

Energienutzung im Erdreich

Erdgekoppelte Wärmepumpen, thermische Energiespeicherung und hydrothermale Geothermie

Von Burkhard Sanner, Klaus Knoblich und Matthias Klugescheid

Das Erdreich bietet durch seine generelle Verfügbarkeit ein großes Potential für Energiegewinnung und -speicherung. Oberflächennahe Geothermie nutzt die obersten 200 m und ist von speziellen geologischen Gegebenheiten und positiven geothermischen Anomalien unabhängig. Bei der Nutzung oberflächennaher Geothermie ist in der Regel eine Wärmepumpe notwendig, die die auf niedrigem Temperaturniveau gewonnene Wärme auf ein nutzbares Niveau hebt. Durch korrekte Anlagenauslegung und moderne Wärmepumpentechnologie lassen sich selbst bei Wärmepumpeneinsatz Primärenergieeinsparungen im Vergleich zu Heizungen mit Verbrennung fossiler Brennstoffe erzielen. Thermische Energiespeicherung im Erdreich ermöglicht es, Wärme, z.B. Abwärme, aus dem Sommer in die Heizperiode zu übertragen und dort, ggf. mit Hilfe von Wärmepumpen, wieder zu nutzen. Der umgekehrte Vorgang, die Speicherung eines Wärmedefizits (Kälte) aus dem Winter zur Kühlung im Sommer, ist ebenso möglich und könnte in den kommenden Jahren eine starke Verbreitung erfahren. Besonders im „direkten“ Kühlbetrieb sind erhebliche Primärenergieeinsparungen gegenüber herkömmlichen Kälteaggregaten zu erzielen. Am Institut für Angewandte Geowissenschaften wird bereits seit 1985 an der Erforschung des Wärmetransports im Erdreich und der Entwicklung von Methoden zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie gearbeitet. Zur Zeit läuft ein BMFT-gefördertes Vorhaben zur „Saisonalen Kältespeicherung im Erdreich“.

Der Begriff „Geothermische Energie“ deckt einen weiten Bereich ab. Dabei können sowohl Energiegewinnung aus dem inneren Erdwärmefluß als auch die Nutzung von durch Sonneneinstrahlung oder Sickerwasser zugeführter Wärme im Erdreich gemeint sein. Eine allgemeingültige Definition gibt es nicht, doch ist es inzwischen üblich geworden, alle Energienutzung aus dem Erdreich unterhalb der Erdoberfläche als geothermische Energie zu bezeichnen, unabhängig von der tatsächlichen Herkunft der Wärmezufuhr.

In Tabelle 1 ist eine Klassifikation der verschiedenen Varianten geothermischer Energie wiedergegeben. Vier große Gruppen können unterschieden werden, je nach Lagerstättentypus und Temperatur. In Gießen wird hauptsächlich im Bereich der oberflächennahen Geothermie gearbeitet (bis maximal 200 m Tiefe), erste Untersuchungen zur hydrothermalen Geothermie laufen zur Zeit.

Tabelle 2 gliedert die verschiedenen Methoden auf, mit denen thermische Energienutzung

im oberflächennahen Erdreich betrieben werden kann. Grundsätzlich ist dabei zu unterscheiden zwischen der direkten Nutzung von Wässern aus diesem Bereich, die an die Oberfläche gefördert werden und somit Energie transportieren (offene Systeme), und dem Einbringen von Wärmeträgermedium ins Erdreich, in denen ein Wärmeträgermedium umgewälzt wird, welches im Erdreich Energie aufnimmt und an der Oberfläche wieder abgibt (geschlossene Systeme). Bei der thermischen Energiespeicherung wird dem Erdreich auch Energie (Abwärme, Solarenergie) zugeführt; hier sind ebenfalls offene Systeme (Aquiferspeicher) und geschlossene Systeme (Erdsondenspeicher) möglich.

Erdgekoppelte Wärmepumpen

Oberflächennahe geothermische Energie fällt auf einem Temperaturniveau an, das weder direkt zum Heizen noch zur Umwandlung in mechanische oder elektrische Energie ausreichend ist. Mit 8 bis 13°C liegt die Temperatur des erschlossenen Erdreiches kaum höher als die mittlere Umgebungstemperatur. Der Energieumsatz im betrachteten Bereich wird hauptsächlich durch Wärmeleitung von und zur Oberfläche und zum umgebenden Gestein, durch Sickerwasser und Grundwasserfluß sowie zu einem sehr geringen Teil durch den inneren geothermischen Wärmefluß bestimmt. Bei korrekter Auslegung der Wärmenutzung ist es möglich, ein Gleichgewicht zwischen mittlerem Wärmeentzug und langjähriger natürlicher Wärmenachlieferung zu schaffen. Damit wird tatsächlich regenerative Energie eingesetzt, im Gegensatz zu den anderen Methoden in Tabelle 1, die regelmäßig mehr Energie nutzen als durch den natürlichen geothermischen Wärmefluß geliefert wird.

