Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft

Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft

Band: 87 (1994)

Artikel: Untiefe geothermische Energieressourcen : Theorie und praktische Anwendungen

Autor: Kapp, Christoph

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-832728

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: 20.08.2025

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

87. Band Seiten 279–289 St.Gallen 1994

Untiefe geothermische Energieressourcen: Theorie und praktische Anwendungen

Christoph Kapp

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 279
2. Untiefe Geothermie und deren Nutzungsmöglichkeiten 280
3. Energiespeicherung im Untergrund 283
4. Anwendungsbeispiele 285
5. Forschung 287
6. Ausblick 288
Literaturverzeichnis 289

1. Einleitung

Der ständig wachsende Energiebedarf sowohl in den westlichen Industrienationen als auch in den aufstrebenden ehemaligen Drittweltstaaten und Entwicklungsländern hat seit einigen Jahren eine Grundsatzdiskussion über die zweckmässigsten Energiesysteme der Zukunft entfacht: Auf der einen Seite argumentieren die Befürworter der Nutzung fossiler, nicht erneuerbarer Energien wie Öl, Gas oder Kohle mit Kriterien wie Wirtschaftlichkeit und Arbeitsplatzsicherung. Dieser Meinung stehen Wissenschafter und Umweltschützer gegenüber, die aufgrund der spürbaren, weltweiten Klimaveränderungen und zum Schutz kostbarer Rohstoffe den Einsatz regenerativer Energien fordern und verlangen, dass auf diesem Gebiet sowohl der Forschung als auch der praktischen Umsetzung wesentlich mehr Raum als bisher gewährt und entsprechende wirtschaftliche und politische Konsequenzen gezogen werden müssen. Zu den regenerierbaren Energien gehört neben der Sonne, der Luft resp. dem Wind, Biogas und dem Wasser u.a. auch die *Geothermie*, d.h. die Erdwärme, welche aus dem Erdinnern an die Oberfläche fliesst.

Dr. Christoph Kapp, NEK Umwelttechnik AG, Helvetiastrasse 41, CH-9000 St.Gallen

Aufgrund radioaktiver Zerfallsprozesse im Erdinnern wird dort ständig neue Energie in Form von Wärme produziert. Aus diesem Grund nimmt die Erdreichtemperatur in Gebieten ohne Temperaturanomalien im Durchschnitt um rund 3–4 °C pro 100 m Tiefe zu. Dieses Temperaturgefälle ist gleichbedeutend mit einem Wärmestrom, welcher mit ca. 0.065 Watt pro m^2 Erdreich aus der Tiefe zur Oberfläche fliesst und für menschliche Zeitbegriffe eine unversiegbare Energiequelle darstellt. Diese ist derart gross, dass der gesamte jährliche Energiebedarf der Menschheit problemlos damit abgedeckt werden könnte. Die Tatsache, dass dies nicht der Fall ist und noch immer zu einem Grossteil auf fossile Energieträger vertraut wird, hat viele Gründe: Hohe Investitionskosten alternativer Energiesysteme, technisch bedingte Einschränkungen, die Problematik der Erzeugung von Strom aus Geothermie usw. sind nur einige wenige Stichworte dazu.

Schon seit langem macht sich die Menschheit die Erdwärme zunutze, indem in Gebieten mit rezentem oder fossilem Vulkanismaus die hohen Oberflächentemperaturen zur Erzeugung von Warmwasser oder Dampf verwendet werden. Heute laufen Untersuchungen, inwieweit die tiefe Geothermie, d.h. die in Tiefen über 1000 m gespeicherte Wärme mittels Tiefbohrungen angezapft werden kann. Hier sind vor allem die sog. Hot-Dry-Rock/Technologie sowie die Nutzung warmer Aquifere zu erwähnen. Über diese Art der Energienutzung soll hier jedoch nicht weiter diskutiert werden, da die folgenden Ausführungen der *untiefen Geothermie*, d.h. der Energie in Tiefen von ca. 10 bis 300 m gewidmet sind.

2. Untiefe Geothermie und deren Nutzungsmöglichkeiten

Im Gegensatz zur Nutzung der tiefen Geothermie, die in der Schweiz nicht weit verbreitet ist, kann unser Land bei der Nutzung der untiefen Geothermie eine Pionierrolle in Anspruch nehmen: Weltweit ist hier nämlich die Anzahl installierter Anlagen bezogen auf die Landesfläche am grössten, stehen doch bereits über 4500 erdgekoppelte Wärmepumpen mit mehr als 10 000 Sonden im praktischen Einsatz. Bei dieser Art der Energiegewinnung macht man sich den mehr oder weniger konstanten Energiefluss vom Erdinnern nach aussen zunutze, der dazu führt, dass die Erdreichtemperaturen in den hier interessierenden Tiefen zwischen ca. 10 und 18 °C liegen. Die Bodentemperatur ist im Mittelland ab einer Tiefe von ca. 5–10 m ab Geländeoberfläche über das ganze Jahr hinweg unabhängig von der Lufttemperatur nahezu konstant und beträgt in Tiefen von ca. 10 m rund 10 °C. Beeinflusst werden die Bodentemperaturen u.a. aber auch durch fliessendes Grundwasser, welches Energie in beträchtlichem Masse zu- oder abführen kann, sowie durch die direkte Sonneneinstrahlung.

