

Aktueller Stand und Zukunft der Geothermie

W. Wilming, Ahaus

Der Markt für Geothermieranlagen wächst, allerdings unsymmetrisch: Denn während der Bereich der „Oberflächennahen Geothermie“ – mit dem Einsatz von Wärmepumpen – seit Jahren boomt, rückt die Nutzung von „Tiefen-Geothermie“ für die Wärmeversorgung und Stromerzeugung erst jetzt in den Vordergrund.

1 Wärmeversorgung und Stromgewinnung im Fokus

„Dieses Projekt ist ein Beispiel dafür, wie mit innovativer Technologie die Potentiale der Geothermie für die Wärmeversorgung und Stromgewinnung genutzt werden können, auch wenn dafür zunächst eine ganze Reihe von Problemen gelöst werden mussten.“ Mit diesen Worten weihte Anfang Juni dieses Jahres Umweltminister *Sigmar Gabriel* das neue Geothermie-Kraftwerk in Unterhaching südlich von München ein (Bild 1). „Diese hochmoderne Anlage wird der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland einen entscheidenden Schub verleihen. Sie zeigt, dass geothermische Systeme auch in Deutschland wirtschaftlich entwickelt werden können“, so der Minister weiter.

Geothermie – wer denkt da nicht an brodelnde Geysire oder dampfende Thermalquellen? An Island, das „Eldorado“ der Erdwärmenutzung, wo sogar die Straßen im Winter mit kostenloser Fußbodenheizung ausgestattet sind. Doch auch in Deutschland sind Geothermieranlagen schon längst ein Thema, wie die Inbetriebnahme des Unterhachinger Kraftwerks durch Minister *Gabriel* zeigt.

Der Begriff Geothermie steht laut VDI-Richtlinie 4640 für die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde. Die Definition umfasst dabei erstens die Energie, die aus der Sonneneinstrahlung stammt und sich im oberen Erdreich ansammelt; zum zweiten die enorme Energiemenge, die noch aus den Vorgängen bei der Entstehung der Erde vor Milliarden Jahren resultiert und im Kern unseres Planeten gespeichert ist; und drittens die Energie, die als natürliche Folge radioaktiver Zerfallsprozesse im Erdinneren für permanenten Wärmenachschub sorgt. Bis zu einer Tiefe von 20 m dominiert die Energie aus der Sonneneinstrahlung, ab etwa 100 m die aus der inneren Erdwärme. Außerhalb der Begriffsdefinition nach VDI 4640 wird nicht nur die in der Erde gespeicherte Energie selbst,

sondern auch ihre Nutzung als Geothermie bezeichnet.

Die Branche unterscheidet zwischen der „Oberflächennahen Geothermie“ und der „Tiefen-Geothermie“. Der Übergang von der einen zur anderen wurde auf etwa 400 bis 500 m Tiefe festgelegt, wobei die untere Grenze nicht fest definiert, sondern durch die Nutzungstechnik und die Bohrverfahren bestimmt ist. Im Nutzungsbereich „Oberflächennahe Geothermie“ kommen in erster Linie erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen für die Beheizung von Wohn- sowie Büro- und Gewerbegebäuden zum Einsatz. Im Bereich der „Tiefen-Geothermie“ werden meistens größere Kraftwerke eingesetzt; sie arbeiten nach dem Hydrothermal- oder dem HDR-Verfahren (siehe Abschnitt 3).

2 Oberflächennahe Geothermie

Die „Oberflächennahe Geothermie“, hier als Nutzung der Erdwärme verstanden, kennt folgende technische Möglichkeiten:

- Auskopplung der Erdwärme aus dem Grundwasser oder aus dem Erdreich mit Hilfe von Förderbrunnen, Sonden oder Erdreichkol-



1 Bundesumweltminister Sigmar Gabriel bei der Einweihung des Geothermie-Kraftwerks in Unterhaching

Foto: Thomas Imo/phototek.net

lektoren und anschließender Nutzung durch Wärmepumpenanlagen

- Direkte Nutzungen, beispielsweise Heizen und Kühlen mit Grundwasser
- Anlage unterirdischer thermischer Energiespeicher, ausgeführt als Aquifer- oder Erdreichwärmesondenspeicher.

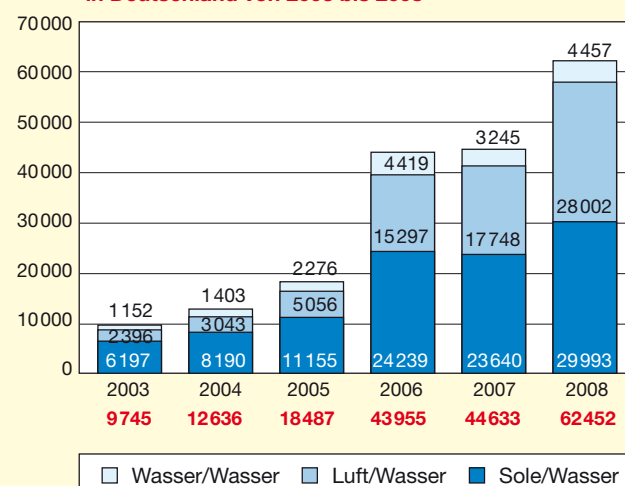
Die beiden letztgenannten Nutzungsmöglichkeiten werden hier nur der Vollständigkeit halber genannt und bleiben in den folgenden Abschnitten unbesprochen.

