

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 90 (1999)

Heft: 18

Artikel: Deep Heat Mining

Autor: Minder, Rudolf

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-901976>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

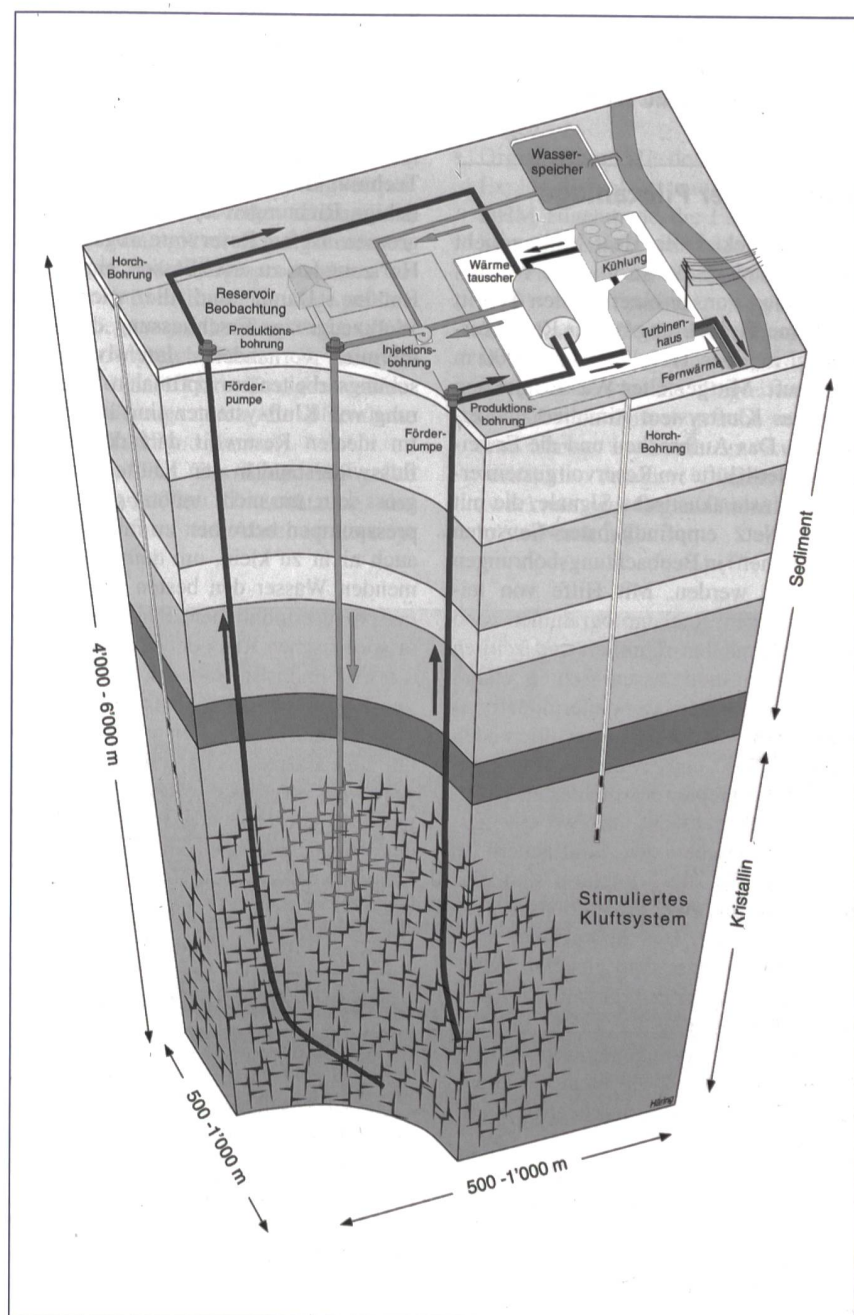
Deep Heat Mining

Die Geothermie ist ein nachhaltig nutzbarer Primärenergieträger, der an der Schwelle zur wirtschaftlichen Anwendung steht und im globalen Rahmen in absehbarer Zukunft substantiell zur CO₂-Reduktion beitragen kann. Das geothermische Reservoir ist unerschöpflich und weltweit verfügbar. Geothermie ist als einziger der neuen CO₂-freien Energieträger bedarfssteuerbar: sie ist jederzeit verfügbar, unabhängig von saisonalen, klimatischen und tageszeitlichen Einflüssen. Natürliche geothermische Vorkommen werden bereits seit langer Zeit zur Strom- und Wärmegewinnung genutzt. Neue kostengünstige Bohrtechniken und die Erfahrungen aus Forschungs- und Pilotanlagen ermöglichen die Nutzung der tief liegenden Erdwärme in naher Zukunft auch in Gebieten ohne natürliche geothermische Quellen. Dieses Verfahren wird oft mit dem Ausdruck «Hot Dry Rock» (bzw. «Hot Wet Rock») bezeichnet. Die Schweiz kann mit der Entwicklung der Deep-Heat-Mining-Technologie einen Beitrag zur langfristigen Entschärfung der Treibhausgas-Problematik leisten, gleichzeitig exportfähiges Know-how schaffen und sich als Vorreiter in einem global zukunftsreichen Markt positionieren.

■ Rudolf Minder

Das DHM-Prinzip

Das Ziel des Projekts Deep Heat Mining (DHM) ist die Realisierung einer Pilotanlage zur Produktion von Strom und Wärme als erster Schritt zur wirtschaftlichen Anwendung der Hot-Dry-Rock-Technologie. Beim Heat Mining, zu deutsch auch Wärmebergbau genannt, wird Wasser mittels einer Injektionsboh-



Das Prinzip eines DHM-Systems mit Wärme- und Stromerzeugung.

Adresse des Autoren
 ARGE Deep Heat Mining
 (Häring Geo-Project, Polydynamics
 Engineering, Minder Energy Consulting)
 Dr. Rudolf Minder
 Ruchweid 22
 8917 Oberlunkofen