Da die Temperaturen, welche in den o.e. Tiefen bis zu ca. 300 m vorherrschen, ohne zusätzliche Massnahmen für eine Beheizung von Gebäuden nicht ausreichen, müssen Wärmepumpen eingesetzt werden, die unter Beizug mechanischer Energie in Form von Strom oder Gas die aus dem Untergrund geförderte Energie auf ein höheres Temperaturniveau anheben. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, durch den Einsatz geeigneter Wärmeträgermedien das im Untergrund vorhandene Temperaturpotential zu nutzen, wofür sich in erster Linie Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen, Energiepfähle oder Erdregister anbieten. Die Verfasser des vorliegenden Beitrages sind seit Jahren auf dem Gebiet der Förderung und praktischen Nutzung

untiefer geothermischer Energieressourcen tätig. Es liegt ihnen daran, mit einem allgemeinverständlichen Bericht über den ‹Stand der Technik› darzulegen, dass umweltschonende Energiesysteme auch in grossem Massstab bereits heute realisierbar sind und sich in wirtschaftlicher Hinsicht vor allem durch tiefe Betriebskosten bei optimaler Umweltschonung auszeichnen.

2.1 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden sind ein erprobtes System, Gebäude jeder Grössenordnung im Winter zu heizen, im Sommer zu kühlen und ganzjährig das Brauchwarmwasser sicherzustellen. Je nach Energiebedarf, Nutzungskonzeption und Untergrundbeschaffenheit werden mehrere Sonden in bestimmten Abständen auf Tiefen zwischen ca. 50 und 300 m niedergebracht. Hiefür werden durch Bohrmaschinen vertikale oder leicht geneigte Löcher in den Untergrund abgeteuft, in welchen die Sonden versetzt werden. Das Bohrloch wird zwischen der Sonde und der Aussenwand mit einer wärmeleitenden Masse verfüllt, um zu gewährleisten, dass der Wärmeübergang zwischen Erdreich und Sonde bestmöglich funktioniert. In den Sonden zirkuliert eine umweltverträgliche Flüssigkeit aus einem Gemisch von Wasser und Frostschutz, welche die im Untergrund vorhandene Energie aufnimmt und in das zu beheizende oder zu kühlende Gebäude führt. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, Erdwärmesonden nur mit Wasser zu füllen, falls das System entsprechend ausgelegt wird und im Solekreislauf keine negativen Temperaturen auftreten.

Für kleinere Objekte mit verhältnismässig geringen Heiz- und Kühlleistungen werden die Anlagen mehrheitlich monovalent, d.h. ohne Spitzenabdeckung durch herkömmliche Energiequellen ausgelegt. Bei Grossanlagen hingegen empfiehlt es sich aus wirtschaftlichen Gründen oft, die Systeme bivalent auszulegen, so dass Spitzenleistungen durch Öl-, Gas- oder andere Zweitinstallationen abgedeckt werden.

Grundsätzlich muss zwischen Anlagen mit einer geringen Anzahl (≤ 5 Stück) und solchen mit einer grösseren Anzahl an Sonden (≥ 5–10 Stück) unterschieden werden. Während erstere im Normalfall ohne grossen Aufwand aufgrund von Erfahrungswerten dimensioniert werden können, ist bei eigentlichen Sondenfeldern eine fundierte, sämtlichen Randbedingungen Rechnung tragende Dimensionierung unumgänglich. Dies u.a. deshalb, weil bei ganzen Sondenfeldern die Gefahr der gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Sonden besteht, was bewirkt, dass bei falscher Planung der Untergrund zu stark auskühlt oder sich beim Eintrag von Wärme zu stark erhitzt. Gelangen Erdwärmesondenfelder zur Ausführung, verringert sich im Normalfall die im Vergleich zu einzelnen Sonden realistische Entzugs- oder Abgabeleistung pro Sondenmeter deutlich, da die im Innern des Feldes liegenden Sonden durch die äusseren energetisch abgeschirmt werden.

Bei derartigen Überlegungen spielen neben energetisch-thermodynamischen Betrachtungen die geologisch-hydrologischen Verhältnisse eine zentrale Rolle, da der Energienachfluss im Boden wesentlich von Parametern wie der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins, dem Vorhandensein von Grundwasser, der Fliessrichtung und -geschwindigkeit des Grundwassers etc. abhängig ist.

Einer Überlastung des Bodens infolge einer zu starken Entzugs- oder Inputleistung kann durch eine Regeneration mit an der Oberfläche anfallender und dort nicht benötigter Energie oder durch einen wechselweisen Kälte- und Wärmebezug aus dem Untergrund entgegengewirkt werden. Diesbezüglich finden sich in Kapitel 3 mehr Informationen.