Die erdgekoppelte Wärmepumpe ist als die am weitesten verbreitete Technologie für die Energiegewinnung aus oberflächennaher Erdwärme anzusehen. Ihre technische Weiterentwicklung in den vergangenen 30 Jahren hat sie zu einem ausgereiften System werden lassen. Verbesserungen gab es bei nahezu allen Anlagenteilen und bei der Verwendung des Kältemittels. Auch bei der Planung und Ausführung sind Optimierungserfolge festzustellen, nachdem Fehler erkannt und abgestellt wurden.

2 Absatzzahlen von Heizungswärmepumpen in Deutschland von 2003 bis 2008

Quelle: BWP

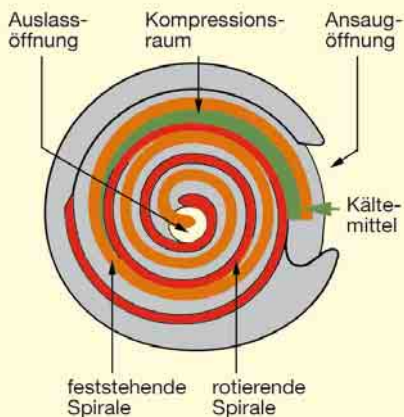
Absatzzahlen von Heizungswärmepumpen in Deutschland von 2003 bis 2008



Autor

Wilhelm Wilming ist freier Fachautor für erneuerbare Energien, Ahaus.

Maximaler Ertrag.
Bei jedem Wetter.



③ Scroll-Verdichter

Die wesentlichen Komponenten eines Scroll-Verdichters sind zwei ineinander abrollende Spiralen: eine steht fest, die andere führt eine Kreisbewegung aus. Bei diesem Vorgang entstehen sichelförmige Verdichtungsräume, deren Volumina sich ständig reduzieren, bis sie sich im Zentrum der Spirale auflösen. Während des Betriebs finden der Ansaug-, Verdichtungs- und Ausstoßvorgang gleichzeitig statt. Zur vollständigen Verdichtung werden zwei bis drei Umdrehungen benötigt, sodass das Kältemittel gleichmäßig und sanft komprimiert wird. Ein- und Auslassventile sind nicht erforderlich. Scroll-Verdichter werden nur in vollhermetischer Bauweise angeboten.

2.1 Marktentwicklung der Wärmepumpe

Nach Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpe (BWP) war 2008 ein Rekordjahr für die Branche: Allein in Deutschland wurden über 60 000 Wärmepumpen verkauft. Besonders stark stieg der Anteil der Luft/Wasser-Wärmepumpen, nämlich um mehr als 50 % auf über 28 000. Damit machen Luft/Wasser-Wärmepumpen 44,9 % der verkauften Geräte aus; Spitzenreiter sind die Sole/Wasser-Wärmepumpen mit 48 % Anteil und einem Absatz von knapp 30 000 Geräten. Insgesamt sind damit in Deutschland rund 350 000 Wärmepumpen installiert – Tendenz weiter steigend (Bild ②). „Dieses hervorragende Ergebnis verdanken wir in erster Linie den klaren Vorteilen der Wärmepumpe. Wirtschaftlichkeit, Unabhängigkeit von Rohstoffimporten, Zukunftsfähigkeit und Umweltnutzen überzeugen immer mehr Kunden“, erklärte *Paul Waning*, der Vorstandsvorsitzende des BWP, in einer Pressemitteilung. Einen zusätzlichen Impuls gebe die staatliche Förderung durch das Marktanreizprogramm, in das WP-Anlagen 2008 aufgenommen wurden. Auch für 2009 erwartet die Branche weiter steigende Absatzzahlen. Denn die politischen Vorzeichen sind unverändert günstig: Wärmepumpen erfüllen die Nutzungspflicht durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz und werden auf die europäischen Ziele für erneuerbare Energien angerechnet. Damit habe die Politik die richtigen Weichen für eine umweltfreundliche Heizung und Klimatechnik gestellt, kommentierte *Waning*. Allerdings sei nun eine konsequente Fortschreibung der Förderung erforderlich, damit der Boom des umweltfreundlichen Heizens nicht der allgemeinen Konjunkturlaute zum Opfer falle. Im Altbau werden bei weiter steigenden Ölpreisen bivalent alternative Systeme mit Luft/Wasser-Wärmepumpen wieder konkurrenzfähig. Hier dürften sich wie im Klimagerätemarkt Wärmepumpen mit kleiner Leistung durchsetzen, vor allem dann, wenn sie sich unproblematisch in das Gesamtsystem einbinden las-

sen. Eine Wärmepumpenheizung im Altbau-stand erfordert allerdings ein gut abgestimmtes Gesamtkonzept, um ein gewisses Maß an Wirtschaftlichkeit garantieren zu können. Für die Brauchwassererwärmung, die im Altbau ein riesiges Einsparpotential hat, sind Lösungen gefragt, die unabhängig vom vorhandenen Heizsystem arbeiten.

