

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 91 (1999)
Heft: 9-10

Artikel: Geothermie : die umweltschonende Energie
Autor: Brunner, M. / Gorhan, H.L.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940072>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.04.2025

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

Geothermie – die umweltschonende Energie

■ M. Brunner und H. L. Gorhan

Einleitung

«Geothermische Energie» – auch als Erdwärme bezeichnet – ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Erdoberfläche. Im Erdinnern sind immense Wärmemengen gespeichert, deren Ursprung grösstenteils in der Zerfallsenergie natürlich radioaktiver Isotope liegt. Der geothermische Wärmefluss durch die Erdoberfläche beträgt über 40 Milliarden kW.

Hauptanliegen der geothermischen Energienutzung ist es, die Wärme mit Hilfe von geeigneten Technologien an die Erdoberfläche zu befördern. An einigen Stellen liefert die Natur selbst das notwendige Zirkulationssystem (z.B. Thermalquellen), andernorts müssen Förderbohrungen eingesetzt werden.

Geothermie ist eine erneuerbare und umweltfreundliche Energieform (kein CO₂-Ausstoss), die jederzeit und verlässlich zur Verfügung steht.

Das trifft bei anderen erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne bekanntlich nicht immer zu!

Wie kann geothermische Energie effizient genutzt werden?

Praktisch schon ab Erdoberfläche kommen heute die folgenden geothermischen Nutzungsmethoden zur Anwendung:

Erdwärmesonden, Erdregister und Grundwasser-Wärmenutzung

Erdwärmesonden sind vertikale Erdreich-Wärmetauscher – vorwiegend Polyethylen-U-Rohre, die bis in eine Tiefe von 50 m bis 250 m installiert werden und in denen im geschlossenen Kreislauf Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert. Derartige Anlagen haben sich bisher technisch und wirtschaftlich sehr bewährt.

Erdregister bestehen aus horizontalen, bis in eine maximale Tiefe von 3 m verlegten Rohrschlangen, die dem Erdreich Wärme entziehen. Die Funktionsweise ist dabei praktisch identisch mit derjenigen von Erdwärmesonden.

Die Förderung des Grundwassers erfolgt entweder durch Einzel- oder Mehrfachbrunnen (Förder- und Schluckbrunnen).