2.2 Energiepfähle

Wenn Neubauten aus baugrundbedingten Gegebenheiten ohnehin auf Pfähle fundiert werden müssen, können diese ohne grossen Mehraufwand zur Energiegewinnung herangezogen werden. Durch in den Pfählen verlegte Wärmetauscherrohre (ähnlich den oben beschriebenen Erdwärmesonden) kann dem Untergrund ohne zusätzliche Bohrkosten Energie in Form von Wärme- oder Kälteleistung entzogen werden. Energiepfähle sind heute auf die meisten gängigen Pfahlsysteme anwendbar, wobei Holzpfähle jedoch infolge praktischer Schwierigkeiten problematisch sind. Im Normalfall werden pro Pfahl mehrere Schlaufen resp. Kreisläufe eingebracht, um einen möglichst hohen Temperaturgradienten zu erreichen. Gleich wie bei herkömmlichen Erdwärmesonden wird die für die Beheizung oder Kühlung von Gebäuden erforderliche Energie durch eine umweltverträgliche Flüssigkeit (oder lediglich Wasser), welche durch die Sonden zirkuliert, zu einer Wärmepumpe geführt und dort auf das gewünschte Temperaturniveau transformiert. Im Vergleich zu Erdwärmesonden stellen Energiepfähle ein relativ neues, in der Schweiz erst seit einigen Jahren bekanntes System zur Nutzung der untiefen Geothermie dar. Ebenso wie bei der Energiegewinnung durch Erdwärmesonden können mit Energiepfählen Gebäude jeder Grössenordnung monovalent oder bivalent energetisch versorgt werden. Obwohl Pfähle im Normalfall lediglich auf Tiefen zwischen ca. 10 und 35 Meter ab Geländeoberfläche reichen, können dem Boden aufgrund der meist grossen Anzahl an Pfählen beträchtliche Mengen an Energie entzogen bzw. zugeführt werden, die durchaus in der Grössenordnung der für Erdwärmesonden typischen Werte liegen.

Auch hier ist die Tatsache zu beachten, dass nur eine seriöse Dimensionierung von Energiepfahlanlagen ein einwandfreies Funktionieren des Systems gewährleistet, da ähnlich wie bei Erdwärmesondenfeldern neben den geologisch-hydrologisch-thermodynamischen Aspekten der energetischen Gruppenwirkung der Pfähle gebührend Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

2.3 Erdregister

Erdregister oder Erdkollektoren stellen eine weitere Möglichkeit der Nutzung untiefer Geothermie dar. Bei diesem System handelt es sich um horizontale Wärmetauscherrohre, welche in Tiefen ab ca. 1 m unter der Geländeoberfläche ausserhalb des Gebäudes oder aber direkt unterhalb der Bodenplatte schlangenförmig verlegt werden. Aus Platz- und Kostengründen ist es oft sinnvoll, die Erdkollektoren direkt unter die Bodenplatte zu verlegen, um aufwendige Aushub- und Verfüllarbeiten zu vermeiden. In diesem Fall ist einer einwandfreien Isolation der Bodenplatte gebührende Aufmerksamkeit zu schenken.

Im Gegensatz zu den beiden vorgängig beschriebenen Systemen wird durch den Einsatz von Erdregistern vorwiegend die Umgebungswärme oder -kälte genutzt, welche in den Boden eindringt oder durch das Grundwasser herangeführt wird. Auch hier sind sowohl monovalente als auch bivalente Anwendungen möglich, wobei neben der Gewinnung von Wärme die Wärmeabgabe über den Erdkollektor und damit die Gebäudekühlung einen interessanten Anwendungsaspekt darstellt.

2.4 Grundwasserbrunnen

Ist im Untergrund genügend Wasser vorhanden, kann dieses zu Heiz- und Kühlzwecken mittels Wärmepumpen resp. Kältemaschinen genutzt werden. Je nach Energiebedarf werden ein oder mehrere Bohrlöcher auf die erforderlichen Tiefen abgeteuft und derart mit Filterrohren ausgebaut, dass mit Unterwasserpumpen das

Grundwasser an die Oberfläche gefördert werden kann. Die Brunnen werden in Abhängigkeit der hydrogeologischen Gegebenheiten auf Tiefen zwischen ca. 10 und ≥ 200 m niedergebracht, wobei mit zunehmender Tiefe natürlich auch die Kosten stark ansteigen. Das dem Untergrund entzogene Wasser wird nach seiner energetischen Nutzung in Schluckbrunnen wiederversickert, damit der Grundwasserhaushalt möglichst wenig gestört wird. Wichtig ist, dass ein thermischer Kurzschluss zwischen Entnahme- und Versickerungsstandorten vermieden werden muss, um zu verhindern, dass mit fortdauerndem Betrieb die nutzbare Temperaturdifferenz immer kleiner wird und bis zu einem gänzlichen Ausfall der Anlage führen kann.

Voraussetzung für die Eignung eines Standortes zur Grundwassernutzung sind jedoch nicht nur hydrogeologische Parameter, sondern auch gesetzliche und administrative Aspekte, da letztere den Einsatz von Grundwasserbrunnen zur Energiegewinnung aus Gründen des Gewässerschutzes beschränken können.

