

# Wärme und Kälte aus dem Untergrund

Welchen Beitrag kann die nachhaltige und umweltschonende Gewinnung von Wärme und Kälte aus dem Untergrund für die künftige Energieversorgung leisten? Was unterscheidet die einzelnen Methoden, was ist zu beachten, und wo liegen die Risiken? Ein Überblick.

Die nachhaltige und umweltschonende Gewinnung von Wärme und Kälte aus dem Untergrund kann und soll für die künftige Energieversorgung einen wesentlichen Beitrag leisten.

## Energiequelle der Gegenwart

Die intensive Nutzung der untiefen Geothermie (v. a. Erdwärmesonden und Grundwasser) setzte im Kanton Zürich bereits vor rund sechs Jahren ein. Der sprunghafte und vermutlich langfristig anhaltende Anstieg der Öl- und Gaspreise sowie die zuverlässigen und immer effizienteren Wärmepumpen bewogen viele Bauherrschaften und Hauseigentümer, auf diese weitgehend CO<sub>2</sub>-freie Heizung und vermehrt auch Kühlung ihrer Bauten zu setzen. Grosse Hoffnungen werden in die noch wenig erforschte Nutzung der tiefen Geothermie gesetzt, um Strom und Wärme in Grossanlagen erzeugen zu können. Die Gewinnung von Wärme und Kälte aus dem Untergrund ist allerdings auch mit Risiken z. B. für unser Grund- und Trinkwasser verbunden.

## Untiefe Geothermie: Erdsonden

Die im Untergrund gespeicherte Wärme wird als Erdwärme oder geothermische Energie bezeichnet. Bei Nutzun-

gen bis rund 400 Meter Tiefe spricht man von untiefer Geothermie. In rund 15 Metern Tiefe herrschen weitgehend konstante Temperaturen, die je nach Höhenlage zwischen etwa 9 und 12°C variieren. Mit der Tiefe nimmt die Temperatur des Untergrundes um etwa 3°C pro hundert Meter zu. Diese Temperaturverhältnisse eignen sich gut für eine nachhaltige und energieeffiziente Nutzung durch Wärmepumpen für die Raumheizung und die Warmwasseraufbereitung.

Erdwärmesondenanlagen sind heute bei Neubauten von Ein- und Mehrfamilienhäusern die häufigste Heizquelle. Die Erdwärmesonde wird zumeist in einem vertikalen Bohrloch versetzt. Dieses wird anschliessend mit einer Zement-Bentonit-Suspension unter Druck von unten nach oben verfüllt. Die Bohrlochhinterfüllung garantiert einen optimalen Wärmeaustausch zwischen