rung in Tiefen mit einer Felstemperatur von rund 200 °C gepumpt. In der Schweiz entspricht dies Tiefen von rund 5000 Metern. Das unter hohem Druck stehende Wasser erweitert vorhandene Gebirgsklüfte und nimmt Wärme auf. Eine oder mehrere in der Nähe liegende Produktionsbohrungen fördern das erhitzte Wasser zutage. Ein Wärmetauscher überträgt die Energie auf den Kreislauf eines thermischen Kraftwerks. Das abgekühlte Wasser gelangt im geschlossenen Kreislauf durch die Injektionsbohrung ins Gebirge zurück und heizt sich erneut auf. Je nach Situation kann eine Heat-Mining-Anlage als reines Kraftwerk zur Stromproduktion oder auch als Heizkraftwerk zur kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme ausgelegt werden. Ebenfalls ist eine reine Wärmegewinnung denkbar, wobei unter Umständen die Bohrlochtiefe reduziert werden kann.

Konzept der Pilotanlage

Das Projekt Deep Heat Mining sieht eine Pilotanlage zur Strom- und Wärmegewinnung vor. In einem ersten Schritt wird eine Tiefbohrung bis ins Reservoirgestein in einer Tiefe von rund 5000 m abgeteuft. Mit gezielter Wasserinjektion wird das Kluftsystem stimuliert und erweitert. Das Aufbrechen und die Erweiterung der Klüfte im Reservoirgestein erzeugt feinste akustische Signale, die mit einem Netz empfindlichster Sensoren (Geophonen) in Beobachtungsbohrungen registriert werden. Mit Hilfe von leistungsstarken Rechenprogrammen sind die Signalquellen räumlich und zeitlich lokalisierbar und lassen sich in einem dreidimensionalen Computermodell visualisieren. Mit der daraus resultierenden Kenntnis wird eine zweite Bohrung gezielt in das Gebiet des dichtesten Kluftnetzes niedergebracht, um dort eine Zirkulation zwischen den Bohrlöchern zu erreichen. Für die Pilotphase sind eine Injektions- und zwei Produktionsbohrungen vorgesehen. Das Bohrgelände wird so konzipiert, dass vom gleichen Standort aus zusätzliche Bohrungen zur stufenweisen Erweiterung der Anlage möglich sind. Für die Stromgeneration und die Nutzung der Abwärme kann auf bestehende Technologie zurückgegriffen werden.