Da heutige Heizungssysteme mindestens eine Vorlauftemperatur von etwa 35°C benötigen (Fußbodenheizung), muß die Temperatur der oberflächennah gewinnbaren geothermischen Energie angehoben werden. Dies geschieht über Wärmepumpen unter Einsatz von zusätzlicher mechanischer (Kompressionswärmepumpen) oder thermischer (Absorptionswärmepumpen) Energie. Dabei kann die Wärmequelle Erdreich auf verschiedene Weise erschlossen werden; Tabelle 2 führt die Varianten mit geschlossenen und offenen Systemen

Tab. 1: Möglichkeiten der Extraktion und Nutzung Geothermischer Energie

Lagerstättentypus	Wärmequelle	Nutzungstechnik	Nutzungsziel
1–100 m (max. 200 m) Oberflächennahe Geothermie	Erdreich Festgestein Grundwasser	Wärmepumpe mit: Grundwasserbrunnen Erdkollektor Erdsonden Thermische Energiespeicherung	0–15 °C H
500–3000 m Hydrothermale Geothermie	Thermalwasser Tiefenaquifere	Wärmetauscher, evtl. Wärmepumpe, Tiefbohrbrunnen „Doublettenbetrieb“	35–80°C H, P, (E)
>2000 m Hot-Dry-Rock Technologie	künstliche Risse Trockenes, heißes Gestein	Tiefbohrungen, E, (P, H) im Gestein	150–300 °C
500–3000 m Hochenthalpie	Heißwasser-/ Dampfvorkommen	Bohrung, Dampfab- scheider, Turbine, Kondensator	>200 °C E, (P, H)

E: Stromerzeugung P: Prozeßwärme H: Heizung

an, Abb. 1 zeigt als Beispiel ein einfaches Schema einer erdgekoppelten Wärmepumpe mit geschlossenem Solekreislauf und Erdsonde in einer Bohrung.

Um ein System zu erhalten, das tatsächlich weniger Primärenergie benötigt als die konventionelle Heizung mit Verbrennung von Kohle, Gas oder Öl, muß die Anlagenauslegung so erfolgen, daß für den Antrieb der Wärmepumpe und für sonstige Hilfsaggregate, wie z.B. Pumpen, eine möglichst geringe Leistung erforderlich ist. Bei Kompressionswärmepumpen kann – und sollte – die mechanische Antriebsenergie weniger als ein Drittel der Nutzenergie betragen. Der häufigste Antrieb von Kompressionswärmepumpen ist der Elektromotor; hier ist immer der für die Stromerzeugung erforderliche Primärenergieaufwand zu betrachten.

In Tabelle 3 sind die Primärenergieverhältnisse für verschiedene Heizsysteme aufgeführt. Das Primärenergieverhältnis errechnet sich als Verhältnis der abgegebenen Nutzenergie zur für die Bereitstellung der Antriebsenergie erforderlichen Primärenergie. Bei der elektromotorisch getriebenen Wärmepumpe ist besonders auf die Jahresarbeitszahl β zu achten, die das Verhältnis der im Jahr abgegebenen Heizarbeit zur Antriebsarbeit des Gesamtsystems angibt. Während herkömmliche Wärmepumpen über lange Jahre nur Jahresarbeitszahlen von 2 bis 2,5 zu erreichen in der Lage waren, sind heute erdgekoppelte Wärmepumpen sicher mit $\beta = 3$ zu betreiben. Neue Anlagen, z.B. mit Direktverdampfung, wurden bereits mit $\beta = 4$ gemessen, und die Entwicklung neuer Kompressoren und Antriebe in Japan und den USA läßt eine solche Jahresarbeitszahl für die Zukunft als durchaus realistischen Standard erscheinen.

Überall dort, wo die bei der Erzeugung der mechanischen Kompressor-Antriebsenergie anfallende Abwärme ebenfalls zum Heizen benutzt werden kann, ergeben sich höhere Primärenergieverhältnisse. Dies ist bei Strom aus Blockheizkraftwerken (BHKW) ebenso der Fall wie bei verbrennungsmotorgetriebenen Wärmepumpen. Leider sind gas- und dieselbetriebene Wärmepumpen kleiner Leistung noch nicht großserienmäßig auf dem Markt verfügbar, so daß diese Technik momentan nur für Heizleistungen etwa ab 200 kW einsetzbar ist. Gut geeignet für den drehzahlbeständigen Wärmepumpenbetrieb ist der Stirlingmotor, Versuchsanlagen laufen schon seit Jahren in Japan und den USA. Auch bei Sorptionswärmepumpen, deren thermische „Antriebsenergie“ über einen Brenner bereitgestellt wird, kann die Abwärme zum Heizen verwendet werden; hier sind Einheiten ab etwa 25 kW Heizleistung verfügbar. Allerdings eignen sich Sorptionswärmepumpen wegen der notwendigen Wärmequellentemperaturen eher für offene Systeme (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Methoden zur Nutzung oberflächennaher geothermischer Energie

