

# Erschließung tiefer Geothermiequellen zur Wärmegegewinnung

Dr. Ernst Huenges  
GFZ Potsdam  
huenges@gfz-potsdam.de

Dr. Reinhard Jung  
GGA Hannover  
r.jung@gga-hannover.de

Dr. Peter Kehrer  
BGR Hannover  
peter.kehrer@bgr.de

Prof. Dr. Peter Kukla  
RWTH Aachen  
kukla@geol.rwth-aachen.de

Prof. Dr. Axel Preuß  
RWTH Aachen  
preuss@ifm.rwth-aachen.de

Prof. Dr. Fritz Rummel  
Uni Bochum  
fritz.rummel@  
lee.ruhr-uni-bochum.de

Prof. Dr.  
Hermann Josef Wagner  
Uni Bochum  
lee@lee.ruhr-uni-bochum.de

Die Energiegewinnung aus Erdwärme in Regionen mit geothermischen Anomalien wie zum Beispiel in Island, Italien und der Türkei hat sich erfolgreich etabliert. Aber auch Gebiete mit normalen geothermischen Bedingungen wie z. B. Deutschland, in denen die Temperatur mit der Tiefe um ca. 30 °C/km zunimmt, verfügen über hohe aussichtsreiche geothermische Potenziale. Die deutsche Forschung nimmt weltweit eine Spitzenposition in der Technologieentwicklung zur standortunabhängigen Gewinnung von Erdwärme ein, insbesondere bei der Stimulation geothermischer Reservoirs, einem Verfahren zur Steigerung der Lagerstättenproduktivität. Die Sedimentgesteine des Norddeutschen Beckens eignen sich besonders für Untersuchungen, da sie in einer Region mit großen Ballungsgebieten liegen und das notwendige Nachfragepotenzial aufweisen. Hier können Technologien zur Erschließung der Erdwärme beispielgebend für viele Regionen weltweit entwickelt werden.

Für geothermische Anwendungen sind sehr viel höhere Volumenströme in den Produktionsbohrungen erforderlich als bei Erdölbohrungen. Um diese Volumenströme zu erreichen, musste die in der Erdölindustrie gängige Technologie der hydraulischen Stimulation modifiziert und an die Bedingungen geothermischer Lagerstätten angepasst werden. In mehreren Projekten, wie z. B. dem europäischen Hot Dry Rock-Projekt (HDR) in Soultz-sous-Forêts, wurden in den letzten Jahren auf diesem Gebiet große Fortschritte erzielt. Die dort entwickelten Techniken gilt es jetzt an anderen Standorten einzusetzen und weiterzuentwickeln.

Die verschiedenen Methoden der Erdwärmegegewinnung aus den Sedimenten des Norddeutschen Beckens (Groß Schönebeck, Horstberg, Bochum und Aachen) unterscheiden sich durch spezielle Anforderungen und Nutzungscharakteristika. Im Folgenden werden diese Projekte beschrieben:

- ein mesozoisches Wasserreservoir in Hannover im Buntsandstein,
- paläozoische Reservoirs in Groß Schönebeck im Rotliegenden,
- in Bochum im Karbon und
- in Aachen im Devon.

Die Erschliessungskonzepte variieren wegen unterschiedlicher natürlicher Wasserführung der geothermischen Reservoirs von trockenen Lagerstätten in Aachen und Bochum bis zu Lagerstätten, die zwar wasserführend sind, aber künstliche Nachbesserung durch hydraulische Stimulation bedürfen wie in Hannover und Groß Schönebeck. Es werden weitere Gemeinsamkeiten und Synergien zwischen den Projekten aufgezeigt, die alle das Ziel verfolgen, standortunabhängige Nutzungskonzepte für die Wärme-, Kälte- oder Strombereitstellung zu entwickeln.

## Das Groß Schönebeck-Projekt des GFZ Potsdam

Im Rahmen eines umfangreichen Untersuchungsprogramms beschäftigt sich das GFZ Potsdam mit Schlüsselfragen geothermischer Technologien:

- Wie findet und erzeugt man produktive Wasserreservoirs?
- Wie sichert man hohe Energieproduktivitäten?
- Was passiert bei der geothermischen Nutzung im Reservoir?
- Wie wandelt man möglichst effizient die Wärme der Erde in elektrischen Strom um?

