, Kombination verschiedener Energieträger; Techniken zur Umwandlung der Wärmeenergie in elektrische Energie.
- **Anlagentechnik:** Weiterentwicklung der Materialien um Korrosion zu verhindern: der Rohre in den Bohrlöchern, der Verbindungsleitungen zwischen den Schächten, der Wärmetauscher und der Dichtungen; Thermalwasserchemie.
- **Seismizität:** Entwicklung von digitalen Modellen, um die im Untergrund auftretenden Phänomene zu simulieren und zu berechnen, wie zum Beispiel die Auslösung kleiner Erdbeben, die von der Bevölkerung wahrgenommen werden; Erdbebenüberwachung; neue Protokolle für die Wasserinjektion, um die Magnitude der induzierten Seismizität zu minimieren.

DREI PILOTANLAGEN IN EUROPA

Weltweit bestehen bereits Hunderte von hydrothermalen Anlagen. Doch nur mit petrothermalen Pilotanlagen lassen sich die notwendigen Erkenntnisse über den Untergrund und über den Einsatz der Verfahren unter realen Bedingungen gewinnen, um später komplexere Projekte zu realisieren. Gleichzeitig werden solche Pilotanlagen die Entwicklung neuer Technologien ermöglichen.

2017 bestanden in Europa drei Pilotanlagen, welche die petrothermale Technik anwenden, um Strom zu erzeugen. Eine Anlage befindet sich im Elsass nördlich von Strassburg in Soultz-sous-Forêts, die anderen beiden liegen in Deutschland, ebenfalls im Oberrheingraben. Am europäischen Projekt in Soultz, das 1986 angelaufen ist, waren während vielen Jahren Schweizer Forschende beteiligt. Für dieses Projekt wurden vier Bohrungen in Tiefen von 3600 bis 5000 m durchgeführt. Ein Pumpensystem zirkuliert Geothermalwasser zwischen den Bohrlöchern und ermöglicht die Förderung von 30 bis 40 Litern Wasser pro Sekunde mit einer Temperatur von 165 °C (gemessen im Bohrloch), was eine elektrische Leistung von 1,5 MW bietet. Das Kraftwerk wurde 2016 gebaut.

Aus der europäischen Forschung in Soultz-sous-Forêts konnten zahlreiche Erkenntnisse gewonnen werden, insbesondere hinsichtlich der Beherrschung der induzierten Seismizität. Diese wissenschaftliche Pilotanlage hat den Weg für das Konzept der EGS geebnet. Zudem konnte 2016 eine erste Anlage zur geothermischen Wärmeproduktion für die Industrie eingeweiht werden, die auf dem Erfolg von Soultz-sous-Forêts aufbaut und die Wärmeanomalien der Region nutzt: Das ebenfalls im Elsass gelegene Heizwerk Rittershoffen versorgt die Produktionsanlage von Roquette, des Weltmarktführers für die Herstellung von Stärke, mit Wärme. Nach der Realisierung der geothermischen Doublette in einer Tiefe von 2500 m, der Stimulation und verschiedenen Produktionstests wurde das Heizwerk mit einer Wärmeleistung von 24 MW 2016 in Betrieb genommen. Die jährliche Energieproduktion entspricht dem Heizbedarf von 12’000 Wohnungen.

LEHRE, FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IN DER SCHWEIZ

Die Forschung im Bereich der Tiefengeothermie erfordert in der Schweiz geeignete Studienprogramme an den Hochschulen. Zurzeit bieten die Universität Neuenburg sowie die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ) eine spezifische Ausbildung in diesem Bereich an. Das Zentrum für Hydrogeologie und Geothermie der Universität Neuenburg bietet einen europaweit einzigartigen Master in Hydrogeologie und Geothermie sowie eine

Weiterbildung zu Tiefengeothermiesystemen an. Es verfügt auch über ein Geothermielabor, das an zahlreichen Projekten im Bereich der angewandten Forschung beteiligt ist und diese begleitet.

2013 hat das Parlament den Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» verabschiedet. Die acht Kompetenzzentren, die in diesem Rahmen aufgebaut wurden, werden vom Schweizerischen Nationalfonds und von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) finanziert.