Name	Tiefe (m)	Wärmeträgermedium	Bemerkungen
Geschlossene Systeme:			
Erdkollektoren	1,2–2,0	Sole	Klimaeinfluß, große Fläche
Erdsonden, gerammt	8–25	Sole	Material Stahl, nur in Lockergestein
Erdsonden, gebohrt	20–100	Sole	Material HDPE oder beschichtetes Metall, ideal in Festgestein
Direktverdampfung	1,2–50	Kältemittel	Material Kupfer, ggf. beschichtet, hohe Kältemittelmenge
Offene Systeme:			
Grundwasserbrunnen	4–20	Wasser	mind. 2 Brunnen, Pumpe
„Einlochbrunnen“	120–200	Wasser	Hohe Bohrkost., nicht überlastb.
Thermische Energiespeicherung:			
Aquiferspeicher	4–500	Wasser	Speichermedium Grundwasser
Erdsondenspeicher	15–100	Sole	Speichermedium Erdreich, Gestein, Porenwasser

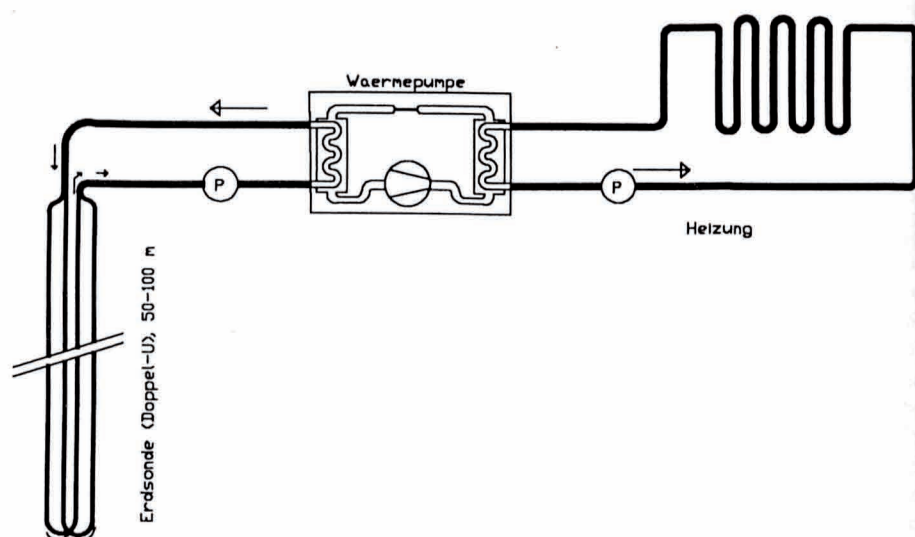


Abb. 1: Schema einer erdgekoppelten Wärmepumpe mit Solekreislauf und Erdwärmesonde

Tab. 3: Primärenergieverhältnis erdgekoppelter Wärmepumpen

Antriebsenergie/Wärmepumpe	Primärenergieverhältnis	
	bei $\beta=3$	bei $\beta=4$
E-Kompressions-WP, Netzstrom	0,9–1,1	1,2–1,5
E-Kompressions-WP, Strom und Wärme aus BHKW	1,5–1,6	1,8–2,0
Kompressions-WP mit Gas-/Dieselmotor		1,3–1,8
Sorptions-WP		1,2–1,5
Zum Vergleich:		
Elektro-Widerstandsheizung mit Netzstrom		0,3–0,4
Feuerungsheizung vor 1970		ca. 0,5
Moderne Feuerungsheizung		bis 0,9
Brennwertkessel		ca. 1,0

In Wohnhäusern sind bereits seit über einem Jahrzehnt elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpen mit der Wärmequelle Grundwasser oder Erdreich im Einsatz. Größere Anlage sind vor allem aus den USA bekannt, wur-

den in den letzten Jahren aber auch in Deutschland gebaut. Abb. 2 zeigt die Anlage in Frankfurt-Höchst im Bauzustand (Herbst 1993). In Nordamerika sind die Wärmepumpen in der Regel umschaltbar, so daß die Gebäude auch

geköhlt werden können. Die dabei anfallende Wärme wird ins Erdreich abgefahren.

Der aktuellen Stand der Technik erdgekoppelter Wärmepumpen wurde im Herbst 1991 auf einem Symposium auf Schloß Rauischholzhausen bei Gießen diskutiert; der Tagungsbericht (SANNER & LEHMANN, 1991) enthält die entsprechende Dokumentation. Für den Herbst 1994 ist ein zweites Symposium angekündigt, welches wiederum vom Institut für Angewandte Geowissenschaften der Universität Gießen organisiert wird und im Oktober auf Schloß Rauischholzhausen stattfinden soll. Von Mitarbeitern des Instituts wurde die Nutzung oberflächennaher Geothermie in über 30 Veröffentlichungen beschrieben; die Summe der Erfahrungen mit erdgekoppelten Wärmepumpen wurde in einer Publikation des FIZ Karlsruhe zusammengestellt (SANNER, 1992).