Für die Beantwortung dieser Fragen sind Experimente unter natürlichen Bedingungen notwendig. Daher wurde im Jahr 2000/2001 das In situ-Geothermielabor Groß Schönebeck (Abb. 1) in einer 4.300 m tiefen Altbohrung eingerichtet [1]. Die Bohrung erschließt die wasserführenden Gesteine des Rotliegenden.



Das Labor dient dazu, theoretische Voruntersuchungen in einer Bohrung im Maßstab 1:1 experimentell zu überprüfen. Wir verfügen damit über die weltweit einzige Einrichtung zur Untersuchung der geothermischen Nutzung sedimentärer Großstrukturen unter natürlichen Bedingungen.

In einer Serie von Experimenten wurde das durch die Bohrung erschlossene Speichergestein mit einem speziellen Verfahren (hydraulic fracturing) für Wasser durchlässig gemacht. Dabei wurden 12.000 m<sup>3</sup> Wasser unter hohem Druck durch die Bohrung in den Untergrund gepresst, um das Gestein aufzubrechen und dem Thermalwasser zusätzliche Fließwege durch den Wärmespeicher zu schaffen. Mit dieser Wasser-Rissbildungstechnik kann die Produktivität von Lagerstätten gezielt gesteigert werden. Nach der Anwendung dieses Verfahrens in der Bohrung Groß Schönebeck konnte eine Reservoirproduktivität erreicht werden, die geothermische Stromerzeugung am Standort möglich macht.

Im Mittelpunkt aktueller Forschungsprojekte stehen Verfahren zur Optimierung der Arbeiten im Untertagebereich. Die für eine geothermische Anlage erforderlichen Bohrungen stellen beim gegenwärtigen technischen und technologischen Stand noch die höchsten Kosten dar. Hier liegen große Einsparungspotenziale:

- Verbesserte Bohrtechnologien und -strategien sollen die Anfangsinvestitionskosten für geothermische Tiefbohrungen kostengünstiger und den Bohrprozess sicherer gestalten.
- Erhöhung der Lebensdauer von Bohrungswerkzeugen
- Senkung des Energie- und Materialverbrauches während des Bohrens
- Komplettierungssysteme speziell für die Geothermieanwendung
- speicherschonende Aufschlussverfahren

Beim Abteufen einer für den Herbst 2005 geplanten neuen Forschungsbohrung in Groß Schönebeck soll der Wärmespeicher durch besonders schonendes Bohren mittels spezieller Kühl- und Spülverfahren für die angestrebte Langzeitnutzung optimal vorbereitet werden.

Im August 2005 wurden durch das Bundesumweltministerium und das Wirtschaftsministerium Brandenburg die Mittel für die zweite Forschungsbohrung bereitgestellt: Der Standort wird mit der zweiten Bohrung zu einem Dublettensystem ausgebaut. In einem Thermalwasserkreislauf sollen erstmalig in Deutschland die für die Stromerzeugung erforderlichen Mengen von 150 °C heißem Tiefenwasser gefördert und die Nachhaltigkeit der Förderung überprüft werden. Die zweite Bohrung eröffnet die praktische Chance, neuentwickelte Verfahren einzusetzen, um geothermische Stromerzeugung in der Zukunft planungssicher und wirtschaftlich zu ermöglichen. Damit werden die Voraussetzungen für den Betrieb eines geothermischen Kraftwerkes in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Vattenfall Europe geschaffen, wodurch Forschungsergebnisse schnell in die wirtschaftliche Anwendung kommen.