Das Kompetenzzentrum SCCER-SoE (Strombereitstellung), das am Standort der ETHZ geschaffen wurde, befasst sich insbesondere mit der Tiefengeothermie und der CO_2-Speicherung. In ihm sind 25 Hochschulen, Forschungsinstitute, Bundesämter und Dienststellen des Bundes sowie Industriepartner zusammengeschlossen. Das Kompetenzzentrum deckt drei Forschungsebenen für die Geothermie ab:

- die digitale Simulation und die Entwicklung von innovativen Technologien für Bohrungen, deren Zementierung, Sensoren für Bohrlöcher und korrosionsresistente Materialien
- die Validierung der Daten in unterirdischen Labors (vor allem im Felslabor Grimsel)
- die Entwicklung von Pilotprojekten

Parallel dazu wurden zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte lanciert, unter anderem GEOSIM/Prävention von Erdbebenrisiken, GEOTHERM-2/Forschung zu den Prozessen in den tiefen geothermischen Reservoiren, insbesondere durch die Nutzung der Daten des Basler EGS-Projekts, und COTHERM/Modellierung geothermischer Systeme durch Kombination von Hydrogeologie, Geochemie und Geophysik. Das Pilotprojekt GEOBEST, das vom Schweizerischen Erdbebendienst (SED) durchgeführt wird, begleitet Projekte im Bereich der Tiefengeothermie mit einem hochempfindlichen Messnetz, um möglichst genaue Modelle für die Vorhersage künstlich ausgelöster Erdbeben zu entwickeln.

BASEL UND ST. GALLEN: ZWEI ERKENNTNISTRÄCHTIGE PROJEKTE

Das Projekt Deep Heat Mining in Basel war darauf ausgerichtet, das Granitgestein in einer Tiefe von 5000 m durch Hochdruckinjektion von Wasser über eine Tiefenbohrung aufzubrechen. Auf diese Weise sollte ein unterirdischer Wärmetauscher zur geothermischen Stromerzeugung geschaffen werden (petrothermales System, siehe Seite 23). Dieses Projekt wurde im Dezember 2006 sistiert, nachdem durch die Stimulation der Bohrung Erdbeben ausgelöst worden waren, die eine Magnitude von bis zu 3,4 auf der Richterskala erreichten. 2009 wurde das Projekt für das Geothermiekraftwerk aufgrund des Erdbebenrisikos aufgegeben.

Das Basler Projekt hat gezeigt, dass die künstliche Schaffung eines «unterirdischen Durchlauferhitzers» mittels hydraulischer Stimulation machbar ist. Seither wurde, gestützt auf die Daten und Erfahrungen aus diesem Projekt, ein neues Konzept erarbeitet. Neu wird heute davon ausgegangen, dass der Einsatz eines Multistage-Systems mit mehreren isolierten Segmenten (siehe Kasten Seite 23) die induzierte Seismizität begrenzt werden könnte.

Das St. Galler Projekt sah ein hydrothermales System (siehe Seite 22) mit zwei Bohrungen auf über 4000 m unter der Erdoberfläche vor. Das System sollte zwischen 60 und 80 GWh Wärme für die Versorgung eines Fernwärmenetzes liefern und 7 bis 10 GWh Strom erzeugen. Die erste Bohrung konnte Anfang 2013 ohne nennenswerte Schwierigkeiten realisiert werden. Mitte 2013 fanden hydraulische Tests und chemische Stimulationsmassnahmen statt, um die Produktivität der Bohrung abzuklären beziehungsweise zu verbessern. Nach einem plötzlichen Eintritt von Erdgas in das Bohrloch im Vorfeld des geplanten Produktionstests musste als technische Gegenmassnahme eine ungeplante Menge an Wasser und Bohrspülung ins Bohrloch injiziert werden, um die hydraulische Stabilität im Innern der Bohrung wieder herzustellen und allen geltenden Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden. Am nächsten Tag folgte ein regional gespürter Erdstoss mit einer Magnitude von 3,5 auf der Richterskala. Das Projekt wurde gestoppt und die Sachlage ausführlich überprüft. Etwas später folgten dann der Produktionstest für Gas und Wasser. Da die ermittelte Produktionsrate für Tiefenwasser im Vergleich zu den Planungswerten unzureichend war, das Vorhandensein von Erdgas eine geothermische Nutzung behinderte und die seismische Gefährdung weitere Bohrlochmassnahmen verhinderte, wurde das Projekt für ein geothermisches Heizkraftwerk Mitte 2014 aufgegeben.

