

## Energietechnische Nutzung von tiefen geothermalen Grundwasserreservoirs



HYDROISOTOP GMBH  
Woelkestraße 9  
85301 Schweitenkirchen

Tel. +49 (0)8444 / 92890  
Fax +49 (0)8444-928929  
eMail [info@hydroisotop.de](mailto:info@hydroisotop.de)  
Web: [www.hydroisotop.de](http://www.hydroisotop.de)

akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Isotopie & Chemie in Umwelthydrologie & Lebensmittel

WASSER

GEOthermie

MARKIERVERSUCHE

SCHADSTOFFE

FILTERTECHNIK

LEBENSMITTEL

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

ISOTOPE

GASE

FESTSTOFFE

ANALYTIK



## Tiefe Geothermie

### Eine natürliche Ressource nutzen

Unser Erdball ist zu 99 % heißer als 1.000 °C und nur 0,1% ist kälter als 100 °C. Die Temperatur im inneren Kern der Erde wird auf 5.000-7.000 °C geschätzt. Diese Wärmequelle strahlt permanent nach außen ab, wodurch ein Wärmestrom zur dünnen Erdkruste fließt. In Mitteleuropa ergibt sich somit ein Temperaturgradient von 3 °C pro 100 m in den oberflächennahen Schichten. Mithilfe spezieller Technologien kann diese Erdwärme zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung effektiv genutzt werden. Es können nicht nur Hochenthalpiefelder (>200 °C) genutzt werden, wie sie beispielsweise in Island oder im toskanischen Larderello zu finden sind, sondern auch Niederenthalpie-Lagerstätten und oberflächennahe geothermische Reservoirs. In Deutschland ist die Nutzung von geothermischer Energie aus hydrothermalen Lagerstätten vor allem im Süddeutschen Molassebecken, dem Norddeutschen Becken und dem Oberrheingraben möglich. Der große Vorteil dieser regenerativen Energieerzeugung ist die kontinuierliche, grundlastfähige und klimafreundliche Versorgung unabhängig von Umweltbedingungen und Rohstoffen.

### Funktionsweise Hydrogeothermie

Das Thermalwasser wird in der Regel aus Aquiferen in 1.000 m bis 5.000 m Tiefe über eine Pumpe in der Förderbohrung an die Oberfläche gebracht (tiefe Hydrogeothermie). Nach Durchlauf eines Wärmetauschers wird das nun abgekühlte Wasser anschließend wieder in die Schicht im Untergrund verpresst, aus der es entnommen wurde. Somit ist sichergestellt, dass sich das genutzte Wasser im Untergrund wieder erwärmen kann.

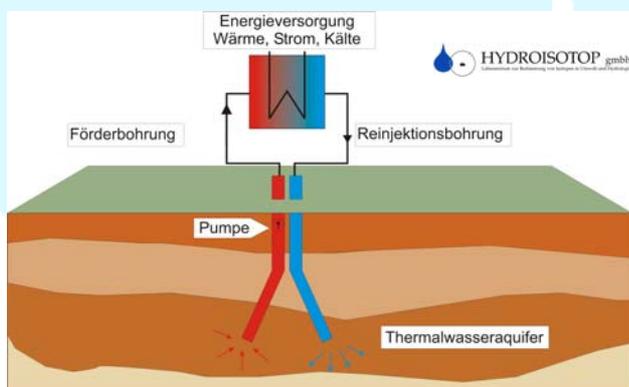


Abbildung: Schematischer Aufbau einer Geothermieanlage zur energetischen Nutzung eines hydrothermalen Systems

Die tiefen Geothermieprojekte werden vorwiegend zur Wärmeversorgung von Ortschaften und Stadtteilen mittels Fernwärmenetzen eingesetzt. Durch die Nutzung aller bekannten Ressourcen der hydrothermalen Geothermie könnte in Deutschland ca. ein Drittel des Wärmebedarfs abgedeckt werden. Bei einer entsprechenden Förderrate (>50 L/s) und Wassertemperatur (>100°C) bietet die Hydrogeothermie Potential für die Stromgewinnung. Hier werden Medien mit niedrigem Siedepunkt in einem separaten Kreislauf durch Wärmetauscherflächen aufgeheizt und zur Dampferzeugung genutzt. Mittels organischen Medien ist eine Stromerzeugung in Anlagen mit Organic-Rankine-Cycle (ORC) möglich. Alternativ werden Zweistoffgemische aus Ammoniak und Wasser im sogenannten Kalina-Verfahren eingesetzt.