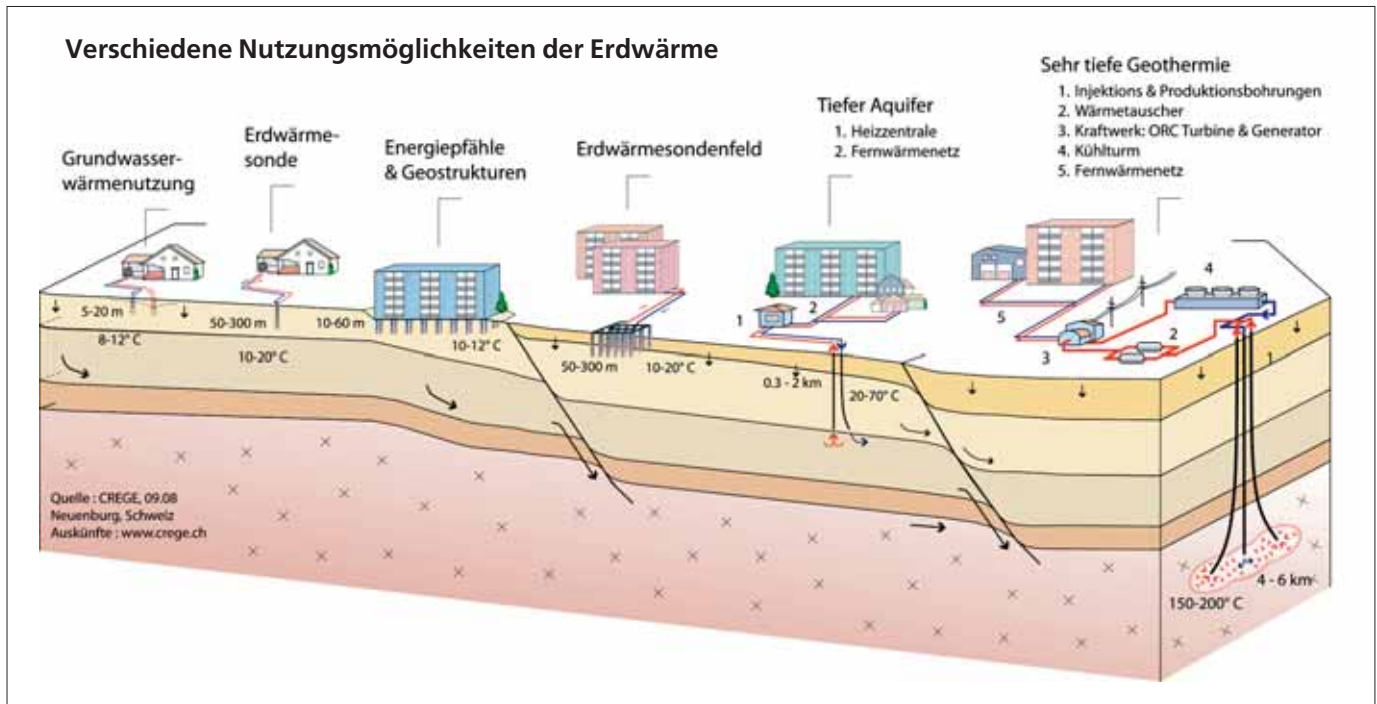
Thomas Hänggli  
Sektion Grundwasser  
und Wasserversorgung  
Abteilung Gewässerschutz  
AWEL Amt für  
Abfall, Wasser, Energie und Luft  
Postfach, 8090 Zürich  
Telefon 043 259 39 29  
thomas.haenggli@bd.zh.ch  
www.grundwasser.zh.ch  
www.wasser.zh.ch

Energie



Erdwärmesondenanlagen sind bei Neubauten von Ein- und Mehrfamilienhäusern heute die häufigste Heizquelle.

Quelle aller Fotos: AWEL, Abt. Grundwasser



Je nachdem, wie tief in den Boden eingedrungen wird, sind unterschiedliche Nutzungen der Erdwärme möglich.

der Sonde und dem umgebenden Untergrund und verhindert unerwünschte Wasserwegsamkeiten entlang dem Bohrloch. Die Sonde besteht meistens aus einem Doppel-U-Kunststoffrohr (Polyethylen). Im Sondenkreislauf zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit, die in der Regel aus einem Wasser/Glykol-Gemisch besteht.

Neben Einzelsonden kommen bei grossen Überbauungen, Industrie- und Bürogebäuden zunehmend Erdwärmesondenfelder als kombinierte Systeme zum Heizen über Wärmepumpenanlagen, direkt Kühlen («Free Cooling») und zur «Zwischenspeicherung» von überschüssiger Wärme im Untergrund zur Anwendung.

