

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Schweizer Ingenieur und Architekt |
| Herausgeber: | Verlags-AG der akademischen technischen Vereine |
| Band: | 112 (1994) |
| Heft: | 17 |
| Artikel: | Geothermie: Situation der heutigen Tiefen-Geothermie in der Schweiz |
| Autor: | Roux, Dominique / Hauber, Lukas |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-78424 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Geothermie

Situation der heutigen Tiefen-Geothermie in der Schweiz

Dieser Artikel legt den Kenntnisstand aus geologischer Sicht dar, beschreibt das Vorgehen bei der Realisierung eines geothermischen Konzeptes und enthält die Liste der bisher in der Schweiz ausgeführten Bohrungen, die ausschliesslich zum Zweck der Erschliessung der Erdwärme abgeteuft worden sind. Schliesslich wird eine aktuelle Methode zur Projekt-Evaluation aus technisch-ökonomischer Sicht beschrieben und das Geothermieprojekt von Riehen (BS) vorgestellt, das unmittelbar vor der Inbetriebnahme steht.

Die Geothermie manifestiert sich durch Austritt von Dampf (hohe Enthalpie) und von warmem Wasser (niedrige En-

VON DOMINIQUE ROUX,
PRESINGE, UND LUKAS
HAUBER, BASEL

thalpie). Als Ziel zur Nutzung der Erdwärme soll nachfolgend lediglich die tiefe Geothermie (>400 m) im niedrigen Temperaturbereich zwischen 25 und 90 °C betrachtet werden, wie sie zur Einspeisung in Heizsysteme mit oder ohne Wärmepumpe verwendet werden kann. Der Leser, der sich näher über die Nutzung der Geothermie unterrichten möchte, sei auf die entsprechende Literatur verwiesen [1, 4, 6], insbesondere aber auf eine Publikation des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW) [2].

Kurzer Überblick über die Entwicklung der tiefen Geothermie

Die Emanationen der Erdwärme werden dort seit langer Zeit genutzt, wo sie sich an der Erdoberfläche als geologisches Phänomen manifestieren: Vulkanismus, Geisire, Thermalquellen. In Europa sind dies vor allem Italien (Lardarello) und Island. Die Erschliessung der Erdwärme im Niedrigtemperaturbereich durch Bohrungen ist in Frankreich und in Ungarn stark vorangetrieben worden. Das Erbohren von warmen Wässern zu balneologischen Zwecken geht in Ungarn bis in das Jahr 1878 zurück (Budapest). Im Laufe der Zeit wurden in Ungarn mehr als 1000 Bohrungen abgeteuft, deren Wasser auch anderen Nutzungszwecken zugeführt worden ist (Heizung, Landwirtschaft, Gewerbe).

In Frankreich geht die Entwicklung auf Ergebnisse der Erdölforschung im Pariser Becken zurück. Heute sind in der Umgebung von Paris mehr als 300 000

Personen an Fernwärmesysteme ange schlossen, die mittels Erdwärme betrieben werden.

Mitte der 70er Jahre ist in der Schweiz auf Betreiben des BEW die «Eidgenössische Fachkommission für Geothermie und unterirdische Wärmespeicherung (KGS)» geschaffen worden. Sie hat ihre Arbeiten mit einer Zusammenstellung aller erreichbaren Daten über die Geothermie aus den verschiedensten Quellen (Erdölforschung, Tunnelbau, Salzvorkommen, Thermalwasserbohrungen usw.) begonnen. 1980 konnte eine erste Karte über die Geothermie in der Schweiz veröffentlicht werden [5].

Erst als die Eidgenossenschaft 1987 beschlossen hatte, für Geothermiebohrungen eine Risiko-Garantie zu übernehmen, sind erste derartige Tiefbohrungen niedergebracht worden. Zu den Gründen für dieses späte Einsetzen von Bemühungen, die Erdwärme in der Schweiz zu nutzen, gehört einerseits die Tatsache, dass die Schweiz kein Land mit einem rezenten Vulkanismus ist, der die Präsenz der Erdwärme augenfällig macht, und anderseits das Fehlen einer gesamtschweizerischen geologischen Dienststelle, welche sich derartigen Fragen anzunehmen hätte. Das BEW hat die Aufgabe, alle Bereiche der Energie zu betreuen und zu koordinieren. Die KGS berät das BEW in bezug auf Förderung, Realisierung und Erforschung der Erdwärme in der Schweiz. Sie kann lokale Behörden und Organisationen im Rahmen der vom BEW zur Verfügung gestellten Mittel in allen Fragen der Geothermie motivieren und mit den Hochschulen zusammenarbeiten.

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass 1990 die Schweizerische Vereinigung für Geothermie gegründet worden ist, die sich zum Ziel gesetzt hat, die Kenntnisse über die Geothermie in den verschiedenen Kreisen zu vertiefen und die Nutzung der Erdwärme zu fördern.

Was ist Geothermie?

Erdwärme entsteht laufend aus dem Zerfall natürlicher, radioaktiver, langlebiger Isotopen, die vor allem in der kontinentalen Erdkruste angereichert sind. Es handelt sich um folgende Isotope: Uran²³⁸, Uran²³⁵, Thorium²³² und Kalium⁴⁰.

Die noch vorhandene, aus diesem Zerfall entstehende Wärme wird auf 12×10^{30} Joule oder 38×10^{10} TWa (Terrawattjahre) geschätzt.

1 km³ heißes Gestein liefert bei einer Abkühlung um 100 °C rund 30 ME elektrische Leistung für eine Zeitspanne von 30 Jahren.

