

# **Tiefe Geothermie – Internationale Projekte und Forschungsansätze <sup>\*)</sup>**

**Josef Daldrup (Daldrup & Söhne AG, Ascheberg)  
Herbert Klapperich (TU Bergakademie Freiberg & CiF e. V.)**

## **Zusammenfassung**

Die Nutzung der Erdwärme stellt eine wesentliche Komponente des politisch gewollten Energie-Mix dar. Die Geothermie punktet vor allem in Bezug auf Grundlastfähigkeit und CO<sub>2</sub>-Bilanz. Der Beitrag beschreibt die Systematik geothermaler Anwendungen und bringt Projektbeispiele aus den Niederlanden und der Bayern. Es werden einige Forschungsaktivitäten aufgezeigt.

## **Abstract**

The utilisation of Geothermal Energy presents as an essential component of the politically intended energy-mix. Geothermics score foremost regarding base-load-capacity and CO<sub>2</sub>-balance. The article describes the systematics of geothermal applications and features sample projects in the Netherlands and Bavaria. Some research activities are introduced.

## **Einbettung**

Erdwärme gehört weltweit zu den ergiebigsten erneuerbaren Energiequellen. Das Ziel der Geothermie ist es, die heißen Temperaturen im Inneren der Erde zur Gewinnung von Strom, Wärme und Kälteenergie zu nutzen. Die Geothermie (Erdwärme) ist demnach die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der festen Oberfläche der Erde.

Energie ist ökonomisch und gesellschaftspolitisch relevant und ein Paradebeispiel für ein interdisziplinäres Technikfeld in Forschung und Umsetzung. Auch die aktuelle Klimadiskussion führt international zu einer verstärkten Hinwendung zu erneuerbaren Energien und ihrer Weiterentwicklung. Energiepolitik ist vor allem sicher Wirtschaftspolitik, aber auch Innovations- und Technologiepolitik – im Kontext von Versorgungssicherheit, Beschäftigung und Klimaschutz.

Effiziente Energietechnologien und Energieverwendung sind die zentralen Felder für die zukunftsweisende Ausrichtung der Forschung und Umsetzung. Hierbei ist ein vernetzter Ansatz zwischen den erneuerbaren Energieformen Wind, Wasser, Solar, Biomasse und Geothermie mit den Bereichen Kraftwerkstechnik, Kraft-Wärme-Kopplung und Energiespeicherung zielführend. Dies gilt für Energieeffizienz und den politisch gewollten Energie-Mix. Eine vielversprechende Entwicklung stellen Hybrid-Kraftwerke dar, beispielsweise mit Kopplung von Biomasse und Geothermie für Wärmeprojekte oder Kombination von Kohlekraftwerken mit Geothermie zur optimierten, bedarfsgerechten Kraftwerkssteuerung.

---

<sup>\*)</sup> Beitrag zum 4. Symposium UMWELTGEOTECHNIK & 5. Freiburger GEOTECHNIK-Kolloquium, Freiberg, 4./5. Juni 2009, veröffentlicht in CiF e. V. publication 7 - 2009, ISSN 1613-4753, S. 185 - 197

Die Grundlastfähigkeit der Geothermie ist die Vorteilsgröße gegenüber den anderen erneuerbaren Energien. Die Geothermie ist eine regenerative Energiequelle mit Zukunft. Das Potenzial wird bei der Analyse der Wertschöpfungsketten der oberflächennahen und der Tiefengeothermie deutlich. Die Wirtschaftsförderung metropol Ruhr GmbH zeigte in ihrer Studie 230 Unternehmen in der Ruhr-Region auf, mit Produkten oder Dienstleistungen im Bereich der Geothermie.

Geotechniker haben mannigfaltige Aufgaben in der Realisierung von Geothermieprojekten. Dem Berufsstand kommt dabei die interdisziplinäre Projektsteuerungserfahrung zu Gute.

### Systeme für die Gewinnung geothermaler Energie

Ausschlaggebend für den Bau und den Betrieb von geothermischen Anlagen sind die örtlichen geologischen Gegebenheiten, die Erschließbarkeit und natürlich der Energiebedarf auf der Nutzerseite.

Bild 1 zeigt eine Übersicht der Geothermiesysteme. Man unterscheidet zwischen der flachen und der tiefen Geothermie. Der Hauptunterschied ist die Nutzung der Wärmeenergie. Im Bereich der flachen Geothermie (definitionsgemäß bis 400 m Tiefe) kann die Wärme wegen des tiefenbedingten niedrigen Temperaturniveaus nicht direkt genutzt werden. Sie nutzt die thermische Energie, die in den obersten Erdschichten beziehungsweise dem darin enthaltenen Grundwasser gespeichert ist. Das niedrige Temperaturniveau der gewonnenen Wärme wird unter Einsatz von technischer Arbeit mit Wärmepumpen in einen für Heizzwecke nutzbaren Temperaturbereich angehoben. Die Wärmegewinnung aus flacher Geothermie findet derzeit ihre Anwendung überwiegend im Einfamilienhausbereich sowie zur Beheizung kleiner bis mittlerer Geschäfts- und Verwaltungsgebäude (Bild 2).