2.5 Wärmepumpen

Da im Anwendungsbereich der untiefen Geothermie im Normalfall Temperaturen zwischen lediglich ca. 10 und 20 °C vorherrschen, können die geforderten Heiz- und Kühltemperaturen durch eine direkte thermische Nutzung der untiefen Geothermie meist nicht oder zumindest nicht während des gesamten Jahres erreicht werden. Aus diesem Grund muss zwischen den Verbraucherkreislauf (Gebäude mit Heiz- oder Kühlkreislauf) und den Quellenkreislauf (Untergrund in Kombination mit einem der oben erwähnten Systeme) eine Wärmepumpe geschaltet werden, welche das erforderliche Temperaturniveau garantiert. Die Funktionsweise einer Wärmepumpe, welche sowohl zur Wärme- als auch zur Kälteherstellung (Kühlschrank!) verwendet werden kann, ist verhältnismässig einfach: Im Innern der Wärmepumpe zirkuliert ein Arbeitsmittel, welches einen sehr niedrigen Siedepunkt besitzt. Innerhalb der Wärmepumpe wird die aus dem Untergrund geförderte Energie im sog. Verdampfer an das flüssige Arbeitsmittel abgegeben, was bewirkt, dass das Arbeitsmittel verdampft und einen gasförmigen Zustand annimmt. Gleichzeitig wird das Wärmeträgermedium im Quellenkreislauf abgekühlt und zur Aufwärmung wieder in den Boden zurückgeführt. Das verdampfte Arbeitsmittel in der Wärmepumpe gelangt zum Verdichter (Kompressor), wo es durch mechanische Energie (Strom, Gas) verdichtet und gleichzeitig erwärmt wird. Das vom Verdichter erhitzte Arbeitsmittel gelangt zum Verflüssiger (Kondensator), wo die Energie über Wärmeaustauschflächen an den Verbraucherkreislauf (Heizung, Kühlung) abgegeben wird. Es wechselt dabei vom gasförmigen wieder in den flüssigen Zustand und gelangt über ein Drosselorgan, welches den Druck erniedrigt, wieder zum Verdampfer, wo erneut Energie aus dem Bodenkreislauf aufgenommen wird.

Bei richtiger Dimensionierung erdgekoppelter Anlagen benötigt das gesamte Wärmepumpensystem über das ganze Jahr hinweg maximal lediglich 35 % an Antriebsenergie (Strom, Gas) für den Verdichter und die Umwälzpumpen, um die gewünschte Nutzenergie von 100 % zu erhalten. Die restlichen minimal 65 %, also ca. ⅔ des gesamten Energiebedarfs, werden als erneuerbare und umweltschonende geothermische Energie dem Untergrund entzogen.

3. Energiespeicherung im Untergrund

Das Erdreich kann nicht nur zur Gewinnung von Wärme und Kälte genutzt werden, sondern bietet sich – geeignete geologische und hydrologische Bedingungen vorausgesetzt – auch zur Speicherung von

Energie an. Dies ist vor allem dort interessant, wo in der heissen Jahreszeit oder tagsüber ein Wärmeüberschuss in Gebäuden besteht, der nur durch aufwendige, stromfressende Klimageräte vernichtet werden kann, gleichzeitig in kälteren Jahreszeiten oder während der Nacht resp. über Freitage aber Energie in Form von Wärme benötigt wird. Man spricht deshalb in diesem Fall von saisonaler oder temporärer Energiespeicherung im Untergrund.

Benötigt ein Verbraucher gleichzeitig sowohl Wärme als auch Kälte, kann auch dies durch ein eigentliches ‹Management› des Untergrundes auf umweltschonende und zukunftsträchtige Art und Weise bewerkstelligt werden. Das Speichervolumen des Bodens besteht entweder aus dem kompakten Erdreich resp. Fels oder aber aus stationärem, d.h. nicht oder nur wenig fliessendem Grundwasser. Im ersten Fall wird der Bodenspeicher durch Erdwärmesonden oder Energiepfähle, im zweiten Fall der Aquiferspeicher durch Brunnen erschlossen. Dadurch wird erreicht, dass das Volumen des Gebäudes um das nutzbare Volumen des Erdreichs vergrössert wird, was bewirkt, dass ein Speicher zur Verfügung steht, der energetisch sinnvoll bewirtschaftet werden kann. Dafür ist jedoch üblicherweise eine grössere Anzahl an Brunnen oder Erdwärmesonden notwendig, die den Speicher energetisch nutzen können.

Wird in einem Gebäude Wärme in Form von Heizenergie oder Warmwasser benötigt, kann diese – wie oben beschrieben – durch Erdwärmesonden, Energiepfähle oder Grundwasserbrunnen mit Hilfe einer Wärmepumpe dem Untergrund entzogen werden. Dadurch wird die Temperatur im Untergrund in Abhängigkeit der Entnahmeleistung und des Entnahmezeitraumes abgesenkt. Benötigt der Verbraucher Kälte zur Raumkühlung oder muss Abwärme abgeleitet werden, kann die überflüssige Wärmeenergie durch das Sonden- oder Brunnensystem in den Boden abgegeben und die erforderliche Kälteenergie dem Erdspeicher entnommen werden. Der Wirkungsgrad derartiger Anlagen ist selbstredend besser, wenn durch ein ausgeklügeltes Management der Sonden oder Brunnen eine möglichst grosse Temperaturdifferenz genutzt werden kann.

