

Die Wärmeanomalie von Urach

Bericht Ulrich Kull, Stuttgart

In der Bundesrepublik Deutschland existieren mehrere Bereiche mit einer anomal hohen Wärmestromdichte der Erdwärme. Erkennbar sind sie an einer geringen geothermischen Tiefenstufe, das heißt der Temperaturanstieg mit dem Eindringen in die Erde ist größer als normal. Eine solche Wärmeanomalie liegt im Gebiet um Urach in Württemberg, eine weitere im nördlichen Oberrheingraben (Zentrum etwa Landau/Pfalz), außerdem gibt es verschiedene kleinere Anomalien in Norddeutschland, die man mit den dort vorhandenen Salzstöcken in Zusammenhang bringt. Seit der Energiekrise von 1974 wurden Überlegungen angestellt, inwieweit Erdwärme zur Energiegewinnung herangezogen werden könnte. Natürlich sind Gebiete mit Wärmeanomalien für Versuche in dieser Richtung besonders geeignet. Da gegenüber dem Oberrheingraben das Gebiet von Urach den einfacheren geologischen Bau aufweist, wurde letzteres für die ersten Untersuchungen und eine Forschungsbohrung ausgewählt. Die wesentlichen Aufgaben waren: die Erkundung der Wärmeanomalie, insbesondere auch ihrer vertikalen Ausdehnung, die Erkundung von Ursachen der Anomalie und die Prüfung, inwieweit und mit welchen Verfahren eine wirtschaftliche Nutzung der Erdwärme möglich wäre. Neben der Bohrung und der im Bohrloch durchgeführten Messungen und Experimente dienten hierzu auch umfangreiche geophysikalische Untersuchungen. Die Tiefbohrung wurde am Stadtrand von Urach niedergebracht, so daß sie sowohl im zentralen Bereich der Wärmeanomalie lag als auch bei einer eventuellen praktischen Nutzung gewonnener Energie ein Verbraucher (Stadtteil) von Urach in geringer Entfernung vorhanden wäre. Außerdem war aus den vorhergegangenen Thermalwasserbohrungen (Urach besitzt eine Thermalquelle von 60 °C) der Aufbau der Gesteinsschichten vom

Braunjura bis hinunter in den Mittleren Muschelkalk bereits bekannt. Die neue Forschungsbohrung (Bohrung Urach 3) führte nun die Erkundung bis tief ins Grundgebirge weiter. Die Obergrenze des Kristallins wurde bei 1604 m Teufe (unter Geländeoberfläche) erreicht; die Endteufe der Bohrung beträgt 3334 m. Die durchbohrte Schichtfolge ist: Braunjura bis 283 m Teufe, Schwarzjura (Lias) bis 398 m, Keuper bis 665 m, Muschelkalk bis 842 m, Buntsandstein bis 908 m (930 m? — Grenzziehung noch nicht sicher geklärt), Rotliegendes bis 1490 m, „Permokarbon“ bis 1604 m. Der tiefste Muschelkalk ist sandig ausgebildet; es handelt sich um die Randfacies, also küstennahe Ablagerungen des Meeres der Zeit des untersten Muschelkalks. Auch der Buntsandstein ist im Randbereich des Sedimentationsraums der damaligen Zeit gebildet worden: Er ist ausgesprochen geringmächtig, und geröllfreier Hauptbuntsandstein ist nicht entwickelt. Ab einer Tiefe von 908 m tritt Karneol auf und nimmt die Rundung der Quarzkörner ab, daher zieht man hier nach dem derzeitigen Stand der Untersuchungen die Grenze zum Perm. Die rund 700 m bis zur Obergrenze des Kristallins sind also jungpaläozoische Trogfüllung. Nach der Gesteinsbeschaffenheit lassen sich mehrere (sechs) Abschnitte unterscheiden; der weitaus größte Mächtigkeitsanteil muß dem Rotliegenden zugeordnet werden. Im tiefsten Bereich treten Kohleflözchen auf. Sporenuntersuchungen sprechen dafür, diesen Abschnitt ins höchste Oberkarbon (Stefanium) zu stellen. Jedoch sind diese sporologischen Untersuchungen nicht unwidersprochen geblieben, da möglicherweise zwischen höchstem Oberkarbon und tief-

Prof. Dr. Ulrich Kull, Biologisches Institut der Universität, Abt. Pflanzenphysiologie, Ulmer Straße 227, D-7000 Stuttgart 60.

stem Perm auf Grund von Sporen keine eindeutige Unterscheidung möglich ist. Das Grundgebirge setzt bei 1604 m Tiefe zunächst mit Orthogneisen ein, die bis 1950 m reichen; darunter liegen anatexitische Paragneise bis zu 3000 m und schließlich Glimmersyenite (Granodiorite) bis zur Endteufe.