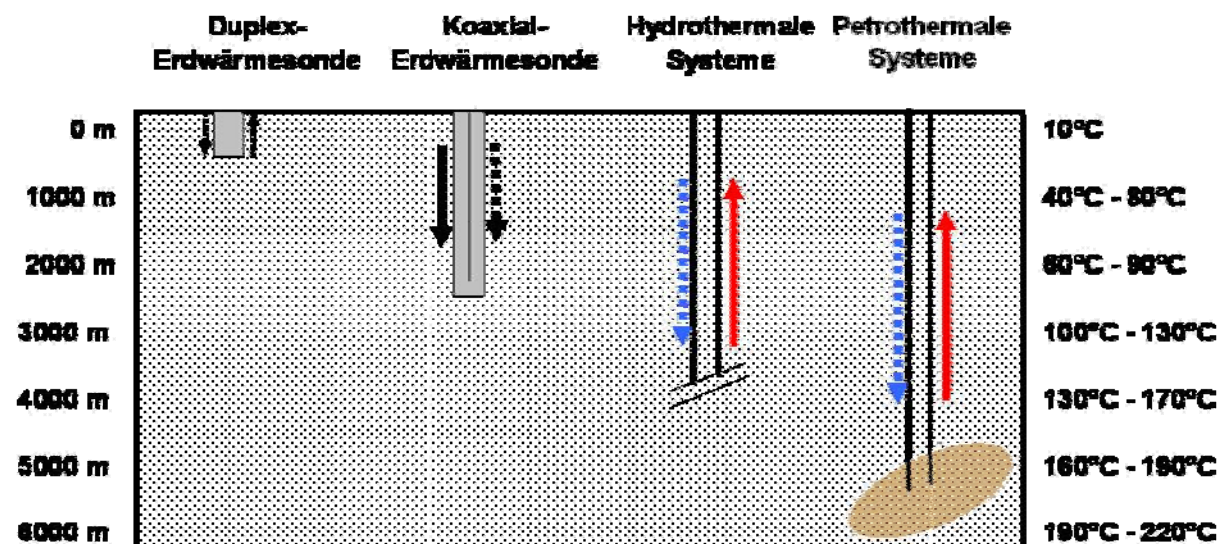


Bild 1: Übersicht über die Geothermiesysteme



Bild 2: Sondenbohrung für flache Geothermie

Als Tiefengeothermie bezeichnet man die Nutzung der Erdwärme in Tiefen ab 400 m (Bild 3). Im Unterschied zur flachen Geothermie kann die durch Tiefengeothermie gewonnene Wärme direkt genutzt werden. Für die Nutzung der Wärme in tieferen Schichten unterscheidet man im Wesentlichen drei Systeme (Bild 1):

- SONDENSYSTEME,
- Hydrothermale Systeme,
- Petrothermale Systeme.

Bei den SONDENSYSTEMEN handelt es sich im Endausbau um geschlossene, einzelne Bohrungen als Wärmetauschersysteme. Das Wärmetauschermedium zirkuliert im Kreislauf bis in das Bohrungstiefste, wobei Wärme aufgenommen und anschließend über Tage abgegeben wird. Der Vorteil tiefengeothermischer SONDENSYSTEME liegt in der Möglichkeit der dezentralen Nutzung solcher Systeme, da für den Betrieb der Sonde keine besonderen geohydrologischen und lithologischen Anforderungen vorliegen müssen.

Anders als bei den SONDENSYSTEMEN handelt es sich bei den hydro- und petrothermalen geothermischen Systemen um hydraulisch offene Systeme. Im Unterschied zu den geschlossenen SONDENSYSTEMEN sind jeweils mindestens zwei Bohrungen zur Gewinnung von Wärme notwendig, wobei eine Bohrung das heiße Medium – Wasser oder Wasserdampf – fördert und die andere Bohrung das abgekühlte Medium in einem Kreislaufprozess zurück in die Tiefe verbringt. Typisch für alle offenen Bohrlochsysteme ist, dass die Bohrungen durch gezielte Beeinflussung der Bohrrichtung möglichst weit voneinander entfernt enden. Die räumliche Trennung von Produktions- und Reinjektionsbohrung ist notwendig, damit innerhalb des Wasserkreislaufs genügend Zeit für das erneute Aufheizen des Wassers nach dem übertägigen Entzug der Wärme zur Verfügung steht.