Wenn sowohl Kälte als auch Wärme benötigt wird, können reversible, d.h. umschaltbare Wärmepumpen eingesetzt werden, die je nach Bedarf entweder zum Beheizen oder zum Kühlen herangezogen werden. Auch besteht die Möglichkeit, das Gebäude durch eine einwandfreie Dimensionierung des Erdspeichers zumindest teilweise direkt über die Sonden resp. die Brunnen durch direkte Kühlung ohne den Einsatz der Wärmepumpe zu kühlen (free cooling). Dabei wird die im Vergleich zur Lufttemperatur wesentlich tiefere Erd- oder Wassertemperatur genutzt.

Grundsätzlich bietet sich durch diese Konstellation auch die Möglichkeit, während Niedrigtarifzeiten Kälte zu produzieren und kurzfristig im Untergrund zu speichern, um diese dann bei Bedarf, d.h. tagsüber, zu nutzen.

Eine andere Form der saisonalen Wärmespeicherung findet in Regionen oberhalb ca. 800–1000 m ü.M. Anwendung: Durch die klimatisch bedingten längeren Betriebszeiten der Wärmepumpe sowie infolge geringerer Bodentemperaturen kühlt der Untergrund stärker aus als in tieferen Lagen. Um hier einen energetisch sinnvollen Betrieb von Wärmepumpen zu gewährleisten, ist es zweckmässig oder sogar unerlässlich, derartige Anlagen während der warmen Tageszeit sowie im Sommer zu regenerieren, indem durch die Sonden Wärme von der Oberfläche in den Boden abgegeben wird. Dazu werden Wärmetauscherleitungen auf oder unter dem Dach oder auf dem Vorplatz resp. in Stützmauern o.ä. verlegt, deren Wärmeträgermedium durch die Sonneneinstrahlung aufge-

wärmt und die Energie an den Untergrund abgegeben wird. Auch besteht die Möglichkeit, mittels Sonnenkollektoren Energie zu gewinnen und ins Erdreich abzugeben.

4. Anwendungsbeispiele

4.1 Neubau Meister+Co. AG, Wollerau (SZ)

In Wollerau (SZ) am südlichen Zürichseeufer entsteht zur Zeit ein ca. 20 x 100 m grosser, sechsstöckiger Neubau, der einen jährlichen Heizenergiebedarf von ca. 410 MWh und einen Kühlenergiebedarf von ca. 250 MWh aufweist. Unterhalb der Bodenplatte wurden 32 vertikale Erdwärmesonden mit einem Sondendurchmesser von 32 mm (Doppel-U) auf je 135 m Tiefe niedergebracht, womit ein nutzbares Speichervolumen im Fels und Lockergestein von ca. 325 000 m^3 geschaffen worden ist. Das gesamte Sondenfeld wird in 4 Sektoren zu 8 Sonden eingeteilt, wodurch jeder Sektor individuell betrieben und bewirtschaftet werden kann. Aufgrund der Nutzungsstruktur des Gebäudes wird sowohl im Sommer als auch im Winter Kühlenergie und ganzjährig Heizenergie benötigt. Mit einem durchdachten Management der einzelnen Sektoren im Tages-, Wochen- und Monatsrhythmus sowie einer entsprechend komplexen Regulierung ist es möglich, den grössten Teil der jährlich benötigten Energie durch untiefe Geothermie zur Verfügung zu stellen. Zur Abdeckung der Spitzenlasten wurde aus Sicherheitsgründen zusätzlich zum Erdwärmesystem ein Gaskessel installiert, während der gesamte Kältebedarf durch das Sondenfeld sichergestellt wird (Wärmepumpe).

Die Dimensionierung des Erdspeichers resp. des Sondenfeldes erfolgte mit Computersimulationsprogrammen. Damit ist es auch möglich, die Soletemperaturen bei Inbetriebnahme des Systems und für jeden beliebigen Zeitpunkt danach zu simulieren, was unumgänglich ist, um einen Erdspeicher korrekt auszulegen. Die Sole- und Speichertemperaturen dürfen nämlich bestimmte Werte nicht über- und unterschreiten, da aus Gewässerschutzgründen die entsprechenden Richtlinien streng ausgelegt sind. Die Computersimulation hat ergeben, dass die Soletemperaturen während eines Betriebszyklus' zwischen +3 °C und +32 °C schwanken werden. Das umgebende Erdreich wird dabei je nach der Dauer der Auf- bzw. Entladung Temperaturen zwischen ca. +5 und 28 °C aufweisen.

Würde der Neubau konventionell mit Energie versorgt, hätte dies einen jährlichen Verbrauch an Primärenergie von ca. 215 000 kWh an Gas für die Beheizung sowie ca. 60 000 kWh an Strom für die Kühlung zur Folge. Dank des Einsatzes des Sondenfeldes sowie der saisonalen Speicherung von Energie im Untergrund gehen wir davon aus, dass jährlich lediglich ca. 50 000 kWh an elektrischer Energie zum Betrieb der Umwälz- und Wärmepumpen sowie ca. 5000 kWh an Gas zur Spitzenabdeckung im Winter benötigt werden. Dies bedeutet eine Reduktion des Primärenergieanteils um ca. 80 %, d.h. es werden lediglich noch 20 % an Primärenergie im Vergleich zu einer herkömmlichen Anlage benötigt. Zudem werden keine oder nur noch sehr geringe Emissionen an die Umwelt abgegeben.