Die Wärmezunahme (= Gradient) in der Erdkruste beträgt im Mittel 3 °C/100 m. Abweichungen nach oben bestehen vor allem in vulkanischen Gebieten und erreichen dort Werte bis zu 1000 °C in oberflächennahen Bereichen (z. B. Hawaii). Abweichungen nach unten finden sich in geologisch alten Krustenteilen wie z. B. in Südafrika, wo in 3 km Tiefe erst 60°C gemessen werden. Auch dicke Sedimentmassen, wie z. B. entlang dem nördlichen Alpenrand, setzen den geothermischen Gradienten herunter.

Zum Vergleich sei erwähnt, dass in Ländern wie Frankreich die Geothermie ihren Aufschwung als Folge der Erdölkrise von 1973 genommen hat. Die dortigen Vorhaben konnten sich auf ausgedehnte und geeignete tiefe Wasservorkommen stützen, gekennzeichnet durch grosse Ergiebigkeit und hohe Temperatur. Diese Kenntnisse basierten auf einer ausgedehnten Erdölexploration nationaler Gesellschaften in diesem Gebiet. Mittels halbstaatlicher Organisationen wurde die nötige Grundlage geschaffen, damit die nötigen Subventionen in den damals entstehenden Satellitenstädten rund um Paris bereit gestellt werden konnten.

Möglichkeiten der Geothermie in der Schweiz

Der Untergrund der Schweiz

Die Nutzung der Erdwärme beruht auf der Tatsache, dass das Erdinnere Temperaturen bis etwa 4000 °C aufweist. Es besteht somit von der Erdoberfläche her gegen innen ein Temperaturgradient, der im Mittel bei 3 °C /100 m liegt. Je nach Region sind aber Abweichungen nach oben wie nach unten vorhanden. Anomalien nach oben weisen die Regionen von Basel (Rheingraben), die Umgebung von Baden, Zurzach und Schinznach Bad, das St. Galler Rhein-

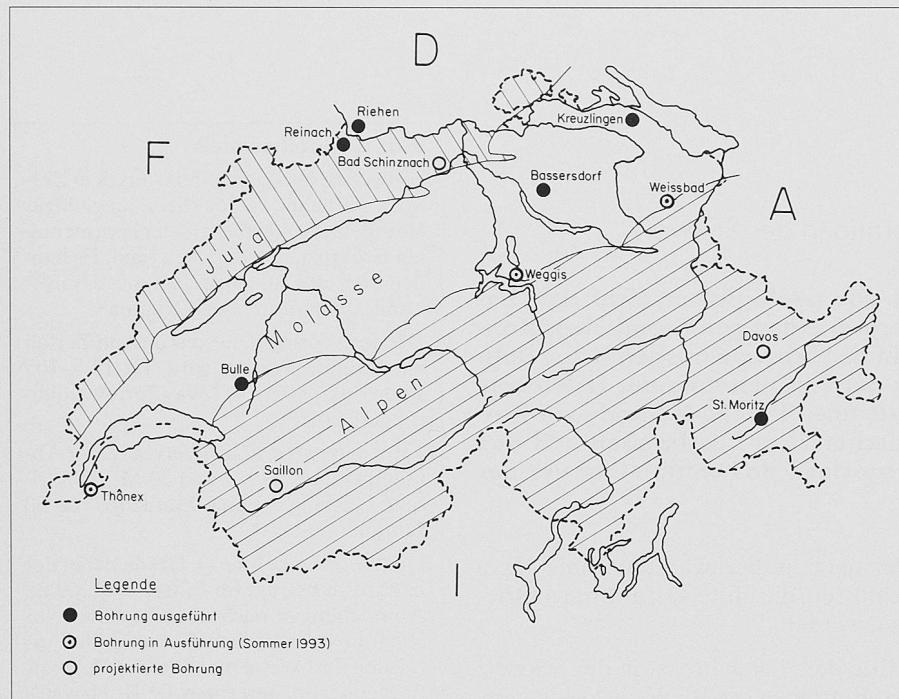


Bild 1. Lage der in der Schweiz ausgeführten, im Gang befindlichen oder geplanten Geothermiebohrungen

tal und das Rhonetal im Wallis auf. Erniedrigte Gradienten sind vor allem entlang dem Alpen-Nordrand anzutreffen. Eine Geothermiebohrung hat die Aufgabe, möglichst warmes Wasser in guter Menge und geringer Mineralisation in optimaler Tiefe zu finden. Die Wasserführung der Gesteine schwankt allerdings in sehr weitem Bereich. Es lassen sich verschiedene Arten der Zirkulation im Untergrund unterscheiden:

- auf Poren (Sande, Sandsteine, Konglomerate, Schotter, usw.)
- auf Klüften und Schichtfugen (gebankte Gesteine wie Kalke und Dolomite, tektonische Kluftzonen in kompetenten Gesteinen wie Kalke, Dolomite, aber auch in massigen Gesteinen wie Granite, Gneise, usw.)
- in verkarsteten Gesteinen (Jura, Helvetikum der Alpen usw.)

Anders als im Pariser Becken, wo die geologischen Verhältnisse relativ einfach sind, ist es in der Schweiz oft nicht leicht, gute Aquifere in geeigneten Tiefen zu finden. Sie können in der Regel nur durch Bohrungen erschlossen werden (Ausnahme: tiefliegende Tunnels wie Alptransit, Simplon). Inherent zu diesem Vorgehen besteht die Gefahr eines Misserfolges, der sehr unterschiedliche Ursachen haben kann: Fehlprognose, ungenügende Durchlässigkeit im Gestein, zu niedriger Temperaturgradient, ungeeigneter Wasserchemismus etc. Der sorgfältigen geologischen Abklärung ist deshalb höchste Bedeutung beizumessen. Die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges für eine geothermische Bohrung ist mit

jenem einer Explorationsbohrung auf Erdöl zu vergleichen, wo etwa jede zehnte Bohrung als Erfolg gelten kann. Es darf nicht übersehen werden, dass zwischen den geologischen Gegebenheiten und dem Standort einer möglichen Nutzung keine primären Abhängigkeiten bestehen. Nur dort, wo beide Aspekte positiv zu beurteilen sind, ist der Aufwand für eine kostenintensive Bohrung letztlich vertretbar.

