

C. DIE TECHNISCH-WIRTSCHAFTLICHE STUDIE

Ist aber die Geothermie niedriger Energie überhaupt wirtschaftlich? Angesichts der hohen Investitionen einerseits, der Unsicherheitsfaktoren andererseits ist dies keine triviale Frage. Unsicherheiten gibt es in zwei Hinsichten: einmal hydrogeologische (das Bohrloch könnte weniger ergiebig sein als vorausgesehen), ferner wirtschaftliche (die Fluktuationen des Heizölpreises machen aus der Geothermie eine mehr oder weniger interessante Alternative). Die Technisch-wirtschaftliche Studie zur Verwertung der geothermischen Energie in der Schweiz soll die Erfolgchancen eines jeden Projektes in Abhängigkeit der jeweils geltenden Bedingungen abzuschätzen helfen. Sie ist in zwei Teile gegliedert: in der Grundstudie werden zahlreiche mögliche Fälle (verschiedene Gebäudetypen, Ortschaftsgrössen, usw.) systematisch untersucht; in der Sensibilitätsstudie wird der Einfluss veränderlicher Parameter (z.B. des Strompreises im Falle von Anlagen mit Wärmepumpen) abgeschätzt. Die Resultate beider Studien beruhen auf Computerrechnungen, die aufgrund projektspezifischer Eingabedaten (geothermischer Durchfluss, Klima, Gebäudetyp, usw.) Informationen vermitteln, die für die Wirtschaftlichkeitsabschätzung nützlich sind (u.a. die spezifischen Wärmekosten in Rappen pro Kilowattstunde).

Zusammengefasst kommt die Studie zu folgenden Schlussfolgerungen: Geothermische Projekte sind für Agglomerationen von mehr als 2'000 Einwohnern mit einer Bevölkerungsdichte zwischen 100 und 250 Personen pro Hektar (übliche Werte im heutigen Städtebau) wirtschaftlich. Als Vergleichsbasis ist ein Heizölpreis von Fr. 630.-- pro Tonne (Durchschnittspreis für die Periode von Juli 1979 bis Juni 1980 für grössere Mengen) angenommen worden. Angesichts der Unsicherheitsfaktoren wird eine geothermische Anlage dann als wirtschaftlich betrachtet, wenn die produzierte Wärme 15 % billiger zu stehen kommt als mit einer Heizölanlage gleicher Leistung. In diesem "klassischen"

Fall stellen die Brennstoffkosten ca. drei Viertel der spezifischen Wärmekosten dar. Eine Verdoppelung des Heizölpreises führt zu einer 74-prozentigen Erhöhung des "klassischen" Wärmepreises, während die geothermische Wärme auch in solchen Fällen wirtschaftlich wird, wo sie es heute noch nicht ist, oder einfach wirtschaftlicher in Fällen, wo sie heute schon vorteilhaft abschneidet.

Dies setzt selbstverständlich ein angemessenes geothermisches Wasservorkommen voraus. Das Wasser muss eine Temperatur von mindestens 50 °C aufweisen. Wird eine Wärmepumpe verwendet, dann lässt sich die zulässige Minimaltemperatur etwas herabsetzen, und zwar nicht unter 30 °C. Die Bohrlochtiefe lässt sich entsprechend verringern, wodurch die Investitionen und das finanzielle Risiko im Falle eines Misserfolges (Vorkommen weniger ergiebig als abgeschätzt) auch abnehmen. Die Wärmepumpe macht die spezifischen Wärmekosten überhaupt weniger abhängig vom geothermischen Zufluss; die Konsequenzen einer zu optimistischen Abschätzung der Ergiebigkeit eines Wasservorkommens kommen weniger stark zum Ausdruck. Die Wärmepumpen verbrauchen allerdings Strom; die Betriebskosten der Anlage hängen dann in grösserem Masse vom Stromtarif ab.

Untersuchung von 360 Fällen

Die Grundstudie unterscheidet 360 Fälle: Es werden zwölf Agglomerationsarten berücksichtigt, mit einer Bevölkerung zwischen 500 und 11'200 Einwohnern. Die Agglomerationen bestehen aus 20, bzw. 40, 60 und 80 gleichen Gebäuden, die jeweils zu einem der drei folgenden Typen gehören: 4 Stockwerke mit je 2 Wohnungen, 5 Stockwerke zu 4 Wohnungen, 10 Stockwerke zu 4 Wohnungen. Jede Wohneinheit hat eine Fläche von 100 bis 120 m². Die Studie unterscheidet ferner drei Wärmeisolationsstufen, je nachdem ob es sich um einen Altbau, ein renoviertes Haus oder einen Neubau handelt. Die