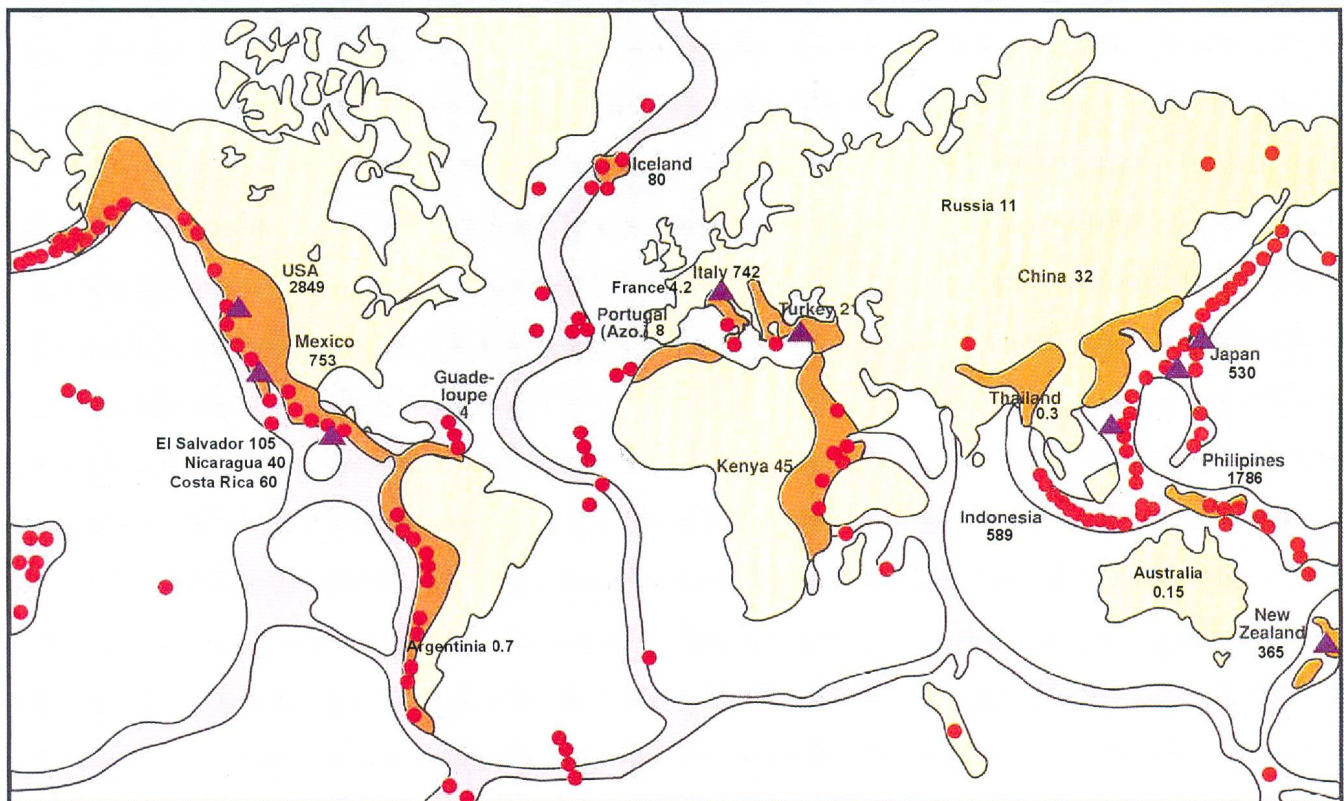
Alle genannten Systeme benötigen eine Wärmepumpe, um die dem Untergrund entnommene Wärme auf das für die Raumheizung benötigte Temperaturniveau anzuheben. Wärmepumpen funktionieren umgekehrt wie ein Kühlschrank, das heisst, an Stelle von Kälte wird Wärme produziert (vergleichbar mit der Wärme also, die jeder Kühlschrank an seiner Rückseite abgibt).

Energiepfähle

Bei schlechten Baugrundverhältnissen muss die Gebäudelast in vielen Fällen von Pfählen getragen werden. Mit relativ einfachen Mitteln lassen sich diese als Energiepfähle ausrüsten. Das Besondere an Energiepfahlsystemen ist die ökologisch und wirtschaftlich interessante Doppelnutzung von erdberührenden Betonteilen für Foundation und gleichzeitige Wärme-/Kälte-Energiegewinnung.

Hydrothermale Geothermie

Thermalbäder stellen wohl die älteste Form der geothermischen Energienutzung dar. Verwendete man ursprünglich ausschliesslich



Areas with potential for geothermal power plants
 Active volcanoes
 Geothermal power plants

Bild 1. Weltweit installierte Leistung (in MW) zur geothermischen Stromerzeugung (Stand 1997).

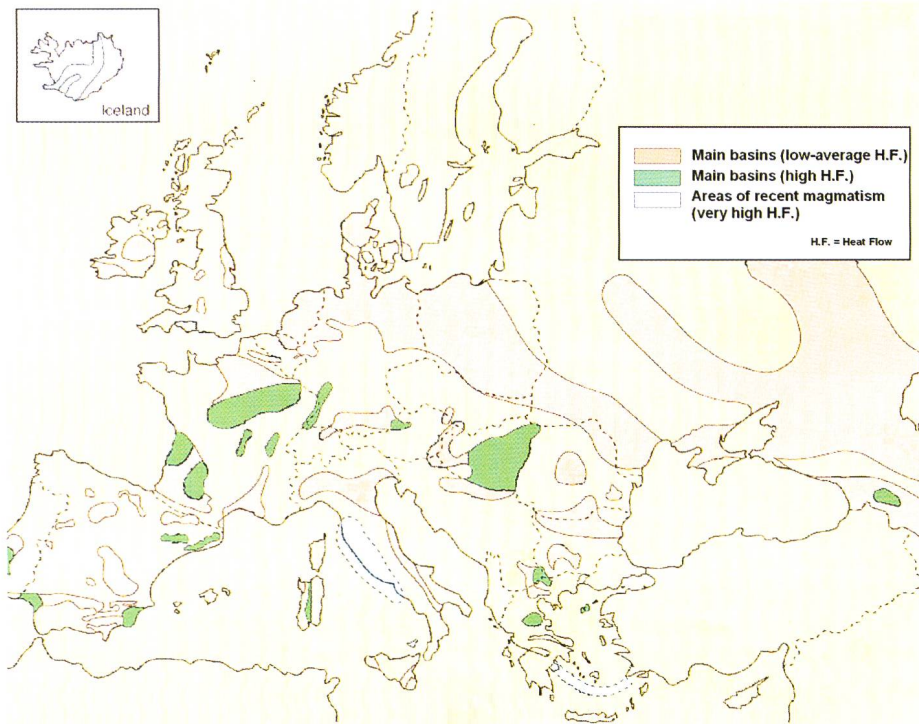


Bild 2. Geothermische Gebiete in Europa (die Nutzung von untiefer Geothermie ist auch ausserhalb der gekennzeichneten Gebiete möglich).

heisse Quellaustritte an der Erdoberfläche, versuchte man bald mit Hilfe von Förderbohrungen sowohl die Schüttung als auch die Temperatur zu erhöhen. Heute wird mit geothermischen Tiefbohrungen (ca. 500 m bis 2500 m) Thermalwasser an die Oberfläche gepumpt und nach dem Prinzip der Mehrfach- oder Kaskadennutzung unterschiedlichen Heizzwecken zugeführt (Wohn- und Gewächshäuser, Kuranstalten usw.).

Unter besonderen geologischen Verhältnissen können in vielen Ländern der Welt in relativ geringen Tiefen (< 3 km) bereits sehr hohe Temperaturbereiche (200 °C bis 300 °C) angetroffen werden (Bild 1). Der aus diesen Hochtemperaturfeldern geförderte heisse Wasserdampf ermöglicht dann die Produktion von elektrischem Strom mittels konventioneller Dampfturbinen.

Hot-Dry-Rock (oder Deep Heat Mining)

Mit Hilfe der Hot-Dry-Rock-Technologie sollte es in naher Zukunft möglich werden, auch in Ländern ohne die oben erwähnten Hochtemperaturfelder elektrischen Strom plus Wärme zu produzieren. Unter Deep Heat Mining versteht man den Entzug geothermischer Energie aus einem künstlich geschaffenen unterirdischen Reservoir zur Produktion von Wärme und Strom.

Das Funktionsprinzip ist relativ einfach. Nachdem eine erste Tiefbohrung abgeteufelt ist, wird durch künstliches Aufweiten von bereits vorhandenen Kluftsystemen ein unterirdisches geothermisches Reservoir geschaffen. In dieses Reservoir wird Wasser

eingespeist. Das auf natürliche Weise erwärmte Wasser kann dann mit Hilfe einer oder mehrerer Produktionsbohrungen an die Erdoberfläche zurückgefördert werden. Dort überträgt ein Wärmetauscher die Wärme zur Stromerzeugung auf einen Generatorkreislauf. Ein grosser Teil der Restwärme kann in ein Fernwärmenetz eingespeist werden. Das abgekühlte Wasser wird in einem geschlossenen Kreislauf zurück in das Reservoir befördert.

Führende Länder bei dieser geothermischen Nutzungstechnologie sind zurzeit die USA, Japan und Frankreich, wo sich derartige Anlagen bereits in einem intensiven Teststadium befinden.

Nutzung von warmen Tunnelwässern

Aufgrund der zahlreichen Eisenbahn- und Strassentunnel ist diese geothermische Nutzungsart in erste Linie eine Schweizer Spezialität (siehe weiter unten). Da die Tunnel gleichsam eine «Drainage» des durchbohrten Gebirges bewirken, lassen sich die in Tunnelröhren einsickernden warmen Kluftwässer sammeln und für Heizzwecke nutzen. Die Wärmeverteilung erfolgt mit Hilfe von Nahwärmenetzen. Je nach Temperatur dieser

Bergwässer wird eine zentrale oder mehrere dezentrale Wärmepumpen (siehe oben) benötigt, um die für eine Gebäudeheizung erforderlichen Temperaturen zu erreichen.

Weltweite Nutzung der Geothermie

Wie Bild 1 zeigt, sind Hochtemperaturfelder an weltumspannende «Plattengrenzen» gebunden, wo auch Vulkane gehäuft auftreten. Ein Beispiel stellt der zirkumpazifische «ring of fire» dar (Westen der beiden Amerikas, Japan, Indonesien, Philippinen und Neuseeland). In Europa werden geothermisch nur in Italien und Island signifikante Mengen an elektrischem Strom produziert.

Speziell für Länder mit Hochtemperaturfeldern aber ohne oder nur geringer eigener Erdölproduktion ist die geothermische Stromproduktion von besonderem Interesse. Dazu zählen zum Beispiel El Salvador, Kenia, Nicaragua und die Philippinen, wo ca. 10 % bis 20 % der gesamten Stromproduktion aus geothermischen Anlagen stammen. Dementsprechend werden in Island ca. 5 % geothermisch produziert, ähnliche Produktionszahlen werden für Mexiko und Indonesien in naher Zukunft erwartet, für Costa Rica sogar 15 % (nach I.B. Fridleifsson, NEDO International Geothermal Symposium, Japan, 1997).

Die in Tabelle 1 aufgeführten weltweiten Leistungs- und Energieproduktionszahlen für Strom und Wärme wurden anlässlich eines Expertentreffens des «Sub-Committee on Technology Policy and Energy of the Parliamentary Assembly of the Council of Europe» im Mai 1998 in Strassburg präsentiert.

Weltweit wird heute bereits in etwa 47 Ländern Wärme und/oder Strom geothermisch produziert.

Betreffend Stromproduktion erreicht weltweit die Leistung geothermischer Anlagen 52 % der installierten Leistung von erneuerbaren Ressourcen (Geothermie, Wind, Solar und Gezeitenkraftwerke zusammen genommen, aber ohne Wasserkraft), wobei geothermische Anlagen sogar ca. 80 % der gesamten erneuerbaren elektrischen Energie produzieren (IGA News, Jänner-März 1999).

Nutzung der Geothermie in Europa

In Europa dominiert bis heute die direkte Nutzung der Erdwärme für Heizzwecke (von Gebäuden, therapeutischen Anlagen, für die Landwirtschaft, Gewächshäuser, Fischfar-

	Installierte Leistung (MW _{el})	Installierte Leistung (MW _{th})	Energieproduktion (GWh/Jahr)
Strom (= indirekte Nutzung)	8021		43756
Wärme (= direkte Nutzung)		9704	35098

Tabelle 1. Leitungs- und Energieproduktionszahlen für geothermische Wärme und Strom.

men, industrielle Prozesswärme und -kälte usw.) (Bild 2). Wie bereits erwähnt, werden nur in Island und Italien signifikante Mengen an elektrischem Strom mittels geothermischer Anlagen produziert.

Am geothermischen Seminar des «European Geothermal Energy Council (EGEC)» vom April 1999 in Ferrara wurden diesbezüglich die gegenwärtigen sowie die längerfristig prognostizierten Leistungs- und Produktionszahlen genannt (Tabelle 2).

Des Weiteren wurde am obigen europäischen Seminar betont, dass zurzeit nur ein Bruchteil der vorhandenen geothermischen Energie tatsächlich genutzt wird. In der Europäischen Gemeinschaft soll daher alles darangesetzt werden, die Nutzung der erneuerbaren und umweltfreundlichen geothermischen Energie auf allen Ebenen voranzutreiben. Voraussetzung dafür ist die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft sowie die Förderung seitens politischer Entscheidungsträger.

Nutzung der Geothermie in der Schweiz

Vor etwa 20 Jahren war die Nutzung von geothermischen Ressourcen in der Schweiz noch praktisch unbekannt – unser Land sozusagen ein weisser Fleck auf der geothermischen Weltkarte! Heute nimmt, pro Einwohner gerechnet, unser Land weltweit den dritten Platz ein, nach Island und Neuseeland. Wie konnte das geschehen?

An erster Stelle ist hier wohl die gezielte Förderpolitik des Bundesamtes für Energie (BfE) zu erwähnen, das schon frühzeitig die Vorzüge wie Umweltfreundlichkeit und die ständige Verfügbarkeit dieser im eigenen Land vorhandenen Energieform erkannte (keine Schadstoffemissionen, kein CO₂-Ausstoss). Der «Erdölshock» im Jahre 1974 bildete einen weiteren Anstoss, die Suche nach einheimischen Energien verstärkt aufzunehmen, um damit die Abhängigkeit von ausländischen Heizölprodukten zu reduzieren. Ähnliches bewirkte etwas später die spürbare Steigerung des Umweltschutzbewusstseins in der Schweiz (Erstellung des Aktionsplanes E2000 zur Verringerung der CO₂-Emissionen gemäss Abkommen von Rio de Janeiro, Verschärfung der Luftreinhalteverordnung usw.).

Der heute beachtlich hohe Nutzungsgrad geothermischer Ressourcen in der Schweiz ist auch ein grosses Verdienst der regen Tätigkeit der Schweizerischen Vereinigung für Geothermie (SVG), die derzeit über 300 Mitglieder zählt und massgeblich an der Organisation der European Geothermal Conference in Basel mitwirkte. Diese Vereinigung pflegt des weiteren bereits seit mehreren Jah-

ren beste Beziehungen und einen intensiven Erfahrungsaustausch mit anderen geothermischen Organisationen in West- und Osteuropa. Pro Jahr werden drei Bulletins veröffentlicht, die auch im Ausland Anerkennung finden.

Den grössten Anteil an der Wärme- und Stromproduktion nehmen in der Schweiz die Erdwärmesonden ein, wovon bereits mehr als 20 000 zur Beheizung von Ein- und Mehrfamilienhäusern in Betrieb stehen (die Gesamtlänge dieser Erdwärmesonden beträgt ca. 4000 km!). Derzeit besteht die Tendenz, mit Erdwärmesonden in immer grössere Tiefen (ca. 500 m) vorzudringen, um von den dort vorhandenen höheren Temperaturen zu profitieren (eine Erdwärmesonde in der Schweiz wurde sogar in einer Tiefe von 2280 m installiert).

Wie bereits einleitend erwähnt, stellt die Nutzung warmer Tunnelwässer eine Schweizer Spezialität dar. Gesamthaft wurden bereits vier derartige Anlagen in Betrieb genommen. Mit einem grossen Wärmepotential wird bezüglich der zukünftigen Alp-Transit-Projekte (Sankt-Gotthard, Lötschberg) gerechnet.

Eine unlängst von der Schweizerischen Vereinigung für Geothermie für das Bundesamt für Energie (BfE) durchgeführte Studie ergab eine totale Wärme- und Stromproduktion

von 588,9 GWh, wobei der geothermische Anteil 396 GWh betrug (1998). Die entsprechenden Zahlen für 1990 sind 316 und 211 GWh, was eine Zunahme von 87 % bzw. eine jährliche Zuwachsrate über 12 % ergibt. Die Aufteilung der Wärme- und Stromproduktion auf die einzelnen Nutzungssysteme ist ersichtlich aus Tabelle 3.

Schlüsselprojekte in der geothermischen Forschung und Entwicklung bilden das Hot-Dry-Rock- oder Deep-Heat-Mining-Projekt in Basel sowie die Teilnahme am geothermischen Projekt der International Energy Agency (IEA). Den Vorsitz bei diesem IEA-Projekt hat die Schweiz (Prof. L. Rybach). In diesem Zusammenhang erwähnenswert ist auch die enge Mitarbeit von Schweizer Geothermie-Fachleuten an der europäischen Hot-Dry-Rock Pilotanlage in Soultz-sous-Forêts im Elsass.

Förderpolitik des Bundesamtes für Energie

Vom Bundesamt für Energie (BfE) wurden in diesem Jahr geothermische Forschungs- und Entwicklungsprojekte bzw. die Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen mit total Fr. 1 487 272.– finanziell gefördert. Generell ist diese Unterstützung jedoch als «seed money» zu verstehen; das heisst, wichtige Bedingung für den Erhalt einer Förderung

	1998	2010	2020
Wärme (tiefe und untiefe Ressourcen):			
Wohneinheiten	920 000	ca. 3 Millionen	ca. 12 Millionen
Leistung	5 200 MW _{th}	15 000 MW _{th}	48 000 MW _{th}
Elektrischer Strom (inkl. Hot-Dry-Rock ab ca. 2010):			
Leistung	940 MW _{el}	2 000 MW _{el}	3 000 MW _{el} ¹ 8 000 MW _{el} ²
Energie	7 500 GWh/Jahr	16 000 GWh/Jahr	24 000 GWh/Jahr ¹ 64 000 GWh/Jahr ²

¹ ohne private oder öffentliche Fördermassnahmen.

² mit entsprechenden Fördermassen, unter Berücksichtigung, dass durch Nutzung der Geothermie Umweltschäden vermieden werden. Leider bleiben bei Kostenvergleichen zwischen geothermischen und konventionellen Heizanlagen die Folgeschäden von Umwelt und Gesundheit, die durch Verbrennung von derzeit recht billigen fossilen Heizstoffen langfristig entstehen (z. B. CO₂-Problematik), meist immer noch unberücksichtigt (sogenannte externe Kosten).

Tabelle 2. Prognosezahlen für geothermische Produktion.

Wärmequelle	Wärme- und Stromproduktion 1998 (GWh)	%
Warme Tunnelwässer	2,9	0,5
Hydrothermale Geothermie	29,0	4,9
Energiepfähle	5,3	0,9
Erdwärmesonden	439,7	74,6
Erdregister	49,0	8,3
Grundwasser	63,0 ¹	10,8
Total	588,9	100,0

¹ vermutlich um einiges höher, da genaue Zahlenangaben schwer erhältlich.

Tabelle 3. Geothermische Wärme- und Stromproduktion 1998 in der Schweiz.

stellen substantielle Eigenleistungen des Antragstellers sowie Dritteleistungen aus der Privatwirtschaft und der öffentlichen Hand dar (Kanton und Gemeinden). Des weiteren werden vom BFE nur solche Projekte finanziell mitunterstützt, die technisch neue und deutlich innovative Aspekte aufweisen.

Künftiges Vorgehen

Nachfolgeprojekte des Aktionsprogramms Energie 2000 sind bereits in Vorbereitung, und Schwerpunkte des BFE-Programms «Geothermie» für die nächste Zukunft lauten wie folgt:

- Technisch-wirtschaftliche Verbesserungen von Erdwärmesonden und Energiepfehlanlagen;
- Fortführung des Deep-Heat-Mining-Projektes in Basel bzw. Vorbereitung von weiteren Standorten (z. B. in Genf);
- Realisierung von grösseren und innovativen Erdwärmesondenanlagen («Erdwärmesonden-Felder»);
- Realisierung von grösseren Energiepfehlanlagen zum Heizen und Kühlen (z. B. Flughafenerweiterung in Kloten);
- Realisierung von grösseren Projekten mit Mehrfach- oder «Kaskadennutzung» von

Thermalwässern (z. B. Kuranlage Lavey-les-Bains);

- Realisierung von grösseren Anlagen zur Nutzung von warmen Tunnelwässern (z. B. Hauenstein-Basistunnel, Sondierstollen Lötschberg-Frutigen und später die bereits erwähnten beiden AlpTransit-Eisenbahntunnel).

Adresse der Verfasser

Martin Brunner, Bundesamt für Energie, CH-3003 Bern.

Dr. H. L. Gorhan, Electrowatt Engineering AG, CH-8034 Zürich.

PC-Programm SwEWS für geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens

■ Martin Zogg

Im Laufe des Jahres 1999 wurde das Forschungsprojekt PC-Programm SwEWS für geothermische Eigenschaften des Schweizer Molassebeckens im Forschungsprogramm «Umgebungs- und Abwärme, Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)» im Bundesamt für Energie (BFE) abgeschlossen.

Eine bessere Auslegungssicherheit führt zu wirtschaftlicheren Erdwärmesondenanlagen mit geringerem Pumpleistungsbedarf. Sie ermöglicht in vielen Fällen die Verwendung von reinem Wasser statt Ethylenglykol/Wasser als Wärmeträger. Schwächstes Glied in der Berechnungskette für solche Anlagen sind die Stoffwerte des Erdbodens.

Zur bequemen Berechnung der für die fundiertere Auslegung von Erdwärmesondenanlagen benötigten geothermischen

Stoffwerte Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität und Dichte des Erdbodens wurde ein PC-Programm erstellt. Es beschränkt sich vorerst auf die typischen Gesteine des Schweizer Molassebeckens bis zu einer Tiefe von 500 m. Das Programm interpoliert und extrapoliert daraus die erwähnten Stoffwerte für die im Schweizer Mittelland vorkommende obere Süsswassermolasse, obere Meeresmolasse und untere Süsswassermolasse für einen beliebigen Standort innerhalb

der im Bild 1 aufgezeigten Grenzen aus einer Datenbank mit 604 Datensätzen von 68 Lokalisationen. 230 Datensätze wurden an Gesteinsproben im Labor gemessen und 374 mit physikalischen Logdaten berechnet.

Die geothermischen Eigenschaften der über der Molasse liegenden Lockergesteine (Quartär, «Deckschicht») müssen manuell eingegeben werden. Diese Schichten liegen normalerweise innerhalb des Grundwasserspiegels. Je nach Wassergehalt können die massgebenden Stoffwerte hier stark schwanken. Das Programm liefert zur Abschätzung wertvolle Hilfen.

Das Programm benötigt für einen bestimmten Standort folgende Eingaben:

- Koordinaten,
- Meereshöhe,
- Höhe des Grundwasserspiegels,
- Oberflächentemperatur (diese kann vom Programm auch abgeschätzt werden),
- Dicke (Mächtigkeit) der einzelnen Molasse-schichten.

Die geothermischen Eigenschaften der über der Molasse liegenden Lockergesteine (Quartär, «Deckschicht») müssen manuell eingegeben werden. Diese Schichten liegen normalerweise innerhalb des Grundwasserspiegels. Je nach Wassergehalt können die massgebenden Stoffwerte hier stark schwanken. Das Programm liefert zur Abschätzung wertvolle Hilfen. Mit der Möglich-

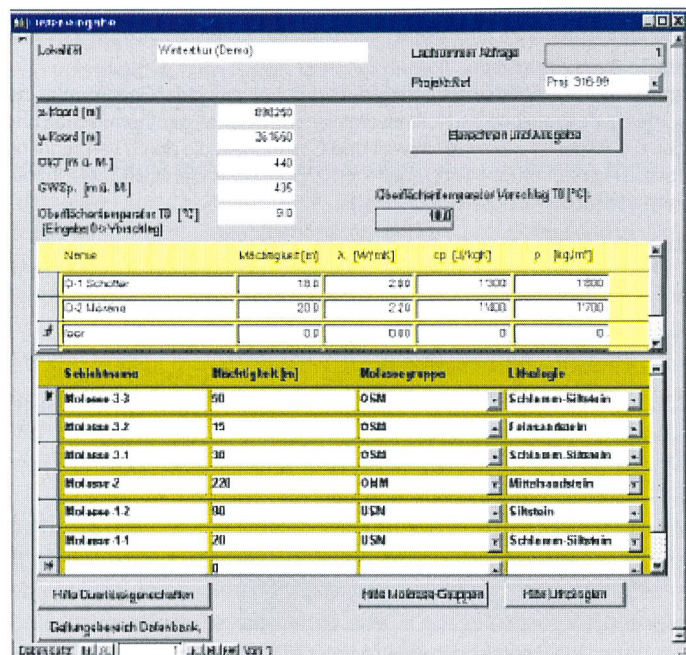


Bild 1. Gültigkeitsbereich für das Programm SwEWS.