Die Realisation einer geothermischen Anlage

Die Durchführung eines geothermischen Projektes weist gewisse Eigenheiten auf, die es zu berücksichtigen gilt:
Voraussetzungen für ein Geothermieprojekt

Drei Randbedingungen müssen erfüllt sein, um mit der Chance eines Erfolges rechnen zu können:

- gute Kenntnisse über die Geologie und über die zu erschließenden Aquifere
- sichere Abnehmer der Wärme
- Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von möglichen Bohrplätzen mit zugehöriger behördlicher Bewilligung in der Umgebung der potentiellen Abnehmer.

Um diese Informationen zu beschaffen, braucht es in der Regel zwei Stufen: Eine erste Vorstudie skizziert das Projekt. Im geeigneten Fall schliesst sich ein Vorprojekt an, das die Grundlagen und Grössenordnung des Projektes aufzeigt. Bei einem ermutigenden Ergebnis des Vorprojektes sollte die Finan-

Geothermie in der Schweiz

Bisher:

- Nutzung als Thermalwasser für balneologische Zwecke
- Nutzung zu Heizzwecken im Zusammenhang mit Thermalbädern (Lavey-les-Bains)
- Nutzung mittels zahlreicher Erdwärmesonden

Kenntnisstand heute: bescheiden, Einzeldata und Messungen aus:

- Erdölbohrungen
- Bohrungen der NAGRA
- Messungen in Tunnel- und Stollenbauten (vor allem Bahntunnel wie Simplon, Hauenstein-Basistunnel, Grenchenberg etc.)
- gezielte Geothermiebohrungen (siehe Bild 1)

Was ist zu tun:

- systematische Datensammlung
- Analyse der Wasserwegsamkeiten und von Zirkulationssystemen
- gezielte Bohrungen in vielversprechenden Regionen (unter gleichzeitigem Verzicht auf Bohrungen in ungünstigen Regionen)
- Unterstützung geothermischer Projekte durch finanzielle Anreize

Wozu Geothermie in der Schweiz:

- Nutzung erneuerbarer Energien
- Geothermie ist umweltfreundlich (keine Luft- und Wasserbelastung)
- Geothermie kommt ohne Verbrennung aus (kein Kohlendioxid!)
- Sammeln von Erfahrung für Zeiten der Energieknappheit
- Diversifikation der Ressourcen

Probleme der Geothermie:

- hohe Erschliessungskosten (Tiefbohrungen!)
- oft hochmineralisierte Wässer (Korrosion!)
- schwierige Prognostizierbarkeit
- deckte nur Grundlast
- hohe Verteilkosten (Fernwärmesysteme)

zierung soweit sichergestellt werden, dass die Kosten einer Geothermiebohrung gedeckt werden können. Da es sich normalerweise darum handelt, zentrale Wärmeversorgungen zu betreiben, bedingt dies oft Kredite der Öffentlichkeit, die es auch auf der politischen Ebene zu vertreten gilt.

Vorstudie

Diese Studie sollte folgende Punkte einschliessen:

- geologische Situation und erwartete Aquifere
- Festlegung der möglichen Wärmeabnehmer und Berechnung des Wärmebedarfs
- Evaluation des geothermischen Potentials und Vergleich mit den Wärmebedürfnissen

- erste Kostenschätzung der gesamten Investitionen

Es ist wesentlich, dass von Anfang an Klarheit darüber herrscht, welches die geologischen und hydrogeologischen Prospektionsziele sind. Diese müssen klar definiert sein, denn die geologischen Charakteristika der Gesteine sind sehr variabel. Sie bilden aber die Grundlage der ganzen Auslegung.

Vorprojekt

Hierzu gehören vor allem folgende Aspekte:

- Präzisierung der geologischen Situation im Hinblick auf eine möglichst genaue Bohrprognose und eine gute Schätzung der zu erwartenden Wassermenge und Wassertemperatur, um die Risiken einer Bohrung niedrig zu halten.
- Zusätzliche geologische Massnahmen zur Verbesserung der Prognose, sofern die vorhandenen Kenntnisse ungenügend sind (z. B. Zusatzseismik, Kartierung).
- Bestimmen der technischen Anforderungen an eine Bohrung sowie deren Kosten (inklusive geophysikalische Bohrlochvermessung, Tests, Analysen, Stimulationsversuche).
- Präzisierung der Wärmebedürfnisse und Ausarbeiten eines Heizungskonzeptes (zentrale WärmeverSORGUNG mit Wärmepumpe und Heizung für Spitzenbedarf).
- Parameterstudie zur Evaluation der Investitionen und der spezifischen Wärmekosten in Funktion unterschiedlicher Werte des Parameterpaars Ergiebigkeit/Temperatur.

Welche Unterstützung ist von der Eidgenossenschaft erhältlich?

Die Eidgenossenschaft kann eine finanzielle Unterstützung zusprechen, die aus zwei Teilen besteht: erstens eine Subvention von 25% der Bohrkosten als Starthilfe und zweitens eine Risiko-Garantie innerhalb eines Bereiches von 50-80% für den Restbetrag (75%) der Kosten.