Temperatur des geothermischen Wassers wird in Stufen von 10 Grad zwischen 30 und 70 Grad variiert; es ergeben sich also 5 Temperaturstufen. Diese $12 \times 3 \times 5 = 180$ Fälle kommen in zwei Varianten vor: mit und ohne Wärmepumpe. Zu diesen 360 Fällen kommen 36 Referenzanlagen (Ölheizung - 12 Agglomerationsarten, 3 Isolationsstufen, Wassertemperatur nach üblichen Normen) hinzu. Von diesen insgesamt 396 Fällen sind 36 ohne praktische Bedeutung (Wärmepumpe überflüssig, weil geothermische Temperatur höher als Heiztemperatur).

Das Computerprogramm rechnet für die 360 Varianten den Wärmebedarf für die Heizung und das Warmwasser. Das Klima von Bern ist als repräsentativ für das Mittelland angenommen worden. Die Temperatur der Heizkörper ist etwas unter die üblichen Normen angesetzt worden, um von den relativ niedrigen geothermischen Temperaturen Rücksicht zu nehmen. Diese Anpassung stellt in Neubauten keine Schwierigkeit dar, da in diesem Fall eine Bodenheizung empfohlen wird. Bei Renovationsarbeiten lassen sich neue Heizkörper grösserer Oberfläche einsetzen. In Altbauten ist eine bescheidenere Temperaturherabsetzung ($75/50^{\circ}\text{C}$ max. statt $90/70^{\circ}\text{C}$) auch möglich, da in solchen Gebäuden die Heizkörper meistens überdimensioniert sind. Die Warmwassertemperatur wird ebenfalls reduziert, was eine Zunahme des Verbrauchs als Folge hat (70 Liter zu 45°C pro Einwohner und Tag statt 50 Liter zu 60°C). Die Warmwasserbereitung beansprucht 20 % des Gesamtenergiebedarfs in gewöhnlichen Gebäuden und sogar bis 33 % und mehr in gut isolierten Bauten. Zur Warmwasserbereitung gibt es in jedem Gebäude einen vom geothermischen Netz geheizten Wärmetauscher. Die Vorlauftemperatur des Netzes wird hoch genug gehalten, damit kein Heizzusatz in den Gebäuden nötig ist.

Aufgrund des ermittelten Wärmebedarfs bestimmt das Rechenprogramm die voraussichtlichen Investitionen. Dazu werden Ausmass und Kosten der verschiedenen Komponenten der Anlage

berechnet: geothermische Bohrlöcher, Wärmetauscher, Heizkessel (Oelheizung als Leistungsergänzung in den kältesten Tagen), Verteilnetz, gegebenenfalls Wärmepumpe. Die Kostenabschätzung bezieht sich auf die Bedingungen des Schweizer Marktes am Ende 1980.

Einfluss vom Heizöl- und Strompreis

Die Sensibilitätsstudie gibt an, wie sich Änderungen dieser Grössen auf die Wirtschaftlichkeit geothermischer Anlagen auswirken. Ein wichtiger Parameter ist der Heizölpreis. Dieser hat im Laufe der letzten fünfzehn Jahre rascher als der Preisindex zugenommen. Eine Verdoppelung des Heizölpreises innerhalb der Amortisationsperiode der Anlage ist denkbar. Die geothermische Alternative würde dadurch interessanter im Vergleich zur Oelheizung. Andererseits würden die Betriebskosten der geothermischen Anlagen ebenfalls, allerdings in geringerem Masse, ansteigen, wegen des "klassischen" Zusatzheizens während der kältesten Tage. Der Brennstoffpreis wirkt sich je nach Eigenschaften der Anlage verschieden stark aus: sein Einfluss ist für die Variante mit Wärmepumpe und geothermischer Temperatur von 50 °C vernachlässigbar; für die Variante 70 °C ohne Wärmepumpe ist er stärker ausgeprägt, usw.

Im Gegensatz zum Brennstoffpreis ist der Stromtarif mit der Inflation ziemlich in Phase gelaufen. Er schwankt zwar in bedeutender Weise von einer Gemeinde zur andern. So mag ein geothermisches Projekt, das an einem Ort wirtschaftlich ist, an einem anderen Ort nicht mehr interessant sein, dies vor allem bei Systemen mit Wärmepumpen. Im Falle eines vorteilhaften Tarifs (9 Rappen/kWh) macht die Stromrechnung ein Drittel der Wärmekosten für die Variante 30 °C mit Wärmepumpe aus. Der Übergang zu einem höheren Tarif von 15 Rappen/kWh würde diese Variante unter den gegenwärtigen Bedingungen unwirtschaftlich machen. Die Variante 50 °C mit Wärmepumpe wäre noch wirtschaftlich.