Einweihung der Geothermieanlage Rittershoffen im Elsass (F) im Juni 2016, die erste petrothermale Tiefengeothermieanlage auf der Welt für industrielle Prozess.
Quelle: Hansruedi Fisch, mit Genehmigung von ECOGI

Da der Schweizer Untergrund erst wenig erforscht ist, wurden Anstrengungen unternommen, um die Kenntnisse zu den tiefen geologischen Strukturen zu verbessern. Das neue Informationssystem für tiefe Geothermie von swisstopo, das unentgeltlich und unbeschränkt zugänglich sein wird, stellt für alle Projektträger ungeachtet von deren Grösse ein sehr wertvolles Instrument dar.

2015 wurde die Studie «Energy from the earth» publiziert, die unter der Federführung des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS durchgeführt worden war. Sie enthält die Arbeitsberichte des Paul Scherrer Instituts (PSI), der ETHZ, der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) und der Universität Stuttgart/Dialogik. Die Analysen beziehen sich auf die geologischen Rahmenbedingungen, die technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Aspekte der Tiefengeothermie, aber auch auf den rechtlichen Rahmen und die Beurteilung der neuen Arten der Energieproduktion durch die Gesellschaft.

Die Schweiz beteiligt sich an europäischen Forschungsprojekten wie GeORG, GeoMol und IMAGE. Sie zieht auch zahlreiche Lehren aus ihrem aktiven Engagement in mehreren europäischen und weltweiten Forschungsprogrammen, die im Rahmen der folgenden Organisationen erarbeitet werden:

- Europäischer Energierat für Geothermie (EGEC)
- European Energy Research Alliance / Joint Programme on Geothermal Energy (EERA-JPGE)
- Geothermal ERA-NET
- Internationale Energieagentur / Technology Collaboration Program on Geothermal Energy (IEA Geothermal)
- International Partnership for Geothermal Technology (IPGT)
- Global Geothermal Alliance

EINE ENERGIE, DIE IN VERSCHIEDENER FORM GENUTZT WERDEN KANN

Aufgrund verschiedener einzigartiger Merkmale ist die geothermische Energie in unserem Land eine sehr vielversprechende erneuerbare Energie:

- Ihre zahlreichen Nutzungsmöglichkeiten können abhängig von den eingesetzten Techniken und der Art der Ressource miteinander kombiniert werden: individuelle oder vernetzte Heizung, Warmwasser, Wärme für landwirtschaftliche und industrielle Prozesse, Kühlung, geothermische Speicherung, Elektrizität.
- Die geothermische Energie kann problemlos mit anderen (erneuerbaren und nicht erneuerbaren) Energieträgern gekoppelt werden. Vor diesem Hintergrund ist sie unabhängig von der Tiefe der Bohrungen ein wesentlicher Pfeiler der Energiewende hin zu sauberen Energien.
- Nur die Geothermie erlaubt, die erzeugte Energie zu speichern und sie zum geeigneten Zeitpunkt für Heiz- oder Kühlzwecke zur Verfügung zu stellen. Dabei kann die Regulierung je nach Bedarf vorgenommen werden. Ausserdem kann der Boden mit Wärme aufgeladen werden, um das Gleichgewicht zwischen der entzogenen Energie und der injizierten Energie im Untergrund aufrechtzuerhalten.

So lässt sich die Geothermie beinahe überall und für jede Art von Einzelgebäude oder Überbauung nutzen. Falls die erzeugte Energie nicht ausreicht, kann die gewählte Lösung jederzeit angepasst werden, indem sie mit anderen Energieträgern ergänzt wird.

Diese erneuerbare Energie hat ein riesiges theoretisches Potenzial. Selbst ihr technisches Potenzial ist in der Schweiz noch bei weitem nicht ausgeschöpft. Was die Anzahl Erdwärmesonden pro km^2 betrifft, weist die Schweiz gegenwärtig die höchste Dichte weltweit auf. 80% der in unserem Land genutzten Erdwärme wird mit diesen Sonden gewonnen. Die sogenannte untiefe Geothermie ist somit in der Schweiz gut etabliert. Diese Tatsache ist jedoch zu relativieren, da 85% der Wärme aus nicht erneuerbaren Energien stammt.