### Erdregister, Erdwärmekörbe, thermoaktive Elemente

Erdregister und Erdwärmekörbe nutzen die oberflächennahe Geothermie bis in rund vier Meter Tiefe. Die beiden Systeme brauchen viel Platz und werden deshalb eher selten, vor allem bei Neubauten von Einfamilienhäusern, eingesetzt. Wie bei Erdwärmesonden zirkuliert dabei eine Wärmeträgerflüs-

sigkeit in den horizontal verlegten Leitungen des Erdregisters oder den spiralförmig im zylindrischen Erdwärmekorb aufgewickelten Kunststoffrohren. Dabei wird dem Untergrund die Wärme entzogen, die über eine Wärmepumpenanlage zum Heizen genutzt werden kann. Erdregister können auch unter der Bodenplatte von Gebäuden verlegt werden und dienen häufig der Konditionierung von Frischluft bei kontrollierten Lüftungen. In diesem Fall werden die Erdregister mit Luft betrieben.

Thermoaktive Elemente umfassen verschiedenartige, im Untergrund platzierte Gebäude- und Anlageteile wie Bodenplatten, Kellerwände, Schlitzwände und Pfahlfundationen, also erdberührte Betonbauteile, die wie Erdregister und Erdwärmekörbe zum Heizen und Kühlen sowie zur Konditionierung der Frischluft bei künstlicher Belüftung genutzt werden können.

Armierte Beton-Bohrpfähle oder Rammpfähle für die Fundation von Gebäuden lassen sich als sogenannte Energiepfähle ausbilden. Ähnlich wie bei Erdwärmesonden werden in diesem Fall im Innern der Pfähle Doppel oder Vierfach-U-Rohre aus Polyethylen einge-

baut und mit Beton ummantelt. In den U-Rohren zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit, die dem Untergrund über eine Wärmepumpe Wärme entziehen bzw. Kälte zuführen kann.

### Grundwasserwärme

Grundwasserwärmennutzungen werden in Grundwassergebieten vor allem für Wohnüberbauungen und grosse Dienstleistungsgebäude eingesetzt. Anlagen zur Wärmenutzung mit Grundwasserentnahmen bestehen aus einem Entnahmebrunnen, einem Wärmetauscher (meistens mit Wärmepumpe und Zwischenkreislauf) und einer Rückversickerungsanlage. Der Entnahmebrunnen und die Rückversickerungsanlage sind dabei so zu platzieren, dass möglichst kein «Kurzschluss» durch Ansaugen von abgekühltem bzw. erwärmtem Wasser entstehen kann.

Die wichtigsten Grundwasservorkommen des Kantons Zürich liegen in den grossen Flusstälern. Als Grundwasserleiter dienen die gut wasserdurchlässigen kiesig-sandigen Ablagerungen. Diese Schotter erreichen in den Talsohlen häufig grosse Mächtigkeit und

erlauben den Bau von Grundwasserfassungen mit grossen Entnahmelösungen. Verbreitung und Mächtigkeit der Grundwasservorkommen sind in der Grundwasserkarte des Kantons Zürich (unter [www.grundwasser.zh.ch](http://www.grundwasser.zh.ch)) dargestellt.

In den zürcherischen Grundwasservorkommen betragen die natürlichen mittleren Temperaturen des Grundwassers in der Regel zwischen 10 und 12°C. Sie entsprechen damit ungefähr der Jahresmitteltemperatur der Luft. Unter dicht überbauten Gebieten ist die Grundwassertemperatur infolge der Abwärme von Siedlungsgebieten um bis zu 3°C erhöht.

### Heutige Nutzung und Potenzial der untiefen Geothermie

Im Durchschnitt der letzten Jahre erteilte der Kanton Zürich jährlich gegen 1500 Bewilligungen für Erdwärmesondenanlagen mit einer Wärmeentzugsleistung von total rund 26 000 Kilowatt (kW) sowie acht Konzessionen für Grundwasserwärmenutzungen. Der heutige Wärmebedarf im Kanton Zürich beträgt für die Raumheizung und Warmwasser rund 16 000 Gigawattstunden (GWh) pro Jahr. Davon werden heute etwa 40 GWh in rund 170 Grundwasserwärmenutzungen und rund 480 GWh in etwa 17 000 Erdwärmesondenanlagen erzeugt. Die untiefe Geothermie deckt zurzeit also rund 3,2 Prozent des jährlichen Wärmebedarfs. Das Energiepotenzial der untiefen Geothermie wird im Kanton Zürich auf jährlich etwa 250 GWh aus Grundwasser und rund 2000 GWh aus Erdsonden geschätzt. Dies sind insgesamt rund 14 Prozent des heutigen Wärmebedarfs.