Die Sensibilitätsstudie untersucht auch noch den Einfluss weiterer Faktoren. Der geothermische Gradient wirkt sich nur schwach aus. Die Bohrlochkosten sind von der Anzahl der am geothermischen Netz angeschlossenen Einwohner unabhängig. Sie fallen also bei kleineren Ortschaften schwerer ins Gewicht. Allerdings können höchstens 7'000 Einwohner durch das gleiche Doublette versorgt werden. Grössere Agglomerationen brauchen zwei oder mehr Bohrlochpaare. Wie schon gesagt, hat der geothermische Zufluss einen kleineren Einfluss bei Varianten mit Wärmepumpen.

D. DIE MARKTSTUDIE

Es gibt somit für die geothermische Energie in der Schweiz günstige Voraussetzungen bezüglich der Warmwasservorkommen, der technischen Möglichkeiten und der Wirtschaftlichkeit. Dies will aber noch nicht heissen, dass es für diese Alternative eine "Kundschaft" gibt. Dieser Aspekt ist die zentrale Frage der Studie über den potentiellen Markt für die Geothermie in der Schweiz. Ihre Zielsetzung ist es, diejenigen Ortschaften zu bestimmen, für welche die geothermische Heizung eine interessante Lösung darstellt.

Aufgrund der zwei bereits besprochenen Berichte haben die Autoren eine Liste von Rentabilitätskriterien aufgestellt. Die Agglomeration muss mindestens 2'000 Einwohner oder einen äquivalenten Heizbedarf haben. Die Bevölkerungsdichte soll nicht unter 100 Personen pro Hektar betragen. Bevorzugt werden grosse Gebäude, die wenn möglich in Reihen stehen, damit der Bau des Verteilnetzes vereinfacht wird. Der Aquifer soll eine Ergiebigkeit von mindestens 10 m³ pro Stunde und 1'000 Einwohner und eine Temperatur nicht unter 30 °C bei grösseren Siedlungen (4'000 Einwohner und mehr) aufweisen, zwischen

40 und 50 °C bei kleineren Agglomerationen. Der Abstand zwischen der Entnahmebohrung und der Peripherie der Ortschaft wird kleiner als 1 Kilometer pro 1'000 Einwohner angenommen.

Von den 3029 Schweizer Gemeinden haben 432 mehr als 3'000 Einwohner. Dazu gibt es 10 weniger besiedelte Gemeinden, die aber Industrie- und Geschäftsgebäude in hinreichender Zahl umfassen. Diese 442 Gemeinden wurden systematisch untersucht. Sie wurden einerseits nach abnehmender Gebäudedichte in drei Klassen A, B und C unterteilt und andererseits in fünf Kategorien, welche sich auf die geothermischen Verhältnisse beziehen. Davon sind allein diejenigen Gemeinden ausgewählt worden, die an der Spitze beider Skalen auftreten, d.h. welche zugleich eine hohe Wohndichte aufweisen und geothermisch günstig gelegen sind (Kombinationen A1, A2, B1 und B2).

Diese Bedingungen sind von 118 Gemeinden erfüllt, die insgesamt ca. 2 Millionen Einwohner oder ein Drittel der Schweizer Bevölkerung umfassen. Mehrere wichtige Städte befinden sich in diesen Gebieten, namentlich Zürich, Basel, Genf, Bern, mit ihrer Umgebung. Zu den günstigen Regionen gehört auch das Gebiet von Wil - Arbon - Weinfelden in der Nordostschweiz und von Brugg - Baden - Wettingen. Interessant sind auch der Kanton Waadt zwischen Yverdon und Morges, das Rhonetal von Brig bis St. Maurice, das Rheintal von Chur bis Altstätten (SG), das Aaretal von Biel, Solothurn, Olten, Aarau bis Brugg.