2.2 Kältemittel

Waren zu Beginn der Wärmepumpenentwicklung Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) die gängigsten Arbeitsmedien, setzt man nach deren Verbot heute auf die Kältemittelgemische R134a, R404A und R407C. Als Hochdruckkältemittel ist bei den Herstellern zudem noch das R410A zu finden. Es wird allerdings in Zukunft möglicherweise von CO₂ verdrängt werden. Aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften erlaubt CO₂ den Betrieb von Wärmepumpen mit hohen Vorlauftemperaturen, wie sie für Heizsysteme im Altbaubereich erforderlich sind. CO₂ ist ausgesprochen preiswert und muss nicht entsorgt werden, da es chemisch inaktiv und weder giftig noch brennbar ist. Es verlangt aber Verdichter- und Kreislaufsysteme, die mit hohen Drücken arbeiten können.

2.3 Verdichter

Bereits in den 1970er Jahren arbeiteten viele Wärmepumpen mit vollhermetischen Hubkolbenverdichtern, während anfangs modifizierte halbhermetische Verdichter aus der Kälte-technik zum Einsatz kamen. Vor etwa 15 Jahren begann dann die Zeit der Scroll-Verdichter, die auch heute noch den Wärmepumpenmarkt dominieren. Der Verdichtungsprozess läuft so ab, dass zwei spiralförmige Schalen ineinander laufen, wobei die eine ortsfest ist, während die andere von einem Elektromotor angetrieben wird und exzentrische Kreisbewegungen vollführt (Bild ③).

Scroll-Verdichter sind besonders leise, konstruktiv einfach aufgebaut und haben keine Ventile, was ein besonderer Vorteil ist.



Der neue PV-Wechselrichter: Fronius IG Plus

Das Ziel war klar: Jeden Sonnenstrahl maximal zu nutzen. Verantwortlich dafür ist nicht allein die Höhe des maximalen Wirkungsgrades. Wesentlich ist vielmehr das intelligente Zusammenspiel verschiedener Faktoren: Ein gleichmäßiger Wirkungsgrad über einen breiten Eingangsspannungsbereich zum Beispiel, sowie rasches und präzises Reagieren auf kleinste Wetterveränderungen. Und: Ein verlässlicher, unterbrechungsfreier Betrieb. All das vereint die neue Wechselrichtergeneration Fronius IG Plus: Für maximalen Energieertrag. 365 Tage im Jahr. Bei jedem Wetter.

Diese und viele weitere Pluspunkte, wie das innovative Power-Stecksystem oder das ausgeklügelte Lüftungskonzept, gilt es zu entdecken: www.fronius.com



Sie sind vor allem dann erste Wahl, wenn es um Wärmepumpen für Altbauanierungen geht und vorhandene Heizsysteme hohe Vorlauftemperaturen verlangen. Die Scroll-Technologie arbeitet mit einer Zwischeneinspritzung, was hohe Verdichtungs-Endtemperaturen vermeiden soll. Das erfreuliche Ergebnis aller Bemühungen in der Verdichtertechnologie sind deutlich verbesserte Leistungszahlen, kompaktere Ausführungen, niedrigeres Geräuschniveau und längere Lebensdauer.

2.4 Drehzahlregelung

Ein weiterer großer Fortschritt in der Wärmepumpentechnik ist der Einsatz von Drehzahlregelungen, mit der sich die Leistung von Verdichtern, Ventilatoren und Pumpen dem tatsächlichen Bedarf gleitend angleichen lassen (Bild 4). Auf diese Möglichkeit hatte man lange Zeit verzichtet. Mit Hilfe eines Wechselrichters lässt sich beispielsweise die Drehzahl des Verdichtermotors so regeln, dass die Leistungsabgabe recht genau an den tatsächlichen Leistungsbedarf angepasst wird. Der Verdichter wird also während einer Heizperiode größtenteils mit niedrigeren Drehzahlen arbeiten können, was nicht nur seiner Lebensdauer zugute kommt, sondern auch die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage merklich erhöht. Niedrigere Drehzahlen senken überdies den Geräuschpegel.

2.5 Wärmetauscher und Expansionsventil

Mit dem zweiten Wärmepumpenboom in den 1990er Jahren tauchten in den erdgekoppelten Wärmepumpen erstmals kompakte Plattenwärmetauscher auf, die seither von den meisten Herstellern sowohl auf der „kalten“ als auch auf der „warmen“ Seite eingebaut werden. Auch bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen verzichtet man mittlerweile auf die anfangs verwendeten Verdampfer aus der Kältetechnik und setzt heute in der Regel auf Hochleistungsverdampfer, die speziell für diese Aufgabe konstruiert wurden. Fazit: Auch bei den Wärmetauschern haben gesteigerte Bemühungen in Forschung und Entwicklung zu höherer Leistungsdichte und reduziertem Energieverbrauch geführt.