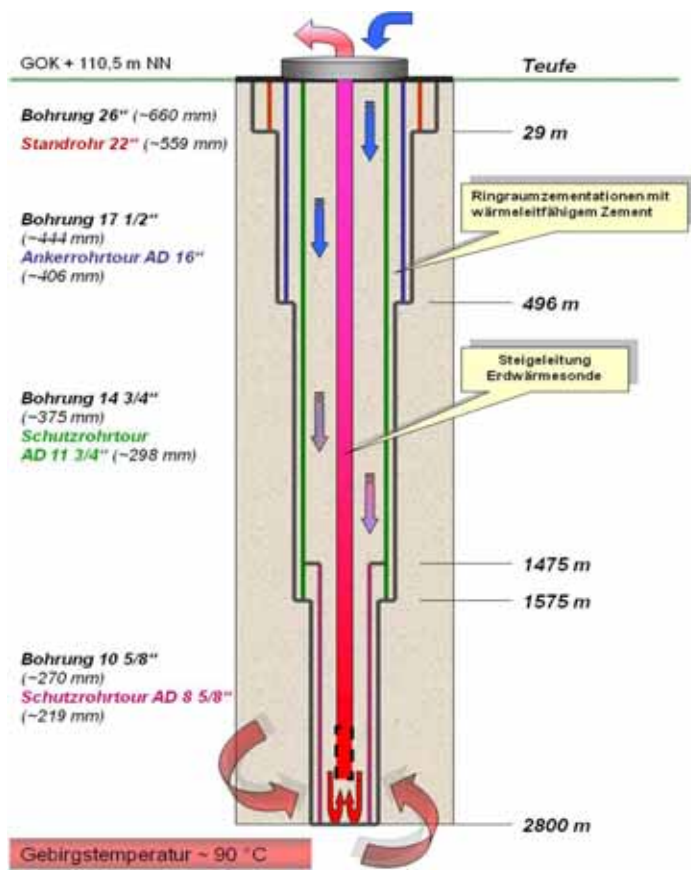


Bild 3: Sondenbohrung für tiefe Geothermie

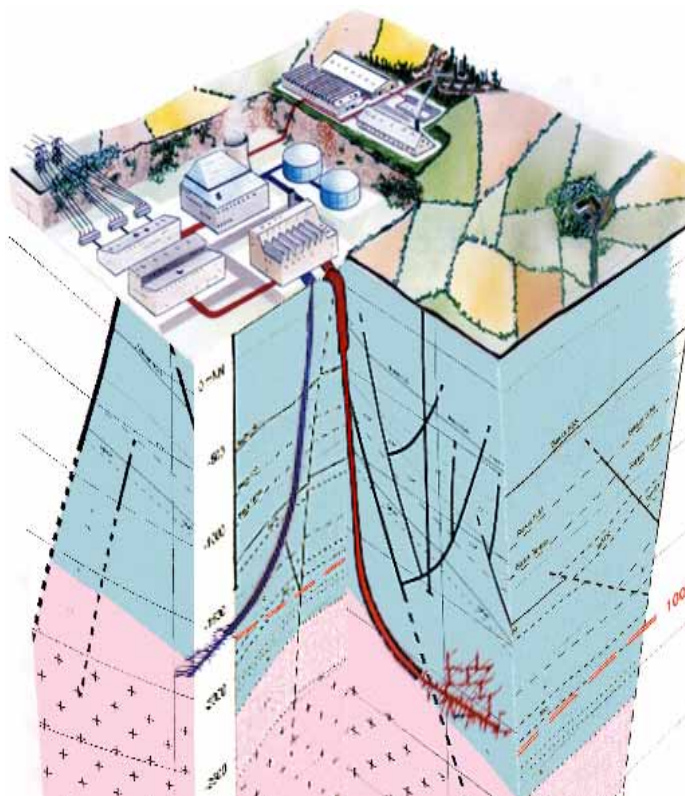


Bild 4: Hydrothermale Geothermie

Hydrothermale geothermische Systeme (Bild 4) nutzen den Inhalt von Heißwasseraquiferen, wie sie beispielsweise im bayrischen Molassebecken mit dem Malm-Karst zur Verfügung stehen. In Abhängigkeit von der Tiefe und damit der Temperatur des Wassers kann mit hydrothermalen geothermischen Systemen Wärme und Strom erzeugt werden. Die Erzeugung von elektrischem Strom aus hydrothermalen Systemen erfolgt wegen des Temperaturniveaus in Binärverfahren mit indirekter Nutzung der Wärmeenergie, so zum Beispiel im Kalina- oder ORC- (Organic Rankine Circle) Verfahren.

Die Nutzung petrothermaler Systeme (Bild 5) bietet die Möglichkeit, auf die vorgenannten Binärverfahren zu verzichten und die Strom erzeugenden Turbinen direkt mit dem Dampf der Geothermiebohrungen zu betreiben. Um die für den direkten Betrieb der Turbinen notwendigen Temperaturen von 200 °C und mehr zu erreichen, müssen die Bohrungen große Tiefen aufweisen (etwa 4 000 bis 6 000 m). Wegen der in diesem Tiefenbereich vorherrschenden petrologischen Verhältnisse mit häufig dichten, nicht Wasser führenden Gesteinen, muss die hydraulische Verbindung zwischen der Förder- und der Versenkbohrung künstlich hergestellt werden. Durch das Einpressen flüssiger oder gasförmiger Medien unter hohem Druck (150 bar und mehr) kommt es zur Ausbildung eines dreidimensionalen Kluftsystems, das als Wärmetauscher mit riesiger Oberfläche für einen guten Wärmeübergang in das im Kraftwerksbetrieb eingepresste kalte Wasser sorgt.