Saisonale thermische Energiespeicherung

Während bei der erdgekoppelten Wärmepumpe nur die natürlich im Erdreich vorhandene Wärme genutzt wird, dient das Erdreich bei der thermischen Energiespeicherung als Speichermedium für von außen künstlich eingebrachte Energie. So ist in Deutschland der Heizenergieverbrauch über das Jahr hinweg einem Zyklus unterworfen, und wenn es gelänge, Wärme aus dem Sommer bis zum Winter zu speichern, könnte der Heizbedarf stark gesenkt werden (bei Jahresmitteltemperaturen von 8 bis 12°C im Bundesgebiet). Umgekehrt könnte der Aufwand für Kühlbedarf im Sommer minimiert werden. Besonders bei der thermischen Nutzung von Sonnenenergie zum Heizen macht sich der antizyklische Verlauf von Sonnenenergieangebot und Heizbedarf unangenehm bemerkbar, und bereits bei der erdgekoppelten Wärmepumpe ist der jahreszeitliche Temperatursausgleich im Erdreich unterhalb von etwa 10 m Tiefe ein wichtiger Vorteil.

Erste Versuche mit saisonaler thermischer Energiespeicherung im Erdreich gab es folgerichtig in Anlagen mit Solarkollektoren. Besonders in Schweden sind teilweise recht große Anlagen mit mehreren hundert kW Heizleistung entstanden, in denen Wärme aus Solarkollektoren im Erdreich oder Grundwasser gespeichert und im Winter direkt oder über Wärmepumpen zur Heizung eingesetzt wird. Bislang konnten sich solche Systeme jedoch wirtschaftlich nicht durchsetzen.

Anders sieht es aus, wenn die zum Laden benötigte Wärme nicht durch teure Solarkollektoren erzeugt werden muß, sondern als Abwärme kostenfrei zur Verfügung steht. Hier sind auch hohe Speicherverluste noch tragbar, und im Gegensatz zu den im Höchstfall bei et-

wa 50°C liegenden Speichertemperaturen bei solargespeisten Anlagen sind erheblich höhere Temperaturen möglich. Damit kann für den Heizfall (Speicherentladung) weitgehend auf Wärmepumpen verzichtet werden, die sonst bei sinkenden Speichertemperaturen zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Vorlauftemperatur eingesetzt werden müssen. Hohe Speichertemperaturen können allerdings geotechnische Probleme verursachen, solche Anlagen sind bislang in festem Fels (Granit/Gneis) bzw. in Aquiferen von mehreren Hundert Metern Tiefe verwirklicht worden. Saisonale Wärmespeicher gibt es bis zur Größenordnung von einigen MW Heizleistung.

Da in Deutschland im Winter niedrige Temperaturen herrschen, ist die Speicherung von „Kälte“ im Erdreich zur Kühlung im Sommer ebenso möglich. Dabei wird im Winter ein Wärmedefizit im Speicher geschaffen, in das sich dann im Sommer Überschusswärme aus Gebäuden und Industrieprozessen abfahren läßt (SANNER, 1990). Solche Anlagen können als reine Kältespeicher eingesetzt werden, wobei die kalte Außenluft im Winter als „Kältequelle“ dient, oder als kombinierte Speicher, bei denen die Kälte durch den Heizbetrieb im Winter geschaffen wird und die somit zum Heizen und Kühlen dienen (SANNER & CHANT, 1992).

Im Technorama Düsseldorf, einem Bürogebäude mit 190 kW Wärmebedarf (Abb. 3), entsteht bei der Beheizung durch eine erdgekoppelte Wärmepumpe im Winter ein Wärmedefizit im Erdreich, das im Sommer zum Kühlen verwendet wird. Neben direktem Kühlbetrieb, bei dem die Antriebsenergie sehr gering ist, kann für größere Leistungen oder gegen Ende der Speicherentladung auch der Einsatz reversibler Wärmepumpen notwendig sein, wie er aus Nordamerika bereits bekannt ist. Somit ergeben sich drei Betriebsarten (Abb. 4).

Saisonale Kältespeicherung ist insofern

in Deutschland gut einsetzbar, als in der Regel der Kühlbedarf den Heizbedarf nicht übersteigt und die entsprechenden Temperaturen um die Mitteltemperatur des oberflächennahen Erdreichs schwanken. Speicherverluste, die bei Wärmespeicherung bedeutend werden können, sind nur minimal vorhanden. Durch Anpassung der Gebäudetechnik ist es möglich, auch bei hohen Kühllasten einen großen Teil der Kühlung über die sehr wirtschaftliche direkte Kühlung abzudecken.

Ein Beispiel für reine direkte Kühlung ist das Fabrikationsgebäude Ophthalmica GmbH in Rathenow; das Funktionsschema ist in Abb. 5 dargestellt. Eine Reinraumanlage für die Bedampfung von Brillengläsern muß fast ständig gekühlt werden, andere Werkräume sowie die Verwaltung werden geheizt.

Durch den steigenden Bedarf an Raumkühlung vor allem in Bürogebäuden, Kaufhäusern etc. ergeben sich gute Einsatzmöglichkeiten für saisonale Kältespeicherung und damit ein entsprechendes Potential zur Minimierung des ansonsten nötigen Energiebedarfs mit den ent-



Abb.2: Bohrarbeiten zu einer Anlage mit 32 Erdwärmesonden für ein Büro- und Wohnhaus in Frankfurt-Höchst
Foto: Sanner



Abb.3: Ansicht des „Technorama“ Düsseldorf von Osten

Foto: Sanner

sprechenden Umweltentlastungen. Dabei können solche Anlagen schon beim heutigen Energiepreisniveau wirtschaftlich sein, wie eine Studie ergab (SANNER, 1993); es wurden 6 bis 14 Pfennige pro Kilowattstunde (kWh) für die Speicheranlage, 8 bis 17 Pfennige pro kWh für eine konventionelle Alternative errechnet.