## Das Genesys-Projekt Hannover

In dem vom BMU geförderten Forschungsvorhaben GeneSys werden neue Einbohrloch-Verfahren zur Wärme­gewinnung aus geringdurchlässigen Sedimentgesteinen des tiefen Untergrundes erprobt. [2] Schlüsseltechnologie ist auch hier die Stimulation mittels der Wasser-Rissbildungstechnik, mit der in hydraulisch

Abbildung 1  
Fördertest 2001 an  
der Bohrung Groß  
Schönebeck 3/90

dichten Sedimentgesteinen großflächige Gesteinsrisse erzeugt werden. Diese Rissflächen sollen durchströmt und somit als Wärmeaustauschflächen zum Entzug der Gesteinswärme genutzt werden. In der ehemaligen Erdgaskundungsbohrung Horstberg Z1 bei Unterlüß im Norddeutschen Becken wurden in den vergangenen zwei Jahren erfolgreiche Experimente zur Entwicklung dieser Verfahren mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:

- Durch zwei massive Wasserfrac-Tests gelang es, in 3.800 m Tiefe eine mehr als 100.000 m<sup>2</sup> große Rissfläche in der im Norddeutschen Becken weit verbreiteten Buntsandsteinformation zu erzeugen.
- Hydraulische Nachuntersuchungen erbrachten den Beweis, dass der Gesteinsriss trotz des außerordentlich hohen Gebirgsdrucks, der in dieser Tiefe herrscht, durch natürliche Stützmechanismen offen gehalten wird. Somit kann auf das technisch sehr aufwändige und teure Einbringen künstlicher Stützmittel in die Rissflächen verzichtet werden.

Zwei neuartige Einbohrlochkonzepte zum Entzug der Gesteinswärme wurden erfolgreich getestet:

- Beim „Zyklischen Verfahren“ wird kaltes Wasser in die Rissfläche injiziert. Dieses erwärmt sich während einer Aufwärmphase und wird als Heißwasser wieder zutage gefördert. Mit diesem im Tages- und Wochenzyklus getesteten Verfahren wurden thermische Leistungen von mehr als 1 MW erreicht.
- Beim „Tiefenzirkulationsverfahren“ wurde während eines einwöchigen Zirkulationstests Wasser in den annähernd vertikalen Gesteinsriss verpresst, das sich beim Durchlauf durch die Rissfläche erwärmte und über eine ca. 120 m oberhalb des Injektionspunktes gelegene Sandsteinbank wieder in die Bohrung zurückströmte.

Die mit diesen beiden Verfahren erzielte thermische Leistung von mehr als 1 MW liegt deutlich über der Leistungsgrenze einer gleich tiefen Erdwärmesonde. Numerische Modellrechnungen zeigen, dass bei Risshalbängen von mehr als 500 m, wie sie vermutlich in der

Bohrung Horstberg Z1 erreicht wurden, die thermische Nutzungsdauer des Systems mehr als 25 Jahre beträgt.

Die Ergebnisse in der Bohrung Horstberg Z1 wurden von einem Expertenteam so positiv beurteilt, dass im Frühjahr 2005 der Startschuss für das Demonstrationsvorhaben GeneSys-Hannover mit folgender Vorgehensweise gegeben wurde:

- Im Jahr 2006 soll auf dem Gelände des Geozentrums Hannover eine ca. 3.800 m tiefe Bohrung abgeteuft werden.
- Mit Hilfe der in der Bohrung Horstberg Z1 erprobten Erschließungskonzepte sollen zukünftig der Gebäudekomplex des Geozentrums, das über rund 35.000 m<sup>2</sup> Büro- und Laborfläche verfügt, geothermisch beheizt und auf diese Weise jährlich annähernd 1 Mio. Kubikmeter Gas eingespart werden.

## Das Prometheus-Projekt Bochum

Zielsetzung des Pilotprojekts Prometheus ist die Übertragung der HDR-Technologie, wie sie im europäischen HDR-Projekt Soultz-sous-Forêts zur Stromerzeugung bei hohen Untergrundtemperaturen, einem granitischen Untergrund und Grabentektonik entwickelt wurde, auf einen Standort mit normalen Bedingungen (30°C/km, tiefe Sedimente des Oberkarbons, [3]). Die geförderte Wärme soll einen Großverbraucher – die Ruhr-Universität, Universitätswohnstadt, Fachhochschule Bochum – ganzjährig mit Wärme versorgen (Abb.2). Das Projekt wird in drei Schritten realisiert:

### 1. Machbarkeitsstudie

Die Machbarkeitsstudie wurde mit folgenden Ergebnissen erstellt:

- Die Geologie des Untergrunds bis ca. 4 km Tiefe ist durch feinkörnige Tonsteine, Siltsteine, Sandsteine/Grauwacken und Quarzite charakterisiert. Aufgrund zahlreicher Daten aus Tiefbohrungen bis ca. 1.200 m Tiefe kann in 4 km Tiefe eine Temperatur von 120°C prognostiziert werden.