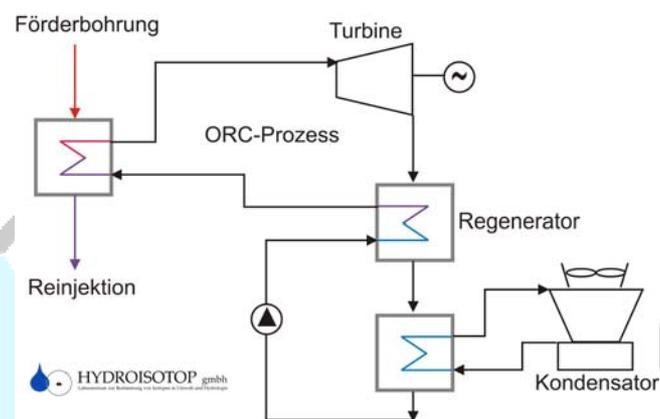


Abbildung: Schema ORC

Neben den hydrothermalen Systemen mit einem ergiebigen und wasserführendem Reservoir spielen die petrothermalen Systeme (Enhanced Geothermal System) kaum eine Rolle. Des Weiteren werden Erdwärmesonden mit einem geschlossenen, zirkulierendem Wasserkreislauf eingesetzt.

### Mehrfachnutzung

Geothermisch erschlossenes Tiefenwasser liefert nicht nur Energie und Wärme, sondern lässt sich darüber hinaus auch mehrfach nutzen. Die nachfolgenden Möglichkeiten tragen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei und steigern die Wirtschaftlichkeit des Projekts:

- Heizung und Kühlung mit Fernwärme
- Trocknung, z.B. Hackschnitzel oder Landwirtschaft
- Gewächshäuser
- Balneologie und Wellness
- Aquakulturen
- Mineral- und Heilwassergewinnung
- Quillkohlenensäure



## WASSERPARAMETER

### Hydrochemie, Gase, Isotopie

Die Grundlage für einen erfolgreichen Langzeitbetrieb eines geothermischen Kraftwerkes ist neben der Kenntnis der physikalischen Parameter (Druck, Temperatur, Förderrate) die genaue Charakterisierung des Reservoirs und des Thermalwassers. Diese Informationen über den Grundwasserchemismus sind für eine geothermische Erschließung unerlässlich. Daher bieten wir Ihnen Analysemethoden und Beratung zum besseren Verständnis des Thermalwassersystems und zur Reservoircharakterisierung.

Abhängig vom Gestein des Reservoirs ändert sich die hydrochemische Zusammensetzung des Wassers. Eine Analyse der Kationen- und Anionenzusammensetzung liefert somit wichtige Erkenntnisse über das geothermische System. Die Untersuchung von gelösten Gasen wie z.B. Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff, Stickstoff oder Methan ergeben eine charakteristische Signatur für die geothermischen Anlagen und Hinweise auf Korrosionspotential und mögliche Ausfällungen. Isotopenhydrologische Methoden anhand von Sauerstoff-18 und Deuterium lassen eine Charakterisierung der Bildungsbedingungen zu. Des Weiteren können Altersbestimmung oder Wasser-Gestein-Gas-Wechselwirkungen durch Isotopenanalysen abgeleitet werden.

Da in heißem Wasser unterschiedliche Gehalte an Mineralen und Gasen gelöst sind, kann ein Temperatur- bzw. Druckabfall bei der energetischen Nutzung des Thermalwassers zu gravierenden Ausfällungen und Korrosionserscheinungen führen. Stellvertretend sei das Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht genannt, das bei Förderung von Thermalwässern aus Kalkaquifern besonders zu beachten ist. Der hohe Gehalt an gelöstem CO<sub>2</sub> kann bei Druck-, Temperatur- und pH-Veränderungen zu massiven Ausfällungen von Calciumkarbonat entsprechend der folgenden Reaktionsgleichung führen:

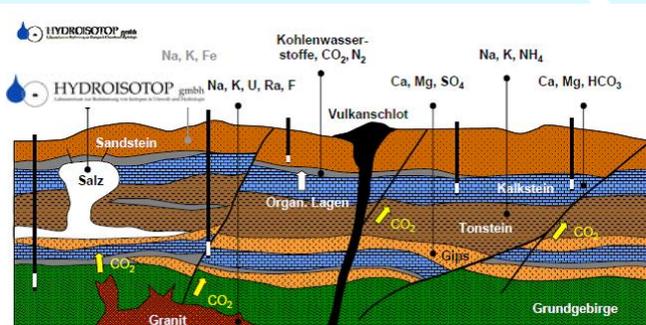
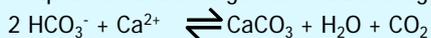


Abbildung: Profilskizze verschiedener Tiefengrundwässer in unterschiedlichen Gesteinsschichten

## FESTSTOFFE

### Filterrückstände, Ausfällungen, Korrosion

Die petrologische, mineralogische und geochemische Charakterisierung von Gesteinen des Reservoirs, Filterrückständen, Ausfällungen und Korrosionsprodukten liefert Informationen über das Nutzungspotential, sowie mögliche Betriebsprobleme und Materialbeanspruchung bei der Nutzung von geothermischen Thermalwässern. Die Feststoffe werden mit mikroanalytischen Methoden untersucht und charakterisiert. Neben Form und Farbe, spielt v.a. die Größe der Partikel eine Rolle. So können mitgeschwemmte Gesteinsbruchstücke aus dem Reservoir neben Ausfällungen aus dem Thermalwasser auch Betriebsstörungen hervorrufen. Schon die geringsten Veränderungen von Druck- und Temperaturbedingungen in den Leitungen und Wärmetauschern der Geothermieanlagen können zu unerwartet starken Ausfällungen, z.B. von Karbonaten führen und Zentimeter-dicke Beläge bilden. Diese lassen sich mit verfahrenstechnischen Veränderungen vermeiden bzw. durch Säuerung der Anlage bereinigen.