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Optimierung des Drosselungs- bzw. Entspannungsvorgangs im Expansionsventil. In zurzeit noch laufenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

wird versucht, das dort anstehende Druckpotential zu erschließen und zu nutzen.

2.6 Komponenten

Im Gegensatz zu den ersten Generationen sind die heutigen Wärmepumpen in der Regel mit allen für einen Wärmeerzeuger notwendigen Komponenten wie Sole- und Heizkreispumpe, witterungsgeführter Heizkreisregelung und Sicherheitsgruppe ausgestattet. Der Kunde kann also davon ausgehen, dass alle Teile auf das Gesamtsystem abgestimmt sind und eine unnötige Verringerung der Arbeitszahl beispielsweise durch eine Überdimensionierung der Pumpen ausgeschlossen ist.

2.7 Planung und Installation

Nachdem in langjährigen Feldtests Jahresarbeitszahlen ermittelt worden waren, die von den Erwartungen erheblich abwichen, suchte man nach den Ursachen und fand sie – für viele zunächst überraschend – auch in den Bereichen der Planung und Installation.

Die häufigsten Fehler waren:

- Vorlauftemperatur der Heizung zu hoch bemessen
- hydraulischer Abgleich nicht durchgeführt
- unnötigerweise Pufferspeicher eingebaut
- Erdreichkollektor bzw. Erdwärmesonde falsch ausgelegt
- Brunnenförderpumpe und Heizkreispumpe zu groß dimensioniert.

Die meisten Planer und Installateure haben mittlerweile aus diesen Fehlern gelernt und liefern Qualitätsarbeit, die mit Blick auf einen wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpenanlage allerdings auch unverzichtbar ist. Eine wesentliche Tatsache sei hier noch einmal herausgestellt: Nur die (Jahres-)Arbeitszahl, nicht die auf dem Typenschild angegebene Leistungszahl, bestimmt die Rentabilität eines Wärmepumpen-Heizsystems.

2.8 Fazit

Neben Brennwärtheizungen, thermischen Solaranlagen, Nahwärmesystemen mit BHKW und möglicherweise Brennstoffzellen werden erdgekoppelte Wärmepumpen die Heizungssysteme sein, mit denen umweltbewusste Bauherren in Zukunft ihre Wohnhäuser beheizen werden. Dieser Trend ist schon jetzt deutlich zu beobachten (siehe Absatzzahlen in Bild 2) und wird sich durch den Bau von Wohngebäuden ausschließlich nach dem Niedrigenergiehaus-Standard noch verstärken. Der Wärmepumpenmarkt wird also weiterhin wachsen und dem Elektrohandwerk große Umsatzchancen bieten.



4 Mit drehzahlgeregelten Verdichtern und mit Kohlendioxid (CO₂) als natürlichem Kältemittel werden in der Wärmepumpentechnik neue Wege beschritten

Foto: Stiebel Eltron

rungen „angezapft“ werden müssen. Im ersten Fall spricht man von der „hydrothermalen Geothermie“, beim zweiten von der „Hot-Dry-Rock-(HDR-)Geothermie“. Beide Technologien sind aufwendig und teuer und lohnen sich in der Regel nur bei Projekten, die große Energiemengen nutzbar machen wollen.

3.1 Hydrothermale Tiefengeothermie

Bei der hydrothermalen Geothermie wird über eine Tiefenbohrung und mit Hilfe einer leistungsstarken Pumpe heißes Wasser, das in durchlässigen Schichten (Aquiferen) zirkuliert, an die Oberfläche gefördert. Dort wird die enthaltene Wärmeenergie in einer geothermischen Heizzentrale über einen Wärmetauscher direkt an einen Heizkreislauf übertragen und das abgekühlte Wasser den Aquiferen über eine zweite Tiefenbohrung wieder zugeführt. Bei Temperaturen von mehr als 100 °C und bei ausreichend hoher Ergiebigkeit der Förderbrunnen ist auch das Betreiben eines konventionellen Kraftwerks zur Stromerzeugung möglich, wobei aus ökologischer und ökonomischer Sicht die Technik der Kraft-Wärme-Kopplung zum Zuge kommen sollte. Leider sind geeignete Standorte für hydrothermale Anlagen in Deutschland rar, denn nicht alle Regionen bieten gleich gute geologische Voraussetzungen. Lediglich der Oberrheingraben, einige Bereiche der Norddeutschen Tiefebene sowie das nordalpine Molassebecken (Gebiet zwischen Donau und Alpen) lassen derzeit eine wirtschaftliche Nutzung unterirdischer Energiequellen zu.