Von der Pilotanlage ist eine elektrische Leistung von 3 MW und eine thermische Leistung von 20 MW zu erwarten. Erreicht wird diese Leistung bei einem Heisswasserstrom von 75 l/s mit einer Temperatur von gegen 200 °C. Für die Pilotanlage wurden zehn Standorte in

der Nordschweiz und zwei Standorte in der Westschweiz evaluiert. Mit den Industriellen Werken Basel (IWB) konnte ein Partner gefunden werden, der sich bereit erklärt hat, die Planungsarbeiten sowie eine erste Sondierbohrung in Basel finanziell zu unterstützen.

Die Auswahl des definitiven Anlagenstandorts hängt von den laufenden energetischen Abklärungen zur Einspeisung der Wärme ins FW-Netz und den Ergebnissen der Sondierbohrung ab. Sie erfolgte im Sommer 1999.

Aktueller Stand der Technik

Für die Erdölexploration wurden in den letzten Jahren in der geophysikalischen Vorerkundung und in der Tiefbohrtechnik gewaltige Fortschritte erzielt. Die dreidimensionale Abbildung von Gesteinsgrenzflächen in grossen Tiefen mit Hilfe der Seismik ist Stand der Technik. Bohrungen metergenau in beliebige Richtungen abzulenken und auf grossen Tiefen Reservoirs sogar in der Horizontalen zu erschliessen, sind heute Routine. Damit sind die wichtigsten Werkzeuge zur Erschliessung der Geothermie vorhanden. Intensive Forschungsarbeiten zur optimalen Stimulierung von Kluftsystemen sind im Gange. Im idealen Reservoir darf der Durchflusswiderstand in den Klüften nicht zu gross sein, um nicht unnötig grosse Einpresspumpen betreiben zu müssen, aber auch nicht zu klein, um dem durchströmenden Wasser den besten Wärmeaustausch zu ermöglichen. Für diese standortspezifischen Rahmenbedingungen hat die Erdölindustrie mit der Entwicklung von Frac-Techniken (kontrolliertes Aufpressen und Offenhalten von Klüften in Öl- und Gasreservoirs) ebenfalls schon sehr weit vorgespurt. Diesbezüglich liegen auch überzeugende Testresultate aus der Versuchsanlage der Europäischen Union im elsässischen Soultz-sous-Forêts vor.

Langzeit-Zirkulationsversuch

Von Mitte Juli bis Mitte November 1997 fand in dieser Versuchsanlage ein Langzeit-Zirkulationsversuch statt, welcher alle Erwartungen erfüllt oder sogar übertroffen hat. Der durchschnittliche Volumenstrom des zirkulierenden Wassers betrug 24 l/s. Die Produktionstemperatur in diesem zwischen 2600 m und 3500 m liegenden Reservoir stieg bis 142 °C bei einer Reinjektionstemperatur von 70 °C. Besonders ermutigend ist die

Abnahme der hydraulischen Impedanz im Laufe des Experiments: Das Druckgefälle zwischen der Injektionsbohrung und der Produktionsbohrung hat sich sukzessive verringert, das heisst der erforderliche Einpressdruck hat sich reduziert, was einen positiven Einfluss auf den Hilfsenergie-Verbrauch und damit auf den Betriebsaufwand hat. Damit kann erwartet werden, dass bei ähnlichen Standortbedingungen auch bei einer DHM-Pilotanlage der Energieaufwand für die Injektionspumpen in einem vernünftigen Verhältnis zur gewonnenen Energie stehen wird. Eine weitere positive Erkenntnis ist, dass sich das System nach periodischen kurzen Abschaltungen innert weniger Stunden wieder auf die volle Leistung hochfahren liess, was ein wichtiger Umstand für den wirtschaftlichen Dauereinsatz solcher Systeme sein wird.