Um in Genuss dieser Beihilfe zu kommen, muss der Bauherr dem BEW ein Gesuch einreichen, das sich auf die Ergebnisse des Vorprojektes stützt. Die Risiko-Garantie wird mittels zweier Kenndaten am Kopf der Bohrung bemessen: Eine Energiemenge (ermittelt aus Ergiebigkeit und Temperatur) bestimmt den Erfolg, eine zweite, niedrigere den totalen Misserfolg. In diesem Falle wird der Betrag der Risiko-Garantie voll ausbezahlt; liegt das Ergebnis zwischen den beiden Werten, so handelt es sich um einen Teilerfolg, und die Risiko-Garantie gelangt proportional

| Ort | Kanton | Ausführung | Aquifertyp |
|-------------|--------|------------|--|
| Riehen 1+2 | BS | 1987-89 | Karst-, Kluft- und Schichtaquifer kombiniert (Muschelkalk) |
| Kreuzlingen | TG | 1988-89 | Porenaquifer (Molasse) |
| Reinach | BL | 1988-90 | Karst-, Kluft- und Schichtaquifer kombiniert (Muschelkalk) |
| St. Moritz | GR | 1991 | Kluftaquifer (Kristallin) |
| Bulle | FR | 1992 | Porenaquifer (Molasse) |
| Bassersdorf | ZH | 1992-93 | Porenaquifer (Molasse) |

Tabelle 1. Bisher in der Schweiz ausgeführte Geothermiebohrungen

zum Ergebnis zur Auszahlung. Alle diese Informationen sind in der Wegleitung des BEW im Detail beschrieben.

Übersicht über die bisher ausgeführten Geothermiebohrungen

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die bisher in der Schweiz ausgeführten Geothermiebohrungen.

Zwei Projekte können als Erfolg verzeichnet werden (Riehen und Bassersdorf), die Bohrung Kreuzlingen war ein Teilerfolg, die drei anderen müssen als Misserfolg gewertet werden. Die Kosten der ersten fünf dieser Liste bilden Gegenstand der nachfolgenden detaillierten Kostenanalyse der Bohrungen. Sie werden anschliessend auch in technischer und finanzieller Hinsicht miteinander verglichen.

Drei Bohrungen befinden sich derzeit (Sommer 1993) in Ausführung: Weissbad (AI), Weggis (LU) und Thônex (GE). Drei Bohrprojekte sind ausführungsreif (Davos, GR, Schinznach Bad, AG, und Saillon, VS). Bild 1 zeigt die Standorte dieser Bohrungen.

Die Kosten der Geothermiebohrungen

Aus Tabelle 2 können die Kosten der ersten fünf Bohrungen der in der Schweiz ausgeführten Geothermieprojekte entnommen werden. Es ist daraus ersichtlich, dass teilweise erhebliche Unterschiede bestehen und da und dort Budgetüberschreitungen zu verzeichnen waren als Folge von Zusatzaufwendungen, die im ursprünglichen Arbeitsprogramm nicht enthalten waren. Die Aufgliederung, wie sie in Tabelle 2 enthalten ist, erlaubt einige praktische Hinweise. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass sich die Zahlen über Riehen stets auf zwei Bohrungen (Doublette) beziehen.

Bohrplätze und Installationen

Im Fall von Riehen mussten extrem hohe Anforderungen an die Ausgestaltung der Bohrplätze gestellt werden, da sie sich innerhalb der Grundwasserschutzzone «Lange Erlen» befanden. Die Bohrung St. Moritz musste in alpi-

| Bezeichnung | Riehen Doublette 1547/ 1247 m | Reinach 1 Bohrloch 1 793 m | Kreuzlingen 1 Bohrloch 655 m | St-Moritz 1 Bohrloch 1 600 m | Bulle 1 Bohrloch 800 m |
|--|--|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| <i>Bohrplätze</i> | 1 032 226.- | 433 997.- | 20 493.- | 802 370.- | 18 000.- |
| <i>Bohrarbeiten</i> | 3 362 928.- | 2 094 722.- | 694 933.- | 1 424 171.- | 501 461.- |
| <i>Geophysikalische Bohrlichmessungen</i> | 345 643.- | 234 904.- | 48 194.- | 212 833.- | 23 000.- |
| <i>Kurzpumpversuche</i> | 213 552.- | 594 939.- | 10 237.- | 105 061.- | 0 |
| <i>Dauerpumpversuche</i> | 599 447.- | 202 965.- | 97 791.- | 0 | 0 |
| <i>Bauleitung</i> | 383 419.- | 317 690.- | } 134 208.- | } 717 960.- | 15 000.- |
| <i>Geologische Betreuung</i> | 107 864.- | 149 826.- | | | 80 500.- |
| <i>Nebenkosten: Analyse Gebühren</i> | 139 051.- | | 12 512.- | 9 636.- | 32 169.- |
| <i>Reserve (Unvorh./Diverses)</i> | 5 521.- | 5 910.- | 0 | 103 414.- | 62 192.- |
| <i>Bankzinsen</i> | ./. 24 162.- | | | | |
| <i>Total</i> | 6 165 232.- | 4 090 902.- | 1 012 834.- | 3 375 445.- | 741 322.- |
| <i>Kreditüberschreitungen %</i> | 4.5 | 46.8 | 10.5 | 5.5 | -5.3 |