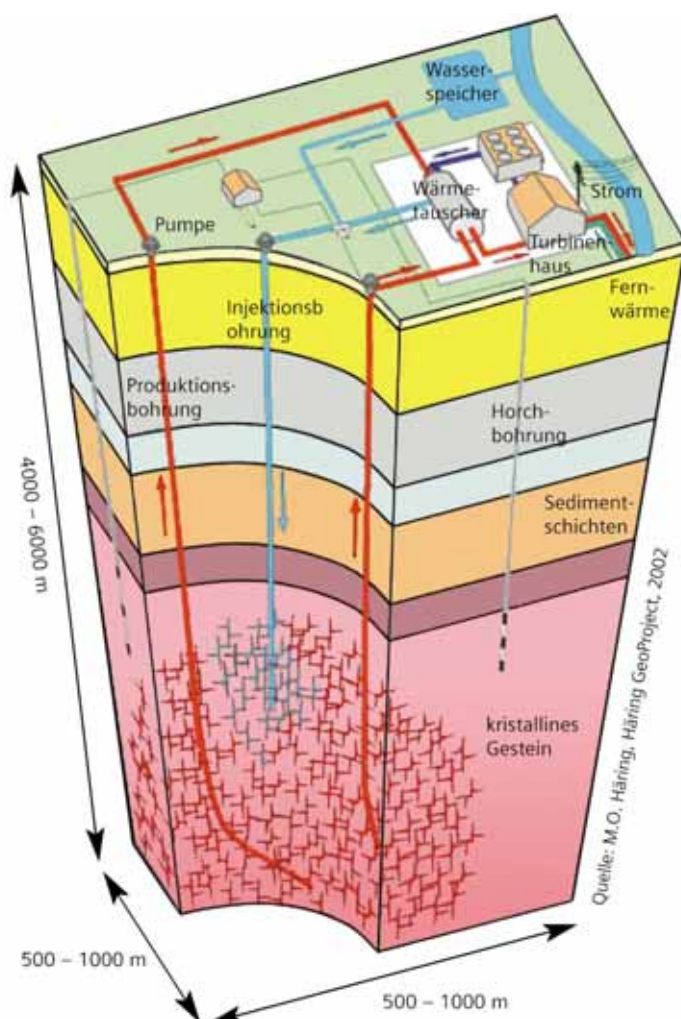


Bild 5: Petrothermale Geothermie

## **Forschungsansätze**

Erst in Tiefen ab 4 000 m herrschen, wenn wir von besonders begünstigten Gebieten absehen, Temperaturen, die mit dem heutigen Stand der Energietechnik zu konkurrenzfähigen Preisen die Gewinnung von elektrischem Strom gestatten. In diesen Tiefen ist andererseits wiederum nur in Ausnahmefällen mit nennenswerten Mengen an Grundwasser zu rechnen. Um aus heißem aber trockenem Gestein (Hot dry rock, HDR) Wärme zu gewinnen, muss zum Wärmeaustausch ein Fluid injiziert werden. Dazu müssen zudem Klüfte in dem Gestein geöffnet werden, damit das Fluid dem Gestein die Wärme entziehen kann. Dies geschieht durch das Einpressen des Fluids unter extrem hohen Drücken (Hydrofracture). Die generelle Funktionsfähigkeit von HDR wurde in Fenton Hill, USA, in den Jahren 1992 bis 1995 nachgewiesen, der Durchbruch in Form einer Pilotanlage steht allerdings immer noch aus. Ein entscheidendes Problem ist, dass einerseits durch Hydrofracture nicht eine große, sondern möglichst viele kleine und miteinander verbundene Klüfte entstehen müssen und andererseits die Klüfte offen bleiben müssen. Als Fluid wurde in allen Versuchen bislang Wasser verwendet. Kohlenstoffdioxid, das unter diesen Bedingungen in den überkritischen Zustand übergeht, bietet eine Reihe von Vorteilen, wie in einer Machbarkeitsstudie im Auftrag des BMU nachgewiesen werden konnte (MERKEL et al., 2006).

## **Umweltaspekte**

Die thermische Nutzung des Untergrundes wirft auch Fragen mit genehmigungsrelevantem Charakter durch Genehmigungsbehörden auf.