- Die physikalischen Eigenschaften der Untergrundgesteine wurden detailliert durch Laborversuche an Proben aus Oberflächenaufschlüssen des südlichen Ruhrgebiets ermittelt. Sie weisen insbesondere geringe Permeabilitäten und eine gute Stimulierbarkeit auf.
- Der Wärmebedarf für 56.000 Personen beträgt ca. 300.000 MWh/a. Durch die Erdwärme soll lediglich die Grundlast von ca. 8 MW bereitgestellt werden, das jedoch über 8.000 Jahresstunden. Das erfordert eine Produktionsrate von ca. 30 Sekundenlitern aus der Produktionsbohrung. Die Erdwärme wird in das vorhandene Wärmeverteilungsnetz eingebunden.

## 2. Erkundungsbohrung

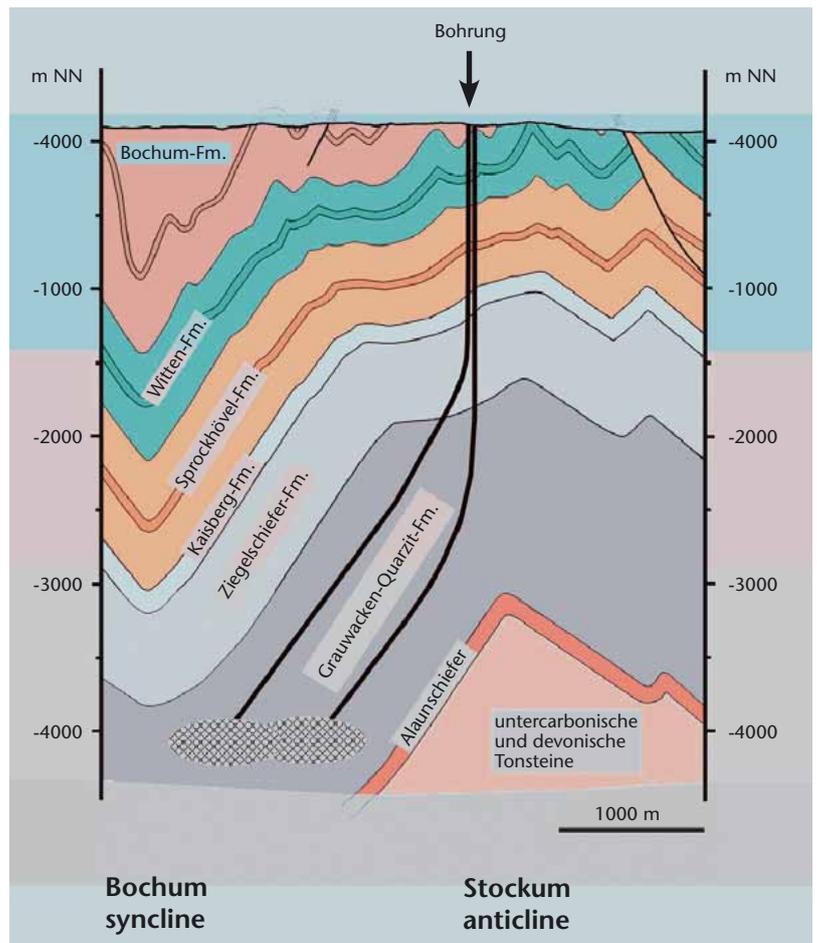
Es wurden durch die Ruhruniversität Bochum (RUB) ein Erlaubnisfeld von 7 x 7 km zur Aufsuchung von Erdwärme erworben und ein geeigneter Bohrplatz in unmittelbarer Nähe der RUB festgelegt. In der Explorationsphase ist vorgesehen:

- Niederbringen der Explorationsbohrung im Frühjahr 2006. Geophysikalische/geologische Bohrlochmessungen, moderate Stimulation mit seismischer Beobachtung mittels einer 600 m tiefen seismischen Beobachtungsbohrung.
- Bildung eines Betreiber-Konsortiums mit der Industrie.