### Risiken für das Grund- und Trinkwasser

Die Nutzung von Erdwärme und Grundwasser birgt bei unsachgemässer Anwendung aber auch wesentliche Risiken für unsere Trinkwasserversor-

### Tiefe Geothermie: Herausforderung für die Zukunft

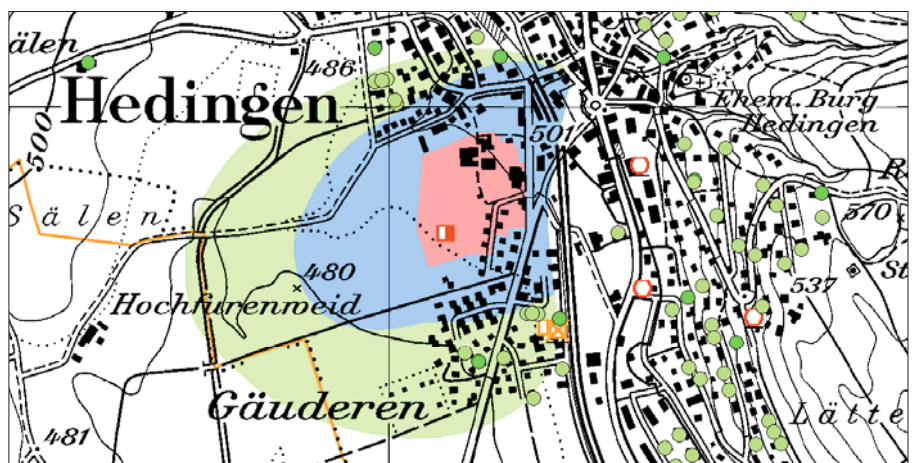
Ab einer Tiefe von 400 Metern spricht man von «tiefer Geothermie». Für die wirtschaftliche Produktion von Strom sind hohe Temperaturen von 150 bis 200°C erforderlich, die in Tiefen von vier bis sechs Kilometern herrschen. Die Erschliessung der tiefen Erdwärme ist im Vergleich zur untiefen wesentlich aufwendiger und kostenintensiver sowie mit zusätzlichen Risiken behaftet (Fündigkeit, induzierte Seismizität bzw. «künstlich ausgelöste Erdbeben»). Das Potenzial der Geothermienutzung nimmt jedoch mit wachsender Tiefe deutlich zu und ist deshalb für die Energienutzung in Grossanlagen interessant. Diese sind jedoch nur sinnvoll, wenn die jeweils um ein Mehrfaches der Stromproduktion anfallende Wärmemenge zum Heizen z.B. über Fernwärmenetze oder für industrielle Produktionsprozesse genutzt werden kann. Die tiefe Erdwärme kann entweder über «hydrothermale» oder über «petrothermale» Systeme erschlossen werden.

Hydrothermale Systeme nutzen natürliche Thermalwasservorkommen, indem natürlicherweise im Fels zirkulierendes heisses Wasser über eine Produktionsbohrung an die Oberfläche gepumpt und nach dem Wärmeentzug über eine zweite Bohrung, der Injektionsbohrung, wieder in den gleichen Aquifer zurückgegeben wird. Dieses System war auch bei der Geothermiebohrung Sonnengarten/Triemli in Zürich mit einer Endtiefe von gut 2700 Metern geplant. Mangels nutzbarem Wasser wurde das Bohrloch jedoch schliesslich als Erdwärmesonde ausgebaut.