Die Umweltentlastung durch saisonale Kältespeicher ergibt sich einmal aus der Nutzung einer erdgekoppelten Wärmepumpe im Heizbetrieb, vor allem aber durch die sehr günstige Kälteversorgung mit geringer Antriebsenergie. Dabei ist vor allem die Reduktion des CO_2 -Ausstoßes bemerkenswert (Tab. 4), aber auch Schadstoffe wie SO_2 , NO_x , CO u.a. werden in wesentlich geringerem Maße produziert.

Hydrothermale Geothermie

Die vorstehend beschriebenen erdgekoppelten Wärmepumpen und thermischen Energiespeicher nutzen das Erdreich bis in Tiefen von rund 100 m, in Ausnahmefällen (z.B. die Anlage der Universität Utrecht) auch bis über 200 m. Dabei ist für den Heizbetrieb wegen der niedrigen Temperaturen eine Wärmepumpe oder die Einspeisung von Wärme im Sommer erforderlich. Möchte man höhere Temperaturen direkt erhalten, so muß das tiefere Erdreich erschlossen werden. Bereits in vergangenen Jahrhunderten war der Anstieg der Temperaturen zur Tiefe hin gut bekannt und wurde auch gemessen; heute liegen exakte Messungen an vielen Stellen und sogar Karten der terrestrischen Wärmestromdichte und der Tem-

peraturen in verschiedenen Tiefen für Europa vor. In einer Forschungsanlage südlich von Wetzlar wurden durch das Institut für Angewandte Geowissenschaften in den Jahren 1985 bis 1989 Temperaturen bis in 50 m Tiefe gemessen (SANNER & HERR, 1986; KNOBLICH et al., 1993), die den geothermischen Gradienten ab einer Tiefe von 10 m klar erkennen lassen (Abb. 6). In Nordostdeutschland wird geothermische Energie aus Tiefen zwischen 1500 und 2000 m bereits seit 1984 gewonnen. Dabei wird warmes Tiefenwasser in einer Bohrung abgepumpt. Es heizt über einen Wärmetauscher Heizungswasser auf und wird über eine zweite Bohrung in einiger Entfernung wieder in die wasserführenden Schichten in großer Tiefe eingeleitet. Die Temperaturen des geförderten Wassers liegen bei 50 bis 80°C. In einer momentan im Bau befindlichen Anlage in Neustadt/Glewe (Mecklenburg) wurden sogar 105°C gemessen, was durch eine geothermische Anomalie bedingt ist. Grundsätzlich setzt die hydrothermale Geothermie, viel stärker als die oberflächennahe Erdwärmenutzung, eine geeignete geologische Situation voraus. In der Tiefe muß ein wasserführendes, wasserdurchlässiges Gestein vorliegen (Aquifer), und die Temperatur muß in nicht zu großer Tiefe bereits ausreichend hoch sein, was einen überdurchschnittlichen geothermischen Gradienten, ggf. sogar eine geothermische Anomalie erfordert. Derartige Bedingungen können in Deutschland in der Norddeutschen Tiefebene, im Oberrheingraben und im Alpenvorland gegeben sein.

Das Ziel von neubeginnenen Arbeiten am Institut für Angewandte Geowissenschaften ist es, das Potential hydrothormaler Geothermie in Hessen zu erkunden. Dazu ist eine Sammlung und sorgfältige Auswertung aller verfügbaren Untergrundinformationen erforderlich. Als erstes Teilgebiet wird momentan in einer Diplomarbeit die Wetterau und der westliche Vogelsberg bearbeitet. Der hessische Anteil am Oberrheingraben und die nordhessische Senke sollen folgen. Da Anlagen zur Nutzung hydrothormaler Geothermie Bohrungen von mehr als 1 km Tiefe mit entsprechenden Kosten bedingen, sind sie nur für größere thermische Leistungen ab etwa 1 MW sinnvoll. Neben den geologischen Bedingungen ist für die Verwirklichung solcher Anlagen daher auch ein entsprechender Wärmebedarf notwendig (verdichtetes Wohngebiet, Industriebetrieb, Nahwärmeversorgung).