Die Installation eines derartigen saisonalen Speichersystems hat im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen deutlich höhere Investitionskosten zur Folge, da sowohl die Ingenieurleistungen komplexer und umfangreicher als auch die Installationen (Bohrungen, Sonden und Verbindungen, Energieerzeugung, Regulierung etc.) aufwendiger sind. Die Bauherrschaft hat sich trotzdem für die umweltfreundliche Variante entschieden, weil es ihr ein Anliegen ist, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern (CO_2-Problem, Treibhauseffekt). Da die Firma Meister täglich aus wertvollen Materialien wie z.B. Platin, Gold oder Diamanten erlesenen Schmuck

herstellt, ist sich die Bauherrschaft darüber im klaren, dass mit den natürlichen, knappen Ressourcen unserer Erde sorgsam umgegangen werden muss. Daher hat sie sich entschlossen, das Erdreich energetisch zu nutzen, um dem heute immer wichtiger werdenden Gedanken eines ökologischen Energiehaushaltes gerecht zu werden. Umweltschutz wird hier somit nicht nur verbal, sondern effektiv betrieben. Dieses Beispiel zeigt, in welche Richtung wir uns in Zukunft werden bewegen müssen.

Das Projekt wird vom Bundesamt für Energiewirtschaft im Rahmen des Aktionsprogrammes ‹Energie 2000› finanziell unterstützt. Ein ausgeklügeltes Messprogramm für die Überwachung der interessierenden Grössen vor und nach Inbetriebnahme der Anlage wird über deren energetische Effizienz Auskunft geben. U.a. wurden spezielle Bohrungen abgeteuft, um die massgebenden Parameter im Untergrund messtechnisch zu überwachen.

4.2 Neubau von drei Instituten der Max-Planck-Gesellschaft in Potsdam (D)

In der Nähe von Potsdam plant die Max-Planck-Gesellschaft den Neubau dreier grosser Wissenschaftsinstitute, welche einen Leistungsbedarf von ca. 4 MW an Wärme (ca. 5300 MWh/y) und ca. 1.4 MW an Kälte (ca. 2700 MWh/y) aufweisen. Die Bauherrschaft strebt eine möglichst umweltgerechte Art der Energieversorgung der Neubauten an, wobei die Nutzung der untiefen Geothermie in Form der saisonalen Speicherung im Vordergrund steht. Aufgrund der Grösse des Bauvorhabens wurden auf dem Gelände erste Untersuchungen durchgeführt, um das im Untergrund nutzbare Energiepotential abschätzen zu können. Zu diesem Zweck steht zur Zeit eine 130 m tiefe Erdwärmesonde im Probebetrieb im Einsatz, welche mit einem komplexen Messsystem ausgestattet ist, um die Auswirkungen von Energieentzug, -abgabe und -speicherung auf den Untergrund berechnen zu können. Zudem werden umfangreiche hydrogeologisch-geophysikalische Untersuchungen des Gebietes mit Bohrungen bis auf 300 m Tiefe durchgeführt, damit die Prozesse, welche im Untergrund ablaufen, sowie deren Auswirkungen auf die geplante Nutzung der untiefen Geothermie möglichst zuverlässig beurteilt und erfasst werden können.

Das Projekt sieht vor, dass der Neubaukomplex, der ca. 600 Arbeitsplätze in den Instituten schaffen wird, mit einer Kombination von Energiesystemen in folgender Konstellation energetisch versorgt werden soll:

Rund 45% des Jahresenergiebedarfes an Wärme und ca. 70% der jährlichen Kältemenge werden über ein Erdwärmesondenfeld zur Verfügung gestellt, welches aus ca. 200 Sonden auf je 150–200 m Tiefe besteht. Da die Institute einen sehr unregelmässigen Bedarf an Wärme, Kälte und Strom aufweisen, ist es sinnvoll, das Sondenfeld als saisonalen und temporären Speicher zu konzipieren. Stark vereinfacht dargelegt wird im Sommer durch das Sondenfeld im Untergrund Abwärme gespeichert und Kälte zur Klimatisation der Gebäude gefördert, während im Winter der Prozess grösstenteils umgekehrt ablaufen wird. Neben dieser zeitlich weitgefächerten Spanne läuft der Kälte- und Wärmeentzug resp. die Speicherung von Energie auch in kurzen Zeitintervallen von Stunden, Tagen und Wochen ab. Da das gesamte Sondenfeld in wassergesättigte Sande zu liegen kommen wird und das Grundwasser zwar nur eine sehr geringe, aber doch nicht vernachlässigbar kleine Fliessgeschwindigkeit aufweist, ist eine gut koordinierte Regulierung und Steuerung sowie ein entsprechend ausgelegtes Management der einzelnen Sondensektoren Voraussetzung für eine optimale Speichernutzung.

Die aus dem Erdreich gewonnene Energie wird unter Beihilfe von Wärmepumpen sowohl wärme- als auch kälteseitig auf das

gewünschte Temperaturniveau gebracht und dem Verbraucher zur Verfügung gestellt.