Geophysikalische Untersuchungen zeigten, daß die Wärmeleitung im Bereich der Anomalie größer ist als außerhalb. Es darf angenommen werden, daß sich dieser Effekt mindestens bis in etwa 10 km Tiefe fortsetzt. Die mit Methoden der Mikroseismik meßbare Bodenunruhe ist im Gebiet der Anomalie deutlich erhöht. Dies wird mit aus dem tieferen Untergrund aufsteigenden Wässern in Zusammenhang gebracht. Seismische Untersuchungen zeigen, daß die Conrad-Diskontinuität bei viel geringerer Tiefe als normal liegt. Der Verlauf der Temperaturzunahme in der Tiefe weist mehrere Anomalien auf. Nun verläuft der Temperaturanstieg niemals linear; somit ist also die Angabe des Temperaturgradienten beziehungsweise der geothermischen Tiefenstufe nur dann sinnvoll, wenn der jeweilige Tiefenwert dazu angegeben wird. Die normalen Werte sind etwa die folgenden:

- bis etwa 500 m Tiefe 4,1°/100 m
- bis etwa 1000 m Tiefe 3,3°/100 m
- bis etwa 2000 m Tiefe 2,9°/100 m
- bis etwa 6000 m Tiefe 2,6°/100 m

In der Bohrung Urach 3 wurden bei der Endteufe von 3334 m eine Temperatur von 142 °C gemessen. Der Temperaturgradient ist aber unregelmäßig; bis zu 500 m Tiefe ist der Anstieg zu stark, danach bis 1000 m Tiefe zu gering. Vielleicht sind diese Temperaturverhältnisse darauf zurückzuführen, daß aufsteigende heiße Wässer zwischen 500 und 1800 m Tiefe zum Teil seitlich wegsickern, darüber jedoch nicht. Aus Messungen der Wärmestromdichte leitet man Hinweise darauf ab, daß diese aufwärts gerichtete Wasserbewegung aus großer Tiefe erfolgt. Das Temperaturfeld von Urach wird also hierdurch erheblich beeinflusst. In der Tiefe muß dann eine zusätzliche Wärmequelle angenommen werden. Die Extrapolation aus den gemessenen Wärmestromdichten, die etwa 15 bis 20% höher als der Normalwert sind, führt zu der Annahme, daß die Temperatur in 30 km Tiefe um 670 °C beträgt, gegenüber einem normalen Wert von 635 °C. Die den Wärmetransport vermittelnden aufsteigenden Wässer wandern auf natürlichen Klüften mit sehr geringer Geschwindigkeit. Es handelt sich dabei nicht um freies Grundwasser. Die transportierten Wassermengen sind hydrogeologisch gesehen außerordentlich gering. Es liegt vadoses (altes) Wasser vor; Altersdatierungen erbrachten 30 000 bis 40 000 Jahre.

Für die praktische Nutzung der bei der Endteufe vorhandenen Temperatur von 142 °C ist entschei-

dend, inwieweit die Wärmeenergie gewonnen und an die Erdoberfläche gebracht werden kann. Eine Gewinnung von hinreichenden Wärmemengen setzt große Oberflächen voraus. Es muß also in großer Tiefe die Oberfläche durch Aufbrechen des Gesteins („frac“) stark vergrößert werden. Wenn man nun Wasser in die Tiefe pumpt, das in die durch Aufbrechen neu gebildeten Klüfte austritt und nach Wärmeaufnahme wieder ins Bohrloch zurückgelangt, ist es möglich, nach hinreichender Isolierung heißes Wasser hochzupumpen. In den USA sind derartige Versuche, allerdings mit einem Wasserkreislauf über zwei Bohrlöcher, bereits erfolgreich durchgeführt worden.