Die erwähnte Zahl von 2 Millionen Einwohnern, die langfristig von der Geothermie nutzen könnten, hat offensichtlich theoretischen Charakter. Auch bei der günstigsten Konstellation werden verschiedene Faktoren dieses Verhältnis notwendigerweise herabsetzen. Die Marktstudie zählt solche Faktoren auf, zwar ohne deren Einfluss quantitativ abzuschätzen. So umfassen die in Frage kommenden Gemeinden auch schwach besiedelte Zonen, z.B. Villenviertel. Ein Fernheizungsnetz wird solche Viertel

wegen der zu hohen Verteilkosten nicht versorgen können. Auf der anderen Seite ist es kaum vorstellbar, dass die geothermischen Verteilnetze bis ins Zentrum grosser Städte wie Basel, Bern, Genf oder Zürich vorstossen werden. Der Erwerb angemessener Standorte für die Bohrungen und die Pump- und Heizstationen könnte ebenfalls Schwierigkeiten bieten. Man kann ferner Bohrmisserfolge - kein oder nur wenig Warmwasser kann der Bohrung entnommen werden - nicht ausschliessen. Zu den technischen Problemen kommen noch politische und rechtliche Schwierigkeiten hinzu, wie zum Beispiel die Komplexität gewisser Regelungen, oder das mühsame Zusammenstellen einer Trägerschaft zur Förderung und Finanzierung geothermischer Unternehmungen.

Hingegen stellen andersartige Fernheiznetze nicht unbedingt eine Konkurrenz zur Geothermie dar. Eine komplementäre Verwendung von Erdwärme und anderen Energiequellen ist durchaus vertretbar. Dies bedingt allerdings, dass das Netz Wasser relativ niedriger Temperatur, nicht höher als 80 °C, verteilt. Eine sorgfältige Planung und Koordination bei der Erarbeitung neuer Fernheizprojekte ist dabei unerlässlich. In anderen Fällen können die verschiedenen Teile einer Siedlung mit verschiedenen Energieträgern versorgt werden - z.B. Aussenquartiere durch geothermische Netze, andere Viertel durch andere Energieformen.

Stellen gewisse Faktoren eine Bremse für die Entwicklung der Geothermie dar, so könnten andere Faktoren fördernd wirken. Eine starke Zunahme des Erdölpreises würde z.B. die geothermische Wärme noch attraktiver machen. Auch technische Verbesserungen können einen günstigen Einfluss ausüben, z.B. wenn Bohrarbeiten weniger aufwendig oder Wärmepumpen leistungsfähiger werden. Ferner ist die Einstellung der Behörden entscheidend: eine finanzielle Garantie des Bundes zur Deckung des Bohrrisikos (dieses System hat sich in Frankreich bewährt) könnte noch zögernde Interessenten zur Tat veranlassen.

Die Marktstudie führt im Anhang die 442 Gemeinden an, die 1980 mehr als 3'000 Einwohner umfassten. Sie sind je mit Angabe von Klasse, Kategorie, Bevölkerung in 1970 und 1980, sowie Bevölkerungsänderung aufgeführt. Ein weiterer Anhang liefert die geothermischen Daten für die 118 ausgewählten Gemeinden, wie zum Beispiel:

Oberwil/Therwil (BL)		Kat. B-1		Gradient 33 °C/km		
Aquifere	Kat.	Tiefe der Oberfläche (m)	Mächtigkeit (m)	Temp. (°C)		Entnahmeraten (m ³ /h)
				Oberfl.	Basis	
Oberer Muschelkalk	1	1350	60	55	~57	40 - 70
Unterste Sedimentschichten	1-2	1500	500	60	75	10 - 40
Basementoberfl.	3	2000		75		10 - 40

Yverdon-Est (VD)		Kat. A-2		Gradient 35 °C/km		
Aquifer	Kat.	Tiefe der Oberfläche (m)	Mächtigkeit (m)	Temp. (°C)		Entnahmeraten (m ³ /h)
				Oberfl.	Basis	
Untere Süswassermolasse	2	0	700	10	35	30
Oberfläche des Mesozoikums	3	700		35		> 40

Neben den 118 erwähnten Gemeinden bezeichnet die Marktstudie 13 weitere Gemeinden, die sich in einer geothermisch günstigen Zone befinden, ohne die erforderliche Bevölkerung und Gebäudedichte aufzuweisen. Es handelt sich aber um Gemeinden, die in voller Expansion stehen (Bevölkerungszunahme zwischen 40 und

über 150 % innerhalb von zehn Jahren) und folglich in Zukunft für geothermische Projekte interessant werden könnten. Die demographische Entwicklung dieser Ortschaften sollte weiterverfolgt werden.

E. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die geothermische Wärme wird in der Schweiz zur Zeit nur in wenigen kleinen Anlagen verwendet. Eine solche deckt in Lavey-les-Bains (VD) beinahe die Hälfte des Wärmebedarfs des Thermalbades. Eine andere Anlage in Zurzach (AG) erlaubt ebenfalls, eine beträchtliche Menge Heizöl einzusparen. Sie funktioniert mit Wärmepumpen, während die Anlage von Lavey, wo das Thermalwasser bei höherer Temperatur (ca. 60 °C) entnommen wird, bloss mit Wärmetauschern ausgerüstet ist.