3.2 HDR-Verfahren

Das sogenannte HDR-Verfahren (von Hot Dry Rock) macht Erdwärme nutzbar, das im heißen Untergestein gespeichert ist. Das „dry“

Anzeige

megacom

ist ein deutscher Hersteller für

Schwesternrufanlagen

drahtlos und drahtgebunden, mit und ohne Sprache, zu einem hervorragenden

Preis-Leistungs-Verhältnis.

Nähere Infos unter Telefon 04191 90850 oder www.megacom-gmbh.de

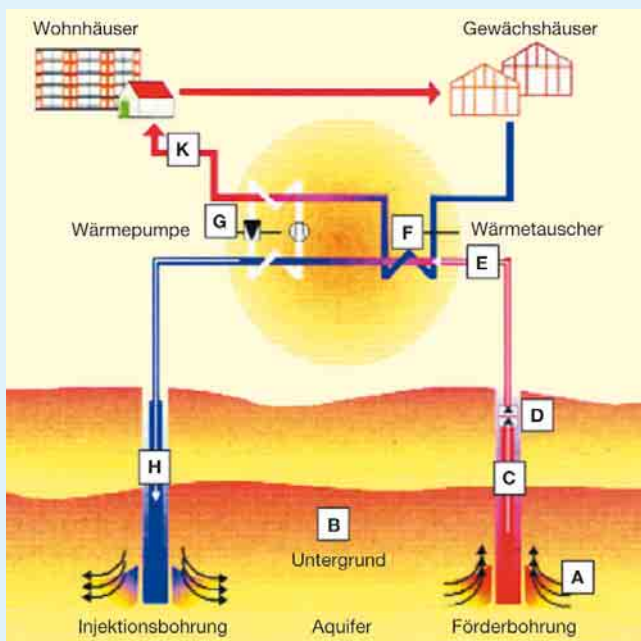
3 Tiefengeothermie

Im Gegensatz zur oberflächennahen Geothermie nutzt die Tiefengeothermie Wärme aus Wasser führenden Schichten oder aus heißen Gesteinsmassen, die jeweils über Tiefenboh-

5 Schema einer hydrothermalen Heizzentrale

Quelle: BINE Informationsdienst

- A Fördersonde
- B wasserführende Schicht
- C Förderbohrung
- D Tauchpumpe
- E oberirdische Thermalwasserleitung
- F Wärmetauscher
- G Wärmepumpe
- H Injektionsbohrung
- K Fernwärmenetz



im Namen stammt noch aus der Pionierzeit, als man nicht mit Wasservorkommen in den tiefen Gebirgsmassen rechnete; die Realität sieht anders aus. Der technische Vorgang zur Erdwärmegewinnung läuft so ab, dass man zunächst mit Hilfe leistungsstarker Pumpen über Tiefenbohrungen Wasser mit hohem Druck (bis zu 600 bar) in die Gesteinsformationen presst. Das hat zur Folge, dass im Gestein neue Klüftungen gebildet oder vorhandene erweitert werden und damit die Gesteinsformation zu einem Wärmetauscher mutiert, der riesige Dimensionen annehmen kann. In einem zweiten Schritt wird dann erneut Wasser eingepresst, das sich im Gestein erhitzt und über einen Förderbrunnen wieder nach oben transportiert wird, wo es als Dampf eine Turbine zur Stromerzeugung antreibt oder in einem Wärmeversorgungssystem als Energiequelle dient.

3.3 Hydrothermale Projekte in Deutschland

Zwar sind die geologischen Voraussetzungen nicht mit denen in Island oder Ungarn zu vergleichen, aber auch in Deutschland wurden in der Vergangenheit bereits einige hydrothermale tiefengeothermische Projekte realisiert. Sie lassen sich drei Bereichen zuordnen: der Warmwasserversorgung für Heilbäder und anderen Einrichtungen, der Gewinnung von thermischer Energie für Heizzwecke und der kombinierten Wärme- und Stromerzeugung.

3.3.1 Warmes Wasser für Heilbäder

Ein klassisches Gebiet der hydrothermalen Geothermie ist die direkte Nutzung natürlicher Thermalwasservorkommen zum Baden. Diese Nutzungsart ist schon seit mehr als tausend Jahren bekannt und hat beispielsweise besonders am Oberrhein eine lange Tradition.

So bieten die vier Thermalheilbäder Freiburg, Bad Krozingen, Badenweiler und Bad Bellingen ihren Gästen Thermalwasser, die aus unterschiedlich tiefen Schichten Schweiz gefördert werden. In der benachbarten Schweiz entstanden sechs neue Thermalbäder, als sich nach Probebohrungen herausstellte, dass die ermittelten Fördermengen für ein größeres Kraftwerk nicht ausreichen.