Die möglichen Umweltbelastungen mit thermischen und hydraulischen Auswirkungen stehen bei der tiefen Geothermie zunächst im Fokus. Ein Richtlinienentwurf vom VDI 4640, Blatt 1 definiert und erläutert Grundlagen zum Wärmefluss im Untergrund und benennt die nach dem Wasser- und Bergrecht erforderlichen Genehmigungen.

Forschungsarbeiten des CiF e. V. an der TU Bergakademie Freiberg befassen sich mit offenen Fragestellungen bei der Entnahme und Einspeisung von Wasserströmen zur geothermischen Nutzung, zu Temperatureinflüssen, Mikroorganismen, geogener Hintergrund, Hydraulikaspekten, Parametervariationen, Felduntersuchungen & Probenanalytik zur Geochemie/Mikrobiologie.

Die wissenschaftlichen Untersuchungen zielen auf Systeme mit Nutzung von Grundwasserleitern (Doubletten-Bohrungen) wie auf konzeptionelle HDR-Anwendungen. Letzteres schließt obige Umsetzungskonzepte mit Einsatz von "Superkritischen Carbon Dioxid" ein.

## **Nutzungsbeispiele**

Um die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten geothermischer Wärmenutzung zu demonstrieren, werden nachfolgend einige interessante Geothermieprojekte mit Sonden- und hydrothermalen Systemen beschrieben, bei denen die Daldrup & Söhne AG die Bohrarbeiten ausführte. Die petrothermalen Systeme sind zur Zeit noch nicht anwendungsreif. Forschungsansätze und aktuelle Pilotprojekte sind zielführend für die Erschließung dieses Riesen-Potentials.

## Geothermieprojekte in den Niederlanden

### *Minewater-Project in Heerlen*

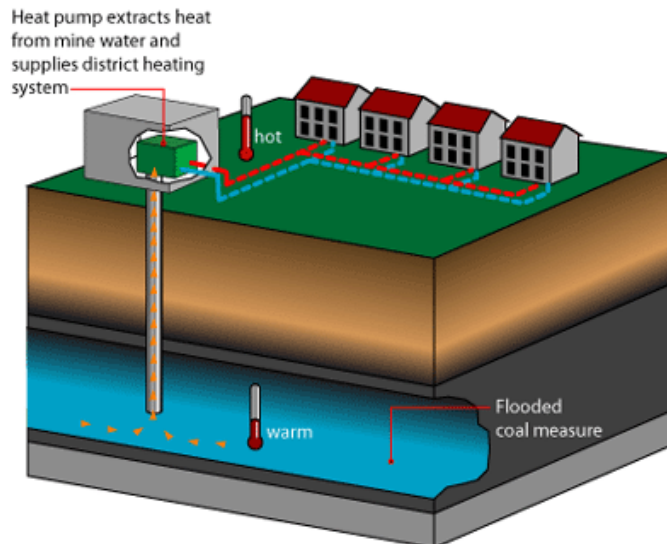


Bild 6: Nutzungsschema Heerlen Minewater-Project

Das Minewater-Project in Heerlen (Bild 6) hat folgende Randbedingungen:

- Ausführung in den Jahren 2006 und 2007,
- Hydrothermale Bohrungen,
- Bohrtiefe 200 bis 700 m,
- Besonderheit: hydrothermales System über stillgelegten Flözen und Strecken des Bergbaus.

Das Heerlen-Minewater-Project steht beispielhaft für die erfolgreiche Verbindung von Politik, Wissenschaft und Technik zur Umsetzung neuer Strategien für einen nachhaltigen, schonenden Umgang mit unseren Energieressourcen im kommunalen Bereich.

Die mit Wasser gefluteten, in 200 bis 700 m Tiefe befindlichen ehemaligen Kohlestrecken des Oranje Nassau Bergwerks wurden mit moderner Zielbohrtechnik angebohrt, was eine große technische Herausforderung darstellte. Über die Bohrungen wird warmes Wasser aus den unteren Strecken gefördert, das zur Beheizung von über 200 Wohnhäusern, Geschäfts- und Bürogebäuden und einer Bücherei genutzt wird.

### *Von den Bosch 1 + 2, in Bleiswijk*

Das Projekt Von den Bosch 1 + 2 in Bleiswijk (Bild 7) hat folgende Randbedingungen:

- Ausführung in den Jahren 2006 bis 2007,
- 2 hydrothermale Bohrungen,
- Bohrtiefe je rund 2 430 m,
- Besonderheit: erste erfolgreich in Betrieb befindliche Tiefengeothermieanlage in den Niederlanden.