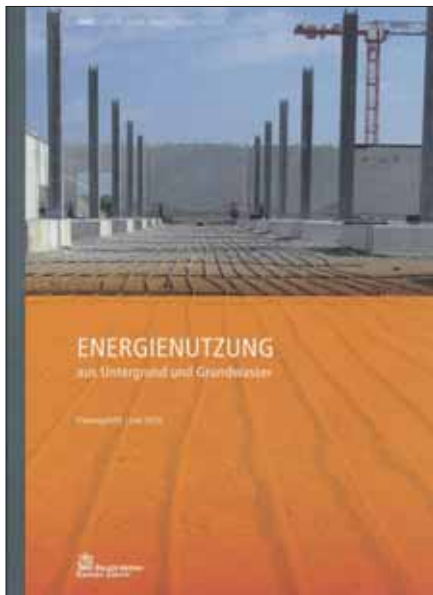
Petrothermale Systeme liefern Wärme aus ur-

sprünglich wasserfreien Gesteinsformationen. Durch Einpressen von Wasser mit hohem Druck von bis zu einigen 100 bar wird das Gestein aufgebrochen, um künstliche Fliesswege zu schaffen, die sich mit Hilfe weiterer Bohrungen zu einem Kreislauf verbinden lassen. Über eine Injektionsbohrung wird Wasser in den Untergrund gepumpt, wo es sich auf dem Weg zur Förderbohrung erhitzt. Via Förderbohrung wird das heisse Wasser wieder an die Erdoberfläche gepumpt, wo es zur Wärmegewinnung oder bei genügend hohen Temperaturen auch zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Anschliessend wird das abgekühlte Wasser über die Injektionsbohrung wieder in den künstlich aufgebrochenen Felsuntergrund zurückgegeben.

Die petrothermalen Systeme sind auch unter den Begriffen «Enhanced Geothermal Systems» (EGS), «Hot Dry Rock» (HDR) und «Hot Fractured Rock» (HFR) bekannt. Ein petrothermales System sollte beim Geothermieprojekt in Basel angewendet werden. Die dabei ausgelösten Erschütterungen führten aber zum Abbruch des Projekts. Zurzeit werden sämtliche aktuellen Tiefengeothermieprojekte in der Schweiz als hydrothermale Systeme betrieben, wobei noch nirgends eine Stromproduktion erfolgt. Auch die derzeit von der Industrie geplanten Projekte mit Stromproduktion setzen offenbar auf hydrothermale Systeme. Die dazu erforderlichen grossen Wassermengen in der Tiefe sind allerdings grösstenteils noch nicht nachgewiesen. Heute ist deshalb noch unklar, ob bzw. wann die geothermische Stromerzeugung in der Schweiz eingesetzt werden kann.



Auf den Online-Karten des Wärmenutzungsatlas ist sichtbar (hier am Beispiel Hedingen), wie verbreitet Erdsondenanlagen heute bereits sind: Hellgrün – Erdsonden, Dunkelgrün – Erdsonden mit Bohrprofil, Rot: Grundwasserschutzzone, Blau: Nutzbares Grundwasservorkommen, Grün: Randgebiet (nicht nutzbar).  
Quelle: [www.gis.zh.ch](http://www.gis.zh.ch)



Die Planungshilfe «Energienutzung aus Untergrund und Grundwasser» kann bei der Sektion Grundwasser bestellt werden.



Bohrungen erfordern Fachleute und spezialisierte Gerätschaften.

gung. Jede Grundwasserfassung und Rückversickerungsanlage stellt eine potenzielle Eintrittspforte für Verschmutzungen dar. Zudem können der Wärmeentzug und der Wärmeeintrag die Temperaturverhältnisse im Grundwasser verändern. Des Weiteren ist zu beachten, dass durch das Abteufen von Erdsondenbohrungen verschiedene Grundwasserstockwerke mit unterschiedlichen Wasserqualitäten nicht miteinander verbunden werden. Durch die Bohrungen dürfen auch keine artesisch oder subartesisch gespannte Grundwasservorkommen entspannt werden, da dies zu Setzungsschäden in der Umgebung führen könnte. Ein weiteres Risiko besteht, indem das Verfüllungsmaterial der Sondenlöcher die Durchlässigkeit von Grundwasser führenden Schichten beeinträchtigt. Schliesslich besteht die Gefahr, dass bei Leckagen von thermoaktiven Elementen, Erdregistern oder Erdwärmekörpern auslaufende Wärmeträgerflüssigkeit zu Verschmutzungen führt.