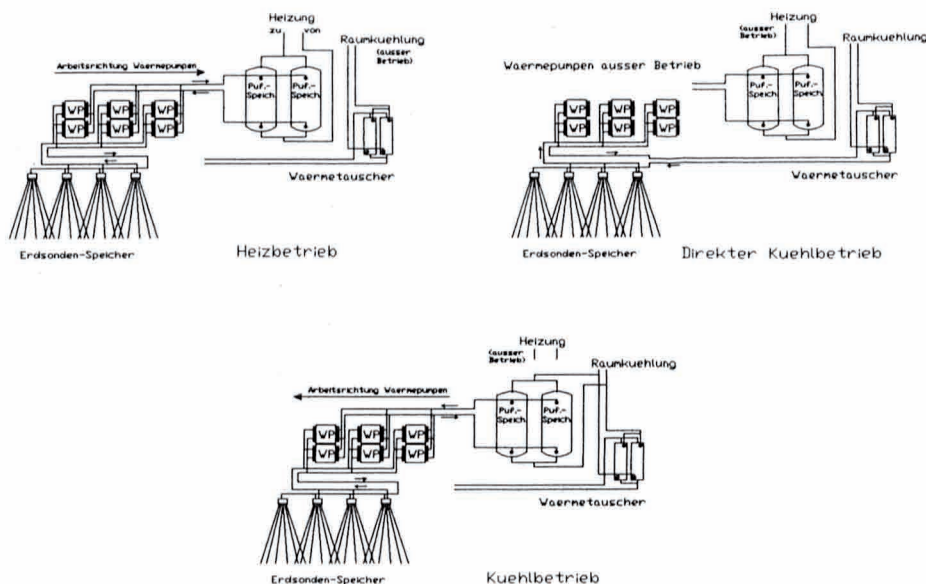


Abb.4: Schema der Anlage „Technorama“ Düsseldorf in drei Betriebsmodi

Numerische Simulation von Wärmetransportvorgängen

Um Energienutzung im Erdreich nachhaltig und ökologisch unbedenklich zu betreiben, müssen die Wärmetransportvorgänge im Erdreich bekannt sein und müssen sich für be-

Tab. 4: Kohlendioxid-Emission bei saisonalen Kältespeichern

Anlage	Konventionelle Vergleichsanlage kg CO ₂	Wärmepumpe und saisonale Kältesp. kg CO ₂	Reduktion %
Düsseldorf	55430	41340	25,4
Linden	6958	5616	19,3
Rathenow	20210	13260	34,4
Wetzlar	52498	27032	48,5

stimmte Betriebsweisen langfristige Voraus-
sagen anstellen lassen. Hierzu dienen numeri-
sche Simulationen, mit denen sowohl Wärme-
transport als auch Grundwasserströmungen
dargestellt werden können. Am Institut für
Angewandte Geowissenschaften wurde das
Finite-Differenzen-Modell „TRADIKON-
3D“ entwickelt, das sich für die Berechnung
des konduktiven sowie des konvektiven Wär-
metransports im Erdreich eignet, wobei auch
die Grundwasserströmung einbezogen werden
kann (BREHM, 1989). Zur experimentellen
Betrachtung von Wärmetransportvorgängen
und zur Validierung der Simulationsprogra-
me wurde in Schöffengrund-Schwalbach in
den Jahren 1985 bis 1989 eine Versuchsanlage
durch die Wetzlarer Helmut Hund GmbH be-
trieben (KNOBLICH, 1986; SANNER, 1986).
Das Institut für Angewandte Geowissenschaf-
ten besorgte die wissenschaftliche Begleitung
und wertete die Messungen aus. Eine 50 m tie-
fe Bohrung enthält einen Wärmetauscher, über
den die Temperatur im Erdreich herabgesetzt
werden konnte; ebenfalls 50 m tiefe Tempera-
turmeßsonden in 2,5 bis 10 m Abstand erfaß-
ten das Temperaturfeld im Erdreich um den
Wärmetauscher. Die Ergebnisse der Schwal-

bacher Versuche sind in KNOBLICH et al.,
1993, beschrieben. Mit dem Simulationspro-
gramm ließ sich eine gute Übereinstimmung
mit den Meßwerten erzielen (SANNER &
BREHM, 1988).

Inzwischen wurde das Programm „TRAD-
IKON-3D“ weiterentwickelt und zur Berech-
nung saisonaler thermischer Energiespeicher
im Erdreich verwendet. Abb. 7 zeigt einen
Ausschnitt aus einem Berechnungslauf, bei
dem ein thermischer Energiespeicher zum
Heizen und Kühlen mit 20 Erdsonden über
zwei Jahre simuliert wurde. Der dargestellte
Zustand ist Ende Juni des zweiten Jahres, wo
sich innerhalb des durch den Winterbetrieb ab-
gekühlten Bereichs bereits wieder die Erdsen-
den mit höherer Temperatur hervorheben
(Wärmeeintrag ins Erdreich aus der Raum-
kühlung).

Zusammenfassung

Im Bundesgebiet sind Anlagen zur Nutzung
der oberflächennahen Geothermie und zur
thermischen Energiespeicherung im Erdreich

auf verschiedene Weise einsetzbar. Dies reicht
von kleinen Einfamilienhäusern mit erdgekop-
pelten Wärmepumpen, die bei Verwendung
moderner Technologie gegenüber herkömmli-
chen Feuerungsanlagen eine Einsparung an
Primärenergie erlauben, bis zu großen und
komplexen Anlagen zum Heizen und Kühlen
unter Einbeziehung der Kältespeicherung. Ge-
rade die Kältespeicherung kann neben der ge-
samtwirtschaftlich erwünschten Energieein-