Energie- und Systemplanung

Die Arbeiten im Bereich der Energie- und Systemplanung konzentrierten sich auf energiewirtschaftliche sowie energie-technische Aspekte. Aufgrund von umfangreichen Literaturauswertungen und Gesprächen mit Experten wurde ein DHM-spezifisches Wirtschaftlichkeitsmodell erarbeitet. Dieses bietet insbesondere die Möglichkeit, die Sensitivität der betriebswirtschaftlichen Kennwerte bezüglich technischer, marktbezogener und volkswirtschaftlicher Parameter zu untersuchen. Damit können die wirtschaftlichen Risiken eines DHM-Projekts quantifiziert werden. Dieses Modell ermöglicht insbesondere die Untersuchung der relevanten Faktoren bei Wärme-Kraft-Kopplung. Als erste Anwendung wurden mit diesem Modell Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um die Bedeutung der wichtigsten technischen und ökonomischen Einflussgrössen zu bestimmen. Diese zeigten zum Beispiel, dass der Wirkungsgrad des DHM-Kraftwerksteils von wesentlicher Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des Projekts ist.

Für vertiefte Untersuchungen im Gebiet der Energieumwandlungssysteme wurde eine systemtechnische Parameterstudie in Zusammenarbeit mit dem Laboratoire d'Énergie Industrielle (LENI) der ETH Lausanne (Prof. Daniel Favrat) begonnen. Ziel dieser Studie ist es, Aussagen zu erhalten, welche der in Frage kommenden Systeme (wie Wasserdampf, Organic rancing calce, ORC, mit verschiedenen Arbeitsmedien, Kalina-Cycle und andere Mehrstoff-Kreisläufe) – abhängig von den jeweiligen Bedingungen – am vorteilhaftesten sind. Erste

Das Projekt Deep Heat Mining wird unterstützt vom Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL)

Resultate zeigen, dass Ammoniak-Wasser-Gemische interessante Eigenschaften für den DHM-Temperaturbereich von 170 bis 210°C aufweisen.

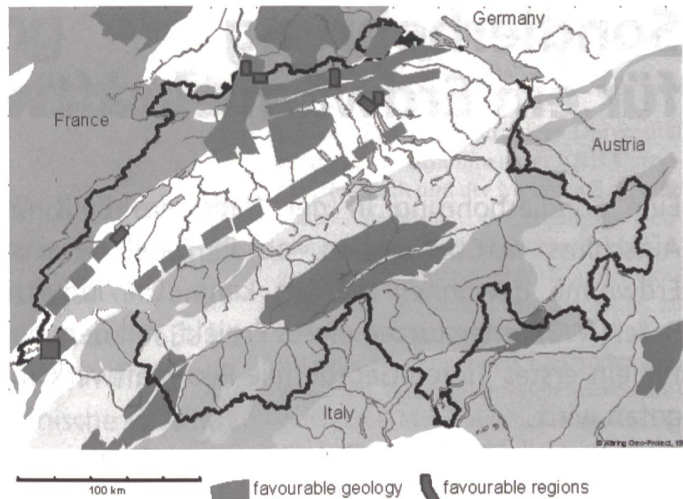
Da es fest steht, dass eine DHM-Stromproduktion in der Pilotanlage nur in Kombination mit gleichzeitiger Einspeisung von Wärme in ein Wärmenetz in Frage kommt, wurden zunächst allgemeine Untersuchungen betreffend der Einspeisung der DHM-Wärme in ein bestehendes Fernwärmenetz durchgeführt. Der Aspekt der Integration der DHM-Anlage in ein bestehendes Fernwärmenetz wird nun für den konkreten Fall der Industriellen Werke Basel im Detail untersucht. Vergleicht man die aktuelle im Fernwärmesystem Basel umgesetzte Wärmemenge mit der in einem DHM-Pilotkraftwerk erzeugbaren Menge ergibt sich, dass etwa 10% des Wärmebedarfs durch die DHM-Pilotanlage gedeckt werden könnten. Gleichzeitig könnte die jetzige jährliche Stromproduktion, abhängig vom Netzbetrieb, von heute 48,5 GWh auf etwa 70 GWh erhöht werden.