3.3.2 Gewinnung von thermischer Energie für Heizzwecke

Ansonsten steht in Deutschland bei der Nutzung der geothermischen Energie aus natürlichen Warmwasservorkommen bislang die Heizenergiegewinnung im Vordergrund (Bild 5). Im Jahr 1984 nahmen beispielsweise die Stadtwerke Waren (Müritz) die erste deutsche Anlage zur Nutzung von Geothermie im Megawatt-Leistungsbereich in Betrieb und begründeten damit die Ära der Tiefengeothermie für die Wärmeversorgung in Deutschland. Nach Angaben der „Geothermischen Vereinigung – Bundesverband Geothermie“ sind zurzeit 26 Anlagen mit einer installierten Wärmeleistung von 128 MW in Betrieb (drei Anlagen liefern gleichzeitig Strom). Im Bau befinden sich 11 Anlagen, sieben davon werden in Zukunft auch Elektrizität erzeugen (Tafel 1).

Gegenwärtig überwiegen in Deutschland also noch hydrothermale Geothermieanlagen für die ausschließliche Wärmeversorgung; nur das eingangs schon erwähnte neue geothermische Kraftwerk im bayerischen Unterhaching, eine Geothermieanlage in Landau in Rheinland-Pfalz und eine weitere in Neustadt-Glewe in Mecklenburg-Vorpommern erzeugen auch Strom. Allerdings ist die Erzeugungskapazität noch relativ gering (insgesamt knapp 7 MW).

HENSEL

Elektroinstallations- und Verteilungssysteme

Sonne tanken



NEU

Saubere Stromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen ist die Zukunft der Energiegewinnung. Damit Sie als Installateur auf Nummer sicher gehen können, bietet Ihnen Hensel jetzt mit **ENYSUN** das Komplettpaket für Photovoltaik-Verteiler. Sicher, normgerecht und modular. So, wie Sie es von Hensel gewohnt sind.



www.ensun.eu

ENYSUN

Normgerechte Photovoltaik-Verteiler

Gustav Hensel GmbH & Co. KG · D-57368 Lennestadt

3.3.3 Tiefengeothermie für Strom und Wärme

In **Landau** in der Pfalz wurde im November 2007 ein Geothermiekraftwerk in Betrieb genommen, das sowohl Strom erzeugt als auch Wärme an etwa 300 Haushalte in unmittelbarer Nähe liefert. Das Projekt wurde durch das Bundesumweltministerium mit über 2,6 Mio. Euro unterstützt.

Die Grundlage der geothermischen Anlage bilden zwei Bohrungen, die bis in eine Tiefe von rund 3000 m abgeteuft wurden. Aus einer der Bohrungen, dem Förderbrunnen, wird Thermalwasser mit einer Temperatur von knapp 160 °C gefördert und zunächst zur Stromerzeugung genutzt. Die Kraftwerksanlage arbeitet nach dem sogenannten Organic-Rankine-Cycle-(ORC)-Verfahren, das die Nutzung der vergleichsweise niedrigen Temperaturen der geothermischen Quelle überhaupt erst ermöglicht. Als Arbeitsmedium wird statt des üblicherweise verwendeten Wassers Isopentan eingesetzt. Dieses organische Arbeitsmittel hat einen höheren Dampfdruck und kann ab einer Temperatur von 90 °C in einer Dampfturbine eingesetzt werden (die Anlage in Neustadt-Glewe, bei der allerdings die Wärme Gewinnung im Vordergrund steht, verwendet Perfluoropentan). Der geothermisch erzeugte Strom wird in das allgemeine Stromnetz eingespeist und nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz mit 15 ct/kWh auf die Dauer von 20 Jahren vergütet.

Nach der Stromerzeugung folgt der zweite Teil der Nutzung: Das Thermalwasser fließt nach der Energieauskopplung für die Dampfturbine mit einer Temperatur von etwa 70–80 °C zum nächsten Wärmetauscher, von dem aus die restliche Energie in ein Fernwärmenetz eingespeist wird. Zu guter Letzt wird das auf mittlerweile etwa 50 °C abgekühlte Thermalwasser über eine Injektionsbohrung (Schluckbrunnen) zurück in den Untergrund gepumpt. Deutschlands größtes Geothermiekraftwerk zur kombinierten Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie steht in **Unterhaching** bei München. Bereits seit Herbst 2007 liefert die Anlage Wärme und versorgt damit zwei Drittel der Haushalte der Region. Anfang Juni 2009 wurde offiziell auch die Elektrizitätserzeugung aufgenommen. Das Kraftwerk hat laut Betreiberin „Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG“ eine elektrische Leistung von zurzeit 2 MW, ist aber auf 3,36 MW ausgelegt. Die thermische Leistung liegt bei 30 MW. Das Wasser kommt aus 3500 m Tiefe und hat eine Temperatur von 122 bis 133 °C.