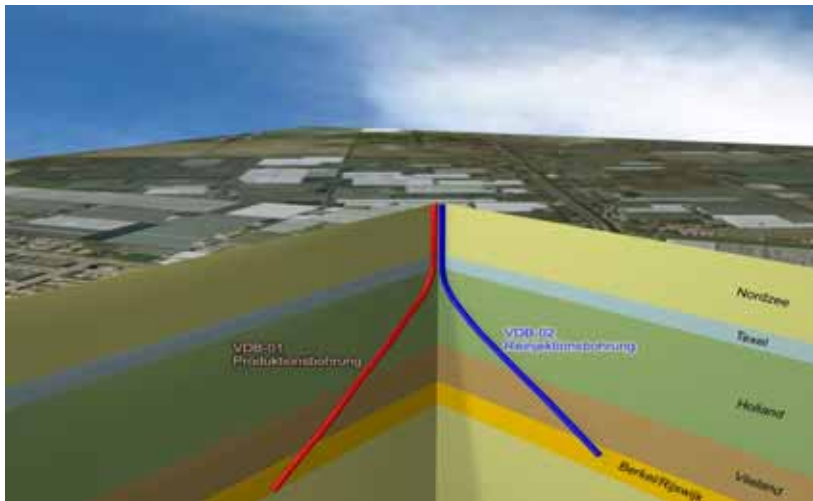


Bild 7: Geothermiedoublette van den Bosch, Bleiswijk

Die energieintensive Aufzucht von Pflanzen in den Niederlanden bietet hervorragende Möglichkeiten zur direkten Nutzung von Erdwärme. Die geothermische Doublette versorgt etwa 15 ha Treibhausfläche mit der benötigten Wärme und sorgt so als Alternative zum gebräuchlichen Erdgas für eine jährliche Einsparung von etwa 10 000 t CO<sub>2</sub>.

## Geothermieprojekte in Deutschland

### *Arnsberg-Erlenbach 2*



Bild 8: Bohranlage IDECO SBS auf der Bohrung Erlenbach2, Arnsberg



Das Projekt Arnsberg-Erlenbach 2 (Bild 8) hat folgende Randbedingungen:

- Ausführung in den Jahren 2007 bis 2008,
- Tiefe Erdwärmesonde,
- Bohrtiefe 2 835 m,
- Besonderheit: tiefste Geothermiebohrung in Nordrhein-Westfalen.

Die Bohrung wird nach ihrem endgültigen Ausbau ein Spaßbad, eine benachbarte Schule sowie eine Turnhalle mit Wärme versorgen.