Sonde C, 08.08.86, 13 Uhr

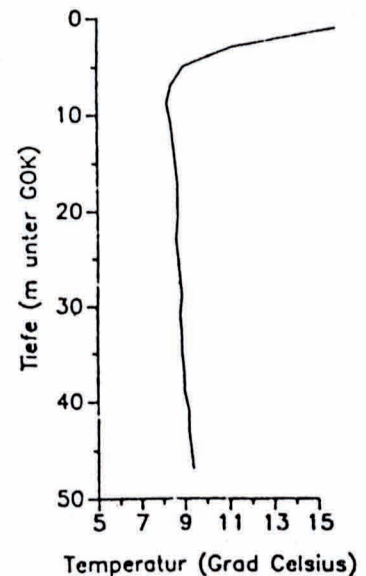
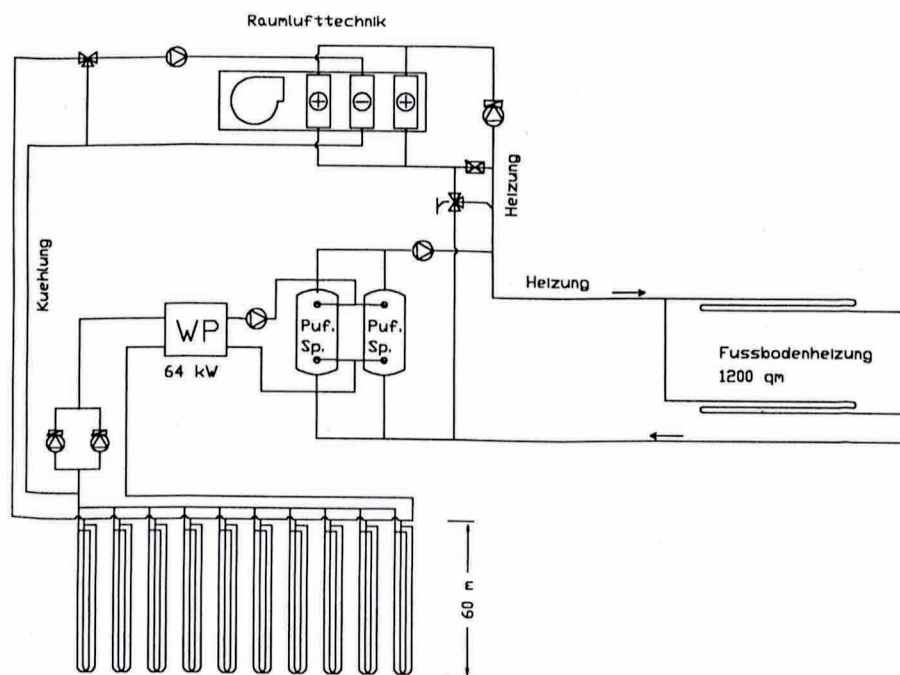

 Abb.6: Temperaturen in einer Bohrung der
Forschungsanlage Schöffengrund-Schwal-
bach, 1986


Abb.5: Schema der Heiz-/Kühlanlage „Ophthalmica“ Rathenow

sparung bereits heute für den einzelnen An-
lagenbetreiber ein finanziell sehr attraktives Sy-
stem sein. Bei dem hohen Anfall von Abwär-
me in einigen Regionen (Kraftwerke, Indus-
trieprozesse, aber auch BHKW's zu Zeiten
geringen Wärmebedarfs) kann auch die Spei-
cherung dieser Wärme zum zumindest teilwei-

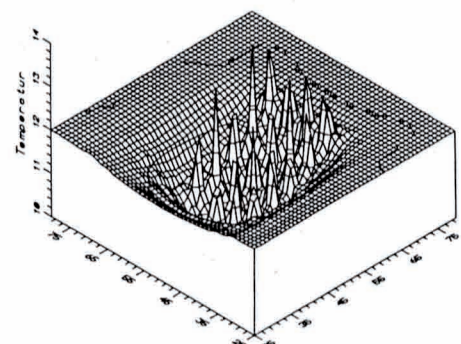

 Abb.7: 3D-Darstellung des Temperaturfeldes
um einen saisonalen thermischen Energiespei-
cher mit 20 Erdwärmesonden, Ende Juni des
zweiten Betriebsjahres



Abb.8: Abdampf der flash-chamber einer Versuchsbohrung zur Erschließung eines geothermischen Heißdampfgebietes in der Türkei

Foto: Strübel

sen Einsatz im Winter ein interessanter Aspekt sein.

Da oberflächennahe Geothermie nicht an positive geothermische Anomalien gebunden ist, sind nur wenige Restriktionen bei den möglichen Einsatzflächen gegeben, doch muß immer der Ausgleich mit konkurrierenden Nutzern herbeigeführt werden (vor allem der Wasserwirtschaft). Hydrothermale Geothermie ist an geeignete geologische Strukturen gebunden, doch kann sie dort regional ein sehr großes Potential aufweisen. Die beschriebenen Arten geothermischer Energie sind nicht so spektakulär wie z.B. Heißdampf-Lagerstätten (Abb. 8), ihr möglicher Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung in Mitteleuropa und zur Senkung des Primärenergieverbrauchs in der Gebäudetechnik sollte dagegen nicht unterschätzt werden.