Bei der Stromerzeugung wird – erstmalig in Deutschland – das sogenannte Kalina-Verfahren eingesetzt. Als Arbeitsmedium verwendet man statt Wasser ein Gemisch aus Ammoniak und Wasser, an das die Erdreichwärme abgegeben wird. Dabei lassen sich schon Temperaturen von etwa 90 °C nutzen, da das Gemisch bei eben dieser Temperatur verdampft. Der erstmalige Einsatz dieser Technik in

Tafel 1 Energieversorgung mit hydrothermalen Geothermie

Standort	Installierte Leistung Wärme [MW]	Installierte Leistung Strom [MW]	Nutzung	Temperatur [°C]
Baden-Baden, Baden-Württemberg	0,44		H,S	70
Bad Urach, Baden-Württemberg	1		H,S	58
Bad Waldsee, Baden-Württemberg	0,44		H,S	30
Biberach, Baden-Württemberg	1,17		S	49
Buchau, Baden-Württemberg	1,13		H,S	48
Konstanz, Baden-Württemberg	0,62		H,S	29
Weinheim, Baden-Württemberg	2,3		H	65
Birnbach, Bayern	1,4		H,S	70
Erding I + II, Bayern	45		H, S	65
Füssing, Bayern	0,41		H,S	56
München-Riem, Bayern	8		H	90
Pullach, Bayern	4,3		H	
Simbach-Braunau, Bayern	5,4			80,5
Staffelstein, Bayern	1,7		H,S	54
Straubing, Bayern	6		H	36
Unterhaching, Bayern	30	3,32	H,E	125
Unterschleißheim, Bayern	12		H	81
Weiden, Bayern	0,2		H,S	26
Neuruppin, Brandenburg	2,1		H,S	60
Prenzlau, Brandenburg	0,5		H	
Wiesbaden, Hessen	1,76		H,S	69
Neubrandenburg, M.-Vorpommern	10		H	54
Neustadt-Glewe, M.-Vorpommern	10,7	0,21	H,E	98
Waren (Müritze), M.-Vorpommern	5,2		H	65
Aachen, Nordrhein-Westfalen	0,82		H,S	68
Landau, Rheinland-Pfalz	6-8	3,0	H,E	160

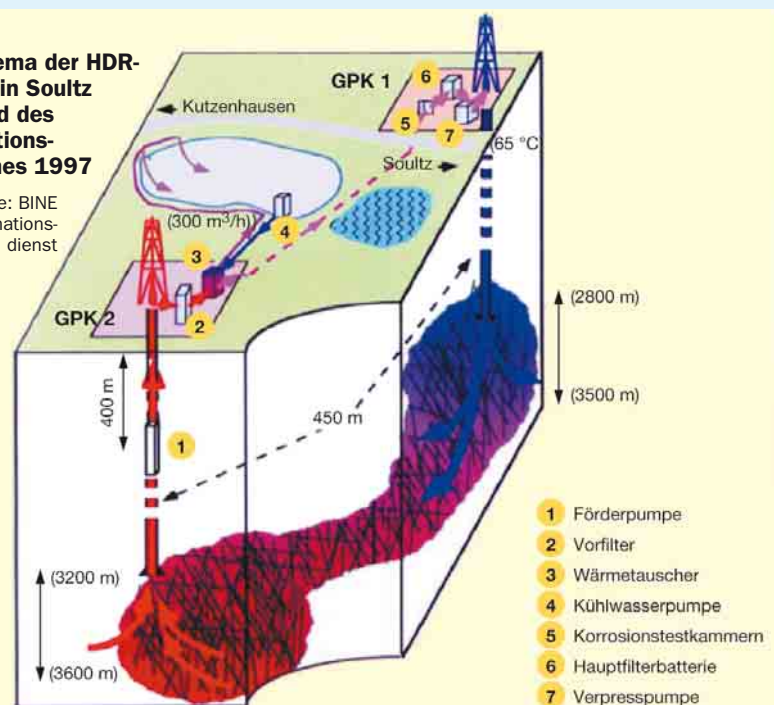
Im Bau (Auszug)

Aschheim, Feldkirchen, Kirchheim			H	
Aying-Dürnhau, Bayern			H,E	
Kaufbeuren-Mauerstetten, Bayern			H,E	
Pöding, Bayern			H	
Sauerlach, Bayern			H,E	
Unterföhring, Bayern			H	
Utting, Bayern			E	
Wolfershausen-Geretsried, Bayern			H,E	
Bruchsal, Baden-Württemberg			H,E	
Insheim, Rheinland-Pfalz			H, E	

H = Wärmeerzeugung, S = Sole-/Thermalbad, E = Stromerzeugung

6 Schema der HDR-Anlage in Soultz während des Zirkulationsversuches 1997

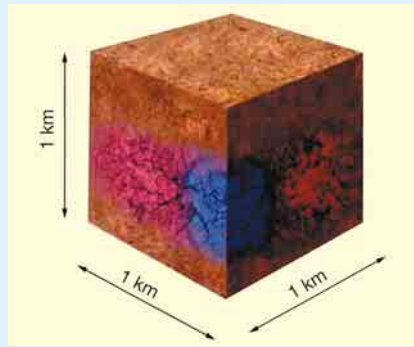
Quelle: BINE Informationsdienst



Tafel ② Die HDR-Anlage in Soultz in Zahlen

Quelle: BINE, Projektinfo 04/09

Fördermittel	80 Mio. €
Gesamte Bohrlänge	20 km
Volumen geologischer Wärmetauscher	2–3 km ³
Fläche geologischer Wärmetauscher	bis 3 km ²
Geförderte Wassermenge	35 l/s
Geförderte Wärme	13 MWh
Temperatur gefördertes Wasser	175 °C
Temperatur reinjiziertes Wasser	ca. 70 °C
Stromproduktion brutto	2,1 MW
Eigenverbrauch Strom des Werks	0,6 MW
Stromproduktion netto	1,5 MW