Tabelle 2. Zusammenfassender Kostenvergleich von 5 geothermischen Bohrungen

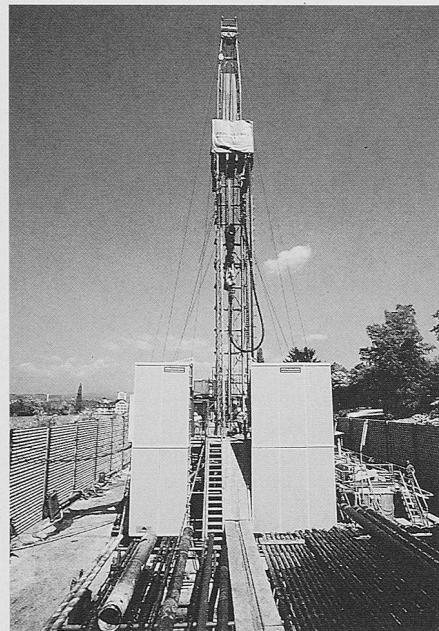


Bild 2. Geothermiebohrung Riehen mit Lärmschutzmassnahmen (1988)

ner Umgebung in eine Hanglage eingepasst werden, was sich ebenfalls in einer Kostenerhöhung bemerkbar machte. Dieser Bohrplatz erwies sich als der teuerste, obwohl hier auf Lärmschutzmassnahmen weitgehend verzichtet werden konnte, da sich in der Nähe keine Anwohner befanden. Ein weiteres Element bildet die Nähe zu Wohnquartieren, die zu aufwendigen Lärmschutzmassnahmen führt. Die niedrigen

Das Geothermieprojekt Riehen BS

Riehen ist eine im Kanton Basel-Stadt nördlich des Rheines gelegene Gemeinde von rund 20 000 Einwohnern. Im Jahr 1986 entschied sich der Gemeinderat von Riehen zusammen mit dem Grossen Rat des Kantons Basel-Stadt, die Möglichkeiten der Nutzung der Erdwärme in Riehen abzuklären.

In den Jahren 1987–89 sind zwei Tiefbohrungen abgeteuft worden. Diese Doublette erlaubt eine Nutzung von 20 l/s Wasser mit einer Temperatur von 62 °C. Der Bau der Heizzentrale und des Fernwärmennetzes sind heute weitgehend abgeschlossen, sodass die vollständige Betriebsaufnahme im Winter 1993–94 möglich ist. Die geothermische Energie wird mittels elektrischen Wärmepumpen auf die gewünschte Temperatur gebracht. Die elektrische Energie wird aus zwei Blockheizkraftwerken, die in das System eingebunden sind, gewonnen. Die Spitzenlast wird mittels drei durch Heizöl befeuerte Heizkessel abgedeckt.

Der Wärmepreis liegt bei ca. 0.20 Fr./kWh. inkl. Amortisation der Bohrungen und oberflächlichen Anlagen in dicht überbauter Umgebung. Die Belastung des Konsumenten wird vergleichbar sein mit konventionellen Wärmeträgern, weil ein Teil der Investitionskosten durch öffentliche Mittel getragen worden ist.

Kosten der Bohrplätze in Kreuzlingen und Bulle sind einerseits durch den Einsatz kleinerer Bohrgeräte und anderseits durch Standorte, die keinen Ausbau mehr erforderten, zu erklären.

Bohrarbeiten

Das Verhältnis der Bohrarbeiten untereinander entspricht den erreichten Tiefen. Es ist zu berücksichtigen, dass die Kosten mit zunehmender Tiefe stärker ansteigen, da von Anfang an mit schwereren Geräten, grösserer Durchmesser und mehrfacher Verrohrung gearbeitet werden muss. In den Bohrkosten schlägt sich auch die momentane Verfügbarkeit geeigneter Bohrgeräte nieder.

Geophysikalische Bohrlochvermessung

Geologische Bohrlochvermessungen geben einerseits Auskunft über den Zustand des Bohrloches und bilden damit eine Kontrollmöglichkeit der Qualität der ausgeführten Arbeit und erlauben andererseits die geologische und hydrogeologische Bestandesaufnahme zu verfeinern, wie z. B. Auskunft über die Zutrittsstellen von Wasser, die Lage rung der Gesteinsschichten usw. Entsprechend vielfältig ist das Angebot derartiger Messverfahren, so dass sehr unterschiedliche Messprogramme auf gestellt werden können. Auch hier gilt, dass bei komplexen geologischen Verhältnissen eher umfangreiche Messprogramme ausgeführt werden, während sich tiefe Bohrungen in flach gelagerten Schichten mit einfacheren begnügen können.

Pumpversuche

Im Bereich der Pumpversuche sind markante Unterschiede in den Kosten zu verzeichnen. Zunächst schlägt sich hier natürlich der Erfolg/Misserfolg nieder. Sobald ein Erfolg feststeht, wird ein Pumpversuch abgebrochen. In Bulle wurde gar auf einen Kurzpumpversuch und in St. Moritz auf einen Dauerpumpversuch verzichtet.

Im Erfolgsfall kommen die Langzeitpumpversuche von 2–4 Wochen hinzu (Kreuzlingen, Riehen), um den Erfolg im Dauerbetrieb nachzuweisen. In Riehen hat sich dabei erschwerend ausgewirkt, dass aus qualitativen Gründen eine Ableitung des geförderten Wassers in ein Oberflächengewässer oder in die Kanalisation nicht in Frage kam [3]. Es wurde deshalb eine provisorische Leitung von ca. 1 km Länge in bewohntem Gebiet zwischen den beiden Bohrungen Riehen 1+2 verlegt und Pump- und Reinjektionsversuche miteinander kombiniert. Riehen stellt den bisher einzigen Fall dar, bei welchem auch Re-

injektionsversuche ausgeführt worden sind. In den Pumpversuchskosten sind teilweise auch Kosten für Stimulationsversuche enthalten. Sie haben das Ziel, die nutzbare Porosität im Aquifer zu erhöhen (Ansäuerung) oder aber die Ge steinslüftung rund um die Bohrung zu erweitern (Hydrofrac). In Riehen ist dies während der Kurzpumpversuche (Ansäuerung), in Kreuzlingen im Dauerpumpversuch (Ansäuerung) vorgenommen worden.