Literatur:

- KNOBLICH, K. (1986): Energie aus dem Erdreich. – Spiegel der Forschung 3/3, S. 19–20, Gießen
- SANNER, B. (1986): Schwalbach Ground Coupled Heat Pump Research Station. – Newsletter IEA Heat Pump Center 4/4, pp. 8–10, Karlsruhe.
- SANNER, B. & HERR, K.-D. (1986): Messung und Aufzeichnung von Temperaturen im Erdreich bis zu 50 m Tiefe. – Z. Angew. Geowiss. 7, S. 61–68, Gießen
- SANNER, B. & BREHM, D. (1988): Measurement and Simulation of Heat Transport in Rocks at a Site in the Rhenish Massif, FRG. – Proc. 4th Can/Am Conf Hydrogeol., Banff, pp. 279–283, Nat. Water Well Assoc., Dublin OH
- BREHM, D. (1989): Entwicklung, Validierung und Anwendung eines dreidimensionalen, strömungsgekoppelten finite Differenzen Wärmetransportmodells. – Giessener Geologische Schriften 43, 120 S., Giessen
- SANNER, B. (1990): Ground Coupled Heat Pump Systems, R&D and practical experiences in FRG. – Proc. 3rd IEA Heat Pump Conf. Tokyo 1990, pp. 401–409, Pergamon Press, Oxford
- SANNER, B. & LEHMANN, A. (Hrsg.) (1991): Symposium Erdgekoppelte Wärmepumpen, Tagungsbericht. – IZW-Berichte 3/91, 274 S., FIZ, Karlsruhe
- SANNER, B. & CHANT, V.G. (1992): Seasonal Cold Storage in the Ground using Heat Pumps. – Newsletter IEA Heat Pump Center 10/1, S. 4–7, Sittard
- SANNER, B., KNOBLICH, K. & EULER, G. (1992): Nutzung oberflächennaher Geothermie in Kuchel a.S., Geologie und Anlagenplanung. – Z. Angew. Geowiss. 11, S. 97–106, Gießen
- SANNER, B. (1992): Erdgekoppelte Wärmepumpen, Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation. – IZW-Berichte 2/92, 328 S., FIZ, Karlsruhe
- SANNER, B. (1993): Economic and Environmental Analysis of Heat Pump Systems with Seasonal Cold Storage. – Proc. Workshop Heat Pumps and Thermal Storage, Fukuoka, Japan, IEA Heat Pump Centre Report HPC-WR-11, S. 139–153, Sittard
- KNOBLICH, K., SANNER, B. & KLUGESCHIED, M. (1993): Energetische, hydrologische und geologische Untersuchungen zum Entzug von Wärme aus dem Erdreich. – Giessener Geologische Schriften 49, 198 S., Gießen

Zu den Autoren:



Dr. Burkhard Sanner, Jahrgang 1955, von 1973 bis 1974 und 1976 bis 1980 Studium der Geologie an der Universität Gießen (JLU), Diplomarbeit „Zur Standsicherheitsberechnung von Böschungen“. 1981 Arbeiten zur Ingenieurgeologie in Costa Rica, 1981 bis 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Geologisch-Paläontologischen Institut der JLU. 1985 bis 1989 Projektleiter eines BMFT-geförderten Entwicklungsvorhabens zum Entzug von Wärme aus dem Erdreich bei der Helmut Hund GmbH, Wetzlar. 1990 wieder als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Geowissenschaften zu-

rück zur JLU, seit 1992 am selben Institut in einem BMFT-geförderten Projekt zur saisonalen Kältespeicherung im Erdreich. 1993 Promotion zum Dr. rer. nat. mit einer Dissertation zur erdgekoppelten Wärmepumpe. Seit 1986 deutscher Vertreter in mehreren Kooperationsprojekten der Internationalen Energie-Agentur IEA, seit 1992 stellvertretender Vorsitzender der Geothermischen Vereinigung e.V.

Prof. Dr. Klaus Knoblich, Jahrgang 1936, studierte Geologie an der Universität Stuttgart. Promotion 1964, Habilitation 1969.

Von 1961 bis 1964 beim Geologischen Landesamt von Baden-Württemberg tätig und zuständig für Bauwerksgründungen im Stadtgebiet Stuttgart. Seit 1971 Professor für Ingenieur- und Hydrogeologie an der Universität Gießen. Forschungsschwerpunkte sind: Untersuchung und Bewertung von Altstandorten, Grundwasserneubildung, Böschungs- und Hangstabilität, Nutzung geothermischer Energie. Regionale Schwerpunkte sind Afrika und Lateinamerika.

Dipl.-Geol. Matthias Klugescheid, Jahrgang 1962, Studium der Geologie an der JLU, Diplomarbeit 1991, Thema: „Numerische Modellierung des Energieumsatzes an der Grenzfläche Boden/Luft“. Seit 1991 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Geowissenschaften, Mitarbeit in hydrogeologischen Forschungsprojekten und seit 1992 in einem BMFT-geförderten Projekt zur saisonalen Kältespeicherung im Erdreich.