Abbildungen: Oberfläche eines Korrosionscoupons mit Korrosionsbelägen (links) und mineralischer Rückstand aus Filter (rechts)

Im Wasser gelöste Anionen von Chlor und Schwefel tragen maßgeblich zur Abzehrung der Werkstoffe durch Korrosionsvorgänge bei. Die gebildeten Chloride und Sulfide bilden Beläge auf den Werkstoffen, wobei sich unterschiedliche Korrosionstypen wie Pitting, Muldenbildung oder flächige Korrosion ausbilden können. Der beste Schutz der Bauteile besteht in geeigneter, auf den Chemismus des Thermalwassers abgestimmter Werkstoffauswahl. Wie stark die entsprechenden Werkstoffe durch das Thermalwasser angegriffen werden und wie hoch der Massenverlust durch Korrosionsangriff pro Zeiteinheit ist, kann durch Versuche mit Korrosionscoupons ermittelt werden, ohne zerstörende Untersuchungsmethoden an den Bauteilen der Anlage vornehmen zu müssen.



## Leistungsspektrum

### Thermalwasserverständnis

Durch die Erfahrung in zahlreichen Geothermieprojekten und Wasseranalytik bietet die Hydroisotop GmbH ein breites Spektrum an Leistungen zum besseren Verständnis des Thermalwassersystems, der Anlage und des Reservoirs. Die Interpretation physikalisch-chemischer, gasphysikalischer und isotope-hydrologischer Untersuchungen von Thermalwasser und Begleitgasen liefert wertvolle Informationen über:

- Hydrochemische Zusammensetzung
- Stabile Isotope, isotopehydrologische Charakterisierung
- Radioaktivität und Alterszusammensetzung
- Herkunftsbestimmung und Bildungsbedingungen
- Gaszusammensetzung und Edelgasgehalte
- Wasser-Gestein-Gas-Wechselwirkungen
- Cross-Formation-Flow
- Fließregime
- Reservoirgröße und Nutzbarkeit
- Mögliche Systemveränderungen
- Wechselseitige Beeinflussungen
- Korrosionspotential
- Ausfällungen, Belagsbildung, Scalings
- Biofilme, biologische Aktivität
- Havarieprävention

### Monitoring

Die langjährige Durchführung von Monitoring im Bereich der Geothermie macht Hydroisotop GmbH zum wertvollen Partner für die Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation von Pumpversuchen und Thermalwasserprobenahmen. Zudem bieten wir folgende Dienstleistungen an:

- Monitoring und Vermeidung von Ausfällungen
- Korrosionschemische Überwachung
- Analyse von Korrosionsprodukten
- Materialauslegung bezogen auf die Wasserchemie
- Validierung von Reinigungsverfahren/ -lösungen
- Langzeit- und technische Betriebsüberwachung

### Beratung

Neben Analytik und Monitoring bietet die Hydroisotop kompetente Beratung von der Planungsphase bis zum Anlagenbetrieb. Unsere Beratungsleistungen für die tiefe Geothermie sind :

- Erstellung von Machbarkeitsstudien
- Bewertung der Geologie und Hydrogeologie
- Modellierung von thermodynamischen Gleichgewichten auf Grundlage geochemischer Daten
- Planung, Koordination und Auswertung von Oberflächengeophysik
- Vorbereitung und Durchführung von Ausschreibe- und Vergabeverfahren
- Erstellen und Einreichen von Genehmigungsanträgen nach WHG, BayWG, BBergG, etc.
- Konzepte für geothermische Mehrfachnutzung und alternative Nutzung unergiebigere Bohrungen
- Reservoiranalyse zur Risikoeinschätzung für den Betrieb
- Materialauslegung bezogen auf die Wasserchemie
- Qualitätssicherung und Risikobewertung
- Technische Problemlösungen und Havarieprävention
- Konzeption von Sanierungsmaßnahmen und Optimierung des Betriebs
- Vermeidung von Korrosion und Ausfällungen durch Einsatz von Inhibitoren
- Aufbereitung und Filtration
- Planung, Betreuung und Durchführung von Forschungsprojekten

### Ausblick

Die vertiefte Untersuchung und Erforschung der tiefen Geothermie ist notwendig, um eine langfristige und effiziente Nutzung zu gewährleisten. Hydroisotop ist europaweit an Forschungsprojekten beteiligt, die sich u.a. mit Korrosion, Ausfällung sowie dem langfristigen Erhalt der Reservoirwegsamkeiten beschäftigen.



Rogner Bad Blumau (Architekt: Friedensreich Hundertwasser)