### Wärmeprojekt TH1 und TH2 in Garching

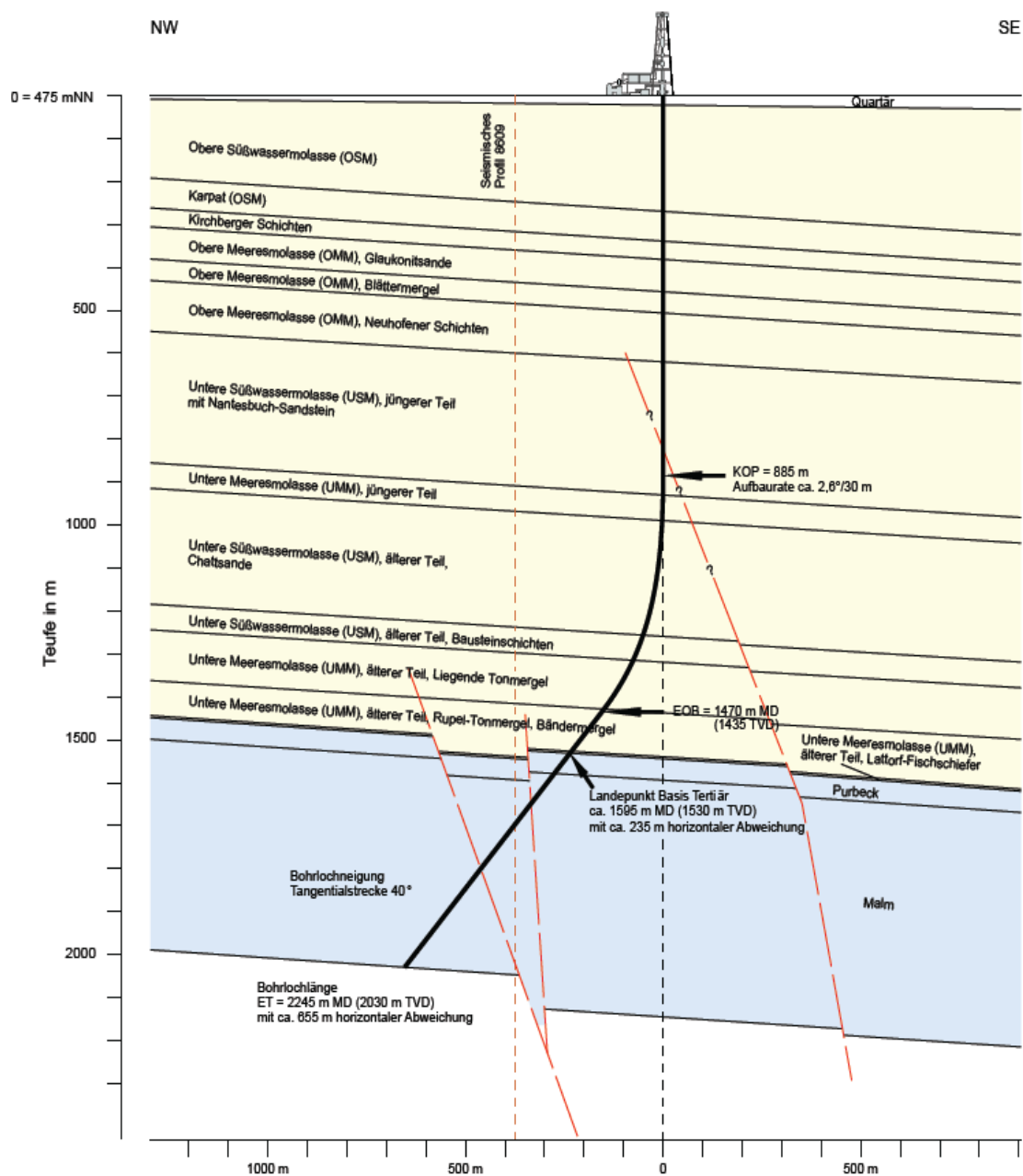


Bild 9: Projekt Garching, Bohrung TH1

Das Wärmeprojekt TH1 und TH2 in Garching (Bild 9) hat folgende Randbedingungen:

- Ausführung in den Jahren 2008 bis 2009,
- Hydrothermale Dublette,
- Bohrtiefe 2 165 und 2 450 m,
- Besonderheit: Ergänzung des Geothermiekraftwerks durch ein Biomasseheizkraftwerk.

Im Endausbau entsteht ein gekoppeltes System aus Biomassekraftwerk und Geothermieanlage. Etwa 60 % der durch Geothermie gewonnenen Wärme versorgen die TU München, die verbleibenden 40 % steuern zur Deckung der Grundlast des Biomassekraftwerks bei. Auf diese Weise werden rund 97 % der Fernwärme von Garching regenerativ erzeugt und jährlich ungefähr 70 000 t CO<sub>2</sub> eingespart.

### ***Wärmeprojekt TH1 und TH2 in Aschheim***

Das Wärmeprojekt TH1 und TH2 in Aschheim (Bild 10) hat folgende Randbedingungen:

- Zur Zeit im Bau,
- Dublette,
- TH1 2 730 m tief und TH2 2 800 m tief geplant,
- Besonderheit: interkommunales Projekt



Bild 10: Bohranlage Drillmec HH300 City Rig auf der Lokation Aschheim

In Aschheim wird die neue Bohranlage Drillmec HH300 City Rig zum ersten Mal eingesetzt. Die Anlage kann mit einer maximalen Hakenlast von 272 t bis in Tiefen von 4 500 m vordringen. Sie ist für den stadtnahen Einsatz auf Flexibilität, kleine Aufstellfläche und geringe Emissionen optimiert.

## Bohrerätetechnik für die Erstellung von Geothermiebohrungen

Zur direkten Nutzung der Erdwärme in tiefen Erdwärmesonden beziehungsweise hydro- oder petrothermalen Bohrungssystemen müssen Bohrtiefen zwischen 2 500 und 6 000 m erreicht werden. Kennzeichnende und gleichzeitig begrenzende Gerätekenngroße der Bohranlagen ist die so genannte Hakenlast, welche die von der Anlage statisch und dynamisch beherrschte Höchstlast für Bohrgestänge und Rohre darstellt.

Die Erstellung geothermischer Tiefbohrungen stellt höchste Anforderungen an die gesamte einzusetzende Bohrtechnik (Bild 11). Diese muss nicht nur den einschlägigen internationalen Tiefbohrstandards entsprechen, sondern auch den besonderen Umständen gerecht werden, die durch den vorwiegend stadtnahen Einsatz der Geothermiebohranlagen gegeben sind. So stehen Optimierungen im Bereich der beanspruchten Fläche und besonders die Senkung der Lärm- und Abgasemissionen ganz oben auf der Liste der zu lösenden Aufgaben.

Im Bereich der technischen Ausstattung bietet nur ein weltweiter Einkauf von Ausrüstungsteilen die notwendige Flexibilität für eine sinnvolle Disposition der Bohranlagen. In diesem Zusammenhang stellt die Anpassung der Geräte und Anlagen an die hiesigen Normen und gesetzlichen Bestimmungen eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar.

**Bentec Euro Rig 350t**



bis 7000 m

**Drillmec HH 300**



bis 4500 m

**Wirth B152t**



bis 3500 m

**IDECO SBS DIR558**



bis 3000 m

Bild 11: Tiefbohranlagen der Daldrup & Söhne AG

### Schlussbemerkung

Bereits im Jahr 1858 schrieb Carl Bernhard von Cotta (Bild 11), TU Bergakademie Freiberg, in weiser Voraussicht: „Sollten einst auf der mehr oder weniger bevölkerten Erde die Wälder so stark gelichtet und die Kohlenlager erschöpft sein, so ist es wohl denkbar, dass man die Innenwärme der Erde sich mehr und mehr dienstbar macht, dass man sie durch besondere Vorrichtungen in Schächten oder Bohrlöchern zur Oberfläche leitet und zur Erwärmung der Wohnungen oder selbst zur Heizung von Maschinen verwendet.“ Heute – rund 150 Jahre später – erleben wir die Umsetzung dieser Vision.

