

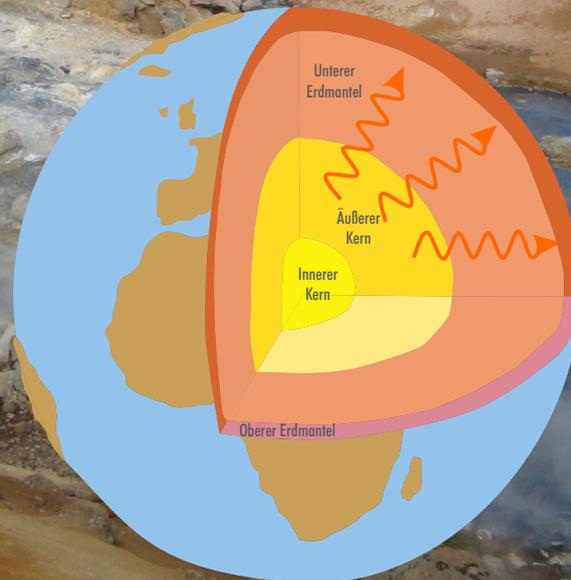
1992  
2017

25



GTN

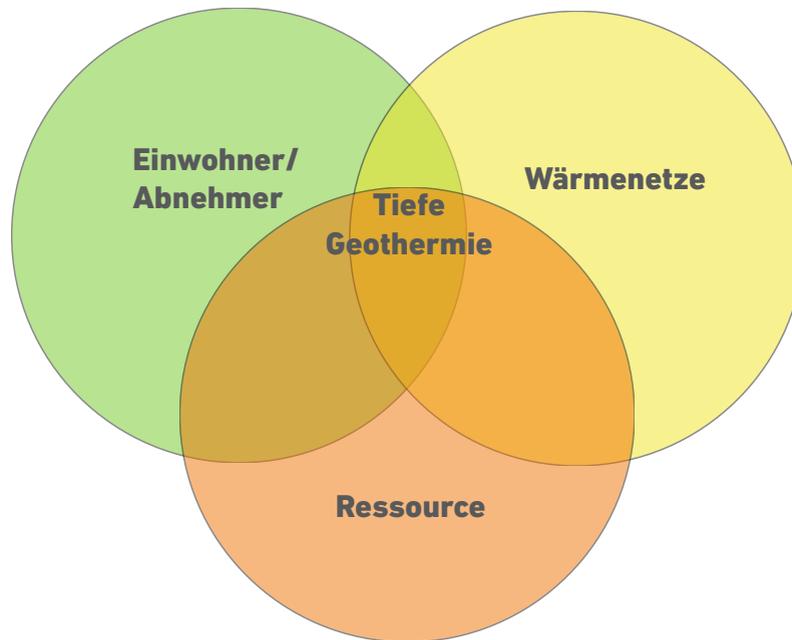
# Wärmeversorgung mittels tiefer Geothermie Schritt für Schritt von der Idee bis zum Betrieb





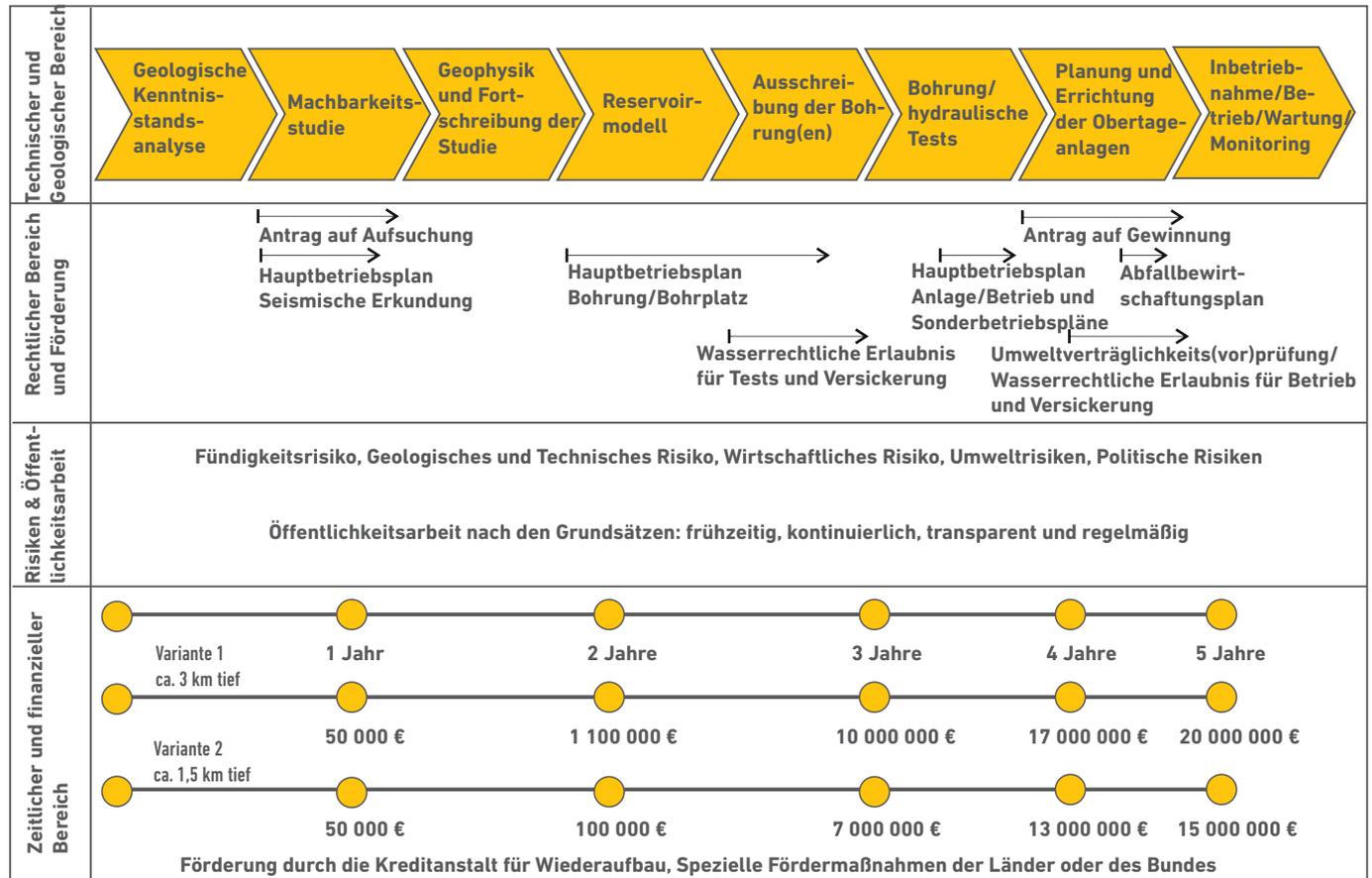
# Tiefe Geothermie

Der Umstieg auf eine tiefe geothermische Wärmeerzeugung kann sich bereits ab 5.000 zu versorgenden Einwohnern lohnen, wenn bereits ein zentrales oder dezentrales Heizwerk vorhanden ist und wenn eine geothermale Ressource, d. h. eine geologische Einheit, die in einer ausreichenden Tiefe eine gewisse Temperatur und eine hinreichende Wasserführung aufweist, vorhanden ist. Ebenso können größere Gebäude oder Gebäudekomplexe sich für eine tiefe geothermische Wärmeversorgung anbieten. Die schematische Abbildung zeigt, dass sich eine ökonomische Umstellung auf eine geothermische Wärmeversorgung aus der Schnittmenge von einer bestimmten Abnehmergröße, einem bestimmten Grad des Netzausbaus sowie bei Vorhandensein einer geologischen Ressource ergibt.



# Tiefe Geothermie

Die Projektentwicklung einer Geothermieanlage kann in verschiedene Bereiche gegliedert werden und sollte einem klaren und transparenten Entwicklungskonzept folgen. Dabei greifen die Arbeitsschritte zwischen den Bereichen ineinander und sind teilweise zeitgleich auszuführen. Dieser schematische Ablauf für eine erfolgreiche Verwirklichung eines Geothermieprojektes als Heizwerk verdeutlicht die zeitliche Abfolge von Arbeitsschritten und den zeitlichen und finanziellen Aufwand. Die einzelnen Arbeitsschritte werden in diesem Leitfaden kurz erläutert und mit Beispielen aus verschiedenen erfolgreichen Projekten veranschaulicht.



# Inhaltsverzeichnis

1. Geologische Kenntnisstandsanalyse.....	6
2. Machbarkeitsanalyse.....	8
3. Geophysikalische Erkundung und Fortschreibung der Studie.....	10
4. Reservoirmodell.....	12
5. Ausschreibung der Bohrung(en).....	14
6. Erste Bohrung, hydraulische Tests, weitere Bohrung(en).....	16
7. Planung und Errichtung der Obertageanlagen.....	20
8. Inbetriebnahme und Probetrieb.....	22
9. Betrieb, Wartung und Monitoring.....	24
10. Netzausbau und Erweiterung .....	26
11. Antrag auf Aufsuchung und Gewinnung.....	27
12. Risiko und Versicherung.....	28
13. Förderung und Finanzierung.....	29
14. Öffentlichkeitsarbeit und Bürgerbeteiligung.....	30
15. Weiterführende Literatur und Websites.....	31

# Geologische Kenntnisstandsanalyse

In der geologischen Kenntnisstandsanalyse wird zunächst die vorhandene Datenlage gesichtet und bezüglich des Standortes bewertet. Die Daten werden nach ihrem Informationsgehalt für den anvisierten Nutzhorizont sowie dem Untersuchungsgebiet bewertet und es werden Hinweise für weitere notwendige Untersuchungen gegeben.

## Ziel der Geologischen Kenntnisstandsanalyse

- > ist es, einen Grundwasserleiter in ausreichender Tiefe und Mächtigkeit zu ermitteln,
- > ist zudem die Bewertung der geothermischen relevanten Grundwasserleiter.

## Ressource

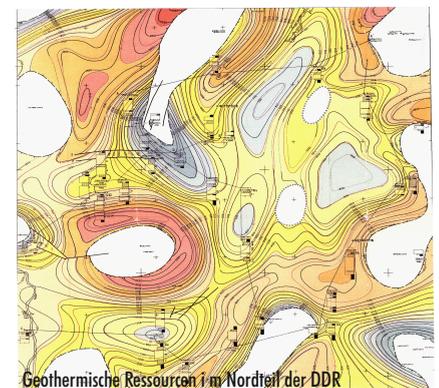
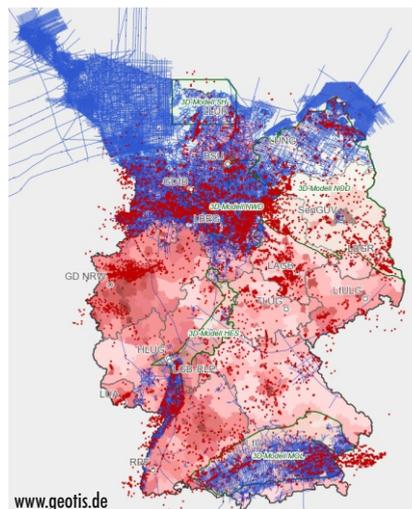
- > sind alle in Frage kommenden geologischen Einheiten, die eine Wasserführung in ausreichender Menge versprechen (Sandsteine, Karst, Klüfte),
- > zudem muss eine Ressource in ausreichender Tiefe mit der entsprechenden Temperatur vorliegen.

## Datenquellen

- > sind die Archive der geologischen Landesämter, Bundesämter, Firmen,
- > Literatur aus wissenschaftlichen Arbeiten, Gutachten, Kartenwerke.

## Art der Daten

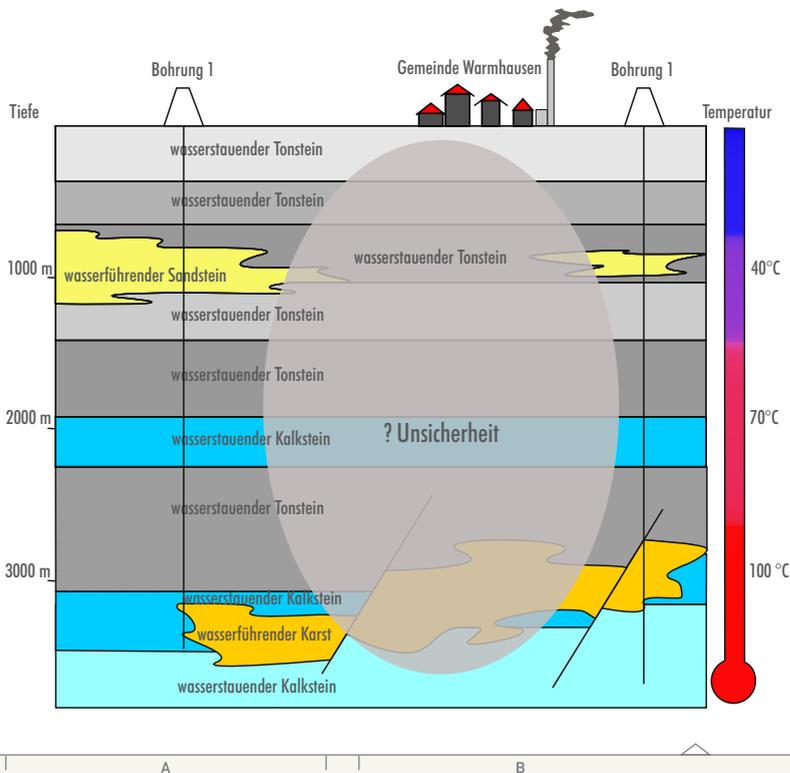
- > geophysikalische Erkundungen (z. B. Seismik, Geoelektrik, Magnetotellurik, Gravimetrie),
- > Altbohrungen (z. B. Bohrkerne, Bohrklein, Petrophysik, Bohrlochmessungen, Temperatur, Wasserchemie).



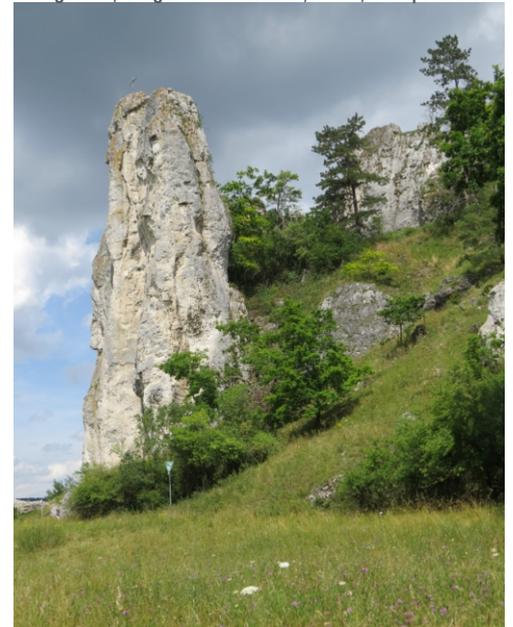
## Beispiel einer Geothermieanlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

Die Auswertung der verfügbaren geologischen Daten führt zu folgenden ersten Ergebnissen:

- > Es gibt in der Nähe von Warmhausen bereits zwei tiefe Altbohrungen, die einen Karstgrundwasserleiter erschlossen haben,
- > die daraus abgeleitete ungefähre Tiefenlage des Karstgrundwasserleiters kann mit ~3.500 m angegeben werden,
- > Temperaturmessungen bei einer der beiden Altbohrungen ergab eine Temperatur des Thermalwassers in 3.500 m Tiefe von ~120 °C,
- > Kartenwerke und Altbohrungen zeigten, dass der Karstgrundwasserleiter ~200 m mächtig ist,
- > Literaturlauswertungen der Altbohrungen zeigten eine durchschnittliche Permeabilität von ~500 mD für den Karstgrundwasserleiter,
- > das erlaubt eine Förderung von 80l/s bis 100 l/s bei einer vertretbaren Wasserspiegelabsenkung mit einer Temperatur von 110 bis 120 °C,
- > die Mineralisation des Thermalwassers wurde in den Bohrungsberichten mit ~5g/l angegeben,
- > die Kosten für die Datenrecherche und die geologische Kenntnisstandsanalyse betragen ca. 15.000 Euro,
- > die Anfertigung der Kenntnisstandsanalyse hat ungefähr 6 Wochen gedauert.



Karstgestein, Burgstein - Dollstein, Malm, Oberjura



# Machbarkeitsstudie

In der Machbarkeitsstudie werden unter Beachtung der Ergebnisse aus der geologischen Kenntnisstandsanalyse und den Rahmenbedingungen, die sich aus den vorhandenen (oder zu errichtenden) Wärmeabnehmersystemen ergeben, Konzepte der geothermischen Grundlastwärmeversorgung entwickelt und allseitig bewertet.

Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, die Frage grundsätzlich zu beantworten, ob und auf welche Weise an einem spezifischen Standort eine technisch machbare, wirtschaftlich arbeitende und ökologisch vorteilhafte und genehmigungsfähige tiefegeothermische Wärmeversorgung aufgebaut werden kann.

Die Machbarkeitsstudie baut auf den Ergebnissen der geologischen Kenntnisstandsanalyse auf. Sie setzt diese in Zusammenhang mit dem infrastrukturellen und energiewirtschaftlichen Umfeld und bereitet für den Projektträger die Entscheidung über die Fortsetzung seiner Aktivitäten am Standort vor. Sie leitet Empfehlungen zur weiteren Projektentwicklung ab, z. B. Neudatenerhebung im untertägigen Bereich, Vorzugstandorte, zeitliche Abläufe, weitere Untersuchungen im Abnehmersystem bzw. auch Zielrichtungen, in die das Abnehmersystem zu entwickeln ist.

Die technische Bearbeitungstiefe der Machbarkeitsstudie entspricht sowohl für die untertägigen als auch die übertägigen Systembestandteile den Planungsstufen der Grundlagenermittlung und Vorplanung der HOAI. Dabei setzen die übertägigen auf die im Untertagebereich erarbeiteten Konzepte auf.

Im Einzelnen werden die folgenden Bearbeitungsschritte notwendig:

- > Analyse der Energieversorgungs- und -bedarfssituation im Untersuchungsgebiet
  - > Versorger und deren Versorgungssysteme (Energieträger, technischer Status, Umwelt- und Preissituation etc.)
  - > Räumlicher und zeitlicher Verlauf der Heizleistungsnachfrage sowie der Vor- und Rücklauftemperaturen
- > Verschneiden der Informationen zum Untergrund mit der vorgenannten infrastrukturellen sowie der genehmigungsrechtlichen Situation und Auswahl von Untersuchungsgebieten und -standorten
- > Erarbeitung von Varianten technischer Konzepte der unter- und übertägigen Thermalwasserkreisläufe (genutzte Aquifere, Thermalwassermengen, Bohrungsanordnung, -gestaltung und -anzahl, der Energiewandlung (Wärmetauscher, Wärmepumpen, Stromerzeugungskreisprozesse), der Anlagen für die Mittel- und Spitzenlast sowie die Energieverteilung und -übergabe

- > Modellierung der Fahrweise der Systeme inkl. der Abschätzung der hydro- und thermodynamischen Prozesse im Erdboden
- > Energiebilanzen
- > Abschätzung der Investitionen und deren zeitlichen Abläufen
- > Ermittlung der kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen sowie der sonstigen Kosten im Betriebszyklus der geothermischen Anlagen
- > Wirtschaftlichkeitsbewertungen und -vergleiche, die i. d. R. nach den dynamischen Ansätzen der VDI 2067-1/VDI 6025 ermittelt werden
- > Es werden die Fördermöglichkeiten der verschiedenen Institutionen (KfW, Länder- und Bundesmittel, usw.) analysiert und in die Kalkulation einbezogen.
- > Analyse geologischer, technischer und wirtschaftlicher Risiken

# Geophysikalische Erkundung & Fortschreibung der Studie

Wir wollen wissen, was die Erde im Inneren zusammenhält (J. W. Goethe, Faust II).

So gibt es ein breites Spektrum an geophysikalischen Erkundungsmethoden, die das geologische Risiko eines Geothermieprojektes wesentlich verringern. Die geophysikalische Erkundung ist nicht verpflichtend, kann aber bei schlechter bis mäßiger Datenlage zu einer erheblichen Verringerung des Risikos beitragen und ist demnach zu empfehlen.

## Ziel der geophysikalischen Erkundung

- > ist es, die Tiefenlage und damit die Temperatur sowie die speziellen Lagerungsverhältnisse an dem geplanten Standort zu erfassen,
- > ist es, daraus das Fündigkeitsrisiko eines Grundwasserleiters zu verringern,
- > ist es weiterhin, die Bohrplanung zu verbessern und zu unterstützen.

Bei der Erkundung von geothermischen Standorten können unterschiedliche geophysikalische Verfahren zum Einsatz kommen. Die Wahl der Verfahren hängt von der lokalen Geologie, dem geplanten Erschließungskonzept und den finanziellen Abwägungen ab. Es empfiehlt sich zudem, unterschiedliche Verfahren zu kombinieren, um Mehrdeutigkeiten zu reduzieren.

Die seismische Erkundung (2D- oder 3D-Seismik) liefert von allen Verfahren das genaueste Abbild der Lagerungsverhältnisse, des Störungsbaus sowie der Teufen der Gesteinsschichten.

Hierbei wird der Untergrund über die Laufzeiten seismischer Wellen erkundet, die an den Trennflächen unterschiedlicher Gesteine reflektiert werden.

Elektromagnetische Verfahren (Gleichstromgeoelektrik, Transienten-Elektromagnetik, Magnetotellurik) liefern ein Abbild der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund. Mit ihrer Hilfe können gut leitfähige, geothermale Wässer und geothermal veränderte Minerale gefunden werden. Ein Vorteil gegenüber der seismischen Erkundung sind die geringeren Kosten elektromagnetischer Verfahren.

Bei der Gravimetrie werden lokale Unterschiede der Erdanziehung gemessen, die auf unterschiedliche Dichten von einzelnen Gesteinskörpern zurückzuführen sind. Damit können z. B. Sedimentmächtigkeiten und der Verlauf von Störungszonen untersucht werden. Aufgrund des relativ geringen zeitlichen und finanziellen Aufwandes, können gravimetrische Messungen auch in Vorbereitung einer seismischen Erkundung durchgeführt werden.

## Möglichkeiten der Durchführung

- > Zunächst können eventuelle Altdaten neu ausgewertet werden, dies spart Geld,
- > neue Messungen zielorientiert planen, durchführen und mit modernen Methoden auswerten.

## Fortschreibung der Studie

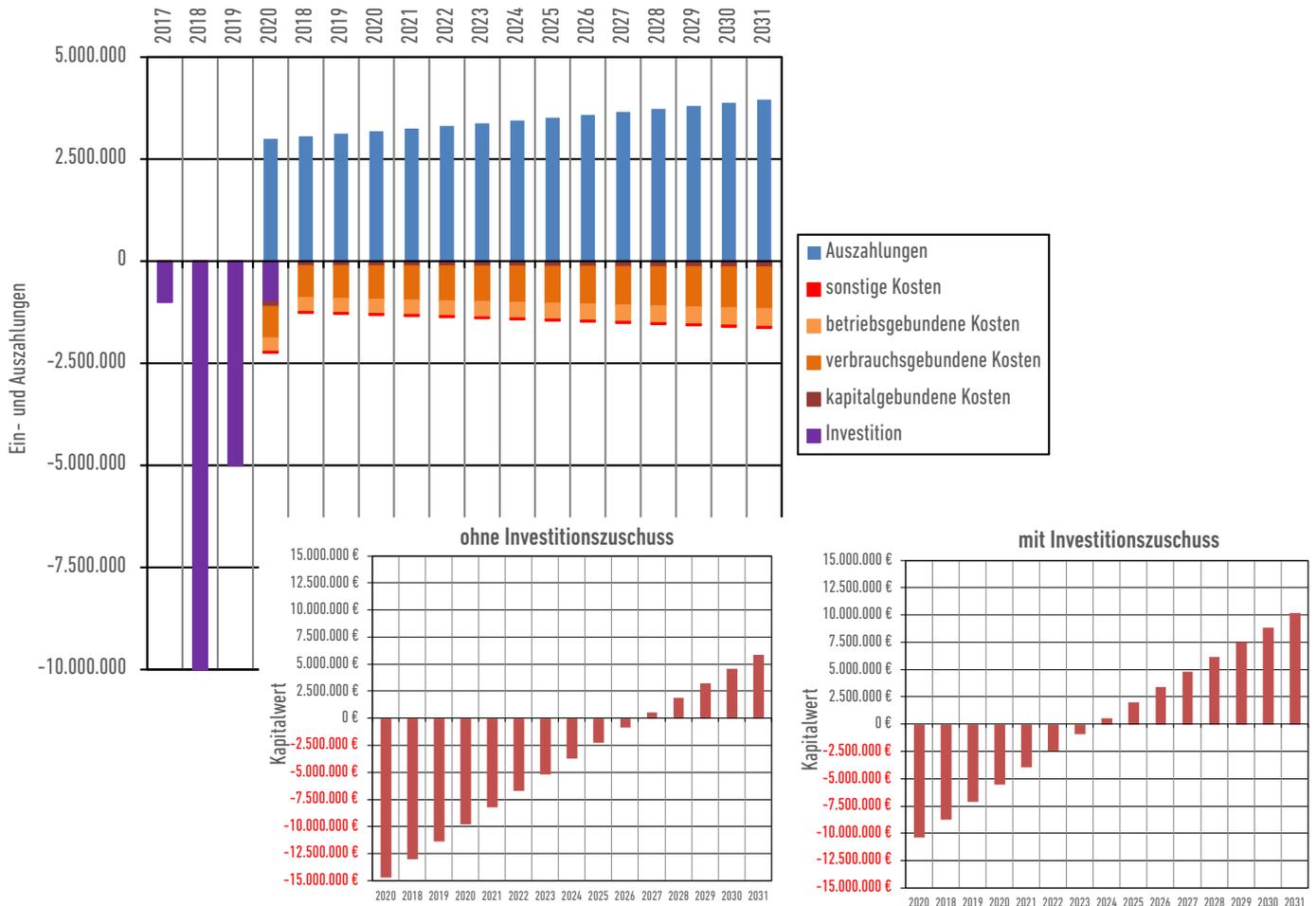
Nachdem die neu gewonnenen geophysikalischen Messdaten ausgewertet und bewertet sind, werden die Ergebnisse in die bisherige Planung eingearbeitet und die Gesamtsituation neu eingeschätzt.

So können sich z. B. die Teufenlage und damit die Temperatur, die Mächtigkeit oder auch die Verbreitung nun für den Standort anders darstellen. Diese neuen Erkenntnisse ergeben geänderte Primärparameter, so dass die betrachteten Merkmale aus der Machbarkeitsstudie, wie energetische Bilanzierung, Kapitalwert und damit die Wirtschaftlichkeitsbewertung, neu eingeschätzt werden müssen.

## Beispiel einer Geothermieranlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

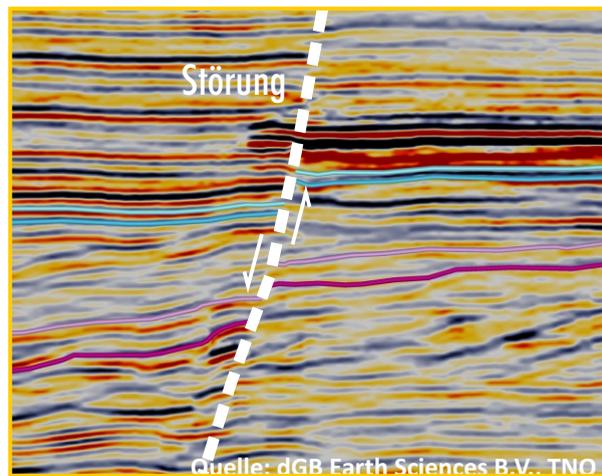
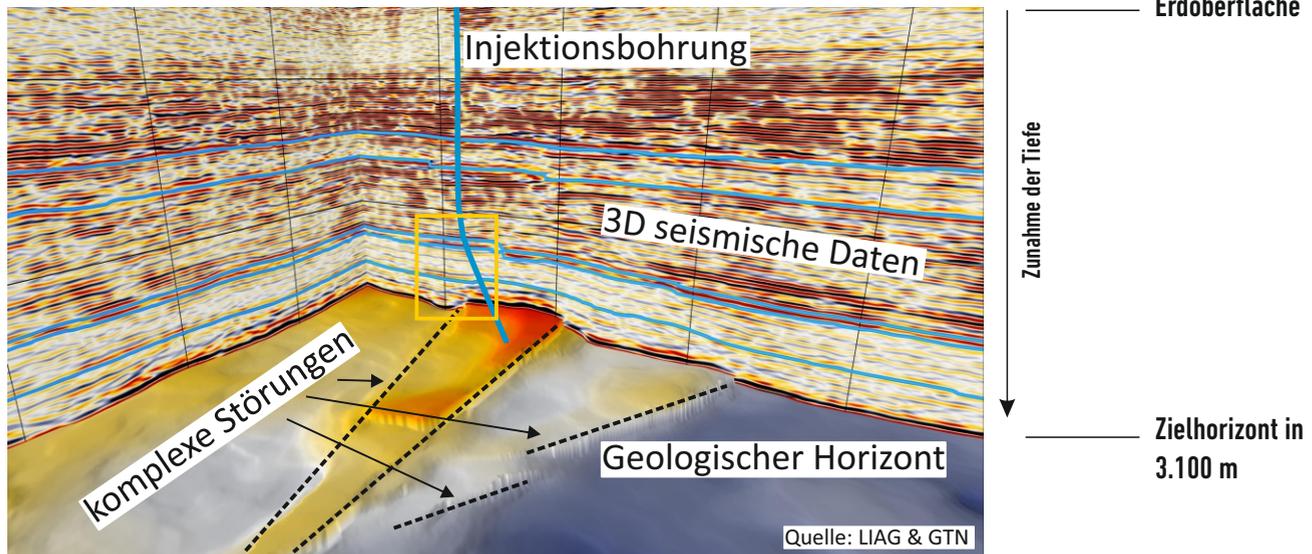
Die Machbarkeitsstudie führt zu folgenden Ergebnissen:

- > In Warmhausen gibt es bereits ein Fernwärmenetz, das von einem erdgasgefeuerten Heizwerk bedient wird.
- > Ca. 10.000 Haushalte mit einem jährlichen Wärmebedarf von 70.000 MWhth werden aus diesem Netz versorgt.
- > Für das neu zu errichtende geothermische Heizwerk mit einer Dublette (eine Injektions- und eine Förderbohrung), das ausschließlich in direkter Wärmeübergang arbeitet, werden vorläufig Investitionen im Umfang von auf etwa 17 Mio. Euro abgeschätzt.
- > Der anlegbare Preis für die Wärmeerzeugung liegt am Standort bei 50 Euro/MWh und der Strompreis für den Tiefpumpenantrieb bei 220 Euro/MWh.
- > Für dieses Vorhaben können Tilgungszuschüsse (KfW Programm Erneuerbare Energien "Premium", Tiefengeothermie) in einer Höhe von etwa 4,50 Mio. Euro in Anspruch genommen werden.
- > Nach 10 Jahren (ohne Subventionen) bzw. nach 7 Jahren (mit Subventionen) erreicht die Anlage bereits einen positiven Kapitalwert.



## Beispiel einer Geothermieanlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

- > Da die beiden Altbohrungen die geologischen Verhältnisse in Warmhausen nicht genau klären können und die Unsicherheiten aufgrund der häufigen Störungen noch relativ hoch sind, entschieden sich die Projektverantwortlichen für eine 3D-Seismik.
- > Die durchgeführte seismische Erkundung zeigte die exakte Tiefe des anvisierten Reservoirs am Standort in 3.100 m mit einer Mächtigkeit von ca. 165 m.
- > Die etwas verringerte Tiefe zieht auch eine etwas geringere Temperatur nach sich, bei 3.100 m wird nun von einer Temperatur von ca. 116 °C ausgegangen.
- > Die Ergebnisse der Seismik verbesserten die Datenlage deutlich und das Vorhandensein des Grundwasserleiters in einer Tiefe von ca. 3.100 m wurde bestätigt.
- > Die Kosten für die 3D-Seismik betragen etwa 1.000.000 Euro, somit ergeben sich Gesamtkosten bis dato von ca. ~1.075.000 Euro.



Geologische Formationen sind entlang einer Störungszone gegeneinander versetzt.

Störungszonen sind häufig durch erhöhte hydraulische Leitfähigkeiten charakterisiert und stellen daher ein bevorzugtes Ziel geothermischer Exploration dar. In unserem Beispiel in Warmhausen wurde eine Abschiebung in 3.100 m identifiziert.

# Reservoirmodell

Numerische Simulationen mit Hilfe eines Reservoirmodells dienen in erster Linie zur Untersuchung der hydraulischen und thermischen Auswirkungen des Betriebes einer geothermischen Dublette. Sie sind somit essentiell für die Abschätzung der Ergiebigkeit des Thermalwasserleiters und für die Bestimmung des notwendigen Abstandes zwischen den zwei Bohrungen im Zielhorizont.

## Ziel des Reservoirmodells

- > Abschätzung der Ergiebigkeit des Thermalwasserleiters,
- > Abstandsdimensionierung der Bohrungen im Zielhorizont,
- > Grundlage für weitere bergrechtliche Genehmigungen

Das Reservoirmodell ist ein numerisches Modell, mit dessen Hilfe hydraulische und thermische Auswirkungen auf den Thermalwasserleiter durch den Betrieb einer geothermischen Dublette simuliert werden können.

Es basiert in erster Linie auf Informationen aus der geologischen Kenntnisstandsanalyse und den geophysikalischen Erkundungen. Dabei spielen geologische Strukturen (z. B. Störungen), Variationen in den hydrogeologischen Eigenschaften, Strömungsverhältnisse des Thermalwassers und die initiale Temperaturverteilung eine Rolle. Somit beschreibt es vereinfacht die thermisch-hydraulische Gesamtsituation des Thermalwasserleiters.

Mit Hilfe des so erstellten Reservoirmodells ist es nun möglich, die Ergiebigkeit des Thermalwasserleiters unter Berücksichtigung der geologischen/hydrogeologischen Gegebenheiten für verschiedene Szenarien im Langzeittrend abzuschätzen.

Der bedeutendste Aspekt der numerischen Simulationen ist die Bestimmung des notwendigen Abstandes zwischen den Bohrungen im Thermalwasserleiter (Aufschlagpunkt). Hierfür wird, in Abhängigkeit vom Bohrungsabstand, der Zeitpunkt berechnet, bei dem die Fördertemperatur infolge der Injektion von kaltem Wasser um 1 Kelvin reduziert wird. Dies wird als thermischer Durchbruch bezeichnet.

Der thermische Durchbruch sollte so lang wie möglich vermieden werden, wobei der Abstand der Bohrungen voneinander so gewählt werden sollte, dass eine hydraulische Kommunikation über den Thermalwasserleiter stets gegeben ist. Damit kann eine hydraulische Simulation genutzt werden, um den optimalen Abstand der Bohrungen zu ermitteln.

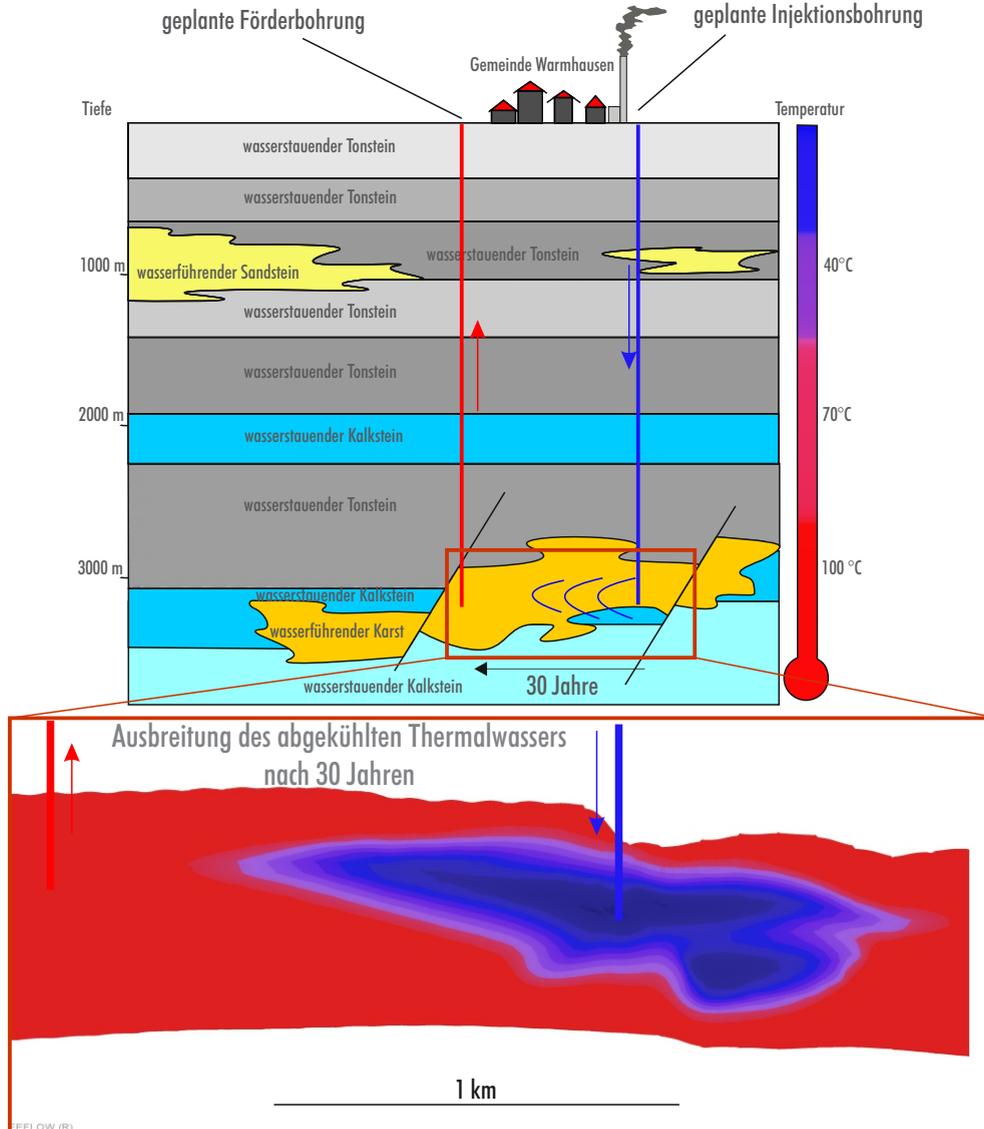
Abschließend bildet das Reservoirmodell die Grundlage für weitere bergrechtliche Genehmigungen, da nur mit diesem die hydraulische und thermische Auswirkung des Dublettenbetriebes im Bewilligungs- bzw. Genehmigungsfeld ermittelt und somit deren Größe festgelegt werden kann.

## Möglichkeiten der Durchführung

- > Numerische Simulation des thermisch-hydraulischen Zustandes im Thermalwasserleiter

## Beispiel einer Geothermieranlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

- > Das Reservoirmodell ergab, dass bei den in den Voruntersuchungen ermittelten hydraulischen Eigenschaften ein Aufschlagpunkt von ~2 km zwischen Förder- und Injektionsbohrung einzuhalten ist, damit das abgekühlte Thermalwasser erst nach 50 Jahren von der Injektionsbohrung bis zu der Förderbohrung gelangt.
- > Kosten bis dato ~1.100.000 Euro



# Planung der Bohrung(en)

Im Ergebnis der Machbarkeitsstudie steht die Vorzugsvariante einer Bohrungsdublette (Niveau Vorplanung mit Kosten-schätzung), die nun in Abstimmung mit dem Bauherren zur Ausschreibung vorbereitet wird. Die dafür erforderliche techni-sche Detailplanung der Bohrungen beginnt mit der Entwurfsplanung einschließlich Kostenberechnung. Mit der Ausführungsplanung und dem Erstellen der Ausschreibungsunterlagen wird das Bohrprojekt konkret.

## Ziel der Ausschreibung der Bohrung

- > Bohrplatzbau unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten (Natur-, Umwelt- und Lärmschutz)
- > Bohrlochkonstruktion mit Futterrohr-berechnung gemäß W.E.G und Festigkeitsnachweis nach API
- > Aufschlussintervalle gemäß geologi-scher Aufgabenstellung
- > Spülungsprogramm mit Materialein-satz
- > und Service/Überwachung gemäß geologischem Vorprofil
- > Geophysikalisches Messprogramm gemäß geologischer Aufgabenstel-lung/technischer Messungen
- > Richtbohrprogramm mit Service
- > Komplettierungsvarianten im Nutz-horizont (Openhole, Lochliner, Gravel-Pack)
- > Technologischer Ablauf der Bohr-, Mess-, Verrohr-, Zementier- und Kom-plettierungsarbeiten
- > Erstellung eines Zeit-Teufen-Dia-gramms
- > Entsorgungsprogramm für Bohrklein und Spülung
- > Ermittlung der Mindestanforderungen an eine Bohranlage (Größe, Hakenlast, Lärmschutz)

- > Kostenberechnung als Konkretisie- rung der Kostenschätzung der Studie

Die Planung der Bohrungen erfolgt mit der Option einer möglichen Anpassung der 2. Bohrung im Ergebnis der 1. Bohrung. Dies betrifft vor allem das Richtbohrprogramm mit einem angepassten Bohrungsverlauf, die Komplettierungsvariante und den technologischen Ablauf.

Die auf der Detailplanung basierende Kostenberechnung gibt dem Bauherren mehr finanzielle Sicherheit für die erforderlichen hohen Erstinvestitionen. Übers-chlägig kann man für die Kosten für tiefe Geothermiebohrungen in der Molasse ca. 2.000 bis 3.000 Euro/m einschließlich Standardbohrplatz ansetzen, wobei dies stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängt. Schlechter Baugrund, sensible Lokationen in Wohngebietsnähe und/oder im Bereich von öffentlichen Straßen und Verkehrsanlagen können die Bohrplatz-kosten (ca. 10 % der gesamten Bohrungs-kosten) schnell verdoppeln. Grundstücks-kosten sind immer zusätzlich zu betrach-ten, da dies nicht kalkulierbar ist.

Das Erstellen einer Tiefbohrung hat immer eine große Außenwirkung auf Menschen und Umwelt und muss deshalb neben allen bergrechtlichen Vorschriften auch um-weltrechtliche Belange beachten.

Dazu ist im Rahmen des bergrechtlichen Genehmigungsverfahrens immer auch eine umweltfachliche standortbezogene Vorprüfung durchzuführen, deren Ergeb-nisse in die bergrechtliche Genehmigung einfließen.

Die zum Einsatz kommenden Bohranlagen werden von Bohrunternehmen gestellt, die auch in der Erdöl/Erdgas-Erkundung und -Erschließung tätig sind. Diese bohrtechni-sche Ausrüstung wird ebenfalls für das Erstellen von tiefen Geothermiebohrungen genutzt. Die Kosten für Technik, Material und Spezialservice (Bohrwerkzeuge, Spü-lung, Richtbohren, Bohrlochmessung, Ver-schrauben und Zementation) sind Bran-chenpreise für die Erdöl/Erdgas-Industrie und deshalb für die Geothermie ein großer Kostenfaktor.

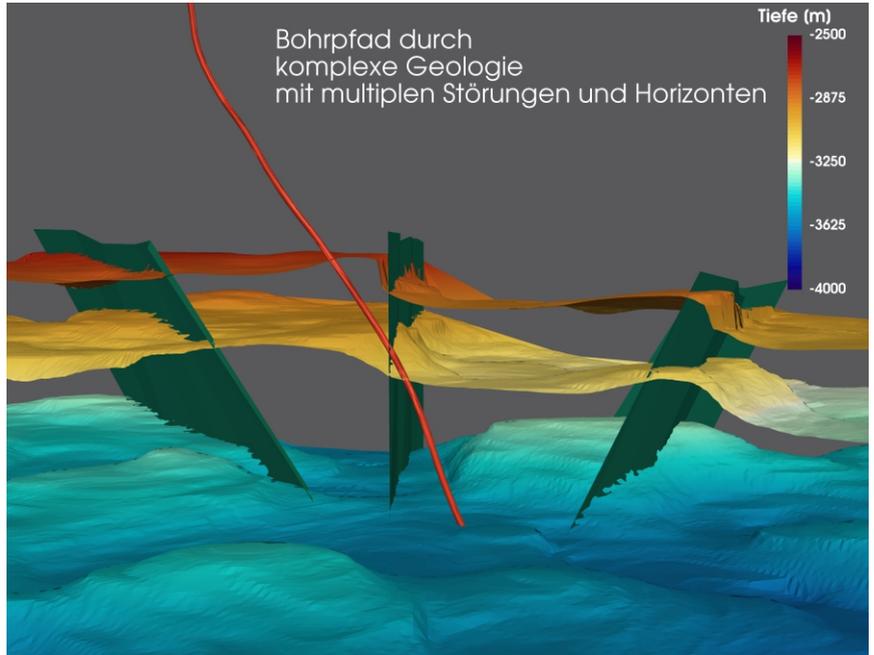
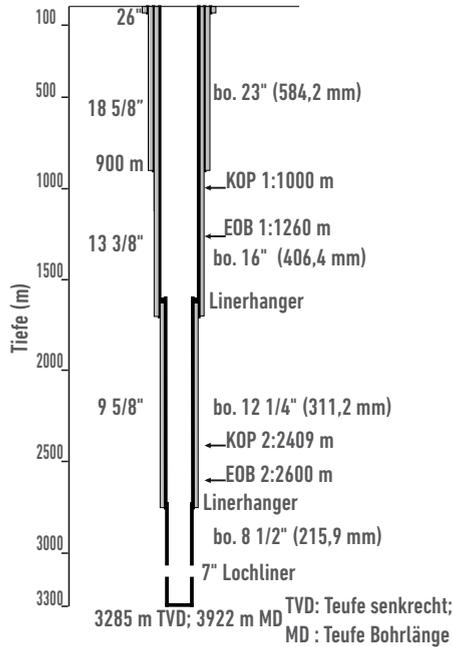
## Möglichkeiten der Durchführung

- > Erfahrung von früheren und ähnlichen Bohrprojekten
- > Nachfrage und Kostenvorschläge von Bohrunternehmen

## Beispiel einer Geothermieanlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

- > Die Bohrkonzepktion für die erste Bohrung liegt vor.
- > Kosten bis dato ~1.200.000 Euro

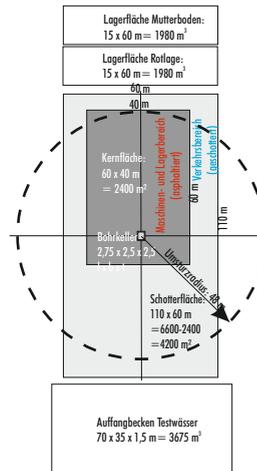
### Bohrlochkonstruktion (Aufbau)



### Kostenauflistung

Kosten	Kostenkalkulation Förderbohrung Gt Warmhausen 1	
	von	bis
Bohrplatzbau	1.200.000 €	1.400.000 €
Bohrarbeiten	3.300.000 €	3.500.000 €
Bohrwerkzeuge	170.000 €	190.000 €
Spülung und Service	300.000 €	340.000 €
Richtbohrservice	400.000 €	500.000 €
Rohmaterial (Casing)	750.000 €	900.000 €
Rohreinbau Service	120.000 €	150.000 €
Zementation	120.000 €	130.000 €
Bohrlochmessungen	270.000 €	290.000 €
Bohrlochkopf (Wellhead)	70.000 €	80.000 €
Stimulation (Säuerung)	50.000 €	60.000 €
Testarbeiten	600.000 €	650.000 €
Entsorgung Spülung, Bohrklein	200.000 €	210.000 €
<b>Summe (netto)</b>	<b>6.350.000 €</b>	<b>7.000.000 €</b>

### Bohrplatzgestaltung



# Erste Bohrung, hydraulische Tests, weitere Bohrung(en)

Es ist soweit. Die erste Bohrung wird gebohrt und nun wird sich zeigen, ob die Ergebnisse aus den vorangegangenen Schritten auf die tatsächliche Situation zutreffen. Ist dem so, werden hydraulische Tests durchgeführt, um die Eigenschaften des Thermalwasserleiters genau zu ermitteln und um die Modellrechnungen für die Ergiebigkeit zu validieren.

## Ziel der Bohrung

- > ist es, die tatsächliche geologische Situation am Standort zu erfassen und den anvisierten geothermischen Nutzhorizont mit dem gewünschten Bohrdurchmesser zu erbohren,
- > ist es weiterhin, durch geeigneten Bohrungsausbau das Thermalwasser nach oben zu befördern.

## Ziel der hydraulischen Tests

- > ist es, die Produktivität der Bohrung zu bestimmen (Ergiebigkeit der Bohrung),
- > ist es weiterhin, die genaue chemische Zusammensetzung des Thermalwassers zu ermitteln.

Während der Bohrung wird ein geologisches Schichtenmodell erstellt und mit dem Vorprofil aus der Machbarkeitsstudie abgeglichen. Nachdem die Bohrung die geplante Endteufe erreicht hat, wird das Bohrloch geophysikalisch vermessen und die wichtigsten gesteinsphysikalischen Parameter aufgezeichnet. Im Anschluss werden die hydraulischen Tests durchgeführt.

Diese bohrlochnahe geophysikalische Vermessung ist ähnlich der in Abschnitt 3 beschriebenen Methoden und basiert auf der Variation der Gesteinstypen hinsichtlich ihrer chemischen und strukturellen Zusammensetzung. Bei der Bohrlochgeophysik ist die Dokumentation und Auswertung der Gesteinsparameter in einer deutlich höheren Auflösung und teufengenau möglich. So können Porositäts- und Permeabilitätswerte für eine gewisse Schicht oder einen gewissen Thermalwasserleiter direkt ermittelt werden.

## Speicherkomplettierung

Die Komplettierung des nutzbaren Speicherbereiches ist das Herzstück einer jeden Geothermiebohrung. Hierbei ist es erforderlich, eine möglichst uneingeschränkte „barrierefreie“ Förderung bzw. Injektion in der Bohrung zu ermöglichen bei gleichzeitiger langfristiger Sicherung des Speichers vor Instabilitäten des Bohrloches.

Die beste Komplettierungsvariante ist die Openhole-Komplettierung, bei der die letzte zementierte Rohrtour an der Oberkante des Nutzhorizontes abgesetzt wird und das Thermalwasser ungehindert zu oder abfließen kann. Dies setzt jedoch ein sicheres und standfestes Bohrloch voraus, was in den meisten Fällen nicht gegeben ist. Sollten nach Aufschluss und Test des Speichergesteins Unsicherheiten bezüglich einer langfristig sicheren Standfestigkeit dieses Bereiches bestehen, ist in jedem Fall der Einbau einer Speicherkomplettierung vorzusehen, da der nachträgliche Reparaturaufwand nach Abzug der Bohranlage ungleich höher ist als die Komplettierungsmaßnahme.

Für klüftig-poröse Kalksteinspeicher des Molassebeckens empfiehlt sich immer der Einbau eines Lochliners als stützendes Element, wobei sich dabei der zusätzliche Druckverlust durch die Komplettierung in Grenzen hält.

Poröse Sandsteinspeicher des Norddeutschen Beckens werden in der Regel mit Wickeldrahtfiltern und Gravel-Pack komplettiert, um eine optimale Sandkontrolle langfristig zu gewährleisten.

Die hydraulischen Tests sind der erste wesentliche Schritt bei einem Geothermieprojekt, bei dem man erkennt, ob die vorhergesagte Förderrate von Thermalwasser mit der vorhergesagten Temperatur über einen bestimmten Zeitraum auch gefördert werden kann. Mit anderen Worten, bei den hydraulischen Tests erfährt man, wie wirtschaftlich (ergiebig) die Bohrung ist.

Bevor die hydraulischen Tests durchgeführt werden können, müssen allerdings noch andere Maßnahmen unternommen werden. Zunächst muss das Bohrloch gereinigt werden. Dies geschieht mit einem Reinigungslift. Dieser hat die Aufgabe, das Bohrloch von Spülungsresten sowie anderen Gesteinspartikeln zu reinigen. Das Reinigen des Bohrlochs verhindert im späteren Betrieb, dass Gesteinspartikel unerwünschte Auswirkungen wie Schäden an den Pumpen, Rohrleitungen oder Filtersystemen hervorrufen.

Eine weitere wichtige Funktion des Reinigungsliftes ist die Probenahme von Thermalwasser, da zu diesem Moment die noch unbeeinträchtigte Zusammensetzung des Thermalwassers gemessen werden kann. Dabei sind natürlich die durch den Bohrvorgang bedingten Beeinflussungen zu beachten und zu korrigieren. Dennoch stellen die bei dem Reinigungslift gewonnenen Daten die Vergleichsbasis zu den später im Betrieb gewonnenen Daten dar.

Mit einer Stimulation der Bohrung (z. B. Säurestimulierung im Molassebecken), bei der eine gewisse Menge an verdünnter Salzsäure (7 - 10 %) in das Reservoir gepresst und dort für einige Zeit belassen wird, können die Fließbedingungen im bohrlochnahen Bereich verbessert werden.

Die Salzsäure sorgt in karbonatischen Gesteinen für eine chemische Reaktion, in deren Folge durch Lösungsprozesse Klüfte, Poren und Karstsysteme sich weiten und sich die Durchlässigkeit deutlich erhöht. Sandsteine können durch Karbonate zementiert sein, d. h. der Porenraum zwischen den Sandkörnern ist zum Teil oder völlig mit Karbonaten gefüllt. Diese Karbonatzemente können durch Säurestimulation gelöst und abgeführt werden und es kommt somit zu einer deutlich verbesserten petrophysikalischen Eigenschaft des Sandsteins. Die Porosität und die Permeabilität können sich durch Säurestimulation von Sandsteinen deutlich erhöhen.

War die Stimulation erfolgreich, erfolgen die hydraulischen Tests zur Verifizierung der prognostizierten hydraulischen Annahmen. Die gebräuchlichste Methode zur Ermittlung der Ergiebigkeit der Bohrung ist ein Fördertest. Das Prinzip eines Fördertests ist es, dem Thermalwasserleiter über einen definierten Zeitraum und einer definierten Förderrate Thermalwasser zu entziehen und die daraus resultierenden Änderungen des Wasserspiegels im Bohrloch zu registrieren. Die umgekehrte Variante (Injektionstest) kann ebenso durchgeführt werden, um die Aufnahmefähigkeit einer Bohrung zu bestimmen. Allerdings kommt es hierbei zu chemischen und thermischen Veränderungen des Thermalwassers, da kaltes „Fremdwasser“ in den Thermalwasserleiter gepresst wird.

Im Molassebecken sind Thermalwasserzuflüsse oftmals an spezielle Kavernen oder Störungen gebunden. Die genaue Lokalisierung dieser Zonen kann mit einem Flowmeter-Test erfolgen. Hierbei kann aufgezeichnet werden, wo potenzielle Zuflüsse vom Reservoir ins Bohrloch auftreten und deren Temperatur bestimmen.

### Möglichkeiten der Durchführung

- > Bohren in Abschnitten und Entnahme von Cuttings und/oder Kernen
- > Geophysikalische Bohrlochvermessung
- > Ausbau des Bohrlochs mittels Rohrtouren, Lochliner, Filter, usw.
- > Austausch der Bohrspülung
- > Reinigung des Bohrlochs mittels Reinigungslift
- > Stimulierung des bohrlochnahen Bereiches zur Verbesserung der Porosität und Permeabilität
- > Hydraulische Tests zur Parameterbestimmung des Thermalwasserleiters
- > Anpassung der hydrogeologischen Modellierung



## Beispiel einer Geothermieanlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

- > Die erste Bohrung erschließt den anvisierten Thermalwasserleiter in einer Tiefenlage bei ca. 3.315 m mit einer Mächtigkeit von 169,5 m.
- > Tests zeigten, dass 100 l/s (0,1 m<sup>3</sup>/s) bei einer Absenkung des Wasserspiegels von 300 m gefördert werden können.
- > Das Thermalwasser hat eine Fördertemperatur von 113 °C.
- > Die Testergebnisse lassen auf eine Permeabilität von 140 mD und eine Produktivität von mindestens 370 m<sup>3</sup>/(h\*MPa) schließen.
- > Kosten bis dato ca. 8.000.000 Euro.
- > Nach erfolgreichen Tests und nachgewiesener Fündigkeit der ersten Bohrung erfolgt die zweite Bohrung nach dem eventuell angepassten Ablaufschema der ersten Bohrung.
- > Kosten bis zum Abschluss der zweiten Bohrung ca. 15.000.000 Euro

### Erfolgreicher Test einer Geothermiebohrung



A

B

C

D

1

1

2

2

3

3

4

4



A

B

C

D

# Planung und Errichtung der Obertageanlagen

In dieser Phase der Projektentwicklung wird das in der Machbarkeitsstudie in groben Zügen definierte Energiekonzept, d. h. das technische System aus Bohrungen, Energieübertragung bzw. -wandlung und Abnehmersystemen von der Entwurfsplanung bis hin zur ausführungsfähigen Lösung permanent fortgeschrieben. Die zwischenzeitlich erlangten und immer detaillierteren Informationen werden integriert.

## Ziel der Planung der Obertageanlagen

ist es, die am Standort erschlossene bzw. zu erschließende geothermische Ressource optimal auszunutzen, d. h., die in der Machbarkeitsstudie gefundene Lösung auch im zukünftigen Betrieb

- > energetisch effizient,
- > wirtschaftlich,
- > ökologisch sinnvoll,
- > nachhaltig,
- > betriebssicher,
- > sowie von der Bevölkerung akzeptiert zu gestalten.

Unter Einbeziehung der mittlerweile durchgeführten detaillierten Auswertungen zusätzlicher geologischer Informationen, der Ergebnisse geophysikalischer Messungen, der Testergebnisse der ersten abgeteufte Bohrungen, der darauf fußenden hydrogeologischen und geochemischen Modellierungen und auch der Präzisierung der Kenntnisse zum infrastrukturellen und abnehmerseitigen Umfeld werden im Umfang an das projektseitige Umfeld angepasst, die Systeme der Thermalwasser- und Sekundärkreisläufe sowie der Energieübertragung und -umwandlung geplant.

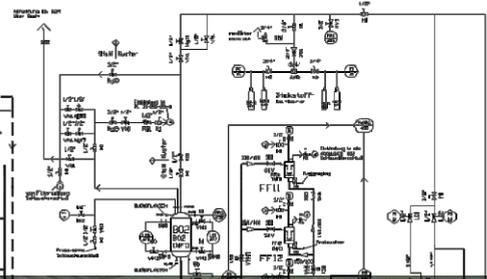
Der übertägige Thermalwasserkreislauf schafft die Verbindung zwischen den Bohrungen und der Wärmenutzung. Er wird durch die in der Förderbohrung installierte Tiefpumpe angetrieben und enthält die Wärmeüberträger sowie Ausrüstungen, die der Verfahrenssicherheit dienen (Überdruckhaltung, Schutzgasbeaufschlagung, Partikelfiltration). Die Planung muss hier neben den üblichen Ingenieurleistungen vor allem der Materialauswahl im Wechselspiel mit dem Thermalwasser sowie der Vermeidung von Partikelbildung im Thermalwasserkreislauf Aufmerksamkeit widmen. Die Ausführungsplanung kann abgeschlossen werden, wenn die Erkundungsarbeiten nach evtl. durchgeführten Stimulationen im Rahmen eines Zirkulationstestes zwischen den Bohrungen beendet sind. Die Planung der Nebenanlagen, d. h. Wärmepumpen oder Kraftwerkskreisprozesse, Spitzenlastanlagen, Bauwerke, Infrastruktur und Netzanschlüsse folgt der Geothermie. Wegen der langen Entwicklungszeiten sollten dagegen Neubau, Erweiterung oder Modernisierung von Verteilnetzen zum frühestmöglichen Zeitpunkt.

Die Planung der Obertageanlage endet auf der Bauherrenseite mit der Erarbeitung der gewerke-spezifischen Ausschreibungsunterlagen. Inwieweit diese auf der Basis der Entwurfsplanung (empfehlenswert auch bei schlüsselfertigen Konzepten von Herstellern) oder erst mit der Ausführungsplanung erstellt werden, ist projektkonkret und gewerke-spezifisch zu entscheiden. Im ersten Fall wird die Ausführungsplanung durch den Errichter unter Aufsicht eines Objektüberwachers geleistet. Bei der Vergabe ist hier auf Flexibilität der Auslegung an geänderte Rahmenbedingungen zu achten.

Bei jeder Geothermieanlage muss der Bauherr für eine intensive Montageüberwachung sorgen, die auch bei der Inbetriebnahme und beim Probetrieb weiter zur Verfügung steht. In allen Planungs- und Errichtungsphasen und für alle Gewerke sind genehmigungsrelevante Teilleistungen zu erbringen. Dies betrifft berg-, bau- und umweltrechtliche Belange. Meist ist es sinnvoll, dass mit Vergabe von Bauleistungen der genehmigte Hauptbetriebsplan für den Betrieb sowie die (gehobene) wasserrechtliche Erlaubnis vorliegen. Dies muss jedoch spätestens bei Eintritt in die Betriebsphase erwirkt sein.

# Beispiel einer Geothermieanlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

- > Die geothermische Heizzentrale konnte auch nach den durchgeführten Erkundungs- und Erschließungsarbeiten für die Parameter ausgelegt werden, die der Machbarkeitsstudie zugrunde lagen (100 l/s, 120 °C).
- > Die Ausrüstungen des Thermalwasserkreislaufes wurden in einem Anbau der vorhandenen konventionellen Wärmeerzeugung errichtet. Beim Stromanschluss bestanden ausreichende Kapazitäten.
- > Kosten bis dato ~17.500.000 Euro



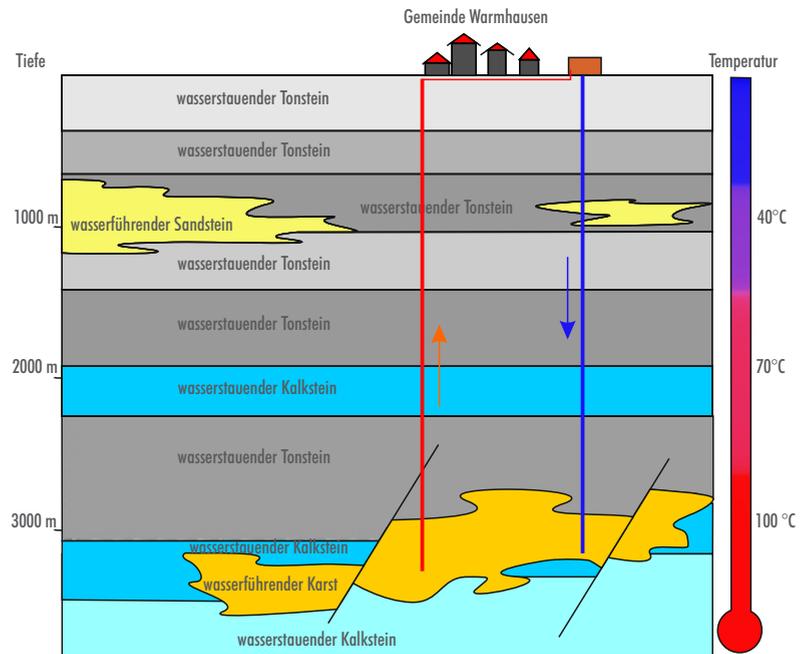
# Inbetriebnahme und Probebetrieb

Bei der Inbetriebnahme werden Funktions- und Leistungstests der Komponenten der Anlage und danach des Gesamtsystems durchgeführt. Nach Abschluss der Inbetriebnahme erfolgt der Probebetrieb, bei dem die Anlage einen längeren Zeitraum ohne wesentliche Störungen durchlaufen muss, um abgenommen werden zu können.

## Ziele der Inbetriebnahme sind:

- > Funktionstests der Einzelaggregate und anschließend der Hauptbaugruppen Unterwassermotorpumpe, Thermalwasserkreislauf, Wärmeauskoppelung und/oder Stromerzeugungsanlage, E-Technik und Zentrale Leittechnik
- > Zusammenschaltung der Hauptbaugruppen und Inbetriebnahme des Gesamtsystems
- > Nachweis der Funktionsfähigkeit und Einstellung der sicherheitsrelevanten Ausrüstungen
- > Leistungstest, d. h. Vergleich der real erreichten mit den vertraglich vereinbarten Parametern
- > Verfahrenstechnische Optimierung und Anpassung an die noch einige Zeit veränderlichen Thermalwasserparameter (Vor allem die Fördertemperatur wird über Wochen noch ansteigen).
- > Test automatisierter Fahrweisen (z. B. reguläres An- und Abfahren, Notabschaltungen, Mengenstromregulierung, Umschaltvorgänge zwischen Wärmetauschern und Filtern)
- > Einweisung und Schulung des Bedienpersonals

Im Anschluss an die erfolgreiche Inbetriebnahme und nach Erreichung stationärer Zustände der Thermalwasserparameter erfolgt der Probebetrieb. Dieser Probebetrieb über einen projektspezifisch festzulegenden Zeitraum liefert dem Investor den Nachweis, dass die Anlage vertragsgemäß errichtet wurde und dass sie in der Lage ist, automatisiert ihre Funktion zu erfüllen.





# Betrieb, Wartung und Monitoring

Nach Abschluss der Installationsarbeiten folgt die eigentliche Betriebsphase. Es gibt Vorschriften, wonach in der Betriebsphase eine kleine Revision nach 5 Jahren und eine große nach 10 Jahren erfolgen muss. Allgemeine Angaben sprechen von einer Anlagenverfügbarkeit von ca. 8.000 h jährlich (inkl. Stillstandszeiten während der Revisionen). Während der Betriebsphase fallen Wartungs- und Monitoringarbeiten an.

## Ziel des Betriebes, der Wartung und des Monitorings

- > ist die optimale und störungsarme Funktion der Anlage,
- > ist weiterhin der Erhalt aller bergrechtlichen sowie anderer verwaltungsrechtlichen Genehmigungen,
- > ist auch die Überwachung der geohydraulischen Verhältnisse während der Betriebsphase,
- > frühzeitiges Erkennen von Änderungen der hydraulischen oder technischen Parameter und Adaption oder Justierung der Anlage

Der Regelbetrieb eines geothermischen Heizwerkes gestaltet sich kostensparend und kostenkonstant. Die niedrigen Betriebskosten ergeben sich aus der bereits erschlossenen Energiequelle (warmes Thermalwasser). Die Konstanz der Kosten ist ebenfalls auf die bereits erschlossene Energiequelle zurückzuführen. Es sind lediglich die Kosten des Strombedarfes, der für die Steuer- und Pumpentechnik benötigt wird, aufzubringen.

Die niedrigen und konstanten Betriebskosten eines geothermischen Heizwerkes

lassen eine zuverlässige und kundenfreundliche Wärmeversorgung zu.

Wartungsarbeiten an geothermischen Anlagen beziehen sich auf die untertägigen sowie obertägigen Anlagenteile. Zu den untertägigen Anlagenteilen zählen Bohrlochausbauten, Filter und Pumpen. Zu den obertägigen Bauteilen zählen Filteranlagen, Wärmetauscheranlagen, Ventile und Leitungssysteme. Diese Bauteile müssen in regelmäßigen Abständen auf Verstopfung (Scalebildung), Korrosion und/oder Dichtigkeit kontrolliert werden und gegebenenfalls gereinigt bzw. ersetzt werden, um die Sicherung sowie optimale Betriebsführung der stabilen Thermalwasserzirkulation zu gewährleisten. Die Entsorgung der Scales erfolgt nach verwaltungsrechtlichen Vorschriften.

Es werden Wasseranalysen, Feststoffuntersuchungen, Inventuren sowie regelmäßig die allgemeinen Betriebsdaten (z. B. Stromverbrauch, Förderrate) kontrolliert und ausgewertet.

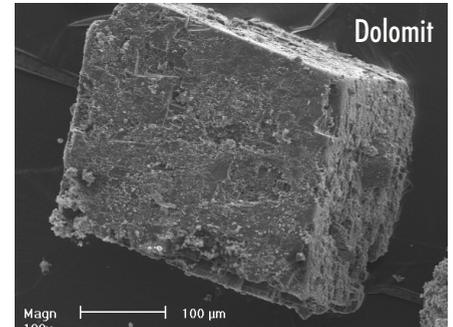
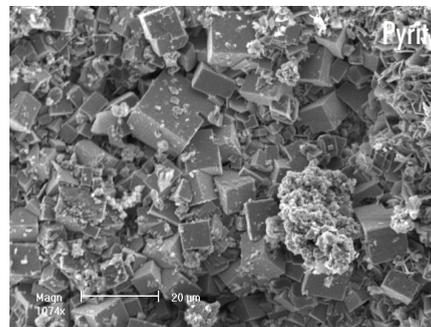
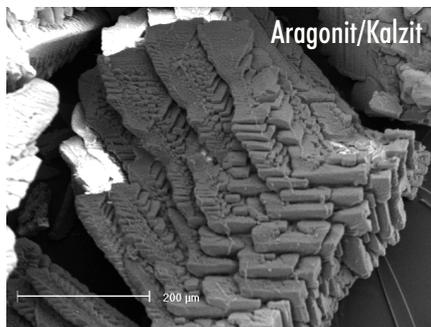
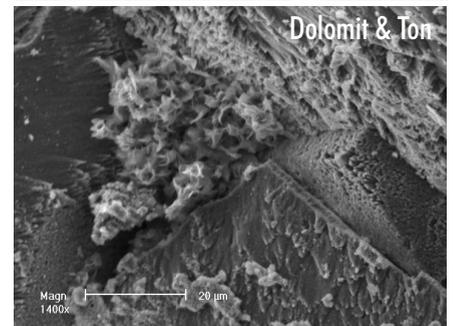
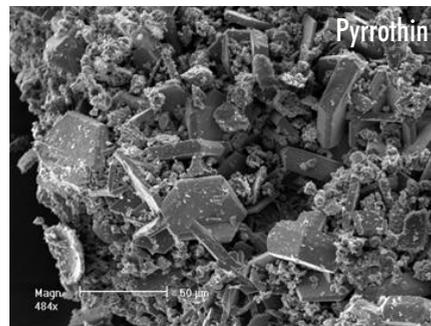
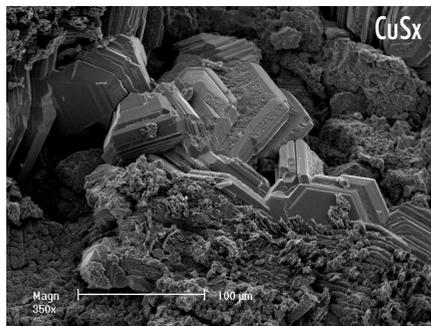
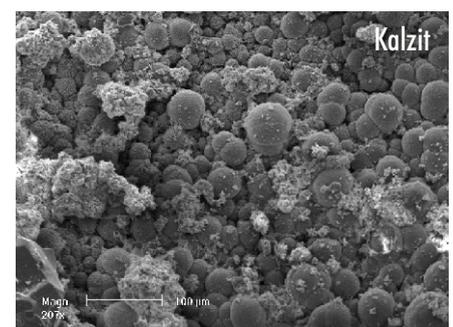
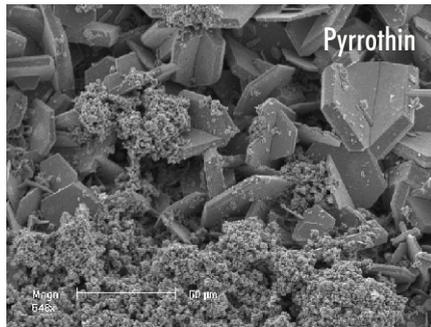
Kleine Veränderungen können im späteren Verlauf zu Betriebsstörungen führen.

So kann z. B. ein Zusetzen der Filterbeutel in einer Verringerung der Fließraten zwischen Förder- und Injektionsbohrung und damit auch zur Verringerung der thermischen Leistung der Anlage resultieren. Die Untersuchung der Scales erfolgt mittels Rasterelektronenmikroskop, energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) und Röntgendiffraktion (XRD). Diese Untersuchungen und deren Erkenntnisse können zu möglichen Anlagenmodifikationen führen, die einen optimalen Regelbetrieb gewährleisten.

Ein Monitoring ist sehr wichtig, da bei Geothermieanlagen das Thermalwasser in regelmäßigen Abständen auf die chemische Zusammensetzung und dessen physikalische Eigenschaften überprüft werden muss. Somit wird ein unkomplizierter Nachweis der bergrechtlichen Betriebspflichten gewährleistet. Zusätzlich kann in einigen Regionen ein seismisches Monitoring verlangt und durchgeführt werden. Änderungen von hydraulischen oder technischen Parametern können erkannt und die Fahrweise darauf abgestimmt werden, um den optimalen Anlagenbetrieb zu gewährleisten.

## Beispiel einer Geothermieranlage in Warmhausen (Molassebecken, Süddeutschland) mit ca. 50.000 Einwohnern

- > Die Anlage läuft im Regelbetrieb und wird über eine Schaltzentrale überwacht und gesteuert.
- > Filtersysteme und die Plattenwärmetauscher können von Mineralneubildungen betroffen sein und müssen regelmäßig gewartet werden.
- > Neu gebildete Ablagerungen werden mittels modernster Untersuchungsmethoden (EDX, XRD) analysiert.
- > Regelmäßige Überwachung (Monitoring) von der chemischen Thermalwasserzusammensetzung.



# Netzausbau und Erweiterung

Geothermieranlagen, ganz gleich, ob für die Wärme- oder die Stromerzeugung ausgelegt, sind zur Erreichung ihrer Wirtschaftlichkeits- und Emissionsminderungsziele darauf angewiesen, die Verfügbarkeit und die Zeit der Vollbenutzung zu maximieren. Der sehr hohe Anteil fixer Kosten muss auf eine möglichst große Energieproduktion verteilt werden.

## Ziel der Erweiterung und des Netzausbaus

ist es,

- > die am Standort verfügbare geothermische Ressource leistungsseitig in dem Umfang auszunutzen, die einen maximalen wirtschaftlichen Effekt verspricht
- > die zur Verfügung stehende geothermische Leistung im Jahresverlauf über möglichst große Zeiträume auch abzurufen.

Geothermische Stromproduktion wird von vornherein auf eine maximale Auslastung der Ressource ausgelegt. Der Abnehmer, ausreichende Einspeisekapazität vorausgesetzt, limitiert dies nicht. Spätere Erweiterungen sind hier die Folge von gesammelten Erfahrungen mit der Ressource, Veränderungen auf dem Energieträgermarkt, Weiterentwicklungen der Energiewandlungstechnologien oder aber einfach die Umsetzung eines Investitionsplanes.

Geothermische Heizzentralen sind typische Grundlastanlagen, die einem Abnehmer (Fernwärmenetz) mit sehr variabler Abnahmecharakteristik gegenüberstehen. Die Auslegung muss also im Wechselspiel von Ressource und vorhandenem (bzw. absehbar erschließbarem) Abnehmer optimiert werden und wird selten das Ressourcenpotenzial ausschöpfen. Der Anlagenbetreiber einer geothermischen Wärmeversorgung hat also neben den üblichen Möglichkeiten, wie Effizienzsteigerung der Ausrüstungen, Verfügbarkeit, Automatisierung, folgende Stellschrauben im Rahmen von Erweiterungen und Modernisierungen zur Verfügung:

- > **Netzgröße:** Der Anteil der geothermischen Wärmelieferung wird bei gleichen Parametern der Ressource umso größer, je größer das Heiznetz ist. Die Akquisition neuer Abnehmer mit angemessenen Erschließungskosten ist eine ständige Aufgabe.
- > **Charakteristik der Wärmenachfrage:** Können Abnehmer gefunden werden, die auch in der Übergangszeit und im Sommer einen nennenswerten Wärmebedarf haben (z. B. industrielle Abnehmer), erhöht sich der Umfang der Vollbenutzung.

- > **Netztemperaturen:** Bei gleicher Thermalwassertemperatur und gleichem Mengenstrom können höhere thermische Leistungen erzielt werden, wenn es gelingt, die Rücklauftemperatur vorhandener Abnehmer durch Optimierung und gezielte Investitionen abzusenken bzw. bei Neuabnehmern auf niedrige Bedarfstemperaturen zu drängen.

Ist das Potenzial zuvor beschriebener Möglichkeiten zur Steigerung der geothermischen Wärmelieferung ausgeschöpft, sind Maßnahmen an der Ressource selbst sinnvoll:

- > Auskühlung des Thermalwassers unterhalb der Heiznetz-Rücklauftemperatur (bzw. tiefere Auskühlung bei Wärmepumpen im Bestand) mittels Wärmepumpen. Entscheidend dabei ist, ob die zusätzlichen Investitionen in die Wärmepumpen und deren nicht unerhebliche Betriebskosten durch den Mehrverkauf geothermischer Wärme gedeckt werden können.
- > Erweiterung der Ressourcenerschließung durch z. B. zusätzliche Bohrungen (Injektions- oder/und Förderbohrungen), Vertiefungen der bestehenden Bohrungen oder Sidetracks etc.

# Genehmigungsverfahren

## (Berg- und Wasserrecht)

Die Erkundung und Gewinnung von Thermalwasser unterliegen den Bestimmungen des Bundesberggesetzes (BBergG). Die Erlaubnis zur Aufsuchung und Gewinnung des Bodenschatzes ist somit bei dem zuständigen Bergamt zu beantragen (§ 7 i. V. m. § 3 Abs. 3 BBergG; § 8 i. V. m. § 3 Abs. 3 BBergG). Die Erteilung eines Erlaubnisfeldes zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdwärme wird danach durch die Bergbehörde nach § 11 BBergG erteilt.

### Ziel des Antrages

- > ist die bergrechtliche Genehmigung, in einem Gebiet nach Erdwärme zu suchen und diese auch zu gewinnen,
- > die etappenweise Beantragung,
- > der Antrag auf Erlaubnis zur Aufsuchung sollte frühestmöglich gestellt werden und enthält entsprechende Gutachten und Dokumentationen

Das Aufsuchen (Aufsuchung) einer geologischen Ressource zur geothermischen Wärmeversorgung beinhaltet alle Maßnahmen, die zur Erkundung der Ausdehnung dieser Ressource führen. So ist großräumige Aufsuchung eine Erkundung mittels geophysikalischer oder geochemischer Verfahren, die auf die Ermittlung von Kennwerten beschränkt sind und die wiederum Rückschlüsse auf das mögliche Vorkommen von Bodenschätzen zulassen.

Der Antrag auf Aufsuchung wird am Anfang eines Geothermieprojektes beim Bergamt gestellt und ist in dem beantragten Erlaubnisfeld auf 5 Jahre beschränkt. Für die Durchführung seismischer Untersuchungen wird der Hauptbetriebsplan für die Durchführung von Seismik verlangt (§ 52 i. V. m. § 3 Abs. 1 BBergG).

Der Hauptbetriebsplan gemäß § 52 i. V. m. § 3 Abs. 1 BBergG ist daraufhin einzureichen und sichert die Genehmigung für das Niederbringen von Bohrungen.

Im Folgenden wird der Sonderbetriebsplan Bohrung/Bohrplatz gemäß §§ 51 i. V. m. § 3 Abs. 3 BBergG gestellt, der alle Bohrplatz-relevanten Aspekte regelt.

Mit dem folgenden Antrag auf bergrechtliche Bewilligung der Nutzungsrechte für eine langfristige Gewinnung gemäß § 8 i. V. m. § 3 Abs. 3 BBergG erwirbt man einen Rechtstitel, der dem Inhaber das ausschließliche Recht zum Aufsuchen und Gewinnen von Erdwärme im jeweiligen Feld einräumt. Die Ausdehnung des Gewinnungsfeldes umfasst alle durch die Gewinnung/Aufsuchung beeinträchtigten Bereiche des Thermalwasserkreislaufes und hängt maßgeblich von geologischen und hydrogeologischen Bedingungen sowie von der angewandten Technologie der Erdwärmegewinnung ab.

Am Ende wird ein Hauptbetriebsplan gemäß § 51 i. V. m. § 3 Abs. 3 BBergG für das dauerhafte Betreiben der Thermalwassernutzungsanlagen gestellt.

Zusätzlich sind bei der zuständigen Wasserbehörde die wasserrechtliche Erlaubnis bzw. die gehobene wasserrechtliche Erlaubnis zum Entnehmen, Zutageleiten und Wiedereinleiten von Tiefenwässern (für hydraulische Tests sowie für den Dauerbetrieb) zu stellen.

In Erdbebenzonen 1-3 sind seismologische Basisgutachten zu erstellen bzw. eine Überwachung im Dauerbetrieb zu gewährleisten.

### Möglichkeiten der Durchführung

- > Stellen einer Aufsuchungserlaubnis § 7 i. V. m. § 3 Abs. 3 BBergG
- > Stellen eines bergrechtlichen Betriebsplanverfahren (Hauptbetriebsplan Seismik, Bohrungen und Sonderbetriebsplan Bohrplatz, Niederbringen von Bohrungen, Pumpversuche, Herstellung Förderplatz)
- > Bergrechtliche Bewilligung zur Gewinnung
- > Wasserrechtliche Erlaubnis bzw. gehobene wasserrechtliche Erlaubnis
- > Umweltverträglichkeitsvorprüfung
- > Gewerbliche Genehmigungen für Sonn- und Feiertagsarbeit, immissionsschutzrechtliche Genehmigung
- > Baurechtliche Privilegierung

# Risiko und Versicherung

Die Realisierung eines Geothermieprojektes ist verschiedenen Risiken unterworfen. Das oberste Ziel sollte immer sein, die Risiken so gering wie möglich zu halten, dennoch sollten die Risiken stets im Auge gehalten und die Machbarkeit realistisch eingeschätzt werden.

## Ziel der Risikoanalyse und der Versicherung

- > ist die Transparenz der Machbarkeit gegenüber den Investoren,
- > ist der Investorenschutz,
- > Versicherung gegen technische Gefahren und Schäden (Bohren, Obertageanlagen),
- > Versicherungen der Fündigkeit (Förderrate, Temperatur)

Bei Geothermieprojekten sollten Risiken weitestgehend minimiert werden, sind jedoch nicht ganz auszuschließen. So können sowohl finanzielle als auch fachliche Risiken auftreten. Die größten auftretenden Risiken stehen oftmals in Verbindung mit der Wasserfündigkeit, d. h. ob der anvisierte Thermalwasserleiter die benötigte Förderrate aufweist. Die fachliche Qualität der Prognose, d. h. eine vollständige geologische Datenauswertung, Voruntersuchung sowie detaillierte Projektplanung, kann das Risiko signifikant senken.

Folgende fünf Risikogruppen werden in Betracht gezogen:

- > Fündigkeitsrisiko
- > geologische und technische Risiken
- > wirtschaftliche Risiken
- > Umweltrisiken
- > politische Risiken

Das Fündigkeitsrisiko ist das Hauptrisiko und bezeichnet das Risiko, bei der Erschließung eines geothermischen Reservoirs eine unzureichende Thermalwasserförderrate zu erzielen und/oder eine zu geringe Lagerstättentemperatur anzutreffen (Bundesverband Geothermie). Das Fündigkeitsrisiko ist in der Regel versicherbar. Mit Ausnahme von Regionen, in denen noch keine Erfahrungen vorliegen.

Bohrtechnische Risiken, wie Bohrzeitverlängerungen oder Materialverlust lassen sich versichern. Die Kraftwerkstechnik und die Stabilität des Kraftwerksbetriebes bedingen das Betriebsrisiko, welches im Zusammenhang mit der Kraftwerkstechnik versicherbar ist. Wirtschaftliche Risiken beziehen sich in erster Linie auf die Fündigkeit und auch auf das erfolgreiche Anschließen des Thermalwasserkreislaufes. Das Risiko verringert sich bei einer sorgfältigen Projektentwicklung mit klar definierten Projektentwicklungsphasen, Meilensteinplanung und Abbruchkriterien. Umweltrisiken beziehen sich auf das Risiko, durch oder während der Bohrung eine Beeinträchtigung des Bodens oder des Grundwassers herbeizuführen. Dieses Risiko lässt sich durch geschultes Personal und State-of-the-Art Bohrungsausbau deutlich verringern.

Politische Risiken beziehen sich auf Änderungen in der Förderpolitik bei bestehenden Anlagen und sind in Deutschland als relativ gering einzustufen.

## Möglichkeiten der Risikoanalyse und Versicherung

- > Ausführliche und transparente Vorplanung
- > Solide und transparente Finanzierung
- > Versicherungen gegen technische Gefahren oder Störungen während des Bohrens oder Messens können abgeschlossen werden
- > Fündigkeitsversicherungen schützen gegen das Risiko der Nichtfündigkeit oder Teilfündigkeit
- > Voraussetzung für die Fündigkeitsversicherung ist eine Eintrittswahrscheinlichkeit über 85 %, die in einer POS-Studie festgestellt werden kann
- > POS-Studien (Probability of Success): Erfolgswahrscheinlichkeit, dass eine Bohrung an einem Standort eine Ressource mit ausreichender Förderrate und Temperatur erschließt.

Da der Versicherungsmarkt auf diesem Gebiet sehr dynamisch ist, sind im Vorfeld zeitnah Gespräche mit potenziellen Versicherern zu führen, um Konditionen und Rahmenbedingungen abzuklären.

# Finanzierung und Förderung

Die Projektfinanzierung bei tiefer Geothermie unterscheidet sich wesentlich zu anderen erneuerbaren Energieprojekten, indem sich hier die Phasen der Projektentwicklung mit der Bauphase überschneiden. Die finale Auslegung des Heizwerkes kann erst nach Feststellung der hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters ermittelt werden. Für die Projektfinanzierung bedeutet das, dass in der frühen Projektphase schon sehr hohe Investitionen anfallen.

Charakteristisch für geothermische Wärmeprojekte ist auch, dass ca. 50 % der Gesamtinvestitionen (Bohrungen, übertägige Systeme, erste Phase des Netzausbaus) in den ersten wenigen Projektjahren anfallen. Positive operative Ergebnisse und kostendeckende Einnahmen aus dem Wärmeabsatz werden dagegen stark zeitversetzt erzielt, da weitere Kunden erst Schritt für Schritt im Zuge des Netzausbaus und seiner Nachverdichtung versorgt werden. Der Versorger muss also nicht nur die ohnehin hohen Investitionen, sondern zusätzlich die negativen Cashflows der Anfangsjahre finanzieren.

Geothermische Wärmeversorgung erfordert - wie jede andere Infrastrukturmaßnahme auch - eine sehr langfristige Betrachtung und Kapitalbindung (30 Jahre und länger). Sie kann dafür aber nur bescheidene Rendite in Aussicht stellen. Der beschriebene Investitions-/Einnahmenezusammenhang begrenzt sie im Mittel auf 6 ... 7 %. Privates Kapital für geothermische Wärmeversorgung kann damit kaum eingeworben werden. So ist Geothermie auf diesem Feld in der Regel eine Sache kommunaler Projektträger und die Finanzierung ist durch eine Kombination von Eigenkapital, Fremdkapital und Förderinstrumenten gekennzeichnet.

Derzeit wird Eigenkapital in einer Größenordnung von etwa 30 % notwendig.

Deutlich bessere Bedingungen als vorher beschrieben haben Projekte, die bereits auf ein vorhandenes Fernwärmenetz zurückgreifen können.

Geothermieprojekte tragen einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende und zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei. Geothermieprojekte, die ausschließlich zur Wärmegewinnung installiert sind, fallen zwar nicht unter das EEG, dennoch gibt es etliche Förderungsmöglichkeiten.

Das zentrale Förderinstrument sind die Tilgungszuschüsse nach dem Marktanzreizprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Förderung von Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt, KfW-Programm „Erneuerbare Energien - Premium“). Für die Tiefe Geothermie zur Wärmeerzeugung gelten darin aktuell folgende Ansätze:

## **Förderbaustein „Anlagenförderung“:**

- > bis 200 Euro je kW errichteter bzw. erweiterter Nennwärmeleistung
- > höchstens 2 Mio. Euro je Einzelanlage

## **Förderbaustein „Bohrkostenförderung“:**

- > für die Bohrtiefe ab 400 m bis 1.000 m können 375 Euro je Meter vertikale Tiefe beantragt werden

- > zwischen 1.000 m bis 2.500 m können 500 Euro je Meter vertikale Tiefe beantragt werden
- > ab 2.500 m Bohrtiefe bis Endtiefe können 750 Euro je Meter vertikale Tiefe beantragt werden
- > höchstens jedoch 2,5 Millionen Euro je Bohrung
- > maximal 4 Tiefenbohrungen pro Projekt sind förderbar

## **Förderbaustein "Mehraufwendungen":**

- > Tilgungszuschuss maximal 50 % des nachgewiesenen Mehraufwands pro Bohrung
- > höchstens jedoch 50 % der ursprünglichen Plankosten
- > maximal 1,25 Millionen Euro pro Bohrung
- > höchstens 5 Millionen Euro pro Vorhaben

## **Weitere Fördermöglichkeiten bieten:**

- > Förderprogramme der Bundesländer
- > Forschungsförderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung
- > EU-Forschungsrahmenprogramm „HORIZON 2020“

# Öffentlichkeitsarbeit und Bürgerbeteiligungen

Eine Wärmeversorgung mittels tiefer Geothermie ist zwar eine erneuerbare, saubere und wenig beeinträchtigende Variante, Projektvorhaben sollten aber dennoch schon frühzeitig mit den Bürgern diskutiert werden. Eine transparente Kommunikation baut Vorbehalte und Ängste ab und sorgt dafür, dass sich die beteiligten Bürger mit dem Projekt identifizieren können.

## Ziel der Öffentlichkeitsarbeit

- > ist die Kommunikation zwischen Projektträgern und Bürgern
- > Abbau von Vorurteilen und Ängsten
- > Mediale Verbreitung des Geothermieprojektes

Die Öffentlichkeitsarbeit ist bei größeren Projekten immer selbstverständlich. So gelten auch bei Geothermieprojekten die Grundsätze frühzeitig, kontinuierlich, transparent und regelmäßig. Die Öffentlichkeitsarbeit ist für jedes Projekt, jede Region oder Kommune individuell zu gestalten und auszuarbeiten. Gerade bei wichtigen und sehr entscheidenden Untersuchungen oder Vorhaben, wie eine seismische Erkundung oder die Auswahl des Bohrplatzes, ist es ratsam die Öffentlichkeit frühzeitig und transparent zu informieren. Es bietet sich vielleicht auch an, einige Vorhaben gemeinsam mit der Bevölkerung zu treffen.

Eine transparente Öffentlichkeitsarbeit sollte offen und wahrheitsgetreu sein. Dabei sollten durchaus auch erfolgreiche und weniger erfolgreiche Projektbeispiele vorgestellt werden. Dies sollte durch die Projektleitung oder eine andere unabhängige Stelle frühzeitig, praxisnah und ausbalanciert geschehen.

Gerade in Hinblick auf die sehr hohen Investitionskosten und die technischen und finanziellen Risiken ist es ratsam, die Bevölkerung frühzeitig einzubeziehen. Hierbei bieten sich öffentliche Gesprächsrunden, öffentliche Diskussionsrunden im Stadtrat oder öffentliche Informationsveranstaltungen an, bei denen sachlich und offen die Ziele, Chancen und Risiken dargelegt werden.

Es ist zu empfehlen, ein extra Kommunikationsbudget bei der finanziellen Kalkulation einzuplanen, um die Kommunikation zwischen den Projektpartnern, den Medien und der Bevölkerung zeitnah, umfassend, transparent und ehrlich zu ermöglichen. Ein empfehlenswertes Kommunikationskonzept begleitete das Geothermieprojekt St. Gallen.

## Möglichkeiten der Öffentlichkeitsarbeit

- > Frühzeitige und regelmäßige öffentliche Projektvorstellungen
- > Verteilung von Newslettern
- > Erstellung eigener Websites oder Zeitungsartikel
- > Öffentliche Podiumsdiskussionen
- > Einrichten einer Hotline

# Weiterführende Literatur und Websites

## Geologie:

- > [www.geotis.de](http://www.geotis.de) - Geothermisches Informationssystem GeotIS
- > Bayerisches Staatministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie (2012) - Bayerischer Geothermieatlas.
- > Katzung, G. (1984) - Geothermie-Atlas der Deutschen Demokratischen Republik.
- > Bauer, M., Freeden, W., Jacobi, H. & Neu, T. (Hrsg) (2014) - Handbuch Tiefe Geothermie - Prospektion, Exploration, Realisierung, Nutzung. Springer Spektrum, Berlin & Heidelberg.
- > Knapek, E. (2009) - Das Tiefengeothermieprojekt Unterhaching. Schriftenreihe des Lehrstuhls und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der TU München.
- > Stober, I., Jodocy, M., Burisch, M. & Person, R. (2013) - Tiefenwässer im Oberen Muschelkalk-Aquifer des Oberrheingrabens und des Süddeutschen Molassebeckens. Grundwasser, 18.
- > Hölting, B. & Coldewey, W. G. (2013) - Hydrogeologie. Springer, 8 Aufl., Berlin & Heidelberg.

## Geophysik:

- > Fricke, S. & Schön, J. (1999) - Praktische Bohrlochgeophysik. Stuttgart.
- > Hartmann, H. von, Beilecke, T., Buness, H., Musmann, P. & Schulz, R. (2015) - Seismische Exploration für tiefe Geothermie. Geol. Jb. B., 104, Hannover.

## Technik:

- > Bußmann, W. (2004) - Geothermie - Energie für die Zukunft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

## Verbände:

- > API (American Petroleum Institute) - Interessenverband der Öl- und Gasindustrie in den USA. Technische Richtlinien erarbeitet von Fachleuten aus dem im Verband zusammengeschlossenen Industriefirmen.
- > [www.geothermie.de](http://www.geothermie.de) - Bundesverband Geothermie e.V.
- > [www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org) - International Geothermal Association (IGA)
- > IWCF (International Well Control Forum) Richtlinien und Standards für Weiterbildung, Schulung und Training von Bohrfachleuten.

## Regelwerke:

- > DIN 4049: Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. (1994), Berlin.
- > Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwasser-messstellen - Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen (2005), Bonn.
- > Tiefbohrverordnung (BVOT): Bergverordnung für Tiefbohrungen, Untergrundspeicher und die Gewinnung von Bodenschätzen durch Bohrungen.
- > VDI-Richtlinie 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnungen.
- > VDI-Richtlinie 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnung für Investitionsgüter und Anlagen.

## Förderung:

- > [www.bmu.bund.de](http://www.bmu.bund.de) - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- > [www.bmwi.bund.de](http://www.bmwi.bund.de) - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- > [www.kfw.de](http://www.kfw.de) - Kreditanstalt für Wiederaufbau

## Öffentlichkeitsarbeit:

- > [w.geothermie.stadt.sg.ch/projekt.html](http://w.geothermie.stadt.sg.ch/projekt.html) - Das Geothermieprojekt der Stadt St. Gallen

## Wir begleiten Projekte vom Anfang bis zum Ende.

GTN ist ein internationales Ingenieurbüro für Geothermieprojekte. Wir verfügen über 25 Jahre Erfahrung in der Vorerkundung, Projektentwicklung, Projektkoordination sowie Monitoring von wirtschaftlich operierenden Geothermieanlagen. Darüber hinaus begleiten wir aktuelle Forschungsprojekte auf den Gebieten der geothermischen Exploration, Stimulation, Wartung und Weiterentwicklung.

Dieser Leitfaden entstand im Zuge des F&E-Projektes „Malm Fazies“ (MAFA) und wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



GTN

Neubrandenburg

Berlin

München

GTN | Seestrass 7 A | 17033 Neubrandenburg | Deutschland | Tel.: +49 395 367 74-0 | gtn@gtn-online.de | www.gtn-online.de