## 3. Realisierung mit der Schaffung des unterirdischen Wärmetauschers und einer zweiten Tiefbohrung.

Bei Darstellung geeigneter hydraulischer Verhältnisse im Reservoir, ca. 30 Sekundenliter, wird die Bohrlochdublette komplettiert und die Projektrealisierung vorangetrieben.

Das Projekt wird gefördert durch das Land NRW (im REN-Programm) und die Europäische Union (im Ziel II Phase V Programm).



## Das SuperC-Projekt Aachen

Zur Sicherung der Wärme- und Kälteversorgung des „SuperC“ (dem neuen Studenten Service Center der RWTH Aachen mit Studentensekretariat, Zentralem Prüfungsamt, Akademischem Auslandsamt, Firmenkontaktbüros und Konferenzräumen) soll Erdwärme als Energiequelle genutzt werden. Die Versorgung des Gebäudes mit geothermischer Energie erfolgt über eine so genannte „tiefe Erdwärmesonde“ [4]. Zu den erklärten Zielen des entsprechenden Geothermieprojektes „SuperC“ gehört der Nachweis über die Realisierbarkeit des Baus einer tiefen Erdwärmesonde im Rahmen der geltenden gesetzlichen Bestimmungen und technischen Regeln unter Verwendung einfacher und ressourcensparender Methoden. Ein erster wichtiger Schritt war das Niederbringen der 2.500 m tiefen Bohrung „RWTH-1“ am zukünftigen „SuperC“-Standort, Ecke Templergraben/Wüllnerstraße, in Aachen im Jahre 2004.

Abbildung 2  
Hypothetisches Bohrprofil Prometheus  
Fm = geol. Formation



*Abbildung 3  
Innerstädtische  
Bohrung in  
Aachen 2004  
Webkameraaufnahme*

Bedingt durch den innerstädtischen Bohrplatz liegen in direkter Nachbarschaft Hochschulgebäude, in denen tagsüber Hochschulbetrieb stattfindet (Abb. 3). Die Anwohner und Mitarbeiter der RWTH Aachen mussten während der Arbeiten, die rund um die Uhr durchgeführt wurden, weitestgehend vor Lärm- und Abgasemissionen geschützt werden. Berücksichtigung fand die zwischen 100 und 140 Metern entfernte nächste Wohnbebauung. Trotz vorgenommener Lärminderungsmaßnahmen konnte für die Nachtstunden eine Richtwertüberschreitung an den Immissionsaufpunkten nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Dennoch kann von einem reibungslosen Ablauf der Bohrung gesprochen werden: Es gab lediglich, vier Anwohnerbeschwerden. Andererseits hat das äußerst rege Interesse am Geschehen auf dem Platz die Richtigkeit dieses Vorgehens in der operativen Phase bestätigt. Die projektierte Temperatur von 80 °C wurde erreicht. Die nächsten Schritte umfassen die geowissenschaftliche Auswertung [5] sowie die detaillierte Konzipierung der Nutzungsanlage unter Berücksichtigung des Bohrergebnisses. Insbesondere muss überprüft werden, welche Wärmemengen mit welcher Temperatur aus der Erdwärmesondenanlage den Nutzungsanlagen zugeführt werden können.

## Schlussfolgerungen

Nach der Realisierung der hier vorgestellten Projekte kann die Technologie der Einlochbohrung für den kleineren Wärmebedarf weitgehend betriebssicher durchgeführt werden. Diese Technologie ist allerdings relativ leistungsarm für geschlossene tiefe Erdwärmesonden wie in Aachen und etwas leistungsstärker aber auch betriebsaufwändiger für offene Bohrungen wie in Hannover.

Für größere Wärmeabnehmer wie in Bochum oder Anlagen zur geothermischen Stromerzeugung wie in Groß Schönebeck müssen mindestens zwei Bohrungen niedergebracht werden, die einem Wärmeträger den Durchfluss im Reservoir ermöglichen.