⑦ Die thermische Energie, die bei der Abkühlung eines 1 km³ großen Felsgesteins um nur 20 °C nutzbar wird, entspricht der gleichen Wärmemenge, die bei der Verbrennung von 1,275 t Erdöl gewonnen wird

Deutschland sowie das innovative Gesamtkonzept zur Strom- und Wärmeproduktion mit seinen positiven Umweltauswirkungen wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aus dem Umweltinnovationsprogramm gefördert. Auch die erforderlichen seismischen Untersuchungen und die wissenschaftliche Projektbegleitung erfuhren Unterstützung aus dem Energieforschungsprogramm der Bundesregierung.

3.4 Wärme und Strom im HDR-Verfahren

Seit 1987 arbeiten Wissenschaftler und Praktiker im elsässischen Soultz-sous-Forêts an einem Hot-Dry-Rock-(HDR-)Projekt (Tafel ②), das die Gewinnung von Erdwärme aus tiefen dichten Gesteinsformationen untersucht (die Fachwelt spricht mittlerweile nicht mehr von HDR, sondern von EGS – Enhanced Geothermal Systems). Gelder aus Deutschland, Frankreich und der EU machten das For-

schungsvorhaben möglich. In Soultz wurden zunächst über zwei 5000 m tiefe Bohrlöcher mit hohem Druck Wasser in Risse und Spalten des heißen Granitgesteins eingepresst, sodass ein geologischer Wärmetauscher entstand (Bilder ⑥ und ⑦). Bei Zirkulationsversuchen im Jahre 2005 konnten die angestrebten Zielwerte erreicht werden; damit war der unterirdische Teil der Geothermieranlage fertiggestellt. Der Bau des Kraftwerks, das die Erdwärme in Strom umwandelt, begann im Jahre 2006 und wurde 2008 abgeschlossen. Die Geothermieranlage Soultz-sous-Forêts basiert auf drei Tiefbohrungen, zwei davon fördern mit Hilfe von Tauchpumpen das 175 °C heiße Wasser an die Oberfläche, wo ihm in Röhrenwärmetauschern Wärme entzogen wird. Anschließend erfolgt über die dritte Bohrung die Re-Injektion des Wassers in die Tiefe. Hier strömt es erneut durch den geologischen Wärmetauscher im Gestein, erhitzt sich und gelangt nach einiger Zeit wieder in den Bereich der Förderbohrungen, wo es an-

gesaugt wird. Für die Stromerzeugung haben sich die Ingenieure wie schon beim Projekt in Landau für das ORC-Kraftwerksverfahren entschieden. Es ist geplant – bei weiterhin ausreichender Leistung der bestehenden hydraulischen Verbindung zwischen den drei Bohrungen – ein zweites ORC-Kraftwerk zu installieren, wodurch die Gesamtleistung von jetzt 1,5 auf 3 MW steigen würde.

Zur Bedeutung und zum wissenschaftlichen Erfolg des Projekts abschließend noch ein interessanter Hinweis: Das Forschungsvorhaben wurde begleitet von 40 Doktorarbeiten und rund 200 weiteren Publikationen.

4 Ausblick

Gegenwärtig wird in Deutschland die Tiefengeothermie fast ausschließlich zur Wärmeversorgung genutzt. Größere geothermische Stromerzeugungsanlagen sind gerade erst angelaufen, nämlich die auf der hydrothermalen Geothermie fußende Anlage in Unterhaching mit zurzeit 2 MW, die in Neustadt-Glewe mit 0,210 MW und die in Landau mit 3 MW. Des Weiteren eine auf der Basis des HDR-Verfahrens arbeitende Geothermieranlage im elsässischen Soultz-sous-Forêts, die eine elektrische Leistung von zur Zeit 2,1 MW bereitstellt. Grund für die bisherige Zurückhaltung sind neben dem Fündigkeitsrisiko wohl auch die noch junge spezielle Kraftwerkstechnik und die relativ hohen Investitionskosten. Da aber die Geothermie grundlastfähig ist, könnte die geothermische Stromerzeugung zukünftig sehr wohl zu einer nachhaltigen Energieversorgung in Deutschland beitragen. ■

Nimm mich in der Dusche!

Oder unter Fliesen, Parkett und Laminat!

AEG THERMO BODEN ist die leistungsstarke und komfortable Fußbodentemperierung.



Besuchen Sie unsere
bundesweite Roadshow!
Mehr Infos unter www.thermoboden.de

AUS ERFAHRUNG GUT

AEG
HAUSTECHNIK