Die mitteltiefe Geothermie wird für die Beheizung und Kühlung von ganzen Quartieren sowie für landwirtschaftliche und industrielle Zwecke genutzt. In diesem Bereich stehen bewährte Techniken zur Verfügung. Jedes Geothermieprojekt liefert wertvolle Informationen über die Beschaffenheit des Untergrunds. Dies ist ein unerlässliches Element für die Weiterentwicklung dieser Energiequelle.

Was Tiefenbohrungen anbelangt, können hydrothermale Systeme nur unter bestimmten geologischen Voraussetzungen eingesetzt werden. Da der Untergrund in der Schweiz hauptsächlich aus kristallinem Gestein mit geringer Durchlässigkeit besteht, hat die Entwicklung der petrothermalen Geothermie zur Stromerzeugung in unserem Land das grösste Potenzial. Dies erfordert indessen Bohrungen mit einer Tiefe von mehr als 3000 Metern sowie stimulierte Reservoirs, um die Qualität der Erdspeicher zu verbessern. Da diese Technik erst am Anfang steht und noch verschiedene technologische Herausforderungen beinhaltet, müssen in diesem Bereich Pilotprojekte durchgeführt werden.

« Die geothermische Energie ist als nachhaltige, umweltfreundliche, lokale und zuverlässige Energiequelle anerkannt und wird künftig einen wichtigen Beitrag zur Wärme- und Stromversorgung in der Schweiz leisten. Sie entspricht der Energiestrategie des Bundes und bietet Lösungen für die Herausforderungen, die sich im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung stellen. »

Willy Gehrer, Präsident von GEOTHERMIE-SCHWEIZ

WEITERE INFORMATIONEN

SCHWEIZ

www.bfe.admin.ch/geothermie	Bundesamt für Energie
www.energieschweiz.ch	Plattform zur Information und Energieförderung in der Schweiz
www.seismo.ethz.ch	Schweizerischer Erdbebendienst (SED)
www.swisstopo.ch/geologie	Bundesamt für Landestopografie swisstopo
www.geologieportal.ch	Informationsplattform der Schweizer Geologie-Szene

EUROPA

www.egec.org	Europäischer Energierat für Geothermie
www.geodh.eu/geodh-map	Dynamische Karte zur Geothermie in Europa
www.ademe.fr	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Frankreich
www.brgm.fr/activites/geothermie/geothermie	Französische Landesgeologie, Geothermie-Aktivitäten
www.geothermie-perspectives.fr	Informationsplattform zur Geothermie in Frankreich
www.tiefegeothermie.de	Informationsportal Tiefe Geothermie in Deutschland

VEREINIGUNGEN

www.geothermie-schweiz.ch	GEOTHERMIE SCHWEIZ
www.fws.ch	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS)
www.strom.ch	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
www.afpg.asso.fr	Association française des professionnels de la géothermie
www.geothermie.de	Bundesverband Geothermie, Deutschland
www.bdew.de	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
www.dena.de	Deutsche Energie-Agentur
www.geothermal-energy.org	Internationaler Geothermieverband
www.iea-gia.org	Internationale Energieagentur – Geothermal Implementing Agreement

FORSCHUNGS- UND KOMPETENZZENTREN

www.sccer-soe.ch	Schweizer Kompetenzzentrum für Energieforschung – Strombereitstellung
www.unine.ch/chyn	Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie, Universität Neuenburg
www.ta-swiss.ch	Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
www.psi.ch	Paul Scherrer Institut
www.geo-energie.ch	Geo-Energie Suisse AG – Schweizer Kompetenzzentrum für Tiefengeothermie zur Strom- und Wärmeproduktion

Diese Publikation wurde in Zusammenarbeit mit Newcom Partners AG erstellt.

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern
Infoline 0848 444 444, www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Vertrieb: www.bundespublikationen.admin.ch
Artikelnummer 805.016.D

PERFORMANCE myclimate neutral Drucksache
No. 01-17-992052 – www.myclimate.org
© myclimate – The Climate Protection Partnership

FSC MIX Papier FSC® C103895

02.2017 1305D 860394298