Einen Spezialfall stellt Reinach dar: Hier sind im Rahmen der Kurzpumpversuche sowohl Ansäuerungen als auch Hydrofrac vorgenommen worden. Der Langzeitversuch diente der Überprüfung der Resultate und musste deshalb sicherstellen, dass echtes Formationswasser gewonnen werden konnte und nicht lediglich durch den Bohrvor gang und die Stimulationstests eingebrachtes und verunreinigtes Wasser. Da aber die Zuflussraten extrem niedrig waren, wurde hierfür außerordentlich viel Zeit benötigt (zwei Monate). Damit das negative Resultat (Misserfolg) eindeutig feststeht, können also ebenfalls Kosten anfallen!

Bauleitung und geologische Betreuung

Diese Kosten sind abhängig vom Umfang der Operation und von der Dauer der Arbeiten. Als aufwendig erweisen sich in der Regel die Arbeiten für die Sicherstellung der Kredite, für die Information von Presse und Besuchern. Bei einer komplizierten Geologie fallen entsprechend höhere Kosten aus Zusatzuntersuchungen an. In diesem Bereich gilt insbesondere, dass Personal, das sich in den örtlichen Verhältnissen auskennt oder welches mit der Tiefbohrtechnik und der Geothermie vertraut ist, mithelfen kann, Kosten zu sparen. Man sollte aber nicht zögern, den Spezialisten beizuziehen, wo es angezeigt ist.

Gesamtkosten

Es darf schliesslich festgestellt werden, dass es im allgemeinen gelingt, die Kosten im vorgesehenen Rahmen zu halten. Hier weicht lediglich die Bohrung von Reinach stark ab; der Grund liegt vor allem bei den Bohrplatzinstallatio nen (Lärmschutz), in den hohen Aufwendungen für die Pumpversuche und in der Tatsache, dass nur eine von zwei geplanten Bohrungen ausgeführt worden ist.

Technische und finanzielle Angaben über die Bohrungen

Tabelle 3 zeigt die Aufteilung in die technischen und ökonomischen Aspek-

| Bezeichnung | Riehen | Reinach | Kreuzlingen | St-Moritz | Bulle |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------|------------------------------------|
| <i>Art der Bohrung</i> | Doublette, vertikal | vertikal | vertikal | vertikal | vertikal, Verrohrung nur bis 500 m |
| <i>Bohrtiefe (m)</i> | 1 547/1 247 | 1 793 | 655 | 1 600 | 800 |
| <i>Gesamtkosten (Fr.)</i> | 6 165 232.– | 4 090 902.– | 1 012 834.– | 3 375 445.– | 741 322.– |
| <i>Preis Bohrmeter (Fr./m)</i> | 2 207.– | 2 282.– | 1 546.– | 2 110.– | 927.– |
| <i>Temperatur in Bohrtiefe (Grad)</i> | 67/54 | 72 | 30 | 50 | 30 |
| <i>Ergiebigkeit (l/s)</i> | 20/14 | 0.1 | 3.7 | 0.3 | 0.08 |
| <i>Gesamtmineralisation (g/l)</i> | 18.2/14.2 | 43.6 | | 13.8 | |
| <i>Pumpversuche</i> | Zusatzkosten für Reinjektionsversuche | Säuerung Hydrofrac | Säuerung vertieft Studie | | |
| <i>Erfolg/Misserfolg</i> | Erfolg | Misserfolg | Teilerfolg | Misserfolg | Misserfolg |
| <i>Energie (kW)</i> | 4760 | 26 | 309 | 47 | 7 |
| <i>spez. Bohrkosten (Fr./kW)</i> | 1 295 | | 3 280 | | |
| <i>Aquifertyp</i> | Kluftaquifer | Kluftaquifer | Porenaquifer | Kluftaquifer | Porenaquifer |
| <i>Lokale Gegebenheiten</i> | dicht überbaute Wohnzone | Rand der Wohnzone | dicht überbaute Wohnzone | alpine Lage | landwirtschaftliche Zone |
| <i>Jahr(e) der Bohrung</i> | 1987–89 | 1989–90 | 1988–89 | 1991 | 1992 |

Tabelle 3. Technischer Vergleich von 5 Bohrungen

te der fünf ersten in der Schweiz realisierten Geothermiebohrungen. Die Aufgliederung spricht für sich selbst, dennoch dürfte es angebracht sein, einige Bemerkungen anzufügen:

□ Vergleicht man die Kosten in Abhängigkeit von der Bohrtiefe, so muss ein Unterschied zwischen den drei Projekten mit den tiefsten Bohrungen (Riehen, Reinach und St. Moritz) und den beiden weniger tiefen Projekten von Kreuzlingen und Bulle gemacht werden. Die Tiefenabhängigkeit der drei ersten Projekte ist zwar offensichtlich, was aber eher als zufällig betrachtet werden muss angesichts der sehr unterschiedlichen Anteile in den einzelnen Positionen der Tabelle 3. Die Kosten für die Bohrplatzinstallationen unterscheiden sich nicht wesentlich, obwohl für die einzelnen Bohrungen recht unterschiedliche Voraussetzungen galten (Riehen 1+2 = Grundwasserschutzzone, St. Moritz = Hanglage, alpine Verhältnisse) und erst noch eine Verteilung der Bohrungen über einen Zeitraum von 4 Jahren berücksichtigt werden muss. Zur Bohrung von St. Moritz ist zu bemerken, dass sich in der Umgebung keine Anwohner befunden haben, während in Riehen und Reinach erhebliche Massnahmen für den Lärmschutz aufgewendet werden mussten; hingegen sind in St. Moritz ausserordentlich hohe Auslagen für die geologische Betreuung zu verzeichnen.