### Strategie für den Vollzug

Im Kanton Zürich werden rund 60 Prozent des Trink- und Brauchwassers aus dem Grundwasser gewonnen. Ander-

seits kann die Nutzung der Wärme aus dem Grundwasser lediglich einen sehr geringen Beitrag von rund zwei Prozent des heutigen Bedarfs an die Wärmeversorgung leisten. Eine ganzheitliche und dem Schutzgut Trinkwasser angemessene Strategie soll deshalb sicherstellen, dass das Grundwasser auch künftigen Generationen eine einwandfreie Trinkwasserversorgung ermöglicht.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes ist deshalb in Gebieten, in denen das Grundwasser für die Trinkwassergewinnung genutzt werden kann, die Konzentration auf möglichst wenige, grosse und gut gewartete Grundwasserwärme-Nutzungsanlagen erforderlich. Erdwärmesonden sind nur ausserhalb von für die Trinkwassergewinnung geeigneten Grundwasservorkommen zulässig. Erdregister, Erdwärmekörper, Energiepfähle und andere thermoaktive Elemente dürfen nur oberhalb des Grundwasserspiegels verlegt werden.

### Planungshilfen und Wärmenutzungsatlas des Kantons Zürich

Zur Harmonisierung der Bewilligungspraxis für die Nutzung der untiefen

Geothermie veröffentlichte das BAFU im Jahr 2009 die Vollzugshilfe «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund». Mit der Planungshilfe «Energienutzung aus Untergrund und Grundwasser» und dem Wärmenutzungsatlas erarbeitete das AWEL im Jahr 2010 zwei im Internet verfügbare Planungsinstrumente ([www.grundwasser.zh.ch](http://www.grundwasser.zh.ch)). Die Planungshilfe beschreibt die verschiedenen Grundwasser- und Erdwärmennutzungssysteme und zeigt die allgemeinen Bedingungen für deren Zulässigkeit auf. Der in der Schweiz bisher einmalige Wärmenutzungsatlas legt für jeden Standort im Kanton fest, welche Systeme zugelassen sind.

### Weitere künftige Herausforderungen

Die steigenden Preise für fossile Energieträger sowie die eingeschlagene Klima- und Energiepolitik werden weiterhin zu einer Zunahme der Energienutzung aus dem Untergrund und dem Grundwasser führen. Die Kühlnutzung wird dabei aufgrund der Klimaerwärmung an Bedeutung gewinnen.

Die Systeme der untiefen Geothermie haben bis heute den Nachteil, dass sie praktisch nur mit strombetriebenen Wärmepumpen zum Heizen genutzt werden können. Bei Gebäuden mit ungenügender Wärmedämmung haben die Wärmepumpensysteme einen schlechten Wirkungsgrad und damit einen erhöhten Stromverbrauch zur Folge. Eine Verknappung und Verteuerung der Elektrizität könnte sich deshalb negativ auf die Nachfrage nach diesen Heizsystemen auswirken. Die Nutzung der tiefen Geothermie für die Wärme- und Stromerzeugung bietet hier eine mögliche Lösung.

Die Entwicklung der erforderlichen Technologien für eine sichere und nachhaltige Nutzung der tiefen Erdwärme ist für die nächsten Jahre und Jahrzehnte eine sehr grosse Herausforderung. Sie kann nur in einer engen Zusammenarbeit zwischen Forschung, Industrie und Bewilligungsbehörden erfolgreich bewältigt werden.