Eine Übersicht ist in Tab. 1 gegeben. (Siehe S. 73 oben)

Die Anfangsinvestitionen für die Bohrungen nehmen den größten Anteil an den geothermischen Wärmebereitstellungskosten ein. Daher ist es trotz der unterschiedlichen lokalen Zielstellungen vorteilhaft, die operativen Arbeiten der Projekte gemeinsam zu betrachten.

Synergien sind neben der technischen Durchführung beim Austausch der Erfahrungen zur Güte der Vorerkundungen vorstellbar. So hat die einzige zurzeit existierende Neubohrung der vier Beispiele in Aachen keine Übereinstimmung mit zwei konkurrierenden Vorprofilen gebracht. Die Vorprofile in Bochum, Hannover und Groß Schönebeck, die aus Informationen aus Nachbarbohrungen und auf der Basis von geophysikalischen Messungen erstellt wurden, müssen noch durch die Neubohrungen überprüft werden.

Außer in Aachen werden in den hier vorgestellten Projekten offene Systeme angewandt. Zur Gestaltung des unterirdischen Wärmetauschers im HotDryRock-Verfahren wie in Bochum und zur Erweiterung der Fließwege aus den wasserführenden Tiefensedimenten spielt das Verfahren der hydraulischen Stimulation eine Schlüsselrolle. Synergien wurden durch die langjährige Zusammenarbeit zwischen der RUB, BGR/GGA Hannover und GFZ schon nachgewiesen.

Standort	Reservoir-tiefe [m]	Temperatur °C	Thermische Leistung aus der Erde kW <sub>geplant</sub>	Status Quo 09/2005	Nutzungskonzept	Inbetriebnahme
Groß Schönebeck	4300	150	10.000	Eine existierende Bohrung mit stimuliertem Reservoir	Stromerzeugung durch Wandleranlage (z. B. ORC) gespeist mit Tiefenwasser unter Nutzung einer Dublette (Förder- und Injektionsbohrung) (Hydrothermalverfahren)	2007 bei plangemäßer Erfüllung von gesetzten Meilensteinen
Hannover GeneSys	3800	130 <sub>geschätzt</sub>	2.000	Bohrbeginn 2006 Vorerkundung in Testbohrung Horstberg	Wärmeversorgung mit Einbohrlochverfahren mit Nutzung von künstlichen Fließwegen im Gebirge	offen
Bochum Prometheus	4000	< 120 <sub>geschätzt</sub>	8.000	Bohrbeginn 2006	Wärmeversorgung (Dublette) gespeist mit Wasser, die durch künstlichen Wärmetauscher im Gebirge zirkulieren (HotDryRock-Verfahren)	offen
Aachen SuperC	2500	>80	450 <sub>planung</sub>	Eine existierende Bohrung	Wärmeversorgung mit geschlossener tiefer Erdwärmesonde	offen

So wird die Methode des massiven Wasserfracs, d. h. Stimulation durch das Verpressen großer Wassermengen, für die geothermische Anwendung bevorzugt.

Zur Gewährleistung der Nachhaltigkeit der künstlich erzeugten Risse in den Sedimenten werden in Groß Schönebeck sogenannte Stützmittel verwendet. Das Wasser wird dabei mit hochviskosen Zusätzen versetzt, die sich in den hydraulisch erzeugten Rissen im Gestein einlagern und sie auch nach der Druckentlastung am Ende der Stimulationsbehandlung offen halten.

Wärme lässt sich nicht kostengünstig transportieren. Daher gehört den Anlagen die Zukunft, die nahe an den Verbrauchern, also nach Möglichkeit innerstädtisch erstellt werden. Deshalb verdienen die innerstädtischen Bohrprojekte in Aachen, Bochum und Hannover besondere Aufmerksamkeit.