□ Die zwei weniger tiefen Bohrungen weisen deutlich niedrigere Kosten auf. Dies ist auf den Einsatz kleinerer Bohrgeräte zurückzuführen, die auch kleinere Bohrplätze benötigten. Der Unterschied von Fr. 1546.–/m für Kreuzlingen und Fr. 927.–/m für Bulle erklärt

sich aus drei Gründen: Erstens völlig unterschiedliche Lage der Bohrplätze, zweitens in Kreuzlingen Ansäuerung der Formation (Sandstein) während der Testarbeiten zur Verbesserung der Ergiebigkeit, und drittens wurde die Bohrung Bulle nur bis 500 m Tiefe verrohrt und nachher als trocken aufgegeben.

□ Die Mineralisation des Wassers in der Bohrung St. Moritz erwies sich als zu hoch, um in ein Oberflächengewässer eingeleitet werden zu können. Ein Erfolg der Bohrung St. Moritz hätte somit die Anlage einer nicht vorgesehenen Doublette (Reinjektion) bedeutet.

Was nun die spezifischen Kosten eines Bohrprojektes betrifft, ausgedrückt in Fr./kW, sei auf das nächste Kapitel verwiesen, welches die Evaluationskriterien behandelt.

Spezifischer Wärmepreis der Geothermie

Evaluationskriterien der Wärmekosten am Kopf der Bohrung

Um eine finanzielle Hilfe der Eidgenossenschaft für Geothermiebohrungen zusprechen zu können, hat das BEW Evaluationskriterien aufgestellt:

Kriterium 1: Spezifische Kosten der Bohrung

Dieses Kriterium ist am einfachsten anzuwenden: Die spezifischen Kosten einer Bohrung werden für den Fall eines Erfolges in Fr./kW ausgedrückt. Es handelt sich also darum, die Kosten der Bohrung durch die erwartete verfügbare

re thermische Leistung am Bohrkopf zu teilen. Diese spezifischen Kosten dürfen Fr. 2000.– nicht übersteigen.

I_{f1} (SFr.) = Gesamtkosten inkl. Tests, ohne Finanzhilfe des Bundes

$$P_{geo}(\text{kW}) = 4,18 \times D \times (T_s - T_r)$$

D = Erguss in l/s

T_s und T_r entsprechen den Temperaturen am Kopf der Fassungsbohrung und der Reinjektionsbohrung.

Um dieses Kriterium anzuwenden, benutzt man das Verhältnis I_{f1}/P_{geo} , indem T_r auf voraussichtlich 10 °C festgelegt wird.

Kriterium 2: Spezifische Kosten der Wärme am Kopf der Bohrung

Diese Variante hat zum Ziel, die Gestehungskosten der Wärme mit denen anderer, meist fossiler Energien zu vergleichen. Es müssen deshalb definiert werden:

I_{f2} = Kosten der Produktionstests und der Verbindung von Entnahme mit Reinjektionsbohrung über die Heizzentrale

H = Zahl der Betriebsstunden pro Jahr bei voller Belastung (Standardbedingung für eine zentrale Heizanlage H = 2200 h/a, doch gibt es Beispiele mit H = 5000 h/a)

A = jährliche Abschreibung der Anlage (z. B. Amortisation 20 Jahre und Zins 7%/a, A = 9%/a)

B = Jährliche Fixkosten für Betrieb und Unterhalt, meist B = 0,03

Hieraus lassen sich die spezifischen Wärmekosten am Kopf der Bohrung (CS) mit Hilfe folgender Gleichung errechnen:

Literatur

- [1] Agence française pour la maîtrise de l'énergie (1983): Guide du maître d'ouvrage en géothermie. – Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans
- [2] Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW), Bern (1990): Erdwärme in der Schweiz. Vorkommen und Nutzungsmöglichkeiten, Eidg. Drucksaachen- und Materialzentrale
- [3] Hauber, L. (1991): Ergebnisse der Geothermiebohrungen Riehen 1 und 2 sowie Reinach 1 im Südosten des Rheingrabens. – Geol. JB, Hannover, E 48, p. 167-184.
- [4] Rummel, F., Kappelmeyer, O. & Herde, O. A. (1991): Erdwärme, Energieträger der Zukunft? Fakten – Forschung – Zukunft. – MeSy GmbH, Bochum im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie
- [5] Rybach, L., Büchi, U. P., Bodmer, P. & Krüsi, H. R. (1980): Die Tiefengrundwässer des schweizerischen Mittellandes aus geothermischer Sicht. – Eclogae geol. Helv., 73/1, p. 293–310
- [6] Varet, J. (1982): Géothermie basse énergie, usage direct de la chaleur. Masson, Paris

$$CS = CS(Fr./MWh) = (I_{fl} + I_{l2}) \times (A+B) / (P_{geo} \times H)$$

Die in diesem Kriterium verwendeten Werte T_s und T_r entsprechen der nutzbaren Temperaturdifferenz in der Heizzentrale und unterscheiden sich unter Umständen von jenen in Kriterium 1.