Rund 45 % des Jahresenergiebedarfes an Wärme werden durch ein Blockheizkraftwerk produziert. Neben der Wärme fällt durch den Betrieb des BHKW (gasbetrieben, mit Katalysatoren) Strom an. Dieser wird zum einen dazu verwendet, die Wärme- und Umwälzpumpen mit ‹sauberer› Elektrizität zu versorgen (Überlandstrom wird in dieser Gegend grösstenteils durch Kohlekraftwerke produziert und ist demzufolge nicht eine umweltfreundliche Primärenergie). Zum anderen werden die Institute mit Strom aus dem BHKW versorgt, überschüssige Elektrizität wird ins Überlandnetz eingespeist.

Ca. 10 % des Wärmebedarfes sowie rund 30 % des Kältebedarfes werden als Spitzenlast durch konventionelle Systeme (Gaskessel, Kältemaschinen) geliefert.

Dieses Versorgungskonzept nützt den Untergrund zur Wärme- und Kältegewinnung in Kombination mit Blockheizkraftwerken und Wärmepumpen und stellt ein äusserst umweltschonendes Verfahren dar: Durch das ausgeklügelte Sondenmanagement kann der Boden sowohl zur Abgabe von Wärme und Kälte an den Verbraucher als auch zur Speicherung überschüssiger Energie (Abwärme aus den Instituten, Wärmeproduktion des BHKWs) verwendet werden. Durch den kombinierten Einsatz von Blockheizkraftwerken und Wärmepumpen wird der Gesamtwirkungsgrad des Energiesystems beträchtlich erhöht, was eine rationelle Nutzung der Primärenergie – sowohl der Erdwärme wie des noch benötigten Erdgases – gewährleistet.

Mit der Realisierung dieses Projektes übernimmt die Max-Planck-Gesellschaft die Vorreiterrolle zum Durchbruch der Nutzung untiefer Geothermieressourcen in den neuen Bundesländern und zeigt, dass umweltgerechte Energiesysteme in Kombination mit Erdwärme nicht nur für kleine und mittelgrosse Anlagen geeignet sind, sondern einen grossen Anwendungsbereich auch auf dem industriellen und öffentlichen Sektor aufweisen.

5. Forschung

Der zumindest in der Schweiz und in Schweden, untergeordnet auch in Deutschland, Holland und in Kanada gute Wissensstand über die Möglichkeiten der Nutzung untiefer Energieressourcen sowie die teilweise bereits beträchtliche Verbreitung der dafür erforderlichen Nutzungssysteme basieren auf umfangreichen, jahrzehntelangen Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet: Sowohl die Hochschulen als auch Behörden in Zusammenarbeit mit privaten Ingenieurbüros haben mit entsprechenden Untersuchungen das Wissen und die Technik erarbeitet, die heute die Basis für die weite Verbreitung und Akzeptanz dieser Systeme darstellen. In Europa sind besonders die Schweiz und Schweden hervorzuheben, wo die wissenschaftliche Forschungsarbeit der Nutzung der untiefen Geothermie mit den vorgängig beschriebenen Varianten zum Durchbruch verholfen hat. An zahlreichen ausgeführten Anlagen wurden die theoretischen Berechnungen im Massstab 1:1 messtechnisch überprüft, um Angaben über die entziehbaren Leistungen, den Einfluss von Umgebungsparametern wie Klima, Höhenlage, Geologie, Hydrologie, Wärmeleitfähigkeit, gegenseitige Beeinflussung etc. sowie über das Langzeitverhalten von Erdwärmesonden zu erhalten. Heute ist man bestrebt, dieses Wissen im Hinblick auf die Verbreitung der Systeme in anderen Ländern zu nutzen, um auch in Regionen, in welchen bislang die Nutzung der untiefen Geothermie kein Thema war, sowohl die Bevölkerung als auch die Behörden auf diese Möglichkeit aufmerksam zu machen.

Seit kurzem werden ebenfalls ganze Erdwärmesondenfelder sowie Energiepfahlsysteme messtechnisch überwacht, um

für die Projektierung zukünftiger Grossanlagen die erforderlichen Parameter zur korrekten Umsetzung zur Verfügung zu haben. Daneben sind Bestrebungen zur weiteren Verbesserung der Wärmepumpentechnik sowie Abklärungen über optimales Sondenmaterial für Energiepfahl- und Erdwärmesondenanlagen und den Einsatz tiefer Erdwärmesonden bis zu 400 m Tiefe im Gange. Auch wird die Entwicklung möglichst umfassender, jedoch einfach anwendbarer Softwarepakete vorangetrieben, die es auch Ingenieurbüros ohne grosse Erfahrungen auf dem Sektor der Nutzung der untiefen Geothermie ermöglichen sollen, derartige Anlagen korrekt zu planen und zu realisieren. Ein weiteres Forschungsziel stellt die möglichst optimale Nutzung von saisonalen Energiespeichern im Untergrund dar, welche insbesondere in Kombination mit Blockheizkraftwerken für Grossanlagen eine interessante Zukunftsperspektive abgeben.