Ausblick

Der Gesamtprojektrahmen wurde mit dem bisher termingerechten Erreichen der Ziele weitgehend eingehalten. Das Projektteam ist entschlossen, auch die nächsten gesetzten Meilensteine ohne Verzug zu erreichen. Das Arbeitsprogramm für das Jahr 1999 umfasst die folgenden wichtigsten Aufgabenbereiche und Aktivitäten:

- Sondierbohrung: Erfolgreicher Abschluss der 2000-m-Sondierbohrung in Basel.
- Wahl Anlagestandort: Abschluss der erngietechnischen Abklärungen zur Einbindung der Wärmeenergie in das FW-Netz von Basel. Die Erkenntnisse aus dieser Evaluation zusammen mit den Resultaten der Sondierbohrung sind für den Entscheid für einen der drei möglichen Pilot-Anlagestandorte massgebend.

Für Deep Heat Mining günstige Gebiete.



- Finanzierung 1. Tiefbohrung: Parallel zur Sondierbohrung müssen zusätzliche Partner zur Finanzierung zumindest der ersten 5000-m-Tiefbohrung gefunden werden. Als erfolgversprechende Partner werden international tätige Energieversorgungsunternehmen und Energieproduzenten sowie auch Bohrfirmen ins Auge gefasst. Um die entsprechenden Verhandlungen erfolgreich führen zu können, bedarf es auch klarer Zusagen weiterer Unterstützung durch die öffentliche Hand (Bund und Kanton).
- Standort Genf: Bis Ende 1999 sollte mit finanzieller Unterstützung des Kantons Genf ein Abnehmerkonzept von einem ausgewählten Standort sowie ein grobes Anlagenkonzept vorliegen.
- Organisation: Mit dem Eintritt in die Explorationsphase muss die ARGE DHM zunehmend die Funktion einer Management-Gesellschaft in beratender Funktion der Bauherrschaft (i.e. IWB) sowie weiterer Interessenten (z.B. Kanton Genf) wahrnehmen. Die technischen und wissenschaftlichen Arbeiten sowie die Begleitung der Feldarbeiten müssen in noch verstärktem Masse an Dritte im Auftragsverhältnis delegiert werden. Eine zweckmässige Organisationsform ist in Vorbereitung.

Deep Heat Mining

La géothermie est un vecteur durable d'énergie primaire qui se trouve au seuil de l'application rentable et qui, dans un cadre général, est susceptible de contribuer d'une manière substantielle à la réduction de CO₂ dans un avenir plus ou moins lointain. Le réservoir géothermique est inépuisable et disponible dans le monde entier. Seule parmi les vecteurs énergétiques exempts de CO₂, la géothermie peut être régulée en fonction des besoins. Elle est disponible en tout temps, indépendante des influences saisonnières, climatiques et journalières. Les gisements géothermiques naturels sont utilisés depuis longtemps déjà pour la production d'énergie électrique et de chaleur. Des techniques de forage récentes, avantageuses sur le plan financier, et les expériences acquises sur des installations de recherche et sur des installations pilotes permettront également, dans un proche avenir, l'utilisation de la chaleur propre de la terre résidant dans les grandes profondeurs dans des régions ne disposant pas de sources géothermiques naturelles. Ce procédé est souvent désigné sous la dénomination «Hot Dry Rock» (respectivement «Hot Wet Rock»).

Avec le développement de la technologie de Deep Heat Mining, la Suisse est en mesure d'apporter une contribution à l'atténuation à long terme de la problématique du gaz à effet de serre, de créer par la même occasion un know-how exportable et de se positionner en qualité de précurseur dans un marché global porteur dans le futur.