## Diskussionspunkte

Nach Abschluss der vier Projekte wird man in der Lage sein zu erkennen, welche Konzepte realisierbar sind und wie man sie beispielhaft umsetzen kann. Für die Projekte konnten in der Regel sachbedingt nur unzureichende Abschätzungen für die Wärmegestehungskosten gemacht werden. Zum Beispiel wurden für das Bochumer Projekt Kosten von 6,8 Ct für eine geothermische Kilowattstunde Wärme prognostiziert. Die Groß Schönebecker geothermische Kilowattstunde Strom wird vom Investor Vattenfall Europe angesichts der Einspeisevergütung von 15 Ct als wirtschaftlich eingestuft. Dabei sind jedoch die Vorleistungen durch Nutzung einer Altbohrung und die Übernahme des größten Teils der reinen Bohrkosten der Neubohrung durch das Bundesumweltministerium nicht berücksichtigt worden. Verlässliche Kosteneinschätzungen können daher erst nach den ersten Betriebsjahren vorgenommen werden. Insbesondere kann eine Einschätzung der Höhe der erforderlichen Hilfsenergie erst nach Erreichen des optimalen Betriebspunktes

*Tabelle 1  
Übersicht über  
Geothermieforschungs-  
projekte in Nord-  
Deutschland  
(Stand 09/2005)*

der Erdwärmegewinnung gemacht werden. Erst realisierte Projekte geben uns auch Daten für das Langzeitverhalten des Reservoirs.

Die Wärmegegewinnung aus tiefen Speichern ist nicht immer erfolgreich. Der Erfolg kann immer erst nach Abschluss der Projekte genauer eingeschätzt werden, d. h. ob z. B. die Vorhersage der Qualität der Lagerstätte und ihrer Fündigkeit treffend genug war, ob die geologisch bedingten technischen Risiken beim Bohren richtig eingeschätzt wurden aber auch Fragen der Nachhaltigkeit des Reservoirs und deren Auswirkung auf die Betriebssicherheit der Anlage müssen beantwortet werden. In diesem Zusammenhang muss betont werden, dass die Betriebssicherheit von SuperC als sehr hoch einzustufen ist, wenngleich die spezifische Kilowattstunde mit erheblich höherem Aufwand gewonnen wird.

Herausstellen möchten wir hier noch einmal die Bedeutung von Demonstrationsvorhaben, die ermöglichen, neue und unausgereifte Techniken in der Anwendung zu erproben, um die Qualität und den Wirkungsgrad geothermischer Anlagen zu steigern. Positiv ist, dass mittlerweile eine zunehmende Investitionsbereitschaft in der Industrie zu verzeichnen ist.

Die Planungssicherheit und die Wirtschaftlichkeit geothermischer Anlagen stehen daher im Fokus der aktuellen geothermischen Technologieentwicklung. Wir müssen die Effizienz der Endprodukte bewerten, um zu einer noch klareren Aussage zu kommen, was wir durch gezielte Forschungsanstrengungen weiter optimieren können. Erst dann können wir die offensichtlichen Vorteile der Geothermie nutzen und unabhängig von Saison und Tageszeit eine nachhaltige umweltfreundliche Energie bereitstellen.

## Literatur

- [1] Huenges, E., Holl, H.-G., Legarth, B., Zimmermann, G., Saadat, A., Tischner, T. (2004) Hydraulic stimulation of a sedimentary geothermal reservoir in the North German basin: case study Groß Schönebeck, Zeitschrift für Angewandte Geologie, 50, 2, 24-27.
- [2] Orzol J., Jatho R., Jung R, Kehrler P. & Tischner T. (2004) The GeneSys Project: Development of concepts for the extraction of heat from tight sedimentary rocks, Zeitschrift für Angewandte Geologie, 50, 2.
- [3] Grosse K, Rummel F. & Wagner H. J. (2004) The Prometheus Project for Geothermal Heat Supply of the Ruhr University Bochum, Zeitschrift für Angewandte Geologie, 50, 2.
- [4] Herzog, C., Lundershausen, St., Niemann-Delius, C., Preuße, A., (2005) "The Geothermal Project "SuperC" of RWTH Aachen University / Phase I: The well „RWTH-1“" in IGA NEWS (Newsletter of the International Geothermal Association), issue No. 61, July - September 2005.
- [5] Trautwein, U., Kukla, P. (2005): Aachen Geothermal Well "RWTH-1" – The geoscientific research program. Meuse-Rhine Euregio Geologists Meeting, Alden Biesen (Belgian Limbourg), abstract volume p. 18, 20-21 May 2005.