Das Aufbrechen des Gesteins wurde dort durch Einpumpen von Wasser unter Druck erreicht. Entsprechende Versuche wurden daher auch in Urach angestellt. Nun ist das Gestein in über 3000 m Tiefe stark gespannt; der vertikale Druck beträgt um 580 bar, der horizontale im Fels um 450 bis 550 bar. Gegen diesen Druck muß also das Wasser eingepreßt werden. Hierzu wurde der tiefste Teil des Bohrlochs, in dem das Aufbrechen erfolgen soll, nach oben abgedichtet (mit Hartgummischeiben), und dann Wasser in die Tiefe gepreßt, wobei der Kopfdruck der Pumpe an der Erdoberfläche 450 bar betrug. Erst wenn im tiefsten Teil des Bohrlochs hohe Drucke erreicht werden, tritt Wasser ins Gestein über. Die Wasserabgabe ins Gestein steigt dann sprunghaft auf Mengen von 300 l/min und mehr an. Nach Beendigung der Druckerhöhung kann man feststellen, wieviel von dem Wasser wieder ins Bohrloch zurückkehrt. Die Menge war etwa 1/3 der abgegebenen Wassermenge. Wiederholte man die Druckversuche, so war der Öffnungsdruck (das ist der Druck, der aufgewendet werden muß, um Wasser ins Gestein zu pressen) von Versuch zu Versuch größer; die Spannkraft im Gebirge nahm also zu. Dies wird dadurch erklärt, daß Wasser auf den geöffneten Klüftflächen verbleibt und sich die Klüfte daher nicht mehr so weit schließen wie zuvor. Da durch die geschilderten Versuche ein permanenter Wasserkreislauf nicht zu erreichen war, mußte versucht werden, durch Aufbrechen von Gestein Klüfte zu verbinden und ferner zum Offenhalten der Klüfte ein Stützmittel einzupressen. Zu diesen Versuchen wurden Perforationen in der Verrohrung bei 3259 m und 3267 m Teufe benutzt. Mit dem beschriebenen Verfahren konnte eine gewisse Öffnung des Gebirges erreicht werden, das Stützmittel gelangte in die Klüfte. Jedoch erfolgte kein großflächiges Aufbrechen; außerdem wurde das Stützmittel allmählich wieder ausgeschwemmt, nachdem man die Wasser-Zirkulation in Gang gebracht hatte. Hierdurch wurde die Zirkulation rasch wieder verschlechtert. In weiteren Versuchen wurde schließlich unter Beteiligung von im Gestein vorhandenen Klüften eine Wasser-Zirkulation im Be-

reich 3293 m/3320 m erreicht; sie betrug etwa 1 l/sec. Der permanent hohe Einpreßdruck führte aber zu einer allmählichen Erweiterung der Klüfte, so daß wieder beträchtliche Wasserverluste eintraten. Als dann der Druck abgebaut wurde, erhöhte sich der Rücklauf ins Bohrloch. Jedoch verblieben im Gestein etwa 3 bis 4 m³ auf Kluftflächen, dagegen mußte dann bei einem erneuten Pumpversuch angedrückt werden.

Die Durchlässigkeitssteigerung, die durch die Versuche erreicht wurde, das Gestein in der Tiefe aufzubrechen, war in Urach gering gegenüber den Ergebnissen in den USA. Die Ursache wird im höheren Seitendruck (Horizontaldruck) in Urach gesehen. Jedoch erbrachten die Versuche den Nachweis, daß eine Wasser-Zirkulation auch mit einem einzigen Bohrloch zu bewerkstelligen ist. Es ist ferner gelun-

gen, das Gestein so zu öffnen, daß bis zu 20 l/sec (entspricht dem Strahl eines großen Feuerwehrschauches) ins Gebirge eindringen, allerdings nur bei sehr hohen Drucken. Offenbar werden aber auch dann im Kristallin nur einzelne Klüfte geöffnet.

Um weitere Aufschlüsse zu erhalten, müßten die Versuche fortgeführt werden, was derzeit auf Finanzierungsprobleme stößt. Eine längere Zirkulation von Wässern kann möglicherweise durch einen Abbau des Widerstandes durch Säuerung des in die Tiefe gepumpten Wassers erreicht werden. Ferner sollten noch weitere gezielte Aufbruch-Versuche gemacht werden. Ob eine wirtschaftliche Nutzung der Wärme möglich sein wird, bleibt offen. [Nach Vorträgen von H.-G. Dietrich u. J. Leiber, R. Hänel sowie K. Schädel am 9. 4. 1980 bei der Tagung des Oberrhein. Geol. Vereins in Urach.]