Beispiel Riehen:

Kriterium 1: $I_{fl} = Fr. 6\,165\,232.-$, $P_{geo} = 4761\text{ kW}$

Hieraus ergeben sich für die Doublette spezifische Bohrkosten nach Kriterium 1 = 1295.– Fr./kW. Das Kriterium 1 ist somit erfüllt.

Kriterium 2: $I_{l2} = Fr. 3\,702\,900.-$, $P_{geo} \times H = 16\,000\text{ MWh/a}$,

$$A + B = 0,124/a$$

Der spezifische Wärmepreis am Eintritt der Heizzentrale nach Kriterium 2 beträgt 0.0765 Fr./kWh. Im Vergleich dazu ergibt sich aus Heizöl zu 400.– Fr./t ein spezifischer Wärmepreis von 0.04 Fr./kWh. Bei der Ausrichtung einer Subvention von 25% auf die Bohrkosten würde sich der Wärmegestehungspreis auf 0.0645 Fr./kWh erniedrigen. Der totale Wärmegestehungspreis bei Einschluss aller zusätzlichen Installa-

tionen (Wärmepumpen, Heizkessel zur Deckung des Spitzenwärmbedarfs, Fernwärmennetz usw.) erreicht in Riehen die Größenordnung von 0.20 Fr./kWh (34 000 MWh/a Produktion, davon 45% aus Erdwärme gedeckt).

Geotherm: ein Programm zur Unterstützung des Vorprojektes

Das Programm Geotherm wurde mit dem Ziel entwickelt, die Investitionskosten und die spezifischen Wärmekosten eines Vorprojektes im Rahmen eines Fernwärmennetzes einer Agglomeration mit Geothermie abschätzen zu können. Es erlaubt, diese Parameter in Funktion unterschiedlicher Verhältnisse Temperatur/ Ergiebigkeit mit genügender Genauigkeit zu berechnen, ohne dass das Projekt schon detailliert festgelegt sein müsste.

Das Programm Geotherm wurde mit Hilfe linearer Gleichungen entwickelt, welche die Investitionen der verschiedenen Systemkomponenten und die Jahreskosten berücksichtigt, die sich aus Abschreibungen, Unterhalts- und Betriebskosten und den variablen Kosten für die benötigte Zusatzenergie zusammensetzen. Der spezifische Wärmepreis ergibt sich somit aus den Jahreskosten geteilt durch die gesamte benötigte Wärme eines Jahres.

Indem eine feste Nominale als Einwohner-Gleichwert festgelegt wird, bestimmt die Ergiebigkeit der Quelle, welcher Anteil einer Agglomeration beheizt werden kann, und umgekehrt ist es der Umfang einer zu beheizenden Agglomeration oder Teile davon, welche festlegen, wie gross die geothermische Quelle sein muss, um die Beheizung sicherzustellen.

Die Eingaben und die Ergebnisse erfolgen in Tabellenform. Alle Eingangsparameter, ausgenommen jene, die für das Projekt festzulegen sind, sind aufgrund bestehender Informationen, aufgrund von Berechnungen oder aus bereits ausgeführten Projekten enthalten und müssen nicht mehr neu zusammengetragen werden. Es versteht sich von selbst, dass der Benutzer die Wahl hat, diese Werte nach den Bedürfnissen seines Projektes, nach seinen Erfahrungen und nach den vorherrschenden ökonomischen Randbedingungen abzuändern.

Um einen bestimmten Fall durchzurechnen, muss die Ergiebigkeit der Quelle definiert sein; hierfür ist die Eingabe von 4 Parametern nötig: Tiefe der

Bohrung, Erguss, Temperaturgradient und Temperatur des Auslaufes. Ebenso muss die ökonomische Seite festgelegt werden: Zinsen und Kosten der Zusatzenergie. Damit berechnet das Programm die Wärmemenge ab Zentrale, die jährlichen Wärmebedürfnisse, die gesamten Investitionskosten und den spezifischen Wärmepreis. Das Programm ist interaktiv: die Änderung eines Parameters führt unmittelbar zur Ausgabe neuer Resultate.

Schlussfolgerungen

Die Möglichkeiten, die tiefe Erdwärme zu nutzen, sind in der Schweiz noch wenig erforscht. Aus geologischer Sicht ist ihr Bau oft kompliziert; die Prospektion begann erst im Jahre 1987 unter der Führung des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW). Die Nutzung der Erdwärme stellt kein vorrangiges Ziel dar in Anbetracht der zahlreichen Alternativen, die Schweiz mit Energie zu versorgen. Die finanziellen Mittel sind beschränkt und die Gefahr eines Misserfolges wird in der Schweiz stärker gewichtet als in anderen Ländern.

Ein geothermisches Projekt sollte in erster Linie unter der Optik der möglicherweise erschlossenen Energie beurteilt werden: Die Nachfrage und Versorgungsalternativen sind die wichtigsten Aspekte, dazu kommen Überlegungen aus dem Bereich Umweltschutz.

Es ist höchst wahrscheinlich, dass der Untergrund der Schweiz ein geothermisches Potential enthält, das auch ohne den Einsatz von Wärmepumpen nutzbar ist. Sein Umfang und die Möglichkeiten seiner Erschliessung auf wirtschaftlich oder politisch vertretbare Weise sind noch ungeklärt und werden es auch bis über das Jahr 2000 hin bleiben.

Die Autoren danken dem Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) für die zur Verfügung gestellten Unterlagen über die Geothermie in der Schweiz.

Adresse der Verfasser: D. Roux, Ingénieur conseil, route des Eaux-Belles 34, 1243 Presinge, und L. Hauber, Kantonsgeologe Basel-Stadt, Bernoulliistrasse 16, 4056 Basel.