*„Sollten einst auf der mehr oder weniger bevölkerten Erde die Wälder so stark gelichtet und die Kohlenlager erschöpft sein, so ist es wohl denkbar, dass man die Innenwärme der Erde sich mehr und mehr dienstbar macht, dass man sie durch besondere Vorrichtungen in Schächten oder Bohrlöchern zur Oberfläche leitet und zur Erwärmung der Wohnungen oder selbst zur Heizung von Maschinen verwendet.“*

*(Carl Bernhard von Cotta, 1858)  
TU Bergakademie Freiberg*



Bild 11:

## **Literatur**

R. Bracke: "Das NRW-Geo Technikum - ein Großlabor für die geothermische Verbundforschung von Wissenschaft und Wirtschaft". Geothermie-Kongress 2008, Karlsruhe, GtV

B. Brückhoff: "Analyse der Wertschöpfungskette Geothermie in der Metropole Ruhr". 13. Fachkongress Zukunftsenergie - Forum B Geothermie, Essen, 2009

R. Brumme: "Vertragspraxis Oberflächennahe Geothermie - Hinweise, Risiken, Empfehlungen". Geothermie-Kongress Bochum, 2007, GtV

J. Daldrup: "Geothermische Projekte von Daldrup & Söhne AG". 13. Fachkongress Zukunftsenergie, E-world energy & water, Essen, 2009

J. Daldrup, A. Tönies: "Tiefe und flache Geothermie - Projekte aus NL & D". MIT-Tagung "Energie der Zukunft - Zukunft der Energie", Hattingen, November 2008, CiF-pub 6, 2009

R. Katzenbach, T. Sass: Geothermal Summer School, 2006, TU Darmstadt

P. Maasewerd: "Geothermie - Vision wird Realität". Sieg Tech Magazin für Wirtschaft, Energie, Politik Nr. 12(2006), S.20-24, ISSN: 0340-3718

P. Maasewerd: "Geothermie – Großer Spielraum". Sieg Tech Magazin für Wirtschaft, Energie, Politik Nr. 06(2007), S.24-26, ISSN: 0340-3718

P. Maasewerd: "Holländische Tomaten werden demnächst umweltschonend mit Erdwärme beheizt". bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau 58(2007)Nr.7/8, S.41-51 ISSN: 1611-1478

B. Merkel, R. Börner, E. Brossmann, A. Franke, B. Meyer, C. Pretzschner, H. Rauchfuss, K. Spitzer, K. Stanek, M. Vasterling, H. Wentzel, W. Wolkersdorfer: "scCO<sub>2</sub> - Machbarkeitsuntersuchung über den Einsatz von Hot Dry Rock Geothermie zur Elektrizitätserzeugung mit Hilfe von superkritischem CO<sub>2</sub>". Schlussbericht für BMU, Förderkennzeichen BMU 0329999, 2006, [http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/Gesamtbericht\\_scCO2-k.pdf](http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/Gesamtbericht_scCO2-k.pdf)

T. Reif: "Geothermie- Kommunale Wärme für die Bürger". MIT-Tagung "Energie der Zukunft - Zukunft der Energie, Hattingen, November 2008, CiF-pub 6, 2009

T. Reif: "Vergleichsanalyse geothermischer Wärme-Projekte". Geothermie-Kongress, Bochum, 2007, GtV

T. Reif, H. Klapperich: "Vergleichsanalyse geothermischer Wärme-Projekte - Geothermie-Wärme-Projekte im Vergleich". Tagungsband 2007 Energie Fläche; CiF e. V. publication 5, 2007, ISSN 1613-4753, S. 173 - 190

C. Schrage, H. Kreuter: "Geologischer Hintergrund von Fündigkeitsversicherungen". Geothermie-Kongress, Bochum, 2007, GtV

R. Schramedei: "Geothermie - Chancen für Wärme und Strommarkt". MIT-Tagung "Energie der Zukunft - Zukunft der Energie, Hattingen, November 2008, CiF-pub 6, 2009

W. Wehr: "Betonrüttelsäulen (BRS) als Energie-/Klimapfähle". Geothermie-Kongress, Bochum, 2007, GtV

K. Winkler, R. Bracke, G. Bussemann: "Integration geothermischer Energiesysteme in städtebauliche Entwicklungsvorhaben am Beispiel des Plangebietes Bottrop-Kirchhellen". Geothermie-Kongress, Bochum, 2007, GtV