6. Ausblick

Die Nutzung der untiefen Geothermie und die Kombination von Wärmebezug und Speicherung im Untergrund stellen eine vielversprechende energetische Option für die Zukunft dar. Dank langjähriger Erfahrung sowie der Möglichkeit von Serienproduktion erdgekoppelter Anlagen konnten die Investitionskosten derartiger Systeme zwar stark gesenkt werden; sie liegen jedoch je nach Objektgrösse immer noch mehr oder weniger deutlich über denjenigen konventioneller, umweltbelastender Anlagen. Beim Vergleich der jährlichen Betriebskosten schneiden die erdgekoppelten Systeme allerdings wesentlich besser ab, so dass die Amortisation der höheren Investitionskosten in vertretbaren Zeiträumen schon heute durchaus erreicht wird. Bei steigenden Öl- und Gaspreisen dürften sich die Betriebskosten noch weiter zugunsten der umweltfreundlichen Systeme verschieben, was für deren Anwendungspotential nur förderlich ist.

In der heutigen Zeit ist es nicht nur sinnvoll, sondern beinahe schon unumgänglich, bei der Planung von Neubauprojekten umweltschützerische Gedanken einfliessen zu lassen. Ökologische Fehlleistungen, wie sie bis heute allzu oft vorkamen und noch immer an der Tagesordnung sind, zerstören Lebensgrundlagen und somit die wichtigsten Voraussetzungen für eine funktionierende Wirtschaft. Gerade in dieser Hinsicht stellt die umweltgerechte Energieversorgung ein zentrales Problem dar, welches uns stark belastet und zukünftig zu einer der zentralen Herausforderungen für die Menschheit wird. Man soll nicht immer nur vom Umweltschutz sprechen und keine Taten folgen lassen; Umweltschutz und unter diesem Aspekt auch die Nutzung regenerativer Energiequellen muss praktiziert und auch bezahlt werden. Die täglich anfallende Umweltbelastung in Form von Emissionen wird zu Kosten führen, die wir dereinst kaum mehr werden bezahlen können. Bisher existiert in dieser Beziehung noch kein Verursacherprinzip; es herrscht lediglich die freie Marktwirtschaft. Sehen wir nicht bald ein, dass die Kosten, die wir durch unser Handeln an der Umwelt verursachen, auch durch uns bezahlt werden müssen, ist ein ökologisches Fiasko unausweichlich. Die auf politischer Ebene geplanten Lenkungsabgaben auf nicht regenerierbare Energien (u.a. sog. CO_2-Steuer) sind ein erster, kleiner Schritt in die richtige Richtung, doch müssen noch wesentlich drastischere Massnahmen ins Auge gefasst werden. Vor diesem Hintergrund müssen umweltgerechte Energiesysteme nach Möglichkeit konventionellen Lösungen – auch wenn letztere auf der Investitionsseite auf den ersten Blick wirtschaftlicher erscheinen – vorgezogen werden. Die Nutzung der untiefen Geothermie, wofür die Technik weitgehend erprobt und ausgereift ist, stellt eine effiziente und zukunftsträchtige

Möglichkeit dar, einen kleinen Teil zum Schutz unseres Lebensraumes beizutragen. Behörden und Politiker sind gefordert, die notwendigen Massnahmen zu ergreifen, damit die Nutzung der untiefen Geothermie eine grössere Verbreitung findet und bei Neubauten und Sanierungen an die Stelle konventioneller Energieträger tritt.

Literaturverzeichnis

BUNTEBARTH, B. (1980): Geothermie. – Springer-Verlag, Heidelberg.

BUSSMANN, W. et al. (1991): Geothermie: Wärme aus der Erde. – C.F. Müller Verlag, Karlsruhe.

EUGSTER, W. et al. (1992): Erdwärmesonden – ihre Funktionsweise und Wechselwirkungen mit Boden und Grundwasser. – NEFF – Projekt 324, Schlussbericht 1992.

KAPP, CH. (1994): Umweltfreundliche Energiesysteme – ein Muss für die Zukunft. – Schweizer Energiefachbuch 1994.

REUSS, M. et al. (1992): Erfahrungen mit einem Langzeitspeicher mit vertikalen Wärmetauschersonden. – Geothermische Fachtagung Erding, Tagungsband, 1992.

RYBACH, L. (1982): Geologische und geothermische Verhältnisse in der Schweiz. – Mitt. d. SGBF Nr. 107, 1982.

RYBACH, L. et al. (1989): Erdwärmesonden-Heizanlagen: Durch Messungen und Berechnungen bestimmte Auslegungs- und Betriebsgrössen. – Schriftenreihe des BEW, Studie Nr. 46, 1989.

SANNER, B. (1992): Erdgekoppelte Wärmepumpen: Methoden zur Nutzung. – Geothermische Fachtagung Erding, Tagungsband, 1992.

SANNER, B. (1992): Erdgekoppelte Wärmepumpen: Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. – IZW-Berichte 2/92, Karlsruhe.

SANNER, B. et al. (1992): Kältespeicherung im Erdreich, zwei Beispiele aus Deutschland. – Geothermische Fachtagung Erding, Tagungsband, 1992.

SCHULZ, R. et al. (1992): Geothermische Energie. – C.F. Müller Verlag, Karlsruhe.

WEBER, R. (1990): Heizwärme aus der Tiefe. – Olynthis Verlag, Oberbözberg.