Heute beabsichtigt man, zu einem weit grösseren Massstab überzugehen. Ein Bohrlochpaar kann bis zu 7'000 Einwohner versorgen. Die drei beschriebenen Berichte stellen einen ersten Schritt zur Verwertung der geothermischen Vorkommen in der Schweiz dar. Bis auf weiteres handelt es sich um den einzigen Reichtum des Untergrundes hierzulande.

Die erwähnten Dokumente geben Anlass zu optimistischen Prognosen für die Erdwärmenutzung in der Schweiz:

- Die hydrogeologischen Bedingungen sind günstig. Viele Ortschaften befinden sich oberhalb von warmwasserführenden Schichten. Die Bohr- und Erschliessungsarbeiten, die zur Nutzung dieser Vorkommen nötig sind, beruhen auf bekannten technischen Verfahren, die auch in der Erdölindustrie zur Anwendung kommen.

- Andererseits tritt die geothermische Heizung als eine Lösung auf, die für zahlreiche und dicht besiedelte Agglomerationen vorteilhaft ist. In solchen Ortschaften kostet die geothermische Wärme weniger als die Wärme aus einer konventionellen Heizölanlage. Sollte der Erdölpreis weiterhin ansteigen, so würde die Geothermie ihre vorteilhafte Position im Laufe der Jahre noch verbessern. Ueberdies stellen die Warmwasservorkommen eine einheimische Ressource dar, deren Nutzbarmachung dazu beitragen würde, die energetische Auslandabhängigkeit der Schweiz etwas zu verringern.
- Zusammenfassend kann man sagen, dass ein Drittel der Schweizer in Gemeinden wohnt, in welchen der hydrogeologische Rahmen wie auch die Bevölkerungsdichte und die städtebauliche Struktur günstige Voraussetzungen für die Geothermie bieten.

Diese durchaus positive Prognose sollte nun weitere Schritte ermöglichen:

- ohne Verzug Forschungs- und Prospektionsarbeiten anzupacken;
- die geothermischen Ressourcen in den Fernheizungsprojekten zu berücksichtigen;
- Pilotanlagen zu errichten, um für die geothermische Alternative unter den spezifischen (geologischen, wirtschaftlichen, rechtlichen, usw.) Bedingungen der Schweiz Erfahrungen zu sammeln.

Nebenbei bemerkt werden die Förderer der Geothermie nicht Neuland betreten. In Ungarn gab es z.B. bereits im letzten Jahrhundert Nutzungsformen dieser Energiequelle. In diesem Land werden Gebäude, Treibhäuser und Schwimmbäder mit Thermalwasser geheizt. Die Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft geben bedeutende Beträge zur Entwicklung und An-

wendung dieser Ressource aus. In Frankreich sind schon Zehntausende von Wohnungen an geothermischen Fernheiznetzen angeschlossen, vor allem in der Ile-de-France und im Südwesten des Landes. Weitere Zehntausende von Wohnungen werden in den nächsten Jahren mit geothermischer Wärme versorgt.

Geothermische Projekte hierzulande in Gang zu setzen, dürfte also keineswegs als Abenteuer gewertet werden ...

Zusammenstellung von
Dr. J.-J. Daetwyler.

F. BIBLIOGRAPHIE

Geothermische Datensynthese der Schweiz, ausgearbeitet durch die Eidg. Technische Hochschule Zürich, Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie, Institut für Geophysik, und das Bureau Dr. U.P. Büchi, Geologische Expertisen und Forschungen AG, Benglen (ZH), im Auftrag der Eidgenössischen Fachkommission für die Nutzung geothermischer Energie und die unterirdische Wärmespeicherung. Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Studie Nr. 26, Dezember 1981. Vertrieb: Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern.

Etude technico-économique pour la mise en valeur de l'énergie géothermique en Suisse, préparée par la Société Générale pour l'Industrie (SGI), Genève, à l'intention de la Commission fédérale pour la mise en valeur de l'énergie géothermique et le stockage souterrain de chaleur. Série de publications de l'Office fédéral de l'énergie, Etude No 20, février 1981. Distribution: Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne.

Etude du marché potentiel de la géothermie en Suisse, préparée par la Société Générale pour l'Industrie (SGI), Genève, à l'intention de la Commission fédérale pour la mise en valeur de l'énergie géothermique et le stockage souterrain de chaleur. Série des publications de l'Office fédéral de l'énergie, Etude No 29, janvier 1982. Distribution: Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne.