

HELTIEF GEOTHERMIE



Ein Handlungsleitfaden

IMPRESSUM

Herausgeber:

Landesforschungszentrum Geothermie
KIT Campus Süd
Adenauerring 20 b, Gebäude 50.40
76131 Karlsruhe, Baden-Württemberg

Kontakt, Idee, Konzeption und Redaktion:

Landesforschungszentrum Geothermie

Inhaltliche Konzeption und Ausarbeitung des Textes:

Arbeitskreis Handlungsleitfaden Tiefe Geothermie,
Leiterin: Prof. Dr. Ingrid Stober (Universität Freiburg)

Gestaltung:

Klaus Killenberg, 70597 Stuttgart

Bildnachweis:

Bruno Lorinser und Ingrid Stober, soweit im Text
nicht anders bezeichnet. Fotolia: Seite 8, 35, 40,
41, 42, 80. Pixabay: Seite 1, 10, 88

Druck:

Offizin Scheufele, Druck und Medien GmbH + Co. KG
70597 Stuttgart



DOI: 10.5445/IR/1000154355

2. unveränderte Auflage Januar 2023

Hinweis:

Die vorliegende Broschüre kann unter der
folgenden Internet-Adresse abgerufen werden:
www.lfzg.de

Entstanden auf Anregung und mit
Unterstützung des Ministeriums für Umwelt,
Klima und Energiewirtschaft



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Die Broschüre entstand in enger Zusammenarbeit und Abstimmung innerhalb des Arbeitskreises.

Dank gebührt den Mitgliedern:

Dr. J. Baumgärtner (bestec), L. Benighaus
(ZIRIUS Uni Stuttgart), J. Binder (Herrenknecht AG),
H. Böhnisch (KEA), Dr. C. Bönemann (BGR),
A. van Douwe (gec-co), Dipl.-Umweltw. S. Feige
(GRS GmbH), Dr. J.-G. Fritsche (HLUG),
Prof. Dr. J. Goldbrunner (Geoteam Ges.m.b.H., A),
Dr. G. Greiner (arcor), Dr. C. Hecht (SWM-Stadt-
werke München), U. Hellstern (UM, Ref.54),
Prof. Dr. E. Huenges (GFZ), M. Kliesch (Marsch),
Dr. E. Knappek (GtV), R. Kobler (BFE, CH),
Prof. Dr. T. Kohl (KIT-AGW), Dr. T. Kölbl
(EnBW AG), Dr. M. Kracht (HLUG), J. Kringler
(LUBW, Abt. 3), Dr. D. Kuhn (KIT-IKET),
C. Lorenz-Gräser (LNV), Dipl.-Ing. B. Lorinser
(UM, Ref. 64), A. Maxion (RPS, Ref 54.4),
H. Mergner (EnBW AG), Dr. B. Müller (LFZG BW),
Prof. Dr. M. Reich (TU Freiberg), Dr. T. Reif (Graßner,
Groth, Siederer & Coll.), Prof. Dr. O. Renn
(Uni Stuttgart), B. Richter (Rödl & Partner),
Dipl.-Ing. M. Riegger (Solites), Prof. Dr. F. Schilling
(KIT-AGW), Dr. W. Schloz (LNV), Dr. J. Schneider
(ENERCHANGE), Dr. H. Schröder (enpros consulting
GmbH), Dr. A. Schubert (Erdwerk GmbH),
Dr. R. Schulz (LIAG), Dr. P. Seibt (GTN),
Prof. Dr. I. Stober (Universität Freiburg),
Dr. H.-J. Wiemer (KIT-IKET), E. Wolny (WM, Ref. 52).

Der vorliegende Handlungsleitfaden Tiefe
Geothermie versteht sich als Hilfestellung, wie
Tiefe Geothermie-Projekte ablaufen und durch-
geführt werden. Er gibt lediglich eine grobe
Orientierung und zeigt die grundsätzlichen Ver-
fahrensabläufe auf. Der Handlungsleitfaden erhebt
aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit, weder
was den Verfahrens- oder Genehmigungsablauf
anbelangt noch im Hinblick auf technische Spezi-
fikationen. Alle Vorhaben sind als Einzelfälle zu
betrachten und etwas anders gelagert. Sie können
sich daher im Detail unterscheiden.



VORWORT	4
EINFÜHRUNG	6
1. Grundlagen und Nutzungssysteme der Tiefen Geothermie	9
1.1 Geothermische Nutzungssysteme	11
1.2 Funktionsweise einer geothermischen Heizanlage (hydrothermale Nutzung)	13
1.3 Stromerzeugung aus geothermischer Energie	14
1.4 Beispiele für hydrothermale Nutzungen im Dubletten-Betrieb in Deutschland	14
1.5 Beispiele für Aquiferspeicher-Systeme (ATES) in Deutschland	16
2. Vorstudie	19
2.1 Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation	20
2.2 Lokale Energiesituation und wirtschaftliche Verhältnisse	21
2.3 Lokale Untergrundverhältnisse	22
2.4 Bergrechtliche Aspekte	25
2.5 Umweltverwaltungsgesetz, Öffentlichkeitsbeteiligung	27
2.6 Zielformulierung für das Projekt	27
3. Machbarkeitsstudie	29
3.1 Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation	30
3.2 Bewertung der erhobenen geowissenschaftlichen Untergrund-Informationen	31
3.3 Entwicklung eines gesamtheitlichen Wärme- und Energiekonzeptes, Projekt-Risiken	35
3.4 Bergbauberechtigungen und erforderliche Genehmigungen	39

INHALT

4.	Vorarbeiten, Voruntersuchungen	41
4.1	Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation	43
4.2	Fündigkeit, Versicherungen und Wirtschaftlichkeit	44
4.3	Erforderliche Genehmigungen, Erlaubnisse	47
4.4	Seismische Exploration	50
4.5	Erstellung von numerischen Untergrundmodellen	51
4.6	Induziertes seismisches Potenzial, Seismisches Überwachungsnetz	52
4.7	Grundwasser-Monitoring	54
4.8	Scaling und Korrosion	54
4.9	Konzeption für Bohrplatz und Tiefbohrungen	56
4.10	Planung für Kraftwerksbau und Übertageeinrichtungen, Genehmigungsablauf	60
4.11	Finanzierung, Businessplan	61
5.	Erste Erschließungsphase	63
5.1	Planungsarbeiten während der Durchführung der Bohrung	64
5.2	Notwendige Genehmigungen, Erlaubnisse und Vorgaben	66
5.3	Umweltschutz	68
5.4	Bürgerbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit	69
5.5	Durchführung der Untersuchungen in der Tiefbohrung, Ertüchtigungsmaßnahmen	70
6.	Zweite und weitere Erschließungsphase	73
6.1	Probetrieb des Primärkreislaufes, Inbetriebnahme der Dublette	75
6.2	Bürgerbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit	77
6.3	Erstellung des Heizwerks/Kraftwerks	77
7.	Probetrieb der Geothermieranlage	79
8.	Dauerbetrieb	81
9.	Rückbau / Stilllegung	83
	Rechtliche Vorschriften	85
	Literatur	86

VORWORT des Landesforschungszentrums Geothermie

Die Entscheidung für eine umweltverträgliche Energiewende ist ein wesentlicher Baustein für den Klimaschutz. Zu den großen Herausforderungen gehört dabei eine zuverlässige, robuste und bezahlbare Energieversorgung, welche unsere Lebensgrundlagen schützt. Um diesen Schutz zu gewährleisten, müssen verschiedene Aspekte qualifiziert betrachtet werden. Für den Erhalt und die Steigerung der Lebensqualität in unserer Gesellschaft sind daher entscheidend:

- die Reduktion von Treibhausgasemissionen
- der Erhalt unserer einzigartigen Umwelt (Artenvielfalt, Qualität der Lebensräume)
- der nachhaltige Schutz unseres Trinkwassers

Geothermie ist eine der erneuerbaren Energieressourcen, die eine importunabhängige Energieversorgung dezentral und langfristig sicherstellen. Heute werden vor allem Stromgestehungskosten verglichen – ohne dabei die Systemkosten wie Speicherung, Reservekraftwerke und Umweltkosten zu berücksichtigen. Dabei werden über 50 % der Primärenergie in Deutschland für die Wärme- und Kälteversorgung verbraucht. Im vorliegenden Handlungsleitfaden liegt deshalb der Fokus auf der Nutzung der Geothermie für die Wärmewende.

Die Nutzung der Wärme aus der tiefen Geothermie ist eine effiziente Option, die bereits heute wirtschaftlich für Industriebranchen aber auch für die Metropolen Paris und München eine heimische und zuverlässige Wärmeversorgung sicherstellt. Geothermie besitzt zudem ein großes – in Deutschland bisher kaum genutztes –

Potenzial zur Wärmespeicherung. So kann Überschusswärme vom Sommer im Winter genutzt werden. Die tiefe Geothermie stellt eine grundlastfähige Energie bereit, die auch in windstillen Nächten eine umweltverantwortliche und nachhaltige Energieversorgung sicherstellt.

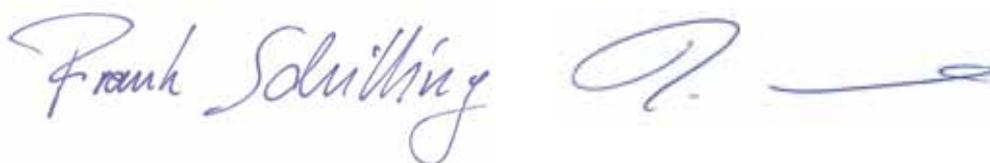
Wie bei allen Energie-Technologien müssen auch bei der Geothermie potenzielle Auswirkungen untersucht und durch eine sorgfältige Planung sowie durch qualifizierte Genehmigungen ein dauerhaft sicherer Betrieb ermöglicht werden.

Dieser Handlungsleitfaden legt dar, wie bei der Vorhabenplanung bis hin zur Genehmigung einer Geothermiebohrung die verschiedenen Behörden mit ihrer spezifischen Fachkenntnis eingebunden werden. Dadurch wird eine umweltgerechte Energiebereitstellung ermöglicht, welche unsere Lebensgrundlage erhält und die Umwelt schützt. Hier steht das Wohlergehen jedes Bürgers immer im Vordergrund.

Im Handlungsleitfaden werden anhand eines Zeitstrahls die prinzipiellen Abläufe von der Planung bis zum Bau und Betrieb einer Geothermieanlage dargestellt. Bei Genehmigungen können weitere Prüfungen erforderlich sein, um die lokalen Gegebenheiten und den aktuellen Stand der Technik zu berücksichtigen.

Durch das aufgezeigte Vorgehen wird in unserem Land ein besonders hohes Maß an Sicherheit, Information und Einbindung der lokalen Bürgerschaft gewährleistet.

Mit herzlichen Grüßen



Prof. Frank Schilling & Prof. Thomas Kohl
(Landesforschungszentrum Geothermie)



EINFÜHRUNG in das Thema

In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2015 gut 120 TWh für Wärme und je ca. 80 TWh für Stromerzeugung und in Form von Kraftstoffen genutzt. Über 50 % der Energie werden derzeit für die Wärmeversorgung (in Haushalten kann dieser Anteil bei über 80 % liegen) benötigt. Im Wärmesektor können Erneuerbare Energien wie Solarthermie, Biomasse und Geothermie einen erheblichen Beitrag leisten. Das Potenzial der Biomasse ist dabei schon weitgehend ausgeschöpft. Das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) hat daher in seinem Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK) der Geothermie neben der Solarthermie eine wesentliche Rolle für die Erreichung der Kernziele bei der Wärmewende zugeschrieben. Die Naturschutzverbände (LNV BW, BUND, NABU) haben sich ebenfalls für den zunehmenden Einsatz regenerativer Energien, einschließlich der Nutzung der Geothermie, als Maßnahme zum Klimaschutz ausgesprochen.

Die Nutzung der geothermischen Energie erfordert unter den gegebenen geologisch-geothermischen Rahmenbedingungen in Deutschland, resp. in Baden-Württemberg (BW), spezielle, auf die hiesigen Ausgangsvoraussetzungen angepasste Vorgehensweisen, Gewinnungsstrategien und -technologien. Ziel des Landes ist es, die geothermische Energie sicher zu nutzen. Da es bislang für die Durchführung tiefen-geothermischer Projekte in BW keine dezidierten Verfahrensabläufe gibt, hat das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) die Einrichtung eines Arbeitskreises unter Federführung des Landesforschungszentrum Geothermie (LFZG) und des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) initiiert und diesen mit der Erstellung eines Handlungsleitfadens Tiefe Geothermie für Baden-Württemberg beauftragt. Darin werden die einzelnen Verfahrensschritte für eine umweltgerechte und sichere Nutzung der geothermischen Ressourcen mit der heute zur Verfügung stehenden Technologie aufgeführt. Die Genehmigungsbehörden haben daher eine entscheidende Funktion im gesamten Projektablauf.

Eine Geothermieanlage wird nicht mit einem einmaligen Bescheid genehmigt, sondern im Zuge der Projektentwicklung und des Baus einer Geothermieanlage sind sehr viele verschiedene Genehmigungen bei den jeweils zuständigen Behörden einzuholen. Dem Projektplaner wird daher dringend empfohlen, sich fachlichen Beistand durch ein Beratungsunternehmen zu versichern.

Im Fokus des Handlungsleitfadens steht in erster Linie die Wärmegewinnung durch Tiefe Geothermie, weniger die Stromerzeugung.

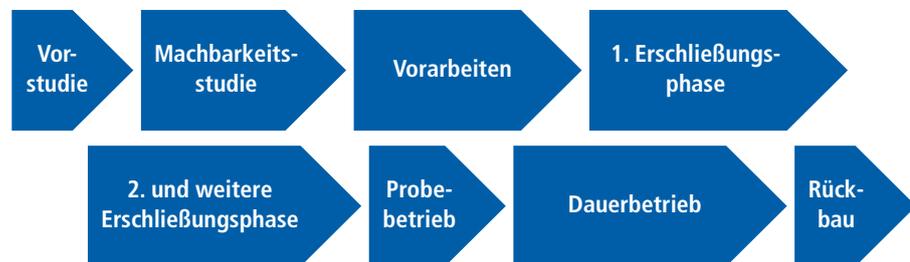
Das Ziel des Leitfadens ist, die Handlungsabläufe für die umweltgerechte Nutzung der geothermischen Ressourcen mit den heute zur Verfügung stehenden Technologien in möglichst allgemein verständlicher Form darzulegen und eine Orientierung für die dafür notwendige Forschung und Entwicklung zu geben. Dabei soll der Leitfaden den gesamten

Verfahrensablauf wiedergeben, d. h. von der Planung bis hin zur Fertigstellung und Betrieb der geothermischen Anlage. Der Leitfaden soll ein Schritt-für-Schritt-Vorgehen aufzeigen und ebenso die Notwendigkeiten darlegen, die zu einem Abbruch oder einer Änderung des Projektes, bzw. zu einem Umdenken im Projektablauf führen können. Insbesondere soll er die landesspezifischen Aspekte im gesamten Prozess und die Maßnahmen der Qualitätssicherung in jedem Schritt des Vorgehens berücksichtigen.

Im Ablauf eines Geothermieprojektes ist zunächst, wie nachstehende Skizze veranschaulicht, eine Vorstudie, in der sämtliche projektrelevanten Daten zusammengetragen werden, erforderlich. Nach Definition der Vorhabenziele (z. B. Bau eines Heizwerkes, Bau eines Kraftwerkes) folgt die so genannte Machbarkeitsstudie, die mit einer Abschätzung der Investkosten für das gesamte Vorhaben endet. Darauf aufbauend können die ersten Vorarbeiten und Voruntersuchungen durchgeführt werden, wenn sich keine Bedenken gegen das Projekt ergeben haben. Mit der ersten Erschließungsphase, dem Abteufen der ersten Tiefbohrung, beginnt der eigentliche Bau am Geothermie-Heiz(kraft)werk, gefolgt von der zweiten und weiteren Erschließungsphasen. Sodann ist ein Probebetrieb erforderlich, bevor mit dem eigentlichen Dauerbetrieb begonnen werden kann. Wird die Geothermieanlage später (üblicherweise nach ca. 30-50 Jahren) nicht mehr benötigt oder soll sie ersetzt werden, muss sie stillgelegt und rückgebaut werden.

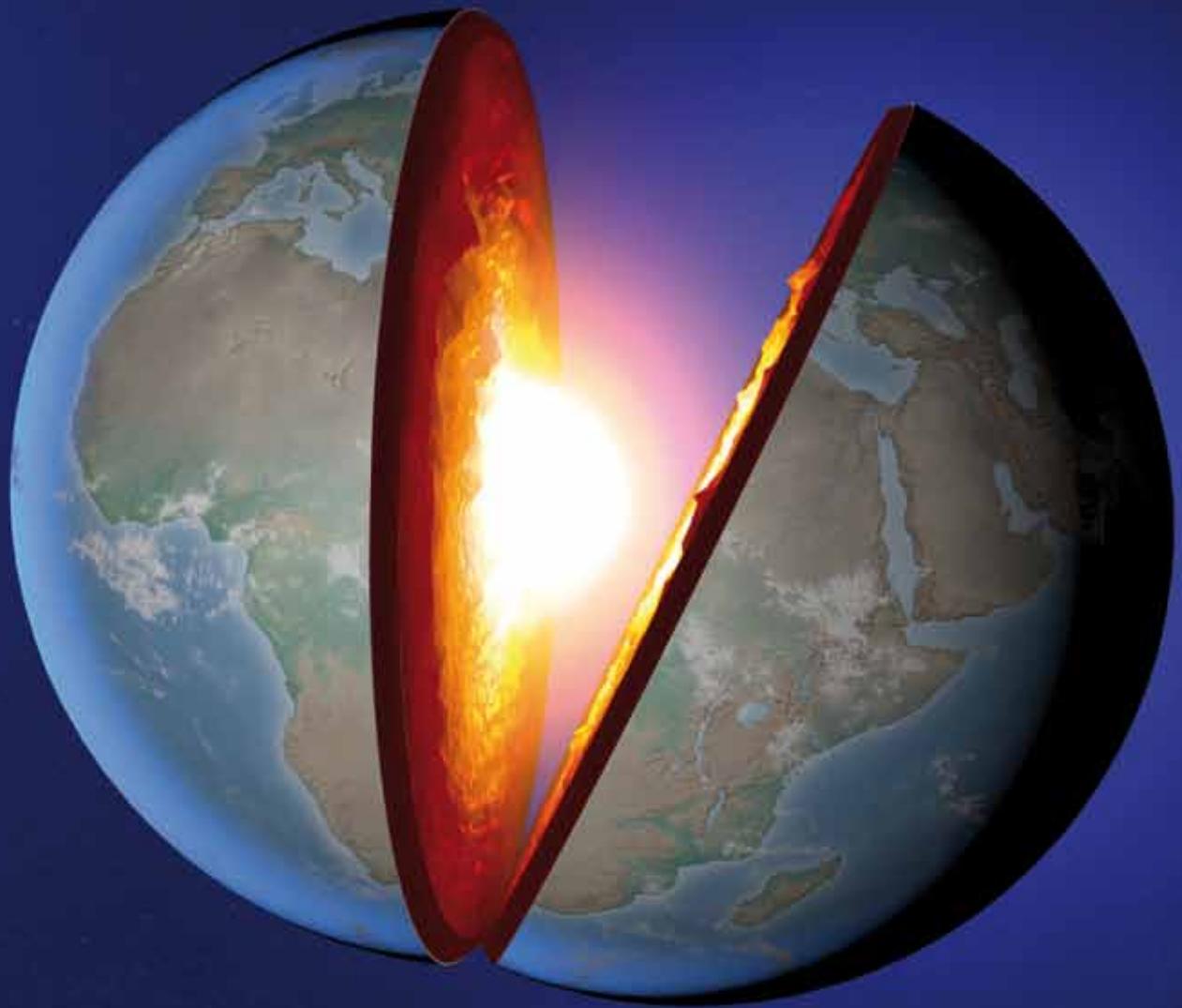
Der vorliegende Handlungsleitfaden gibt die einzelnen Handlungsabläufe in ihrer zeitlichen Reihenfolge wieder. Die Gliederung des Handlungsleitfadens entspricht daher diesem „Zeitstrahl“.

Eine sichere Nutzung der Geothermie erfordert eine detaillierte Planung und Überwachung der Arbeiten, weshalb Schutz der Umwelt und Einhaltung der dazu vorgesehenen Bestimmungen im Mittelpunkt stehen.



Mit dem Handlungsleitfaden Tiefe Geothermie wird eine Handreichung für alle direkt oder indirekt an einem Projekt Beteiligten geschaffen, die klar aufzeigt, wann welche Verfahrensschritte in einem Projektablauf erforderlich sind und in welcher Form und zeitlichen Staffelung diese erfolgen.

Der Handlungsleitfaden richtet sich daher ins-besondere an Projektentwickler. Er soll aber auch allen an einem solchen Projekt beteiligten Projektpartnern und betroffenen Bürgern ein zuverlässiges Kompendium über den Projektablauf von der Planung über die Ausführung bis hin zur Fertigstellung sein. Der Handlungsleitfaden soll zu einer frühzeitigen Beteiligung der Bürger mit klaren Informationen beitragen und soll Transparenz und damit auch Vertrauen schaffen.



GRUNDLAGEN UND NUTZUNGSSYSTEME DER TIEFEN GEOTHERMIE



Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde (VDI-Richtlinie 4640). Synonyme sind Erdwärme oder auch Geothermie. Erdwärme steht generell überall und jederzeit zur Verfügung.

Bei sachgerechter Bewirtschaftung ist sie praktisch unerschöpflich, da kontinuierlich Wärme im Untergrund erzeugt wird und aus größerer Tiefe nachströmt.

Die Temperatur steigt mit der Tiefe im Mittel um $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro 100 m an. Diese Temperaturzunahme pro Tiefenabschnitt wird als Temperaturgradient oder geothermischer Gradient bezeichnet.

An aerial photograph of a lush green valley. In the foreground, a small village with many houses featuring red-tiled roofs is visible, surrounded by dense green trees. The middle ground shows rolling green hills and fields, with a few scattered buildings. In the background, there are more hills and a distant town or city under a blue sky with light, wispy clouds. The overall scene is a vibrant, natural landscape.

Die Temperaturverteilung im Untergrund ist nicht einheitlich. Verantwortlich dafür sind die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Gesteine (z. B. Wärmeleitfähigkeit), aber auch der Wärmetransport mit der Migration von Fluiden. So gibt es Gebiete, in denen der Temperaturgradient gegenüber dem Durchschnittswert wesentlich erhöht ist.

In manchen Bereichen des Oberrheingrabens oder im Gebiet von Bad Urach am Fuß der Schwäbischen Alb nimmt die Temperatur teilweise um mehr als 5°C , stellenweise auch um 10°C pro 100 m zu. In diesen Bereichen liegen so genannte positive Temperaturanomalien vor. Für die Nutzung der geothermischen Energie hat dies den Vorteil, dass die gewünschte Temperatur an diesen Stellen bereits in geringerer Tiefe erreicht wird und dadurch niedrigere Bohrkosten sowie geringere Investitionskosten anfallen.

1.1 Geothermische Nutzungssysteme

Geothermische Systeme lassen sich unter verschiedenen Gesichtspunkten klassifizieren. Wenn man gleichzeitig die Tiefe der Wärmeabgewinnung und die Nutzungsart der geothermischen Energie berücksichtigen will, bietet sich die Unterteilung in oberflächennahe und tiefe Geothermie an (Abb. 1.1). Diese Unterscheidung ist auch deshalb sinnvoll, weil neben verschiedenen Techniken zur Energiegewinnung auch andere geowissenschaftliche Parameter zur Beschreibung der Gewinnungsarten erforderlich sind (BMU 2011).

Bei der **oberflächennahen Geothermie** wird die geothermische Energie dem oberflächennahen Bereich der Erde (meistens bis 150 m, max. bis 400 m Tiefe) entzogen (Abb. 1.1), z. B. mit Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen oder Energiepfählen (vgl. VDI-Richtlinie 4640). Eine energetische Nutzung ist hier i.d.R. nur mit Wärmepumpen möglich.

Die **tiefe Geothermie**, Gegenstand des Handlungsleitfadens, umfasst Systeme, bei denen die geothermische Energie über Tiefbohrungen erschlossen wird und deren Energie direkt genutzt werden kann. Die tiefe Geothermie beginnt bei einer Tiefe von mehr als 400 m und einer Temperatur über 20 °C. Üblich ist allerdings, von tiefer Geothermie erst bei Tiefen über 1.000 m und bei Temperaturen größer als 60 °C zu sprechen (Abb. 1.1). Bergrechtlich wird eine Tiefbohrung ab 1.000 m Tiefe definiert unabhängig von der angetroffenen Temperatur (UVP-V Bergbau).

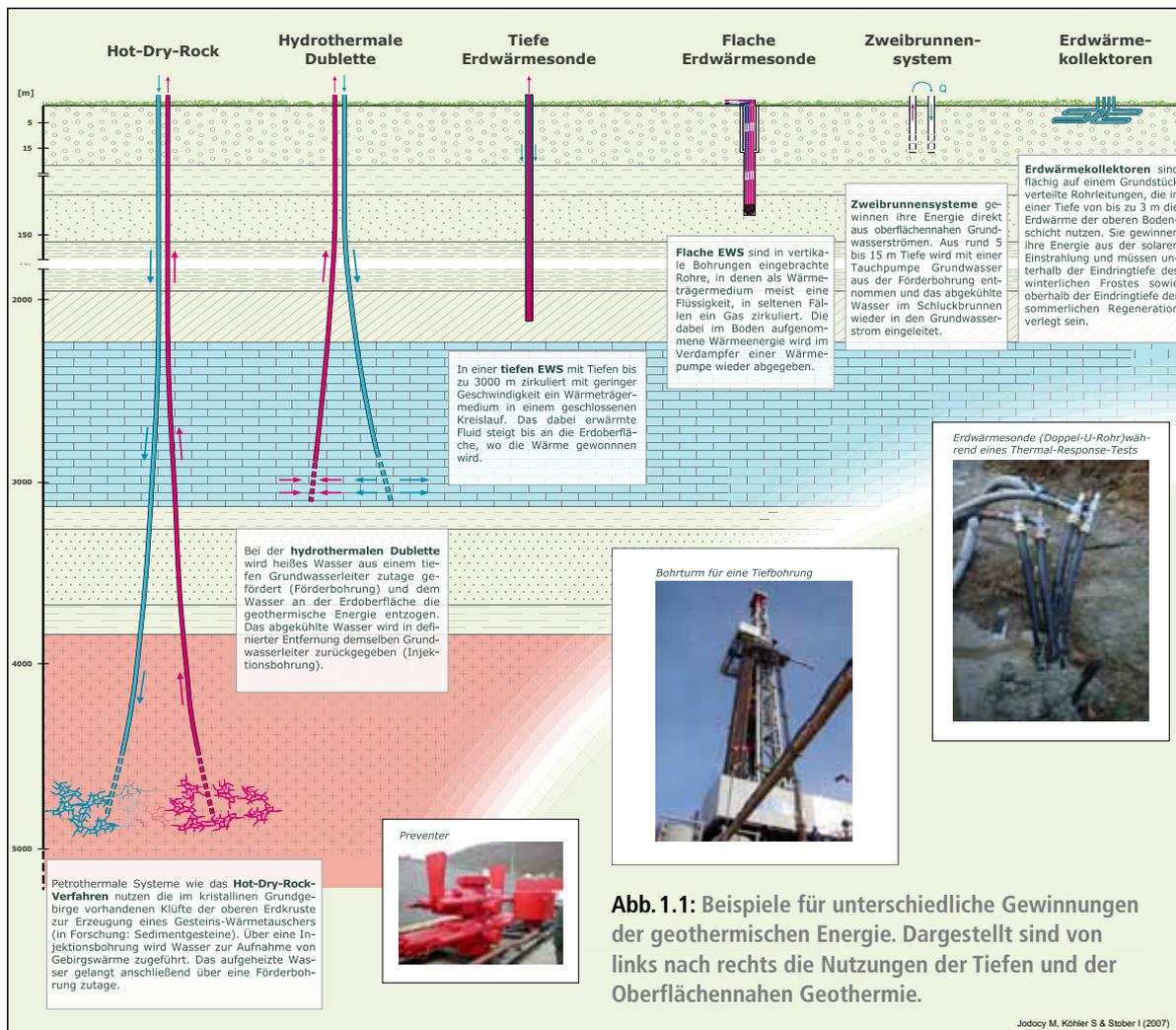


Abb. 1.1: Beispiele für unterschiedliche Gewinnungen der geothermischen Energie. Dargestellt sind von links nach rechts die Nutzungen der Tiefen und der Oberflächennahen Geothermie.

Zur tiefen Geothermie gehören in Deutschland folgende Nutzungssysteme:

- **Hydrothermale Systeme** mit niedriger Enthalpie (Temperaturen bis ca. 160 °C in BW): Überwiegend Nutzung des im Untergrund vorhandenen warmen und heißen Wassers, i.d.R. aus tiefen Grundwasserleitern (Aquifere). Die Nutzung erfolgt meist direkt (gegebenenfalls über Wärmetauscher) zur Speisung von Nah- und Fernwärmenetzen, zur landwirtschaftlichen bzw. industriellen Wärmenutzung oder für balneologische Zwecke; ab ca. 100 °C ist grundsätzlich eine Verstromung möglich. Für die nachhaltige Nutzung sind mindestens zwei Bohrungen (Dublette) erforderlich, eine Förderbohrung und eine Injektionsbohrung, in der das abgekühlte Thermalwasser wieder in den Aquifer zur Regeneration des Tiefenwasserhaushalts verbracht wird. Eine geothermische Anlage verfügt somit über mindestens zwei Tiefbohrungen, die entweder als Vertikalbohrungen von zwei getrennten Standorten ausgeführt werden oder als Schrägbohrungen von einem Bohrplatz aus, wobei der untertägige Abstand im Reservoir i.d.R. zwischen 1 km und 3 km beträgt.
- **Petrothermale Systeme:** Überwiegend Nutzung der im Gestein gespeicherten Energie, wobei die Durchlässigkeit und damit die natürliche Grundwasserführung des Gesteins im Gegensatz zu den Hydrothermalen Systemen niedrig ist. Zu den Nutzungssystemen gehören **Enhanced Geothermal Systems** (EGS, alte Bezeichnung: Hot Dry Rock Systems, HDR) und Tiefe Erdwärmesonden. Da EGS zumindest bisher primär zur Stromerzeugung vorgesehen sind, sind sie in diesem Handlungsfaden nicht Gegenstand weiterer Betrachtungen.

Tiefe Erdwärmesonden sind bezüglich ihres Nutzungssystems mit oberflächennahen Erdwärmesonden vergleichbar, dienen also ausschließlich der Wärmeversorgung. Die Gewinnung erfolgt mittels eines geschlossenen Kreislaufs, in dem das Wärmeträgermedium in einer Koaxial-Sonde zirkuliert. Bislang gibt es in BW keine Tiefen Erdwärmesonden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird empfohlen, Tiefe Erdwärmesonden nur in bereits vorhandenen, ungenutzten Tiefbohrungen oder in nicht fündigen Hydrothermiebohrungen als Not-Option zu realisieren. Aufgrund dieser Einschränkung werden sie im Handlungsfaden nicht behandelt.

Der vorliegende Handlungsfaden bezieht sich somit ausschließlich auf hydrothermale Systeme. Thema des Handlungsfadens ist daher vorzugsweise die Wärmegewinnung aus Tiefbohrungen in Aquiferen, mit der zusätzlichen Option für Stromgewinnung beim Antreffen entsprechend hoher Temperaturen.

Der Handlungsfaden ist daher auch für Projekte der Speicherung von Wärme (oder Kälte) in tiefe Aquifere und deren Wieder-Förderung, sog. Aquiferspeicher-Systeme (ATES, Aquifer Thermal Energy Storage), konzipiert. Insbesondere der Einspeicherung von Überschusswärme, bspw. aus Blockheizkraftwerken (BHKW) oder Gas- und Dampfturbinenkraftwerken (GuD), in tiefe Aquifere (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES) im Sommer mit der Wiedergewinnung zu Bedarfszeiten (Wintermonate) wird ein großes Potenzial zugesprochen.

1.2 Funktionsweise einer geothermischen Heizanlage (hydrothermale Nutzung)

Bei einer hydrothermalen Energiegewinnung für Heizzwecke wird warmes oder heißes Wasser aus einem Aquifer über eine Tiefbohrung zutage gefördert und dem Wasser an der Erdoberfläche meist über Wärmetauscher (Abb. 1.2) die Wärme entzogen. In Wärmetauschern wird die Wärme des Förderwassers auf eine andere Flüssigkeit, i.d.R. Wasser (Wasser mit Trinkwasser-Qualität, Heizwasser des Wärmenetzes), übertragen (sekundärer Kreislauf).

Das abgekühlte Aquiferwasser wird in den Aquifer mittels einer anderen Bohrung, der so genannten Injektionsbohrung, wieder zurückgeführt (Abb. 1.3). Beide Bohrungen müssen so weit voneinander entfernt sein, dass sie sich über die Dauer der geplanten Betriebszeit (meist etwa 30 Jahre) hinweg nicht negativ beeinflussen. Sie dürfen jedoch auch nicht so weit voneinander entfernt sein, dass die Regeneration des Thermalwassers durch die hydraulische Verbindung untertage nicht mehr gewährleistet ist. Hilfestellungen für plausible Abstände zwischen Förder- und Injektionsbohrung geben i.d.R. hydrothermische Modellierungen.

In Einzelfällen können zusätzlich auch Wärmepumpen zum Einsatz kommen, um ein höheres Temperaturniveau zu erreichen. Das im Wärmetauscher (und gegebenenfalls mittels Wärmepumpe) erwärmte Wasser wird über Fernwärmeleitungen direkt dem Verbraucher zugeführt (Abb. 1.3).



Abb. 1.2: Beispiel für einen Platten-Wärmetauscher.

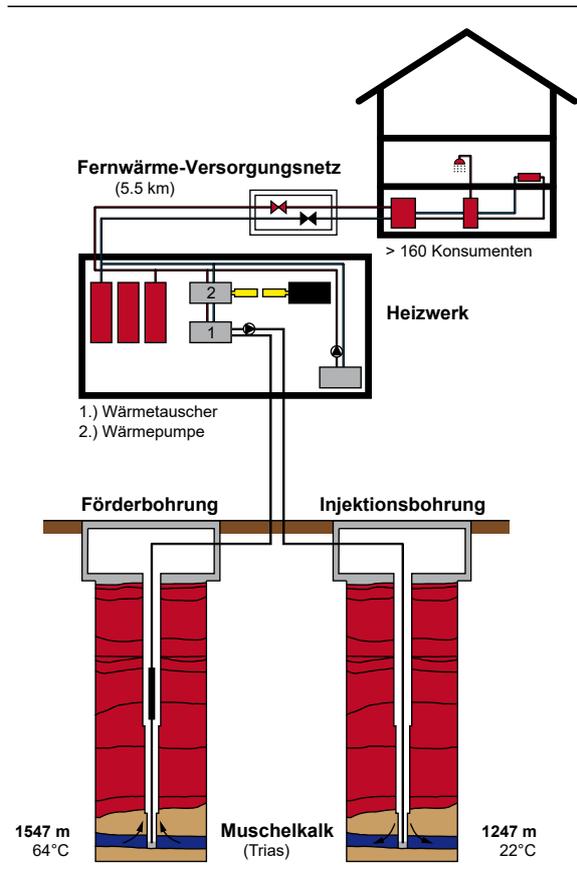


Abb. 1.3: Beispiel für eine geothermische Heizanlage (hier: Riehen bei Basel, Schweiz).

1.3 Stromerzeugung aus geothermischer Energie

Grundsätzlich ist es möglich, auch mit relativ niedrigen Temperaturen um 100 °C Strom zu erzeugen. Allerdings muss beachtet werden, dass niedrige Temperaturen zu geringen Wirkungsgraden führen.

In Baden-Württemberg liegen bei hydrothermalen Vorhaben im Oberrheingraben Quelltemperaturen von bis zu 120 - 160 °C vor. Damit lässt sich mit ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle) Strom gewinnen. Der Wirkungsgrad liegt in diesem Temperaturbereich bei ca. 10 %, d. h. nur ein Zehntel der eingesetzten Wärmeenergie kann als Strom genutzt werden. Entsprechend arbeiten auch Anlagen, die auf dem wesentlich weniger verbreiteten Kalina-Prozess basieren.

Diese niedrigen Wirkungsgrade machen geothermische Anlagen unter den hiesigen Bedingungen nicht zu wirklich effizienten Stromerzeugern. Daher kann Stromerzeugung aus hydrothermalen Anlagen nicht an erster Stelle stehen. Einer sinnvollen Wärmenutzung ist in jedem Fall der Vorzug zu geben. Allerdings kann es bei fehlender Anlagenauslastung, insbesondere im Sommer, Situationen geben, bei denen wenig Wärmebedarf vorliegt, aber aus betrieblichen Gründen die Wärmaförderung aufrechterhalten werden muss. In solchen Fällen kann eine Stromerzeugung durchaus Sinn machen, und die Effizienzbelange können in den Hintergrund treten.

Bei petrothermalen EGS-Anlagen liegen in Baden-Württemberg die nutzbaren Temperaturwerte mit 200 °C und darüber deutlich höher als bei hydrothermalen Systemen, und die betrieblichen Parameter für eine Stromerzeugung sind dann deutlich günstiger.

1.4 Beispiele für hydrothermale Nutzungen im Dubletten-Betrieb mit Schwerpunkt in Deutschland

In Bayern sind derzeit (2016) achtzehn Anlagen zur hydrothermalen Wärmeabgewinnung in Betrieb, zwei dieser Anlagen erzeugen zudem Strom, bei drei weiteren Anlagen ist ein Kraftwerk zur zusätzlichen Stromerzeugung in Bau bzw. in Planung. Darüber hinaus sind zwei Anlagen mit (bislang) reiner Stromerzeugung in Betrieb. Ein Projekt zur Wärmeversorgung befindet sich in der Bohrphase, weitere Projekte sind „bohrreif“ oder noch in der Planungsphase. Alle diese Anlagen bzw. Projekte nutzen bzw. zielen auf den Oberjura-Aquifer des Molassebeckens als Thermalwasser-aquifer ab. Die Bohrungen erreichen Tiefen bis über 5.000 m. Der Großteil dieser Geothermie-Anlagen befindet sich im Großraum München, da hier neben sehr günstigen Untergrundverhältnissen auch entsprechende Abnehmerstrukturen insbesondere für Fernwärme existieren. Betrieben werden die Anlagen von Kommunen – teilweise über Tochtergesellschaften – sowie von den Stadtwerken München und einigen privaten Betreibergesellschaften. Gemäß der Energiestrategie der Stadtwerke München soll München bis 2040 die erste deutsche Großstadt werden, in der Fernwärme zu 100 % aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Da es im städtischen Umfeld wenig regenerative Alternativen gibt, soll hierbei die tiefe Geothermie die Hauptlast übernehmen. Die geothermischen Anlagen im Großraum München wurden nach 2000 installiert und werden ohne größere Probleme betrieben.

Baden-Württemberg verfügt über zahlreiche Thermalwasserbohrungen, die neben ihrer primären balneologischen Nutzung auch für lokale Heizzwecke genutzt werden. Die Dublette in Weinheim im nördlichen Oberrheingraben nimmt eine Zwitterstellung ein, da sie als geothermische Anlage zum einen der Wärmeversorgung dient, zum anderen jedoch auch im Badebetrieb des Erlebnisbades Miramar genutzt wird. In Baden-Württemberg gibt es jedoch bislang nur eine geothermische und nicht balneologisch genutzte Anlage, das Kraftwerk in Bruchsal.

Die beiden Vertikalbohrungen bei Bruchsal im Oberrheingraben sind 1.874 m und 2.542 m tief und erschließen ein hochmineralisiertes Thermalwasser von 134 °C. Die Anlage in Bruchsal, eine hydrothermale Dublette, wird bisher ausschließlich zur Stromproduktion genutzt, wobei die tiefere Bohrung (Bruchsal 2) als Förderbohrung und die flachere Bohrung (Bruchsal 1a) als Injektionsbohrung des abgekühlten Thermalwassers dient (Abb. 1.4).



Die flächenhafte Anwendung und die langjährige betriebliche Erfahrung für die hydrothermale Wärmenutzung aus Tiefbohrungen, mit Ausnahme der zahlreichen balneologischen Nutzungen, fehlen in Baden-Württemberg, anders als in Frankreich, wo im Pariser Becken mehr als 30 geothermische Anlagen zur lokalen Beheizung bereits seit den 1970er Jahren erfolgreich in Betrieb sind. Auch im südlichen Oberrheingraben in Riehen bei Basel (Schweiz) existiert eine hydrothermale Dublette, die seit ihrer Inbetriebnahme im Jahre 1994 kontinuierlich Wohneinheiten in der Schweiz und später auch in Deutschland mit Wärme versorgt. Erst vor Kurzem wurde diese Anlage ausgebaut. Die beiden 1 km voneinander entfernten Bohrungen in Riehen erschließen den Muschelkalk-Aquifer in 1.547 m und 1.247 m Tiefe (Abb. 1.3).

Abb. 1.4: Einbau der Pumpe in die Förderbohrung (Bruchsal 2) im Jahre 2002.

1.5 Beispiele für Aquiferspeicher-Systeme (ATES) in Deutschland

Die Einspeicherung von Wärme oder Kälte in den Untergrund (ATES – Aquifer Thermal Energy Storage) für eine spätere Nutzung bietet eine weitere Möglichkeit zur nachhaltigen, dezentralen Energieversorgung.

Bisher gibt es in Deutschland nur drei Standorte (Reichstagsgebäude Berlin, Rostock und Neubrandenburg) mit geothermischer Energiespeicherung in Grundwasserleitern. In Berlin wurden zwei Aquiferspeicher mit dem Nahwärmeverbund der Parlamentsgebäude verbunden, einer dient zur Wärme-, der andere zur Kältespeicherung (Abb. 1.5). Der obere Speicher wird primär zur Gebäudekühlung verwendet unter Nutzung der Kälte aus der Umgebungsluft im Winter. Die warme Seite des Kältespeichers ist Quelle für Wärmepumpen. Der untere Aquifer wird im Sommer mit Abwärme aus der Kraft-Wärmekopplung beladen und im Winter zum Heizen der Gebäude genutzt.



In den Niederlanden gibt es bereits mehrere hundert erfolgreich in Betrieb genommene Aquiferspeicher. Dies verdeutlicht, dass Aquiferspeicher grundsätzlich technisch als auch wirtschaftlich einsetzbar sind. Die Anwendung und die langjährige Erfahrung für Aquiferspeicher fehlen jedoch insbesondere in Baden-Württemberg.

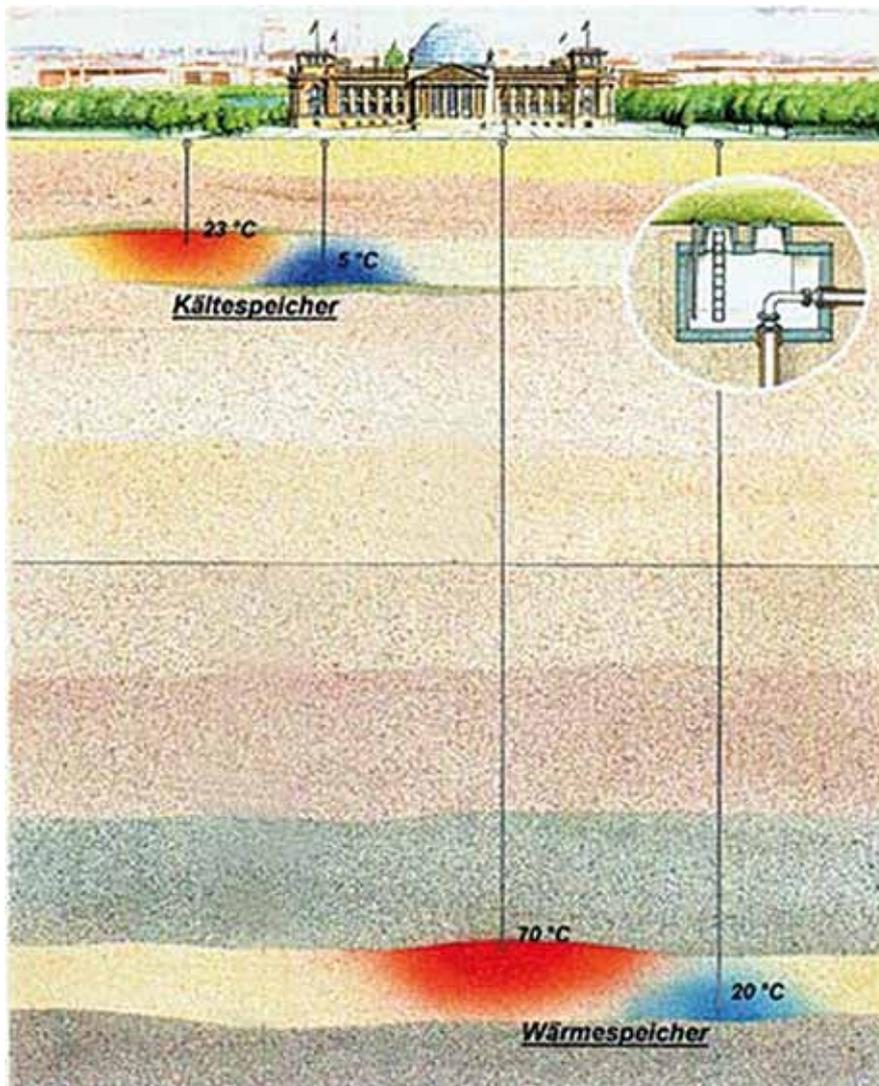


Abb. 1.5:
Aquiferspeicher unter dem Reichstagsgebäude in Berlin.

Dargestellt ist der oberflächennahe Kältespeicher (in ca. 50 m Tiefe), der i.W. der sommerlichen Kühlung dient, sowie der tiefere Wärmespeicher (285-315 m Tiefe), der für Heizzwecke genutzt wird.

Geothermie Neubrandenburg GmbH,
Dr. Kabus



VORSTUDIE

2

Zur Vorbereitung eines geothermischen Projektes werden in der so genannten Vorstudie i.W. bereits vorhandene Daten und Informationen über den Untergrund sowie über die lokale Energieversorgung einschließlich der vorhandenen Versorgungsnetze zusammengetragen.

Die Informationen können von einem mit der lokalen Geologie vertrauten Ingenieurbüro in Zusammenarbeit mit dem lokalen Energieversorger zusammengestellt werden. In dieser Phase muss man sich vergewissern, ob grundsätzlich die Möglichkeit einer geothermischen Nutzung besteht. Letztlich müssen die vorhandenen Untergrundverhältnisse und das lokale Energieversorgungssystem zusammenpassen. Gegebenenfalls muss das vorhandene Wärmenetz angepasst werden.

Im Zuge der Errichtung einer Tiefengeothermie-Anlage kann selbstverständlich durchaus auch ein neues Wärmenetz errichtet werden.



In diesem Stadium der Projektentwicklung sollte man sich bereits mit der Gesetzeslage vertraut machen und die Beteiligung der Öffentlichkeit vorbereiten. Für die Erstellung und Nutzung von tiefergeothermischen Anlagen sind insbesondere die Regelungen des Bundesberggesetzes (BBergG), des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG), des Baugesetzbuchs (BauGB) sowie die landesrechtlichen Regelungen des Wassergesetzes (WG) und der Landesbauordnung zu beachten. Auch weitere Umweltgesetze, wie das Naturschutzgesetz oder das Waldgesetz, können je nach Standort zur Anwendung kommen. Das Umweltverwaltungsgesetz (UVwG) sieht eine frühe Beteiligung der Öffentlichkeit vor, bei der der Vorhabenträger über die Ziele des Vorhabens, die Mittel, es zu verwirklichen, und über voraussichtliche Auswirkungen des Vorhabens unterrichtet sowie dem Bürger Gelegenheit zur Äußerung und Erörterung gibt.

Wegen der komplexen Vorgehensweise wird dem Projektplaner daher dringend empfohlen, sich fachlichen Beistands durch ein Beratungsunternehmen zu versichern.

2.1 Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation

Vor Beginn der Arbeiten sollte sich die Projektleitung, bzw. Interessensgemeinschaft (allgemein: Vorhabenträger), intensiv mit dem Thema Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation befassen. Dies ist ganz im Sinne des Umweltverwaltungsgesetzes (UVwG) von BW. Dabei kann schon früh überlegt werden, ob eine professionelle Unterstützung bei diesen Fragen genutzt werden soll (z. B. Mentoring-, Mediations-, Kommunikationsspezialisten). Auch der Austausch mit Projektleitern erfolgreicher Projekte ist unbedingt zu empfehlen (VDI-Richtlinie 7000 und 7001, Enerchange 2014, BINE 2016).

Um kurz-, mittel- und langfristig Vertrauen in das Projekt und auch die Nutzung der Geothermie insgesamt zu erhalten, sollten bei der Kommunikation folgende Regeln eingehalten werden:

- Korrekte, sachliche Information
- Benennung von Chancen und Risiken
- Weitreichende Transparenz
- Zugänglichkeit von Informationsmaterialien, z. B. durch Internetauftritt etc.

Zudem ist es sehr wichtig, dass die Bevölkerung einen definierten Ansprechpartner, ein verlässliches Gesicht, als Gegenüber hat, an den sie sich jeder Zeit mit allen Fragen, Hinweisen oder Besorgnissen wenden kann. In jedem Projektabschnitt sollte eine angemessene Information und Beteiligung der Bürger stattfinden, wobei die Bedürfnisse nach Information, Beteiligung etc. standortabhängig sein können. Zusätzlich sollte eine rechtzeitige und frühe Information von zuständigen Behörden, Bürgermeistern, Landräten, Ministerien sowie lokalen Pressevertretern erfolgen. Je nach Dimension des Projektes sind weitere Personen bzw. Institutionen einzubinden.

Neben der Information der Bevölkerung ist auch an eine mögliche aktive Bürgerbeteiligung oder Bürgerpartizipation zu denken und entsprechend vorzusehen, wie beispielsweise eine Beteiligung der Kommune am Projekt selbst (auch als Teilhaber) oder der Anschluss und die Verbindung

zu lokalen Wärmenetzen und damit zu einer kostengünstigen Wärmeversorgung der Bürger. Der Anschluss an ein überwiegend tiefeingeothermisch gespeistes Wärmenetz wird zudem als Erfüllungsoption für die Wärmegeetze (EWärmeG, EEWärmeG) gesehen.

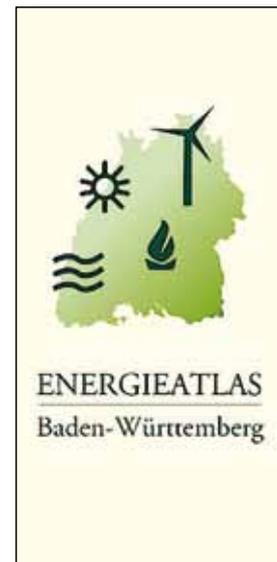
Grundsätzlich sollten die Bürger als auch die für spätere Genehmigungsverfahren/-stellen Behörden (ggf. Ministerien) als wichtige Partner bei der Durchführung des Projektes erkannt und ihre jeweiligen Kompetenzen genutzt werden.

2.2 Lokale Energiesituation und wirtschaftliche Verhältnisse

Möglichst frühzeitig muss die lokale Energiesituation erhoben werden, um die geplante geothermische Anlage optimal einbinden zu können. Daher sind alle Wärmequellen und -senken sowie die vorhandene und geplante Wärmeversorgung zu erfassen. Wichtig sind der jahreszeitliche Lastverlauf, das Lastvermögen, das Temperaturniveau und ob andere Energiequellen, wie z. B. Industrieabwärme, zur Verfügung stehen.

Der Energieatlas Baden-Württemberg der LUBW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) stellt umfangreiche Daten und Karten zur Unterstützung zur Verfügung (www.energieatlas-bw.de). Damit können sowohl bestehende Energieerzeugungsanlagen als auch das Ausbaupotential für weitere Anlagen dargestellt und analysiert werden. Der Atlas stellt sowohl eine Informationsgrundlage als auch eine Entscheidungshilfe für die Vorbereitung von Projekten zur Wärmeversorgung mit Wärmenetzen dar und ist ein Informationsinstrument mit dem Ziel, energiewirtschaftliche Planungen sowie Energie- und Klimaschutzkonzepte auf der regionalen und kommunalen Ebene zu unterstützen. Zielgruppe sind neben der öffentlichen Verwaltung die Energiewirtschaft (Energieversorgungsunternehmen, Netzbetreiber etc.) sowie Kommunen, Planungsverbände und das lokale Handwerk. Er bietet landesweite Informationen zum Wärmebedarf von Wohngebäuden. Nichtwohngebäude sind bislang noch nicht erfasst. Der Energieatlas ist ein erstes grobes Hilfsmittel, um eine Einschätzung zur lokalen Energiesituation vorzunehmen. Für Planungen zur Umsetzung einer Wärmeversorgung, sollten zudem detailliertere Untersuchungen zum tatsächlichen Wärmebedarf vorgenommen werden.

Zudem sollte sich der Vorhabenträger rechtzeitig einen Überblick über die ökonomische Situation, über Finanzierungsmöglichkeiten aber auch über Fördermöglichkeiten verschaffen. Die jeweils aktuellen Fördermöglichkeiten in Baden-Württemberg können sowohl bei der KEA (Karlsruher Energie Agentur) erfragt sowie auf der Homepage des UM (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) ermittelt werden. Daneben sind die aktuellen Fördermöglichkeiten des Bundes über das BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) zu beachten.



Es wird empfohlen, dass sich der Vorhabenträger bereits in dieser Phase mit Themen der Vermarktung, aber auch der Versicherung, der Haftung sowie mit Beweisicherungsverfahren befasst.

Für die Nutzung der geothermischen Energie sind zudem die **Temperaturverhältnisse** (Abb. 2.2) in den potenziellen Zielhorizonten von zentraler Bedeutung, denn die Untergrundtemperaturen sollen ja entsprechend der verschiedenen Rahmenbedingungen im Gesamtsystem nutzbar sein (z. B. Temperatur existierender Wärmenetze, Wirtschaftlichkeit). In diesem Zusammenhang interessieren auch Angaben über Wärmeleitfähigkeit oder Wärmekapazität des Untergrundes. Auch die hydraulischen Parameter, wie insbesondere die **Durchlässigkeit**, der tief liegenden Aquifere im regionalen Umfeld, die Tiefenlage des Wasserspiegels und die **hydrochemischen Eigenschaften** des Thermalwassers sind von großer Wichtigkeit. Die förderbare Menge an Thermalwasser, die im Wesentlichen auf der Durchlässigkeit des Aquifers basiert, entscheidet zusammen mit der Temperatur über die thermische Leistung der geothermischen Anlage und damit über die wirtschaftliche Gesamtsituation und Machbarkeit des Projektes.

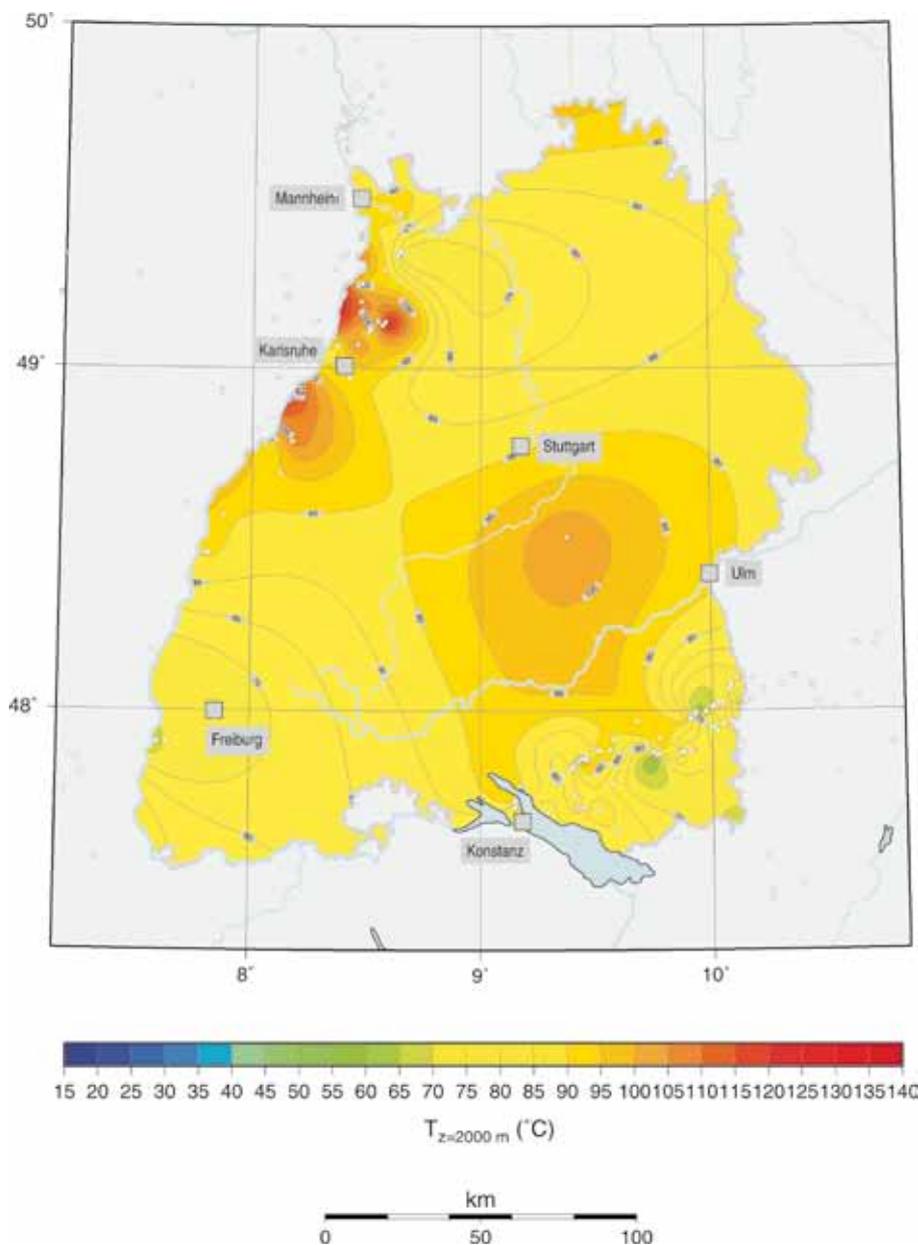


Abb.2.2: Abschätzung der Temperatur-Verteilung in 2.000 m u. Gel. in Baden-Württemberg. Deutlich erkennbar sind die erhöhten Temperaturen im Oberrheingraben und SSO von Stuttgart.
Schellschmidt & Stober 2008

Die Kenntnis der hydrochemischen Eigenschaften und die Gasführung der Tiefenwässer ist u. a. für die Bohrloch-Verrohrung und -komplettierung, um eine einwandfreie Funktionalität der Bohrung und Sicherheitseinrichtungen (Bohrlochintegrität) zu gewährleisten, aber auch beispielsweise für die spätere Materialauslegung der übertägigen Geothermieanlage oder für die ggf. erforderliche Behandlung des Thermalwassers unter dem Aspekt der Vermeidung von Korrosion oder Sinterbildung von essentieller Bedeutung. Besonders interessant sind dabei Daten von benachbarten Tiefbohrungen. Bis auf den Oberjura-Aquifer sind in BW fast alle Tiefen-Aquifere erhöht mineralisiert, d. h. sie weisen Gesamtlösungsinhalte von mehreren g/kg auf, in Tiefen über 1.000m mehrere 10er g/kg und können im Oberrheingraben auch Werte über 100 g/kg erreichen.

Geophysikalische Bohrlochmessungen in existenten Tiefbohrungen aus der näheren und weiteren Umgebung sind ebenfalls hilfreich. So kann beispielsweise aus geophysikalischen Bohrlochmessungen das lokale Stressfeld abgeschätzt werden, und es lassen sich qualitative Informationen z. B. über die Durchlässigkeit des Untergrundes oder Informationen über die zu erwartende Stabilität des Bohrlochs abschätzen.

Bezug von Untergrund-Daten und -Information:

Informationen über existierende Tiefbohrungen können beim geologischen Dienst (Abt. 9 des Regierungspräsidiums Freiburg: Landesamt für Geologie Rohstoffe und Bergbau, LGRB) angefragt und unter Beachtung der rechtlichen Restriktionen bezogen werden. Dort ist auch prinzipiell eine Einsichtnahme in vorhandene reflexionsseismische Sektionen möglich. Das Kohlenwasserstoff-Fachinformationssystem (KW-FIS) des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG) in Hannover umfasst Daten des tieferen Untergrundes aus dem gesamten Bundesgebiet. Die Inhalte stammen aus Datenbanken von Industriefirmen (Ablieferung nach Lagerstätten- und Bundesberggesetz und im Rahmen des Erdölgeologischen Austausches) sowie aus staatlichen Archiven. Auch im LBEG ist eine Einsichtnahme möglich. Die gewünschten detaillierten Daten müssen danach allerdings u. U. jeweils bei den Rechtsinhabern, i. d. R. die KW-Firmen, käuflich erworben werden.



Bereits interpretierte reflexionsseismische Sektionen im Bereich des Oberrheingrabens und des Molassebeckens in BW sind im kostenlos zugänglichen Geothermischen Informationssystem (GeotIS) (www.geotis.de) eingestellt. In GeotIS sind ferner Kompilationen von in Tiefbohrungen gemessenen Temperatur-Daten abrufbar, zum einen deutschlandweit als Karten für verschiedene Tiefen (m NN), zum anderen auch als Temperatur-Isolinien, eingetragen in geologische Schnitte. Zusätzlich finden sich in GeotIS auch viele Informationen über die Durchlässigkeit und hydrochemische Eigenschaft von Tiefenwässern in BW. Ebenso ein ausführliches Schriftenverzeichnis mit Literaturangaben über die wichtigsten Eigenschaften von Tiefen-Aquiferen.



Im Fachinformationssystem Geophysik (FIS GP) des LIAG (www.fis-geophysik.de) sind deutschlandweit geophysikalische Bohrlochmessungen abgelegt. Einzelinformationen über Temperatur, Durchlässigkeit (hydraulische Tests), hydrochemische Eigenschaften angetroffener Wässer und geophysikalische Bohrlochvermessungen finden sich i. d. R. bei den Tiefbohrungen, d. h. können über die KW-Firmen bezogen werden, z. T. für BW auch über das LGRB. Allgemeine Informationen über die Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben und Molassebecken sind der Homepage der Projekte (GeORG, GeoMOL, GeotIS) zu entnehmen.

Im Rahmen der Vorstudie sollten im Untersuchungsgebiet zwar alle relevanten Informationen über den tieferen Untergrund gesammelt und kompiliert werden, eine ausführliche Auswertung der erhobenen Daten findet in dieser Projektphase jedoch meist noch nicht statt. Sollten keine reflexionsseismischen Daten oder nur Daten geringer Qualität vorliegen, ist für die nächste Projektphase eine Empfehlung für eine reflexionsseismische Erkundung des Untergrundes auszusprechen.

2.4 Bergrechtliche Aspekte

Da sich das Grundstückseigentum nicht auf die Erdwärme erstreckt (bergfreier Bodenschatz), sind nach dem Bundesberggesetz (BBergG) für die Aufsuchung, die Gewinnung oder Aufbereitung der Erdwärme besondere Genehmigungen erforderlich. Detaillierte Informationen über die Bergrechte, über die bergrechtliche Erlaubnis zur **Aufsuchung** bis hin zur Bewilligung für die Gewinnung von Erdwärme können bei der zuständigen Bergbehörde (in BW: Landesbergdirektion, Ref. 97 im Regierungspräsidium Freiburg) eingeholt werden. Die Bergbehörde erteilt die entsprechenden bergrechtlichen Genehmigungen zur Aufsuchung und zur Gewinnung (Abb. 2.3).

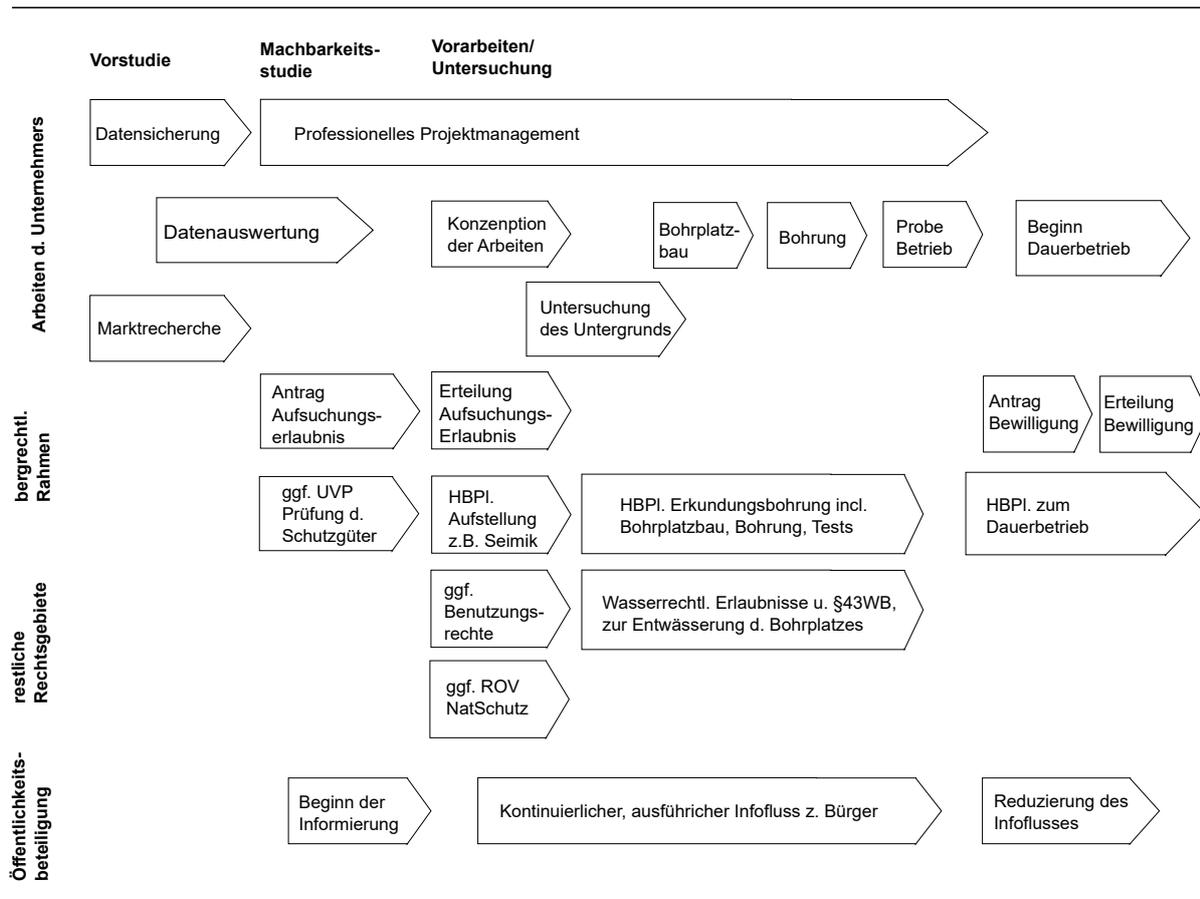


Abb. 2.3: Schematischer Ablaufplan mit Übersicht über die wichtigsten Erlaubnisse, die im Zuge eines Geothermieprojektes anfallen.

Unter Aufsuchung werden dabei alle Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Untersuchung des Untergrundes im Hinblick auf das geothermische Potential einschließlich dem Abteufen der späteren Bohrungen verstanden. Die einzelnen operativen Maßnahmen im Zuge einer erteilten Aufsuchungserlaubnis müssen gesondert beantragt und genehmigt werden. Alle Tätigkeiten im Zusammenhang mit der späteren, i.d.R. kommerziellen Förderung der Erdwärme gelten als **Gewinnung**, wobei Fördertests, die im Rahmen der Aufsuchung oder zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Bohrungen sowie der thermischen und hydraulischen Reichweite durchgeführt werden, ausgenommen sind. Die **Nutzung** ist als Weiterverarbeitung einzustufen und fällt nicht mehr unter das Bergrecht. Der Geltungsbereich des Bundesberggesetzes endet somit in etwa beim Übergang zu einem Wärmetauscher in der übertägigen, technischen Anlage, ist jedoch von den jeweiligen Gegebenheiten der übertägigen Anlagen abhängig.

Zwar ist in dieser Projektphase der Vorstudie die Einholung einer Genehmigung noch kein zwingendes Muss, jedoch wird empfohlen, sich frühzeitig mit dem Thema Bergrecht vertraut zu machen und mit der Bergbehörde zu besprechen. Werden beispielsweise für die Beschaffung von über- und untertägigen Informationen entsprechende Investitionen getätigt, so kann bereits in dieser Phase des Projektes eine **bergrechtliche Erlaubnis zur Aufsuchung** von Erdwärme eingeholt werden (Abb. 2.4).

Wenn eine hydrothermale Anlage projektiert ist, sollte parallel dazu auch die Aufsuchung von Sole (hochsalinates Wasser) und nicht nur für Erdwärme beantragt werden. Zu beachten ist aber, dass mit der Erteilung einer Erlaubnis zunächst eine 5 Jahres Frist beginnt, in der mit den Aufsuchungsarbeiten begonnen werden muss.

Die bergrechtliche Erlaubnis zur Aufsuchung bezieht sich immer auf ein bestimmtes Gebiet, d. h. auf ein abzugrenzendes **Erlaubnisfeld**, und eine bestimmte Zeitspanne. Die Feldgröße orientiert sich dabei typischerweise an der notwendigen Auslegungsdimension, die für geophysikalische, insbesondere reflexionsseismische Messungen erforderlich ist. Mit dem Erlaubnisfeld reserviert man sich auch die Vorrechte im Feld für eine potenzielle spätere Geothermienutzung. Damit wird klargestellt, dass es in diesem Gebiet keine konkurrierende Rechte für Erdwärme gibt und welche Rechte für andere Bodenschätze wie Erdöl/Erdgas oder Sole existieren. Potenzielle Nutzungskonkurrenzen lassen sich damit vermeiden oder rechtzeitig gegeneinander abgrenzen. Mit Erteilung dieser Erlaubnis dürfen jedoch noch keine praktischen Tätigkeiten im ausgewiesenen Feld (z. B. Eingriffe in den Untergrund) durchgeführt werden, dafür bedarf es gesonderter Betriebspläne.

Geologische Karte von Baden-Württemberg.

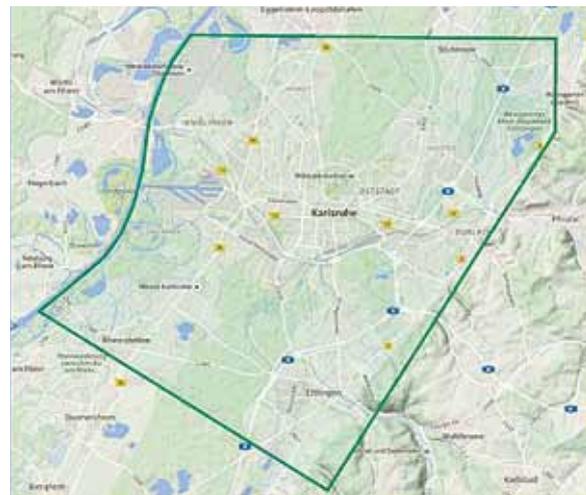
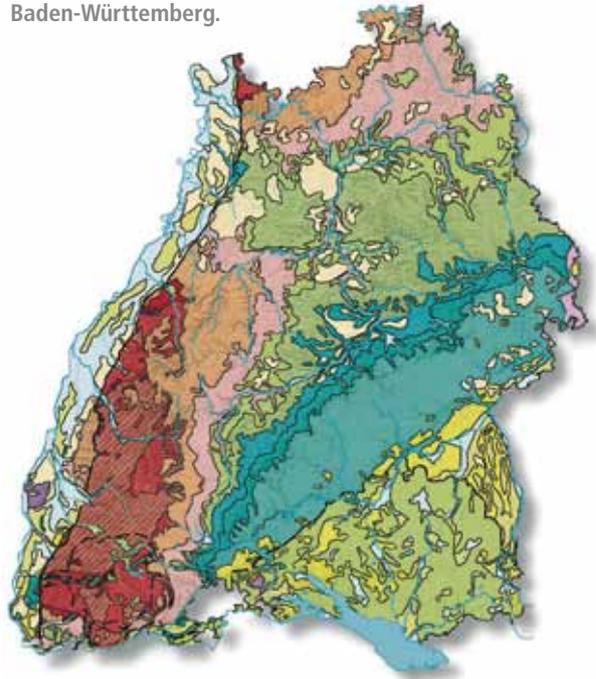


Abb. 2.4: Beispiel für ein Erlaubnisfeld zur Aufsuchung von Erdwärme.

2.5 Umweltverwaltungsgesetz, Öffentlichkeitsbeteiligung

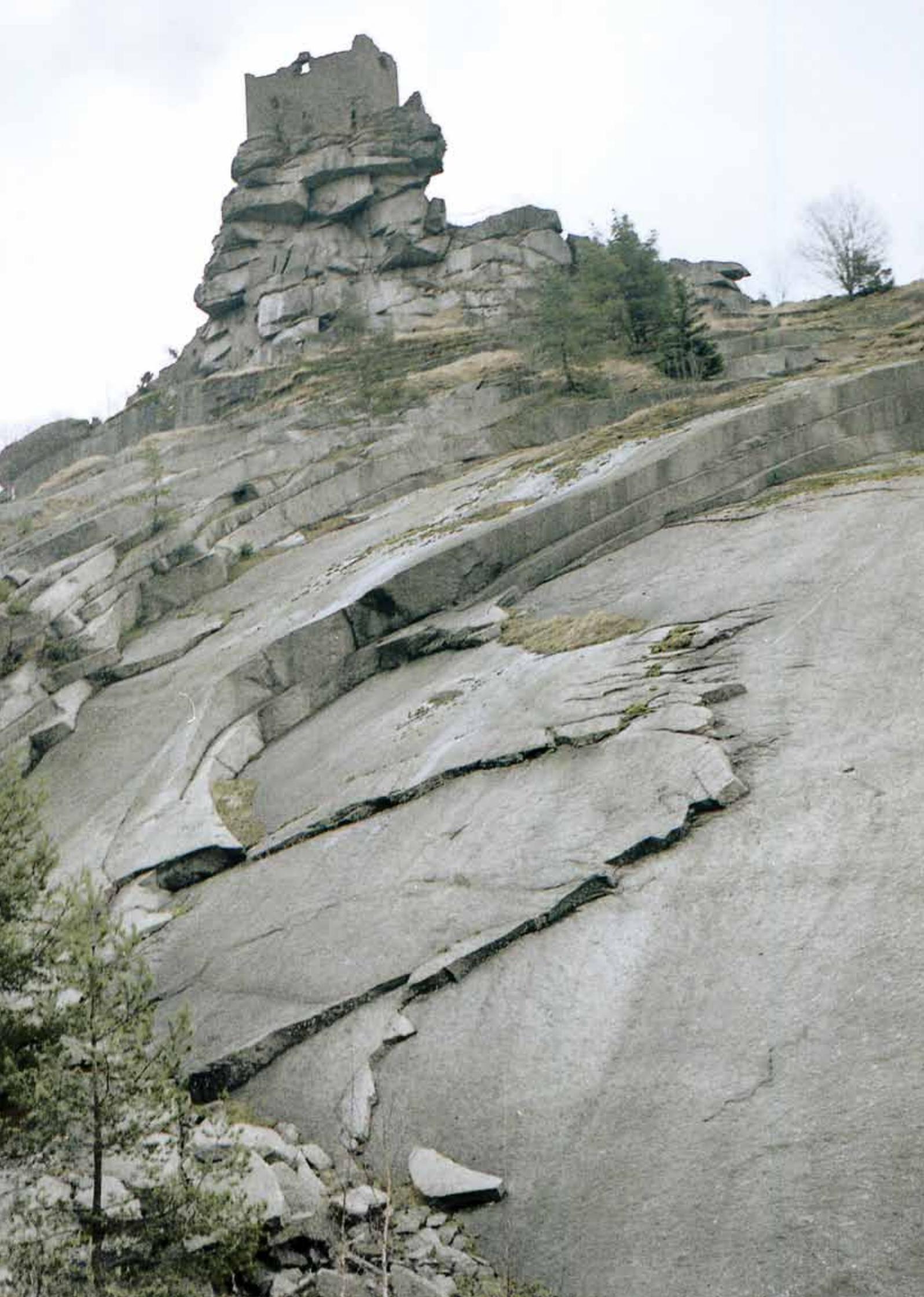
Das Umweltverwaltungsgesetz (UVwG) und die Verwaltungsvorschrift Öffentlichkeitsbeteiligung Baden-Württemberg eröffnen Behörden und Unternehmen/Vorhabensträgern die Möglichkeit, die Bürgerinnen und Bürger bereits bei der Planung eines Projekts, das nicht nur unwesentliche Auswirkungen auf die Belange einer größeren Zahl von Dritten haben kann, so früh wie möglich miteinzubeziehen. Die frühe Öffentlichkeitsbeteiligung setzt dabei bereits vor der ggf. erforderlichen förmlichen Öffentlichkeitsbeteiligung im eigentlichen Genehmigungsverfahren an (Abschn. 5.4). Die frühe Öffentlichkeitsbeteiligung wird ausschließlich vom Vorhabenträger (Projektleiter, Interessensgemeinschaft) gesteuert.

Es ist erforderlich, sich bereits in dieser Phase des Projektes mit dem Thema Umweltverträglichkeit vertraut zu machen. Eine Bestandsaufnahme vorhandener Schutzgebiete und Schongebiete im weiteren Umfeld des Untersuchungsgebietes ist hierfür erforderlich. Dazu gehören u. a. Wasserschutzgebiete für Trinkwasserfassungsanlagen, Trinkwasserschongebiete, Heilquellenschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Naturdenkmale, Natura 2000-Gebiete (Abschn. 5.4) sowie sonstige Nutzungen. Diese Bestandsaufnahme sollte auch die jeweiligen Einschränkungen, die in diesen Gebieten vorliegen, beinhalten. So besteht ein Wasserschutzgebiet für Trinkwasserfassungsanlagen beispielsweise aus einzelnen, unterschiedlich dimensionierten Schutzzonen mit sehr unterschiedlichen Ge- und Verboten sowie entsprechenden Auflagen.

Der Vorhabenträger kann dadurch bereits sehr frühzeitig Hinweise über Regionen erhalten, in denen mit Auflagen zu rechnen ist, welcher Art diese Auflagen sind, oder ob das vorgesehene Projekt in bestimmten Bereichen ausgeschlossen ist, und kann darauf entsprechend reagieren. Die eigentliche Umweltverträglichkeits-Vorprüfung erfolgt zwar erst zu einem späteren Zeitpunkt (Abschn. 5), jedoch sollte diesbezüglich der Kontakt zur Bergbehörde bereits zu Beginn der Projektplanung gesucht werden, da die Frage einer Umweltverträglichkeits-(Vor)prüfung möglichst frühzeitig geklärt werden sollte, weil oftmals die durchzuführenden Untersuchungen der Flora und Fauna Zeit benötigen.

2.6 Zielformulierung für das Projekt

Im Anschluss an die Zusammenstellung der für die Vorphase relevanten Informationen (Abschn. 2.1-2.5) sollte das Vorhabensziel definiert werden. Es sollte ein technisches Grobkonzept erstellt werden, das gestattet, eine grobe Kostenabschätzung (Kosten für Bohrungen, übertägige Anlagen und Versorgungssysteme) vorzunehmen, wobei allerdings Fördermöglichkeiten in dieser Aufstellung noch fehlen. Zu diesem Zeitpunkt kann darauf aufbauend der Vorhabenträger darüber entscheiden, ob er das Projekt weiterführt.



MACHBARKEITSSTUDIE

3

Sind die Ergebnisse nach Abschluss der Vorstudie für den Vorhabenträger positiv ausgefallen, erfolgt die zweite Phase der Projektierung, die sogenannte Machbarkeitsstudie. In dieser Phase werden die in der Vorphase begonnenen Arbeiten, Untersuchungen bzw. Themen verstärkt in Angriff genommen. Neue kostenaufwändige Messungen finden in dieser Phase jedoch noch nicht statt. Am Ende der Machbarkeitsstudie sollte eine Abschätzung der Kosten für die Gesamtanlage (Finanzierung, Fördermöglichkeiten) erfolgen, inklusive Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit des Projektes. Ebenso sollte eine Risikoanalyse zur Machbarkeit mit definierten Abbruchkriterien durchgeführt werden.



Für die Begleitung und Steuerung des Projektes ist möglichst frühzeitig ein professionelles Projektmanagement zu installieren.

Es wird empfohlen, dass der Vorhabenträger in dieser Phase auch die Belange des Umwelt- und Naturschutzes prüft, ebenso wie mögliche Ausschlusskriterien in Bezug auf Umwelt, Naturschutz, Wasserschutz, Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie auf das Baurecht.

3.1 Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation

Im Wesentlichen gelten auch hier die in [Abschnitt 2.1](#) getroffenen Aussagen. Transparent, frühzeitig und regelmäßig informieren, sollte das Ziel jeder Öffentlichkeitsarbeit für ein Tiefe-Geothermie-Vorhaben sein. Die Öffentlichkeit muss strukturiert beteiligt werden (VDI 7000, 7001). Die Projektleitung muss ein Konzept erarbeiten, wie sie was wann mit der Bevölkerung, mit kommunalen und regionalen Vertretern, Behörden, Verbänden und Presse kommuniziert. In jedem Fall sollte die Projektleitung ein „Gesicht“ des Vorhabens als Hauptansprechpartner für alle Beteiligten festlegen, der in alle Abläufe des Geothermie-Projektes eingebunden und immer ansprechbar, aber auch sprechfähig ist. Persönliche Nähe ist entscheidend: der Ansprechpartner sollte kontinuierlich präsent sein, indem er beispielsweise regelmäßig, insbesondere auch verbalen Kontakt mit Journalisten hält und vor Ort für die Bevölkerung – etwa durch ein eigenes Büro – sichtbar und erreichbar ist. Es ist sinnvoll, direkt mit den lokalen Pressevertretern regelmäßig über den Fortgang des Projektes zu kommunizieren.



Gleichzeitig sollte sichergestellt werden, dass die Ansprechpartner in der Lage sind, die Fragen der Bevölkerung zu beantworten. Es ist sinnvoll, lokal ansässige Unternehmen mit einzubinden, um Informationen möglichst breit zu verteilen. Dem Bürger ist auch mitzuteilen, dass alle Maßnahmen, die in einem bergrechtlich abgegrenzten Erlaubnisfeld zur Aufsuchung von Erdwärme ([Abschn. 3.4](#)) durchgeführt werden, zuvor von der Bergbehörde zugelassen werden müssen. Die Maßnahmen dürfen dann natürlich auch nur genauso und nur dort erfolgen. Für die ordnungsgemäße Durchführung ist der Vorhabenträger verantwortlich und haftbar.

Empfehlenswert ist die Einrichtung eines Projektbeirates, der in engem Kontakt zu den betroffenen Fachbehörden, den Natur- und Umweltschutzverbänden und anderen ggf. betroffenen Verbänden steht. Dieser Projektbeirat sollte in regelmäßigen Abständen einberufen werden und über den jeweils aktuellen Sachstand des Vorhabens informiert werden.

3.2 Bewertung der erhobenen geowissenschaftlichen Untergrund-Informationen

In dieser Projektphase ist es wichtig, die erhobenen geowissenschaftlichen Unterlagen (Abschn. 2.3) im Detail auszuwerten und festzustellen, welche Informationen über den Untergrund noch fehlen. Besonders wichtig ist es, ein gutes Abbild des Untergrundes, ein **dreidimensionales geologisches Untergrundmodell**, zu erhalten, d. h. welche geologischen Schichten liegen im Untergrund vor, wie mächtig sind diese Schichten, liegen die Schichten horizontal oder geneigt, falls ja in welche Richtung. Gibt es Störungen im Untergrund? Wie sehen die Einfallswinkel dieser Störungen aus? Wichtige Informationen hierzu ergeben sich insbesondere aus der Auswertung der Schichtenverzeichnisse von Tiefbohrungen und der reflexionsseismischen Daten. Wichtig ist, dass es sich hierbei um ein erstes vorläufiges 3D geologisches Modell handelt, das in späteren Arbeitsschritten (Abschn. 4.4) i. d. R. noch verfeinert und/oder verifiziert wird.

Seismische Messverfahren haben für den tiefen Untergrund die höchste Auflösung aller geophysikalischen Erkundungsverfahren und ermöglichen eine sehr realistische strukturelle Abbildung des Untergrundes (Abb. 3.1). Widerstandsgеоelektrik, Elektromagnetik, Magnetotellurik, Gravimetrie und viele weitere Verfahren sind zwar wesentlich kostengünstiger, können jedoch eine seismische Messung nicht ersetzen, sondern eher zusätzliche Informationen liefern. Liegen keine seismischen Messungen vor, jedoch beispielsweise geoelektrische Messdaten o. ä., so sollten diese in jedem Fall zusammen mit eventuell vorliegenden Schichtenverzeichnissen aus Tiefbohrungen ausgewertet werden und auf der Basis dieser Informationen neue seismische Messungen geplant werden.

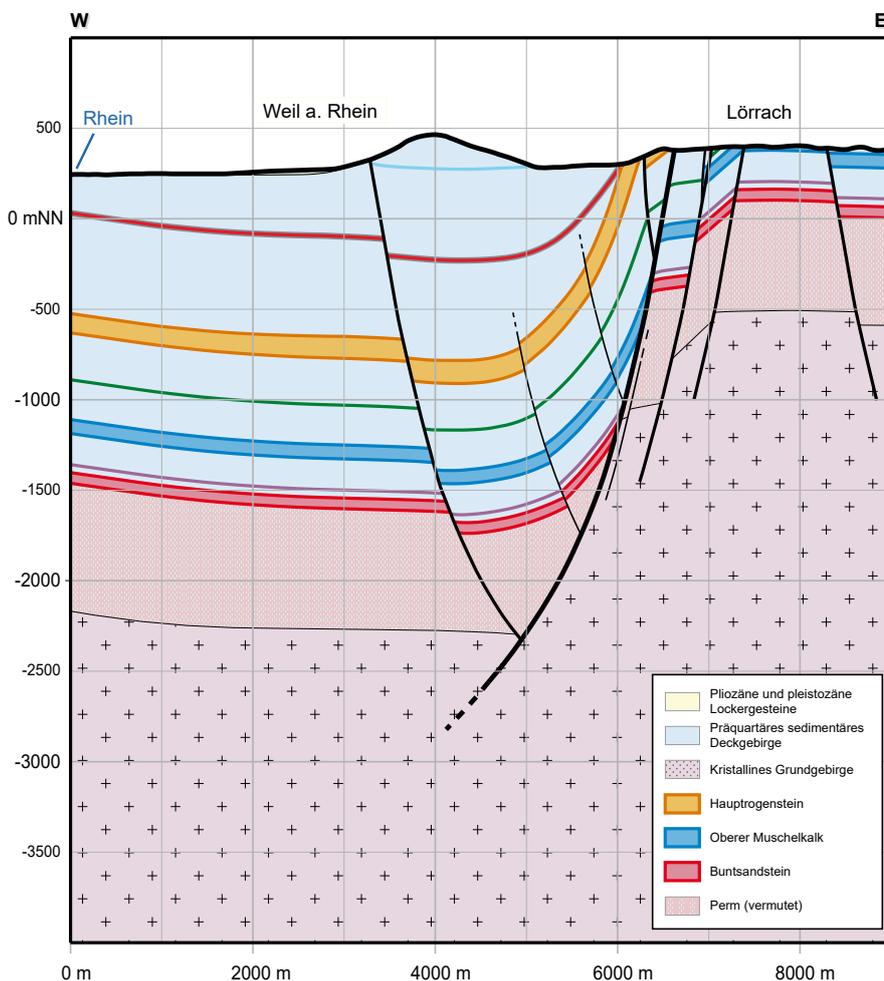


Abb. 3.1: Beispiel für einen geologischen Schnitt durch den Oberrheingraben. Der Schnitt wurde erstellt anhand von 2D-Seismik und Tiefbohrungen.

Die Lagerungsverhältnisse und Mächtigkeiten der Schichten sowie der Verlauf von Störungen sind gut erkennbar.

www.geotis.de

Traditionell wurden seismische Messungen auf Linien durchgeführt (**2D-Seismik**). Bei Messungen auf 2D-Linien können Informationen auch von der Seite kommen und somit räumlich falsch zugeordnet werden. Auch der Einfallswinkel von Schichten und Störungen kann nur bedingt aus mehreren 2D-Seismiksektionen ermittelt werden. In der Machbarkeitsstudie muss entschieden werden, ob die vorhandenen seismischen Daten ausreichend sind, um ein zutreffendes Untergrundmodell mit Festlegung der Bohrpfade und zur Eingrenzung des potenziellen seismischen Risikos zu erstellen. Ob ergänzende 2D-seismische Messungen oder ob eine neue flächenhafte seismische Exploration (**3D-Seismik**) erforderlich ist, hängt letztlich von dem Kenntnisstand und der Komplexität der Untergrundverhältnisse und damit verbunden der Einschätzung des Fündigkeitsrisikos (**Abschn. 4.2**) ab. Da die Explorationskosten im Verhältnis zu den Gesamtkosten des geothermischen Projektes nur einen geringen Teil ausmachen und das Erschließungsrisiko mit zunehmendem Kenntnisstand über den Untergrund abnimmt, ist meistens eine neue 3D-Seismik sinnvoll.



Seismischer Messtrupp.

Die Daten des lokalen Temperaturfeldes und die Ergebnisse hydraulischer Tests (Durchlässigkeiten) aus dem regionalen Umfeld werden zur Prognose der installierbaren thermischen Leistung (**Abschn. 4.2, Gl.1**) der geplanten geothermischen Anlage herangezogen. Sie bilden damit die Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Dabei sollte man beachten, dass für das Investitionsrisiko und für eine mögliche Fündigkeitsversicherung (**Abschn. 4.2**) meist die minimalen Werte („worst case“) berücksichtigt werden müssen.

Bei der Auswertung der **Temperaturdaten** ist darauf zu achten, unter welchen Bedingungen die Temperaturmessungen in den Tiefbohrungen durchgeführt wurden, d. h. ob es sich um Messungen nach einer längeren Stillstandzeit handelt oder ob unmittelbar vor der Temperaturmessung im Bohrloch andere Versuche oder Bohraktivitäten erfolgten. Letztere müssen korrigiert werden (Stober & Bucher 2014, Schulz & Schellschmidt 1991). Da die Rahmenbedingungen der Messungen i.d.R. dokumentiert wurden, können derartige Informationen bei den Daten-Eigentümern oder bei den Institutionen, die die Daten archivieren, erhoben werden (**Abschn. 2.3**); bei der Erstellung von Temperaturkarten und –isolinien, wie beispielsweise in GeotIS (www.geotis.de), sind sie schon korrigiert worden. Entsprechende Rahmenbedingungen gibt es auch beispielsweise für hydraulische Daten, hydrochemische Daten und Bohrlochmessungen, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Aus den (ggf. korrigierten) Temperaturdaten kann der Temperaturgradient, also die Temperaturzunahme mit der Tiefe, ermittelt werden und daraus eine grobe Prognose für den Zielhorizont abgeleitet werden.

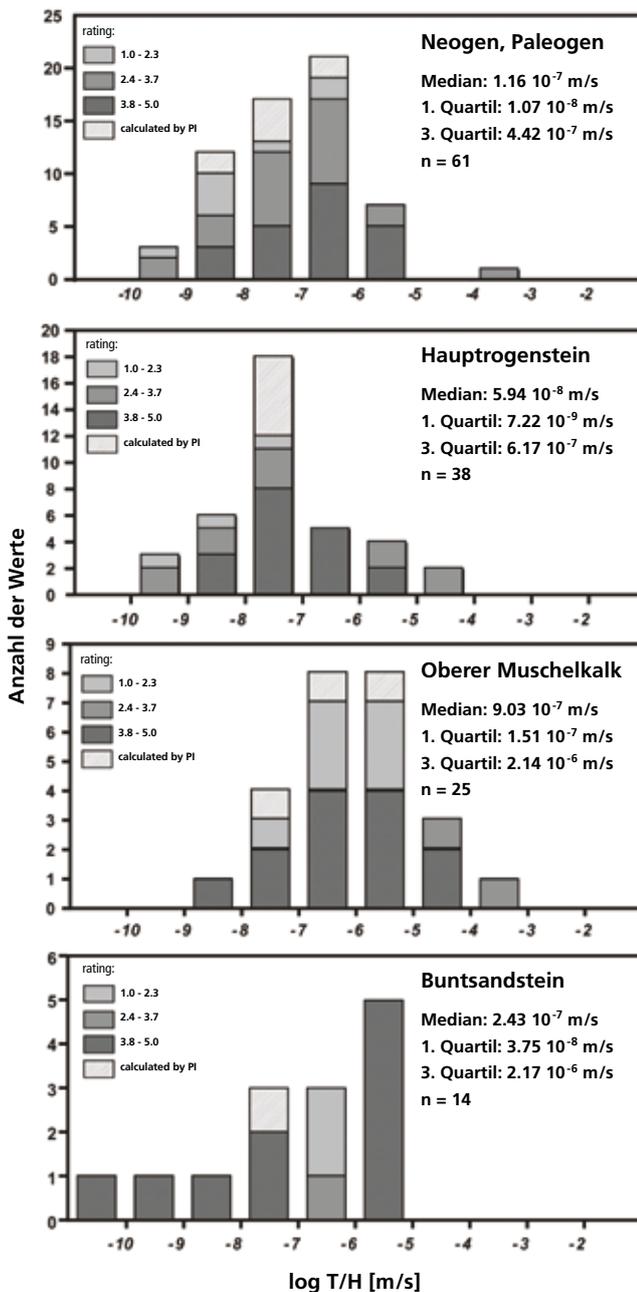


Abb. 3.2: Schwankungsbreite der Durchlässigkeit (T/H) für verschiedene geothermische Nutzhorizonte im Oberrheingraben. T (m²/s) ist die Transmissivität, die auf die Aquifertemperatur bezogen wurde, und H (m) ist die Länge der Teststrecke. T/H wird oftmals dem Durchlässigkeitsbeiwert gleichgesetzt.

Die Auswertung hydraulischer Testdaten liefert die **Durchlässigkeit** der getesteten Aquifere sowie ggf. weitere wichtige Parameter, die benötigt werden, um eine Prognose über eine dauerhafte Förderrate bei einer bestimmten (Druck)Absenkung abgeben zu können. Dazu müssen die hydraulischen Tests eine bestimmte Mindestdauer aufweisen (Strayle et al. 1994). Jedoch sind nicht alle hydraulischen Tests von gleicher und guter Qualität. Auch schwanken die Ergebnisse von Bohrung zu Bohrung, denn die geologischen und damit die hydraulischen Verhältnisse sind mehr oder weniger heterogen. Somit liegt immer eine gewisse Bandbreite für die Durchlässigkeit (T/H) eines Aquifers (Abb. 3.2) vor, die beim Investitionsrisiko (Abschn. 4.2) einkalkuliert werden muss.

Aus den **chemischen Analysen** und den Gasgehalten der Wässer aus dem oder den Zielhorizonten im regionalen Umfeld muss ermittelt werden (z. B. mit thermodynamischen Modellrechnungen), wie das Tiefenwasser zu handhaben ist, d. h. ob und unter welchen Bedingungen, mit welchen Lösungs- und Fällungsprozessen bei der Nutzung zu rechnen ist (Abb. 3.3). Davon hängt entscheidend die Wahl des einzusetzenden Materials für die Förder- und Injektions-Rohrtour, die Pumpe und die übertägigen Anlagen und Leitungen ab. Zur Vermeidung von Ausfällungen (Sinter) wird die geothermische Anlage i.d.R. übertage unter Druck gefahren, ggf. müssen beim Betrieb so genannte Inhibitoren, die diese Prozesse (Lösung, Fällung) verhindern, zugesetzt werden.

Abb. 3.3: Beispiel für Ausfällungen aus Thermalwasser. Entgasungsrohr Geothermiestandort Bruchsal (Jahr 2002).

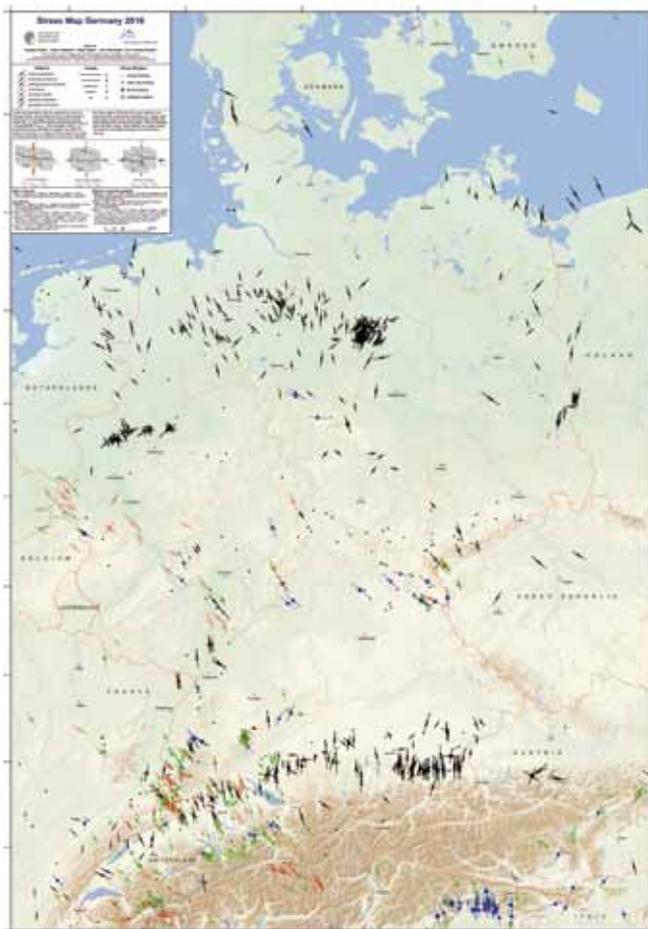


Auch Inhibitoren unterliegen der Genehmigungspflicht der Bergbehörde und müssen umweltverträglich sein. Somit hat auch die Hydrochemie des Tiefenwassers einen gewissen Einfluss auf die Höhe der Investitions- und Betriebskosten. In Baden-Württemberg sind fast alle Tiefenwässer erhöht mineralisiert. Eine Ausnahme stellen die Wässer im voralpinen tiefen Oberjura-Aquifer dar.

Die im regionalen Umfeld aus Tiefbohrungen für die geothermischen Nutzhorizonte erhobenen Temperaturdaten, Durchlässigkeiten und hydrochemischen Analysen können nur eine grobe Orientierung darstellen. Welche Werte tatsächlich vorliegen, kann erst in der noch abzuteufenden Bohrung ermittelt werden.

Ziel der Datenerhebung und -auswertung sollte es sein, zunächst eine grobe Berechnung zu ermöglichen. Das erstellte geologische Untergrundmodell muss dann zu einem späteren Zeitpunkt mit den tatsächlich angetroffenen Parametern, also den Eigenschaften, für die einzelnen Horizonte versehen werden (Abschn. 4.4).

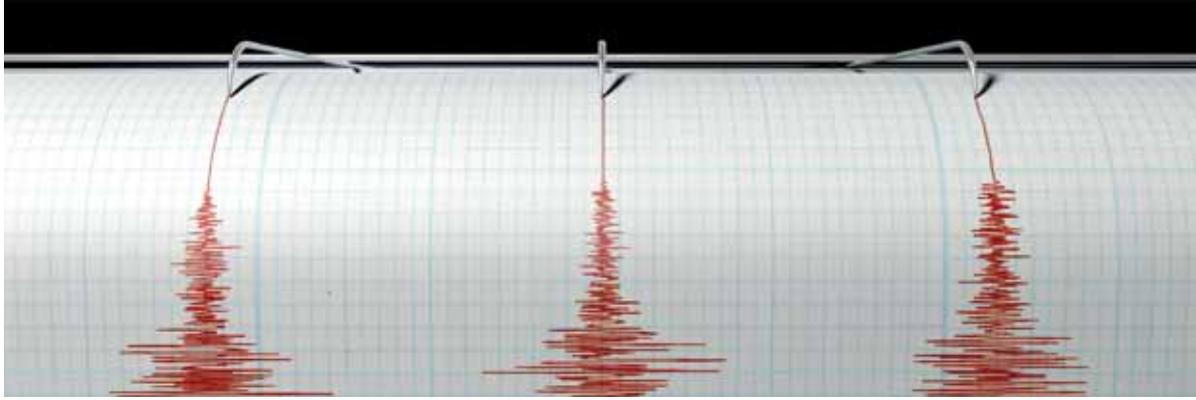
Die Auswertung von **Bohrlochmessungen** (Bohrlochgeophysik) in benachbarten Tiefbohrungen liefert lithologische, petrophysikalische, lagerstättentechnische und gefügekundliche Eigenschaften sowie bohrtechnische Daten. Bohrlochmessungen haben heutzutage das zeit- und kostenintensive Kern von Bohrstrecken weitgehend ersetzt.



Die Messdiagramme (Bohrloch-Logs) von Kaliber-Logs beispielsweise erfassen den Querschnitt einer Bohrung. Akustische Kaliber-Logs (Televiewer) ermöglichen Aussagen über Anzahl und Neigungswinkel von Klüften. Mit dem Kaliber-Log können auch Bohrwandausbrüche kartiert werden, die Informationen über das **Spannungsfeld** liefern können. Überregionale Informationen über das Spannungsfeld können aus der so genannten World-Stress-Map entnommen werden (Abb. 3.4).

Das Spannungsfeld wird als wesentlicher Eingangsparameter bei einer geomechanischen Modellierung benötigt (Abschn. 4.4) und liefert Hinweise, welche Klüfte bzw. Störungszonen eher eine erhöhte und welche eher eine niedrigere Durchlässigkeit aufweisen.

Abb. 3.4: Ausschnitt aus der World-Stress-Map (www.world-stress-map.org)



Am Ende dieser Projektphase sollte der Vorhabenträger genau wissen, welche Informationen über den Untergrund ihm vorliegen und welche noch fehlen. Sollte es nicht möglich sein, in dieser Projektphase anhand der vorliegenden Unterlagen ein geologisches Modell zu erstellen, mit dem der Verlauf und das Ziel einer Bohrung geplant werden kann, so sollte in der nächsten Phase (Abschn. 4) die Durchführung einer seismischen Exploration vorgesehen werden. Die zusammengetragenen und ausgewerteten Untergrundinformationen werden auch für die Erstellung eines in einem späteren Arbeitsschritt erforderlichen seismologischen Gutachtens benötigt (Abschn. 4.5). Denn neben den Angaben zur natürlichen Seismizität des Untersuchungsgebietes werden für die Ermittlung des seismischen Gefährdungspotenzials auch Informationen über die tektonischen Verhältnisse (aus dem geologischen Modell) sowie über das rezente Spannungsfeld benötigt. Angaben zur natürlichen Seismizität des Untersuchungsgebietes können beim Landeserdbeben-dienst, Referat 98 des Regierungspräsidiums Freiburg, bezogen werden.

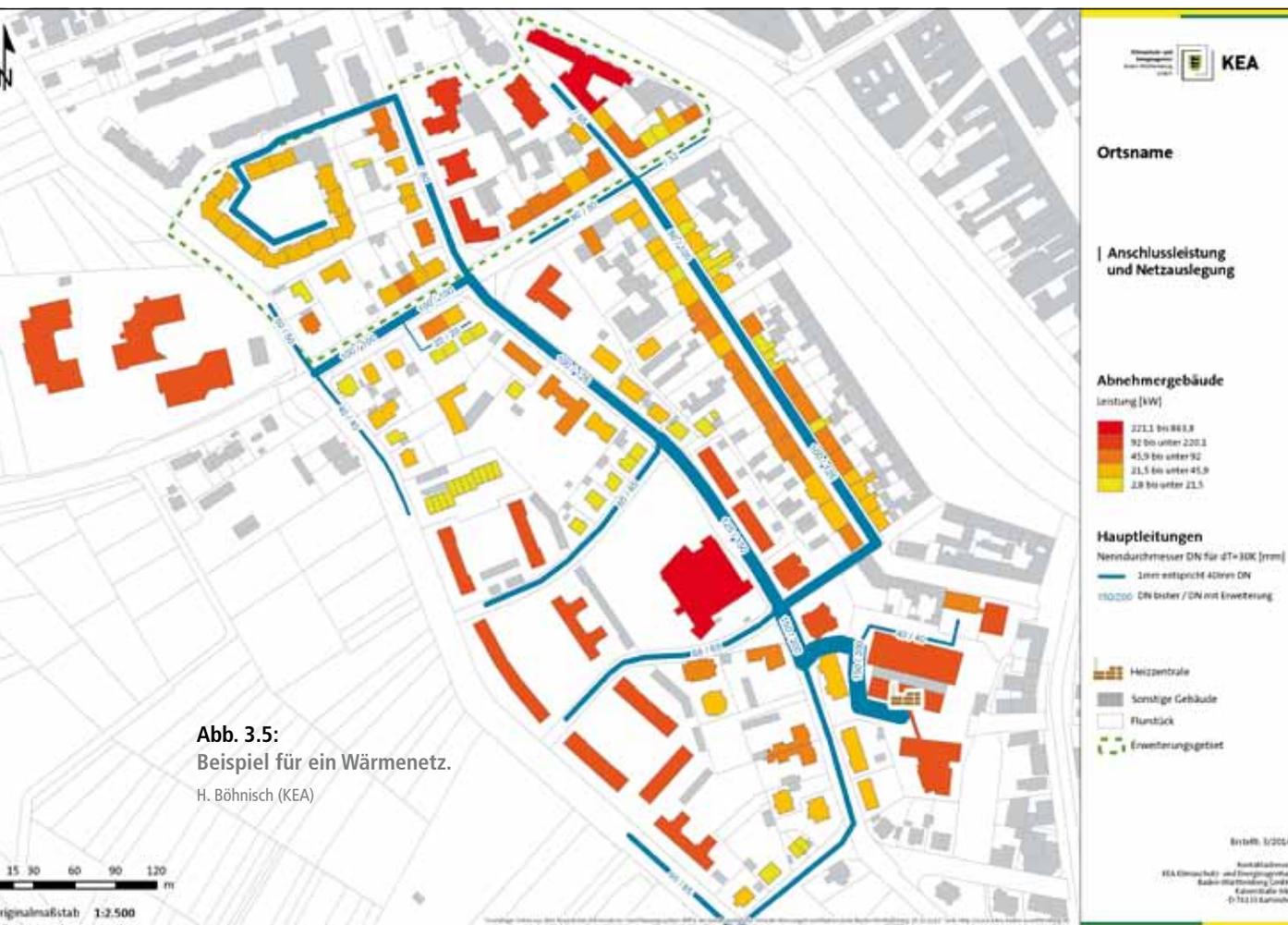
3.3 Entwicklung eines gesamtheitlichen Wärme- und Energiekonzeptes, Projekt-Risiken

Aufbauend auf den Erhebungen in Abschnitt 2.2 wird empfohlen, im Detail sämtliche Wärmesenken und -quellen mit Angabe der jeweiligen Mengen und der jeweiligen Temperaturniveaus zu erfassen. Sodann kann ein Konzeptplan mit der sog. Pinch-Point-Methode, d. h. einer systematischen Optimierung des Energieverbrauchs verfahrenstechnischer Prozesse, zur Auswahl möglicher Nutzwärmeströme erstellt und das thermodynamische Konzept in Absprache mit dem Betreiber ausgewählt und optimiert werden. Dabei sollten Wärmeübertragernetzwerke zur Wärmerückgewinnung, Energieversorgung und Prozessbedingungen aufeinander abgestimmt werden. Es sollte genau untersucht werden, welchen Platz die geplante geothermische Anlage im gesamtheitlichen Energiekonzept übernehmen soll und kann, d. h. welche konventionelle Wärme- und/oder Energieversorgung von ihr zu welchem Zeitpunkt übernommen werden könnte. Diese Untersuchungen sollten möglichst für verschiedene Alternativen durchgeführt werden.

Es muss betont werden, dass Geothermie sich als Grundlast-Lieferant eignet und kaum zur Abdeckung der Spitzenlast. Die wesentlichen Nutzungsmöglichkeiten der Geothermie sind die Bereitstellung von Fern- und Prozesswärme. Daneben eignet sich die Geothermie bei Temperaturen über 120°C auch zur Strom- und Wärmeversorgung (KWK) oder zur Strom-, Wärme- und Kälte-Bereitstellung (KWKK).

Wärmenetze bieten die Möglichkeit, alle Formen von Erneuerbaren Energien in großem Maßstab in die Wärmeversorgung zu integrieren. Dasselbe gilt für Abwärme aus Industrie- und Gewerbebetrieben sowie anderen Quellen. Sie sind somit ein unverzichtbarer Bestandteil der Wärmewende. Durch den Verbund von vielen Wärmeabnehmern, sind Wärmenetze eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung von Wärme aus Tiefengeothermie-Projekten zur Beheizung von Gebäuden.

Die konkreten Lösungen vor Ort können am besten mit Hilfe von kommunalen Wärmeplänen entwickelt werden (Abb. 3.5). Möglichst hohe Anschlussgrade sind außerdem die wesentliche Grundlage für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen.



In dieser Phase des Projektes sollte sich der Vorhabenträger im Falle einer anvisierten Verstromung auch mit den übertägigen Komponenten des **Geothermie-Kraftwerks** vertraut machen und ein Grobkonzept dafür entwerfen, um eine Abschätzung der Investitionskosten für die Gesamtanlage vornehmen zu können. Zu den wesentlichen Komponenten eines Geothermie-Kraftwerks gehören im Gegensatz zu einer reinen Heizanlage beispielsweise (Abschn. 1.4):

- Der **Verdampfer**: hier wird die thermische Energie des Thermalwassers auf das Arbeitsfluid im Kraftwerk übertragen.
- Die **Turbine**, der **Expander**: je nach Leistung und Arbeitsfluid des Kraftwerks kommen Axialturbinen, Radialturbinen oder andere Expandertypen zum Einsatz.
- Der **Kondensator**: Hiermit wird die Abwärme des Kraftwerks an die Umgebung abgeführt. Dies kann mit Hilfe von Kühlluft oder Kühlwasser (Abb. 3.6) erfolgen. Je niedriger die Temperatur des Kühlfluids ist desto höher ist die Leistung des Kraftwerks. Ideal wäre, wenn die Abwärme genutzt werden könnte.
- Die **Pumpe**: Mit der Kreislaufpumpe wird das Arbeitsfluid im Kraftwerkskreislauf gefördert.



Zu den Planungen für die Einrichtung eines geothermischen Heizwerkes und eines stromproduzierenden Kraftwerkes gehören u. a.:

- Thermalwasserfilter
- Thermalwasserpumpe
- Tiefenpumpenmotor (je nach Konzept)
- Druckhaltesysteme
- Dosier- und Reinigungssysteme für die Rohrleitungen zum Reservoir
- Wärmetauscher für Fernwärme-Bereitstellung

Abb. 3.6: Beispiel für einen Nasskühlturm eines Geothermie-Kraftwerkes.
Hier: Geothermiekraftwerk Bruchsal.

Am Ende dieser Überlegungen sollten immer die **Machbarkeit des Vorhabens** und das damit verbundene Risiko stehen, selbstverständlich insbesondere auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Neben diesem wirtschaftlichen Risiko kommen noch weitere Risikogruppen in Betracht, wie geologische und geotechnische Risiken, Umweltrisiken, politische Risiken und das so genannte Fündigkeitsrisiko.

Diese Risikogruppen sind dabei nicht immer scharf voneinander zu trennen. Treten bei den Bohrarbeiten etwa Schwierigkeiten wie unerwartete geologische Verhältnisse auf, so ist dies zwar als geologisches oder geotechnisches Risiko einzuordnen, jedoch bedeuten die damit unweigerlich verbundenen Mehrkosten zugleich auch ein wirtschaftliches Risiko. Aus diesem Grund sollte eine entsprechende finanzielle Rücklage vorgehalten werden. Zu den Umweltrisiken gehören beispielsweise die Seismizität, die bei der Nutzung von tief liegenden Aquiferen allerdings ein vergleichsweise geringes Risiko darstellt ([Abschn. 4.6](#)). Mit politischem Risiko ist beispielsweise eine Änderung der Einstellung zu erneuerbaren Energien gemeint oder eine Änderung der Förderkonditionen. Das projektspezifische Hauptrisiko in der tiefen Geothermie ist das so genannte Fündigkeitsrisiko. Es ist wegen seiner Bedeutung separat in [Abschnitt 4.2](#) besprochen.

Der Vorhabenträger (bzw. Interessensgemeinschaft) muss sich während der gesamten Projektentwicklungsphase vergegenwärtigen, welche Risiken bestehen, und er muss diese bewerten und aus seiner Bewertung Konsequenzen ziehen. Für die Risikoeerkennung der verschiedenen Risiken-Auslöser sollten geeignete Erfassungsmethoden mit hoher Transparenz aufgestellt werden. In allen Projektphasen sollten Abweichungen oder Störungen in Bezug auf die Höhe von Risiken hinterfragt werden.



Auf dem Bohrturm.

Ein gut strukturiertes Risiko-Management umfasst alle wesentlichen Risiken, die während der gesamten Projektlaufzeit negative Auswirkungen auf den Projekt- ablauf bzw. die Projektkosten haben können (VBI 2013). Dadurch ist frühzeitig sichtbar, welche Risiken auf Versicherer übertragbar sind, bzw. übertragen werden müssen.

Beispielsweise muss für das Niederbringen einer Bohrung eine Haftpflichtversicherung abgeschlossen werden. Schäden an der Bohrung, die beim Abteufen oder Ausbau auftreten, können durch eine Bauleistungsversicherung abgesichert werden. Auch die Fündigkeit einer Bohrung kann u. U. versichert werden. Im Unterschied zu anderen Versicherungen wird in der Erdöl-/Erdgasindustrie die Fündigkeit einer Bohrung jeweils nicht versichert und ist unternehmerisches Risiko.

3.4 Bergbauberechtigungen und erforderliche Genehmigungen

Für die Fortsetzung des Projektes ist spätestens zu diesem Zeitpunkt die Erlaubnis zur Aufsuchung des Bodenschatzes bei der Bergbehörde zu beantragen (§10 BBerG). Das **Erlaubnisfeld für die Aufsuchung von Erdwärme** wird anschließend, falls keine Versagensgründe nach §11 BBerG vorliegen unter Einbeziehung der Gemeinden durch die Bergbehörde erteilt (Abschn. 2.4). Zu den Versagensgründen gehören beispielsweise die Gefährdung anderer Grundwassernutzungen. Ebenso liegt die Wahrung öffentlicher Interessen in der Zuständigkeit der Behörde. Zu den wesentlichen, die gesetzlichen Kriterien erfüllende Antragsbestandteile gehören:

- Vorstellung eines konkreten Arbeitsprogramms, das den technischen und zeitlichen Ablauf des Projekts der Aufsuchung beschreibt.
- Glaubhaftmachung des Vorhandenseins der erforderlichen Mittel, auch für den ggf. erforderlichen Rückbau einer Fehlbohrung.
- Beurteilung der Gefährdung anderer Erdwärmennutzungen oder sonstiger Nutzungen des tieferen Untergrundes durch die neue geothermische Erschließung

Die geplanten Aufsuchungsarbeiten müssen hinsichtlich Art, Umfang und Zwecke geeignet sein, den Bodenschatz Erdwärme nachzuweisen und ein Bewilligungsfeld später abgrenzen zu können. Die Größe des Erlaubnisfeldes richtet sich nach dem Flächenbedarf der noch durchzuführenden Explorationsmaßnahmen und ist i.d.R. größer als das später zur Gewinnung der Erdwärme abzugrenzende Bewilligungsfeld, dessen Dimensionierung sich nach der Reichweite der thermischen und hydraulischen Beeinflussung richtet. Die Erlaubnis zur Aufsuchung von Erdwärme für das beantragte Erlaubnisfeld wird von der Bergbehörde auf maximal 5 Jahre ausgestellt. Die Befristung kann u. U. verlängert werden. Dazu müssen konkrete Gründe, die zur Abweichung vom Arbeitsprogramm führten, benannt, die einzelnen durchgeführten Arbeitsschritte belegt und das neue Arbeitsprogramm vorgestellt werden.



Detailansicht einer Tiefbohranlage.



Die Verantwortlichkeiten und Kompetenzen zwischen Auftraggeber, Projektmanagement und weiteren Beteiligten müssen eindeutig festgelegt werden. Ebenso ist ein Controlling zur Wahrnehmung und Steuerung von Kontrollaufgaben empfehlenswert. Bereits zu diesem Zeitpunkt sind namentlich ein offizieller Ansprechpartner sowie klare Entscheidungs-Strukturen, d. h. die „Line of Command“, festzulegen.



Vor der eigentlichen Bohrphase (Abschn. 5) sind i.d.R. weitere Messungen und Untersuchungen im Gelände notwendig. Hierfür sind gesonderte Erlaubnisse erforderlich. Diese Explorations-Maßnahmen dienen dazu, den Untergrund genauer zu erkunden, um darauf aufbauend ein detailliertes Untergrundmodell zur Planung der Bohrung zu erstellen.

Wichtig ist, dass zu diesem Zeitpunkt das Erlaubnisfeld zur Aufsuchung bereits existiert, denn es ist Voraussetzung für alle aktiven, in den Untergrund eingreifenden Arbeiten. Ohne die Genehmigung des Erlaubnisfeldes können die meisten der geplanten Vorarbeiten und Voruntersuchungen nicht getätigt werden.

Ein effizienter, störungsfreier Anlagenbetrieb ist Grundlage eines erfolgreichen und wirtschaftlichen Geothermieprojekts. Daher ist es wichtig, bestimmte Parameter von Anfang an zu beobachten (Monitoring), um bei Änderungen oder definierten Ereignissen rechtzeitig reagieren zu können. Daher sollte beispielsweise ein Monitoring zur Überwachung der Grundwasserqualität oder von Betriebsparametern der Anlage eingerichtet werden. Ein seismologisches Monitoring kann durch Auflagen von Behörden, Versicherungen oder sonstiger Vertragspartner gefordert werden. Wichtig ist, dass derartige Monitoringsysteme bereits vor dem ersten Eingriff in den Untergrund aktiv sind.

4.1 Bürgerbeteiligung und Bürgerinformation

Die Öffentlichkeitsarbeit orientiert sich am Grundsatz frühzeitig, kontinuierlich, transparent und regelmäßig zu informieren. Grundsätzlich gilt, dass die Kommunikation für jedes Projekt immer individuell auf die jeweils betroffene Kommune oder Region abzustimmen ist. Daher ist es möglicherweise notwendig, die bisherige Kommunikation auf den Prüfstand zu stellen und gegebenenfalls anzupassen.

Bei der Öffentlichkeitsarbeit sollte in der Phase der Voruntersuchung großes Gewicht auf die möglichen Seismik-Kampagnen zur Erkundung des Untergrundes (Abschn. 4.5), die Auswahl des Standortes für den Bohrplatz (Abb. 4.1) und auf die zukünftige Tiefe-Geothermie-Anlage gelegt werden. Dabei sollte dem Bürger auch mitgeteilt werden, dass sämtliche Aktivitäten des Vorhabenträgers vorab von der Bergbehörde geprüft und genehmigt werden müssen (Abschn. 3.4, 4.3, 5.2).

Die durch die seismische Exploration betroffenen Bürger müssen rechtzeitig und in geeigneter Form informiert werden. Dem Bürger muss anschaulich erklärt werden, wie das Verfahren funktioniert und zu welchem Zweck es durchgeführt wird. Dabei können kurze Filme sehr instruktiv und erläuternd sein. Ein intensiverer Kontakt mit den betroffenen Bürgerinnen und Bürgern, kommunalen Einrichtungen, Grundbesitzern sowie ggf. Unternehmen ist zu empfehlen. Handzettel mit Abbildungen und Erklärungen sind fast unerlässlich, ebenso Informationsveranstaltungen mit Vorträgen.

Zwar ist grundsätzlich nicht davon auszugehen, dass durch den Betrieb einer hydrothermalen Geothermieanlage mit einer erhöhten Erdbebengefahr zu rechnen ist, dennoch wird ein seismisches Monitoring, u. a. zur Beweissicherung, durchgeführt. Die Installation eines lokalen seismischen Überwachungsnetzes (Abschn. 4.6) mit wissenschaftlicher Begleitung zur Abschätzung des seismischen Risikos, begleitet durch eine kontinuierliche, umfassende Information der Öffentlichkeit ist für die Vertrauensbildung ganz entscheidend.

Idealerweise kann der lokale Gewinn, den die Bevölkerung im Umfeld durch das Geothermie-Projekt erhält – beispielsweise Erneuerbare Wärme – klarer adressiert werden. Zusätzlich kann ein breites Angebot an Information geschaffen werden wie beispielsweise eine Visualisierung potenzieller Standorte für den Bohrplatz mit Bohrgerät oder für das geplante Kraftwerk u. ä. .

Schon in dieser frühen Phase werden die Bürger negative Beispiele heranziehen und zur Diskussion stellen. Hier ist zu empfehlen, dass die Projektleitung oder eine unabhängige Stelle einige erfolgreiche und weniger erfolgreiche Projekte als Fallbeispiele ausgearbeitet hat. Sie sollten praxisnah und gut ausbalanciert verfasst sein (Abschn. 1.2).



Abb. 4.1:
Standrohr (oben),
Bohrkeller mit Standrohr
(unten).
Geothermie Pullach



4.2 Fündigkeit, Versicherungen und Wirtschaftlichkeit

In dieser Projektphase ist es wichtig festzulegen, unter welchen Voraussetzungen (Ergiebigkeit, Temperatur) die Bohrung bzw. das Projekt als fündig eingestuft wird. Der Vorhabenträger muss sich bereits im Vorfeld größerer Investitionen Gedanken darüber machen, unter welchen Voraussetzungen es sich für ihn lohnt, das geplante Projekt fortzusetzen. Bezogen auf die Gesamtprojektkosten liegen die Bohrkosten nämlich bei deutlich über 50 %. In diese Betrachtung müssen selbstverständlich auch die lokale Energiesituation, die Versorgungssysteme und die wirtschaftlichen Verhältnisse (Abschn. 2.2) einfließen.

Allgemein gilt, dass das **Fündigkeitsrisiko** bei geothermischen Bohrungen das Risiko ist, ein Reservoir mit einer (oder mehreren) Bohrung(en) in nicht ausreichender Quantität oder Qualität zu erschließen. Dabei wird die **Quantität** über die (thermische) Leistung (P) definiert, die mit Hilfe einer Bohrung (oder mehrerer Bohrungen) erreicht werden kann:

$$P = \rho_F \cdot c_F \cdot Q \cdot (T_i - T_o) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Dabei bedeuten:

ρ_F - Dichte des Thermalwassers [kg m^{-3}]

c_F - (isobare) spezifische Wärmekapazität des Thermalwassers [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

Q - Förderrate [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]

T_i , T_o (Input- bzw. Output-) Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

Die Output-Temperatur (T_o) ist die Austrittstemperatur aus der geothermischen Anlage, die durch die Abkühlung des Thermalwassers bspw. mittels Wärmetauscher erreicht wird; sie wird ausschließlich durch technische und/oder wirtschaftliche Bedingungen bestimmt und hat direkt nichts mit der Fündigkeit einer Bohrung zu tun. Sie wird i.d.R. durch die Rücklauftemperatur des Wärmenetzes bestimmt und geht unmittelbar in die thermische Leistung (Gl.1) ein.

Die Input-Temperatur (T_i) in die geothermische Anlage ist die Fördertemperatur, die am Bohrlochkopf für die geothermische Nutzung zur Verfügung steht; Wärmeverlust durch Transport zwischen dem Bohrlochkopf und dem Heiz- oder Kraftwerk können hierbei vernachlässigt werden. Die entscheidenden Parameter sind somit Fördermenge (Q) und Input-Temperatur (T_i), die entscheidend von der Temperatur im Aquifer (T_A) abhängt und etwas niedriger ist als diese, wegen der zeitlichen Verzögerung durch die Förderung aus dem Aquifer und dem Aufstieg in der Bohrung bis zur Erdoberfläche. Im Wesentlichen ist damit die thermische Leistung von der Förderrate und der Aquifertemperatur abhängig: $P \approx Q \cdot T_A$.

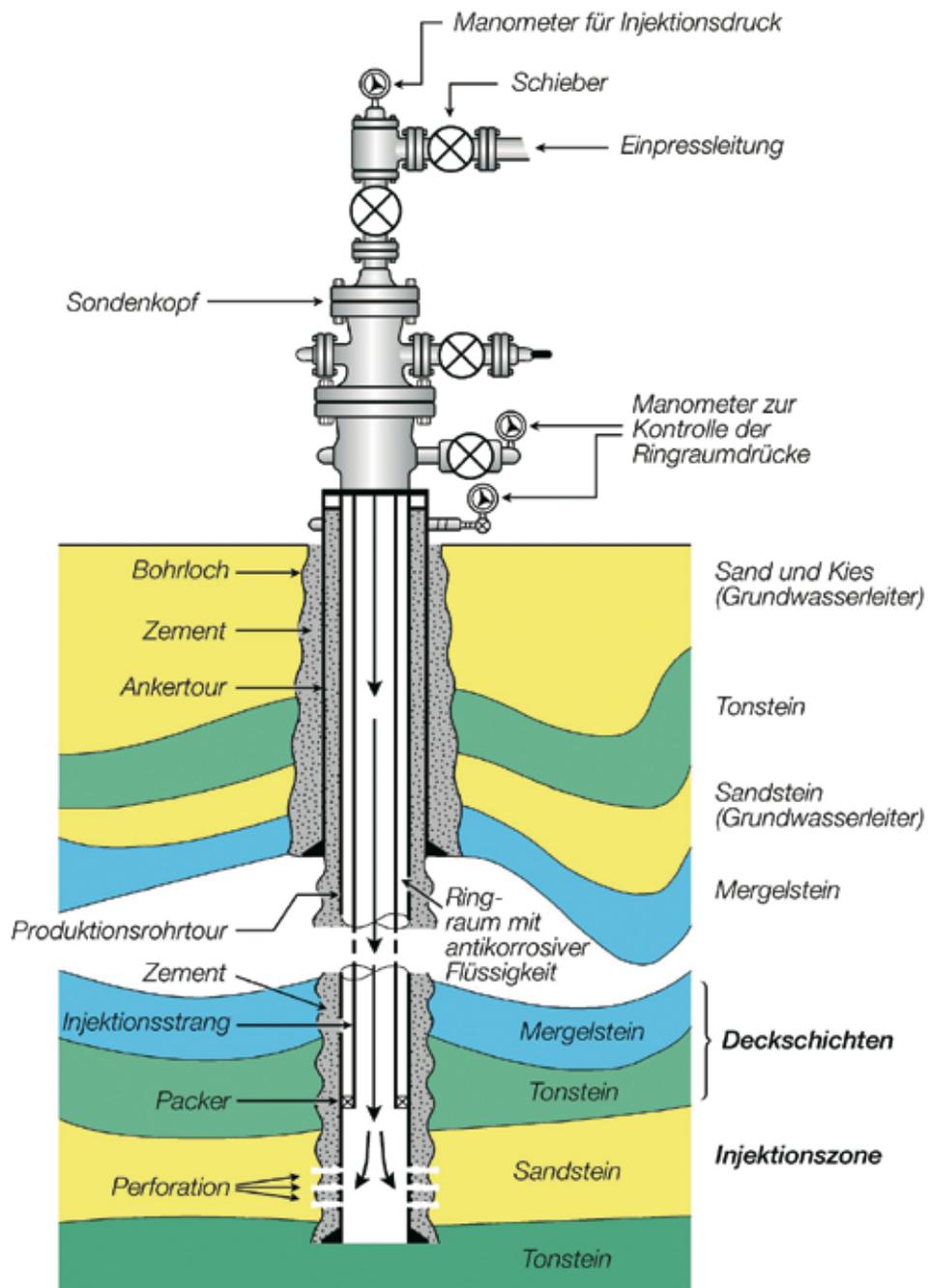
Die Förderrate Q wird aufgrund von Produktionstests auf der Basis einer vertretbaren Potenzialdifferenz (Druck-Absenkung), die Temperatur (T_A) durch Bohrlochmessungen bestimmt.

Zu beachten ist jedoch auch, dass aufgrund der Änderung der Dichte und der Wärmekapazität (Gl.1) die thermische Leistung mit zunehmender Temperatur und/oder Gesamtlösungsinhalt abnimmt (Stober et al. 2013).

Im Falle der Injektionsbohrung ist die maximal mögliche Injektionsrate bei wirtschaftlich vertretbarer Druck-Erhöhung entscheidend. Für die Effizienz der Geothermieanlage ist somit dann auch entscheidend, ob möglicherweise eine Injektionspumpe erforderlich ist.

Ab welchem Wert die thermische Leistung nicht ausreichend ist, wird durch den Vorhabenträger (Projektentwickler, Investor) im Vorfeld, also vor

ihrem Abteufen der Bohrung, auf der Basis von betriebswirtschaftlichen Überlegungen festgelegt. D. h. es wird eine **Mindest-Förderrate** bei einer aus technischen und/oder ökonomischen Gründen maximal vertretbaren Absenkung sowie eine **Mindest-Temperatur** festgelegt, wobei eine etwas geringere Temperatur durch eine etwas höhere Förderrate nach Gl.1 kompensiert werden kann. Ziel des Vorhabenträgers ist es, eine bestimmte thermische Leistung zu erreichen.



Schema einer Injektionsbohrung.

Auch die **Qualität** des Thermalwassers, d. h. seine chemische Zusammensetzung sowie eine eventuelle Gasführung, muss bestimmten Mindestanforderungen genügen, damit es technisch mit vertretbarem Aufwand handhabbar ist. So könnten Eigenschaften auftreten (Gase, Salinität, Radioaktivität o. a.), die bei einem Überschreiten von Grenzwerten eine geothermische Nutzung ausschließen oder erschweren, so dass die Anlage ökonomisch nicht mehr akzeptabel ist. Da in Deutschland bisher alle Tiefenwässer als technisch beherrschbar gelten, wird für die Abschätzung des Fündigkeitsrisikos der Chemismus des Thermalwassers nicht berücksichtigt.

Daneben kann auch die erforderliche **Förderhöhe** des Thermalwassers für die Wirtschaftlichkeit relevant sein.

Die Bohrung gilt als **fündig**, wenn sie mehr als die Mindest-Förderrate (bei der max. vertretbaren Absenkung) erreicht und wenn eine Mindest-Temperatur erreicht wird. Die Bohrung gilt als **teilmündig**, wenn nur eine der beiden Bedingungen erreicht wird.

Wird die erwartete Förderrate bei der Erschließung zunächst nicht angetroffen, sind Ertüchtigungsmaßnahmen (**Abschn. 5.5**) erforderlich. Zu diesen Maßnahmen gehören beispielsweise das Schocken und das Säuern bei karbonatischem Gestein oder eine geringfügige Wasserinjektion gegebenenfalls in Kombination mit einer Säuerung. Zur Steigerung der Ergiebigkeit können auch aus der bestehenden Bohrung Ablenkungen in den Nutzhorizont durchgeführt werden oder es kann eine Vertiefung oder das Abteufen einer weiteren Bohrung in Erwägung gezogen werden.

Grundsätzlich stellt das Fündigkeitsrisiko ein unternehmerisches Risiko dar. In der Erdöl-/ Erdgasindustrie wird die Fündigkeit einer Bohrung daher nicht versichert. Eine Versicherung der Fündigkeit ist nur aus der Geothermiebranche bekannt (**Abschn. 3.3**).

Der Abschluss einer **Fündigkeits-Versicherung** basiert auf der Definition des Fündigkeitsrisikos. Als Grundlage zur **Versicherungsbewertung** müssen vom Vorhabenträger (mindestens) vorgelegt werden:

- Nachweis des Erlaubnisfeldes
- Ergebnisse der Explorationstätigkeit, besonders die Interpretation der seismischen Messungen
- Machbarkeitsstudie mit Festlegung des Bohrpunktes und geologisches Vorprofil
- Angabe der Parameterwerte, bei denen der Versicherungsfall eintritt.

Aus diesem Grund kann es erst auf der Basis einer detaillierten Erkundung des Untergrundes zu einem Versicherungsabschluss kommen. Grundlage für den Abschluss eines i. d. R. gewünschten Versicherungsvertrages zur Absicherung des Investitionskapitals ist ein Gutachten über das Fündigkeitsrisiko, das von einer anerkannten neutralen Institution erstellt werden sollte.

Für die Absicherung der Finanzierung sollte rechtzeitig eine **Wirtschaftlichkeitsberechnung** auf Basis der energetischen Konzepte aufgestellt werden. Dazu sind die Investitionskosten, die Fördermittel und die Betriebskosten zusammenzustellen. Um die Wirtschaftlichkeit im weiteren Projektlauf überprüfen und steuern zu können, ist eine Fortschreibung der Kostenstruktur erforderlich.

4.3 Erforderliche Genehmigungen, Erlaubnisse

Um den Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie die Umweltschutzbelange sicherzustellen und um Bergbauauswirkungen abwägen zu können, ist der Betreiber eines Geothermieprojektes gesetzlich dazu verpflichtet, sämtliche geplanten Aktivitäten im Zusammenhang mit der Aufsuchung und der Gewinnung, bei denen aktiv in den Untergrund eingegriffen wird, in **bergrechtlichen Betriebsplänen** zu dokumentieren und auf diese Weise die technischen Details der Bergbehörde einzureichen und um Zulassung zu ersuchen. Sämtliche Aktivitäten müssen von der Bergbehörde im Rahmen ihrer Zuständigkeit zugelassen, also genehmigt werden, und werden von dieser auch überwacht, wobei die wasserrechtliche Erlaubnis jedoch im Einvernehmen mit der Unteren Wasserbehörde erteilt werden muss.

Die Bergbehörde ist nicht nur für die Genehmigung und Überwachung von nach bergrechtlichen Betriebsplänen niedergebrachten Tiefbohrungen zuständig, sondern sie genehmigt und überwacht auch gewisse Maßnahmen in Zusammenhang mit der Exploration der Lagerstätte. Im Zuge der Machbarkeitsstudie ([Abschn. 3.4](#)) wurde vom Vorhabenträger ein Aufsuchungsfeld zur Aufsuchung von Erdwärme beantragt. Sämtliche Explorationstätigkeiten, die in irgendeiner Form Dritte – bspw. durch einen aktiven Eingriff in den Untergrund – beeinflussen könnten, müssen in Folge bei der Bergbehörde im Vorfeld beantragt und von dieser genehmigt werden. Daraus können dann gewisse Auflagen und Vorgaben resultieren. Die Zulassung für eine Explorationsmaßnahme erfolgt in einem sog. **bergrechtlichen Betriebsplan**, der die vorwiegend bergrechtlichen Auflagen umfasst, unter denen diese Maßnahme durchgeführt werden kann.

Erforderlichenfalls werden von der Bergbehörde auch dritte betroffene Institutionen, wie die Umweltbehörden, Verbände und weitere Betroffene (Gemeinden und betroffene Bürger) im Beteiligungsverfahren eingeschaltet.

Ein wichtiger Gegenstand der Prüfung ist der Drittschutz; sie betrifft somit die Auswirkungen auf den Bürger.

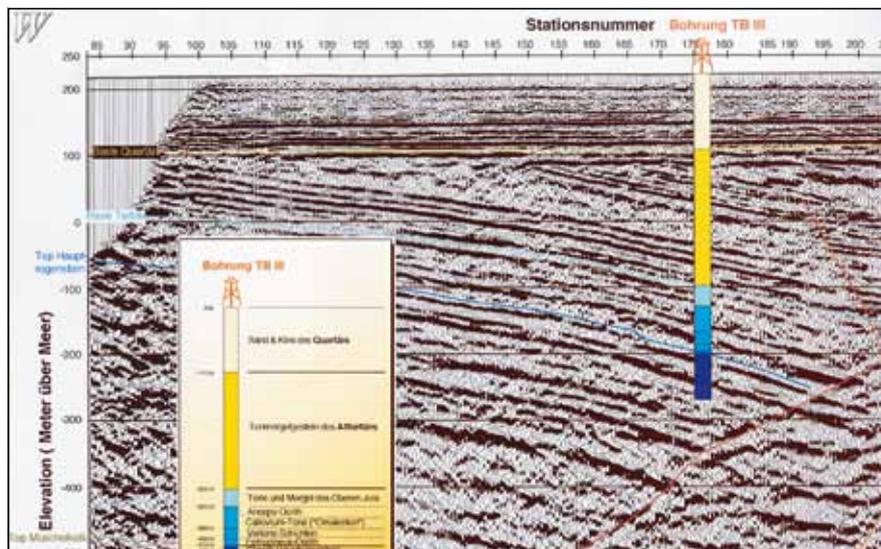
Bei der **Betriebsplanzulassung** handelt es sich um ein spezielles Zulassungsverfahren, dessen Zweck in der präventiven und fortlaufenden Kontrolle bergbaulicher Tätigkeiten durch die zuständige Behörde besteht. In den Betriebsplänen müssen demzufolge die geplanten Maßnahmen und Arbeiten dargestellt werden (u. a. Darstellung des Umfangs, technische Durchführung, Dauer des Vorhabens). Darüber hinaus muss der Nachweis geführt werden, dass die Voraussetzungen für die Zulassung des Betriebsplans (nach § 55 Abs.1 BBerG i.V.m. § 48 II BBerG) erfüllt sind. Zuständig für die Zulassung ist die Bergbehörde.

Beispielsweise ist eine seismische Exploration betriebsplanpflichtig, aber auch andere **geophysikalische Untersuchungen**, die im Untersuchungsgebiet durchgeführt werden, wie gravimetrische, geoelektrische oder geomagnetische Messungen, können u. U. betriebsplanpflichtig sein. Daher ist es empfehlenswert, sämtliche Untersuchungen, die im „Feld“ ausgeführt werden und dem Zweck der Lagerstättenerkundung dienen, vorab mit der Bergbehörde zu besprechen und dort abzuklären, ob eine Betriebsplanpflicht besteht.

Vor Aufnahme von Erkundungsarbeiten müssen alle durchzuführenden Maßnahmen in einem Betriebsplan beschrieben und zugelassen worden sein. Manche dieser geophysikalischen Untersuchungen zur Erkundung des tieferen Untergrundes werden von der Erdoberfläche aus mit größeren Fahrzeugen durchgeführt. Andere, die von der Luft aus, bspw. mit Leichtflugzeugen oder vom Boot aus (Erkundungen unterhalb eines Gewässers) erfolgen, müssen ebenfalls bei den dafür zuständigen Behörden genehmigt werden. Betriebsplanpflichtig, also zulassungspflichtig, sind ebenfalls die **Einrichtung eines Bohrplatzes**, das **Abteufen einer Bohrung** (Abschn. 4.9, 5.1) oder etwaige **Ertüchtigungsmaßnahmen** (Abschn. 5.5) oder **Tests**.

Ist eine **seismische Exploration** geplant, so sind die Seismikprofile oder Gitterlinien, entlang derer die Messungen vorgenommen werden sollen, im Antrag mit dem aktuellen Bearbeitungsstand darzustellen. Ergeben sich Änderungen im Laufe des Antragsverfahrens, so sind diese der Bergbehörde unverzüglich vorzulegen. Die Bergbehörde beteiligt ggf. nach § 54 II BBERG die betroffenen Kommunen. Außerdem müssen die verwendeten Verfahren (z. B. Sprengseismik, Vibrationsseismik) detailliert dargelegt werden, sowie die seismologischen Auswirkungen der geplanten Seismik.

So ist beispielsweise auch zu beschreiben, wie hervorgerufene Erschütterungen auf bauliche Anlagen und sensible Einrichtungen überwacht bzw. gemessen werden. Die Anhaltswerte für Erschütterungen nach DIN 4150-3 (1999) müssen für die Dauer der seismischen Untersuchungen eingehalten werden und die zu erwartenden Erschütterungen sowie Maßnahmen der Beweissicherung müssen angegeben werden.



Seismisches Profil (Ausschnitt).

Ebenfalls von Bedeutung und im Betriebsplan darzulegen sind mögliche Umweltauswirkungen auf Flora und Fauna. So sind insbesondere in Schutzgebieten seismische Untersuchungen oft nur außerhalb der Brutzeit möglich.

Ein Zeitplan, in dem die geplanten Abläufe und die Dauer von vorbereitenden rechtlichen Vereinbarungen (z. B. Zustimmung über Betretungsrechte von Grundstücken, Genehmigung für Straßenbenutzungen, Querungen von Versorgungsleitungen oder die Auslage der Messsonden inklusive von ggf. erforderlichen Rekultivierungsarbeiten) muss im Betriebsplan dargestellt und ggf. aktualisiert werden, so dass der gesamte Ablauf transparent und nachvollziehbar ist.

Darüberhinaus sollte sich der Vorhabenträger rechtzeitig darüber informieren, welche **Genehmigungsanträge** von welcher **Genehmigungsbehörde** im Zuge der Projektentwicklung einzuholen sind. Abbildung 2.3 gibt einen Überblick über die einzelnen Verfahrensabläufe und die daraus resultierenden zu beteiligenden Behörden.

Weitere Genehmigungsanträge, wie beispielsweise die **wasserrechtliche Erlaubnis**, werden in der ersten Erschließungsphase (**Abschn. 5.2**) erforderlich, da mit der Verwirklichung von Projekten der Tiefengeothermie in der Regel eine Gewässerbenutzung, d. h. der Benutzungstatbestand nach Wasserrecht, verbunden ist. Insoweit werden wegen der vorgesehenen Entnahme und Reinjektion von Thermalwasser entsprechende wasserrechtliche Erlaubnisse oder Bewilligungen nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) erforderlich. Sieht ein bergrechtlicher Betriebsplan die Benutzung von Gewässern vor, so entscheidet auch hierüber im Einvernehmen mit der regional zuständigen Unteren Wasserbehörde die Bergbehörde über die Erteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis.

Im Zusammenhang mit der Konzeption von Bohrplatz und Bohrungen (**Abschn. 4.8**) muss geprüft werden, ob eine **Umweltverträglichkeitsvorprüfung** (UVP-V) durchgeführt werden muss oder ob zwingend eine **Umweltverträglichkeitsprüfung** (UVP) erforderlich ist (**Abschn. 2.5**).

Das Ergebnis der UVP-Vorprüfung steuert das weitere Verfahren; ist eine UVP erforderlich, erfolgt zwingend ein Planfeststellungsverfahren mit förmlicher Beteiligung der Öffentlichkeit. Zweck des UVP-Gesetzes (UVP-V Bergbau) ist es, sicherzustellen, dass es bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten zur wirksamen Umweltvorsorge nach einheitlichen Grundsätzen kommt. Die Umweltverträglichkeitsvorprüfung ist dabei ein unselbständiger Teil des im Einzelfall in Betracht kommenden Zulassungsverfahrens. Falls das Projekt UVP-pflichtig sein sollte, muss ein Rahmenbetriebs-

plan vorgelegt werden, der ein Planfeststellungsverfahren mit förmlicher Beteiligung der Öffentlichkeit erfordert. Die UVP verlangt eine zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Umweltauswirkungen.

Zwingend UVP-pflichtig sind derzeit Tiefbohrungen in Naturschutzgebieten oder besonderen Schutzgebieten nach der EU-Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) oder der EU-Vogelschutzrichtlinie. Zudem können Vorhaben, die die sog. Fracking-Technologie (i. d. R. Erdöl-/ Erdgasbohrungen, petrothermale Geothermiesysteme, **Abschn. 1.1, 5.5**) nutzen, UVP-pflichtig sein. Entsprechende Vorgaben regelt die UVP-V Bergbau.

Ziel der UVP ist auch eine Optimierung der Vorhabenplanung im Hinblick auf den Umweltschutz (**Abschn. 5.3**), Verbesserung der Grundlagen für die Entscheidung der Behörde über die Zulässigkeit des Vorhabens sowie Erhöhung der Transparenz des Entscheidungsprozesses und Einbeziehung der Öffentlichkeit.

Die UVP ist zunächst Aufgabe des Vorhabenträgers, der einen entsprechenden Bericht über die voraussichtlichen Auswirkungen des Vorhabens auf die betroffene Umwelt zusammen mit den geplanten Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung bei der zuständigen Behörde (Planfeststellungsbehörde) einreicht.

Je nach Größe der tiefengeothermischen Anlage kann neben der bergrechtlichen Zulassung noch ein **Raumordnungsverfahren** (ROV) nach dem Landesplanungsgesetz erforderlich sein. Vor Aufnahme des Zulassungsverfahrens sollte mit der zuständigen Raumordnungsbehörde abgeklärt werden, ob ein ROV durchgeführt werden muss. Das Raumordnungsverfahren ist ein dem Zulassungsverfahren vorgeschaltetes Verfahren, in dem das raumbedeutsame Vorhaben mit überörtlicher Bedeutung auf seine Raumverträglichkeit mit den Erfordernissen der Raumordnung geprüft wird. Das ROV ist ein eigenständiges vorgegriffliches Verfahren und kann die weiteren Zulassungen daher ggf. verzögern.

4.4 Seismische Exploration

Sind die Kenntnisse über den geologischen Untergrund unzureichend, so dass es nicht möglich ist, einen detaillierten Bohrfeld zu erstellen, so sollte eine seismische Exploration durchgeführt werden. Dabei verdeutlichen die im Vorfeld zusammengetragenen, bereits vorhandenen Unterlagen, wie Schichtenverzeichnisse von Tiefbohrungen und seismische Sektionen und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse zum geologischen und strukturgeologischen Aufbau des Untergrundes, ob und in welchen Gebieten Informationsdefizite vorliegen. Je nach vorliegendem Kenntnisstand und Komplexität der Untergrundverhältnisse ist eine 2D- oder 3D-Seismik erforderlich (Abschn. 3.2).

Eventuell ist es zielführend, eine moderne digitale Aufarbeitung (Reprozessing) vorhandener Altseismiksektionen durchführen zu lassen. Möglicherweise lässt sich dadurch die Aussagekraft erhöhen. In jedem Fall ist es empfehlenswert Datenbestände von vorhandenen seismischen Messungen (**Altseismik**) auszuwerten. Das spart Kosten, da die neuen seismischen Messungen dann ggf. nur noch in Bereichen von Informationslücken durchgeführt werden müssen und/oder in lukrativen Bereichen zur Verdichtung bereits vorhandener Erkenntnisse.

Die **Reflexionsseismik** ist für Tiefenbereiche ab 1.000 m ein sehr wichtiges Erkundungsverfahren. Eine ausführliche Darstellung der Methode speziell für die geothermische Exploration findet man beispielsweise bei von Hartmann et al. (2015). An der Erdoberfläche werden durch Vibratoren – das sind hochfrequent schwingende Bodenplatten (Abb. 4.2) –, durch Fallgewichte oder auch durch Sprengungen in Bohrlöchern seismische Wellen erzeugt, die sich im Untergrund ausbreiten und dort an Diskontinuitäten reflektiert und gebrochen werden. Ein kleiner Teil des reflektierten Wellenfeldes gelangt zurück zur Erdoberfläche, seine Energie und der zeitliche Einsatz der Wellenbewegung, das „Echo“, wird mit zahlreichen entlang einer Linie im Boden steckenden Geophonen registriert. Die Geophone funktionieren dabei wie hochempfindliche Mikrofone, die das reflektierte Signal, die P-Wellen, aus dem Untergrund aufnehmen und zeitlich hoch aufgelöst messen.

Abb. 4.2:
Seismische Exploration:
Messtrupp. Unter den
LKWs sind Bodenplatten
angeordnet, die den
Untergrund in
Schwingung versetzen.



Heutzutage kommt meistens die Vibrationsseismik zum Einsatz (Abb.4.2). Zur Vorbereitung einer seismischen Messung gehört auch das Einholen der erforderlichen Genehmigungen (Abschn. 4.3). Das Messziel, die Tiefenlage der geplanten Erkundung, muss festgelegt werden. Die Linienführung für die Vibrationsfahrzeuge (Abb. 4.2) wird anhand von Karten und Geländebegehungen bestimmt. Sodann werden die Messparameter (Punktabstände, Energie, Apparatur, Aufnehmer-Kanäle, etc.) vorgegeben. In der Vermessungsphase wird das Messnetz definiert. Die Seismometerabstände legen die kleinste auflösbare Wellenlänge fest. Durch die Ausdehnung einer Anordnung wird die Trennschärfe bestimmt. Die seismische Auflösung nimmt i.d.R. mit der Tiefe ab.

Nachdem die Messapparatur, die Vibratoren, das Personal und die Trupp-Infrastruktur in das Messgebiet gebracht wurden, kann die eigentliche Messung beginnen. Die Erst-Auswertung der Messungen findet bereits während der Feldarbeiten statt, der Hauptteil jedoch in der Niederlassung (Processing-Zentrum) mit aufwendiger Software und anhand bereits vorhandener Bohrungen (vorzugsweise mit Geophonversenkmessungen) zur Eichung.

Naturschutzgebiete, Natura 2000-Gebiete, Naturdenkmale, Artenschutz und Gewässerschutz sind bereits bei den Geländearbeiten für seismische oder sonstige geophysikalische Felderkundungen zu beachten (Abschn. 5.3).

4.5 Erstellung von numerischen Untergrundmodellen

Ziel der Datenerhebung und -auswertung (Abschnitt 3.2) sollte es sein, das in groben Zügen erstellte geologische Untergrundmodell mit Parametern, also Eigenschaften, für die einzelnen Horizonte und geologischen Strukturen zu versehen. Durch Integration von Temperaturdaten, Durchlässigkeiten und hydrochemischen Daten wird es möglich, ein sog. thermisch-hydraulisch-chemisch gekoppeltes Modell (**THC-Modell**) zu erstellen. Mit einem derartigen Modell können neben den hydraulischen Auswirkungen durch die Förderung (Druck-Absenkung) und Injektion (Druck-Erhöhung), die Reichweite der thermischen Beeinflussung (Abkühlung) und die Änderung der Wasserzusammensetzung infolge Temperatur- und Druckänderung mit ihrer Auswirkung auf Scaling (Ausfällung) und/oder Korrosion im Vorhinein untersucht werden. Häufig werden auch nur thermisch-hydraulisch gekoppelte Modell (TH-Modell) benutzt, wenn die hydrochemischen Änderungen relativ unwichtig sind.

Mit derartigen numerischen Modellen lässt sich die lokale Untergrundsituation im Vorfeld auf ihre Eignung untersuchen. So kann beispielsweise der untertägige Abstand der Förder- und Injektionsbohrung optimiert werden, damit beispielsweise über die Betriebsdauer hinweg mit keiner negativen thermischen Beeinflussung zu rechnen ist. Oder es lassen sich Druckänderungen in den beiden Bohrungen nach langjährigem Betrieb prognostizieren, ebenso Einflüsse einer hydrochemischen Veränderung des Thermalwassers. Selbstverständlich muss ein derartiges Modell im Vorfeld geeicht und validiert werden. Sämtliche Ergebnisse sind natürlich von der Qualität der Eingangsparameter und der Güte des Modells abhängig.

Zu den Vorarbeiten gehört ebenfalls die Erstellung eines **strukturgeologisch-geomechanischen Modells**. Die notwendigen Unterlagen resp. Eingangsparameter, insbesondere die geomechanischen Parameter, wurden in der Machbarkeitsstudie erhoben bzw. ausgewertet (Abschn. 3.2). Das geomechanische Modell setzt auf dem geologischen Modell, bzw. auf den tektonischen, also den strukturgeologischen Verhältnissen des Untersuchungsgebietes auf. Unter Einbindung des lokalen Stressfeldes wird dann untersucht, welche Strukturen (Störungszonen, Klüftzonen) eine erhöhte Schertendenz in Abhängigkeit von Injektions- und Förderraten aufweisen; auf diese Weise kann die potentielle **induzierte Seismizität** abgeschätzt werden.

4.6 Induziertes seismisches Potenzial, seismisches Überwachungsnetz

Naturgegeben kommt es in Baden-Württemberg immer wieder zu leichten Erdbeben, in einzelnen Gebieten häufiger, in anderen weniger häufig. In der Abbildung 4.3 ist die Größe der Erdbeben (Seismizität) in Magnitude nach der sog. Richterskala angegeben. Dies ist eine logarithmische Skala. Erdbeben der Stärke 3 haben einen etwa 10-fach höheren Ausschlag (Amplitude) im Seismogramm wie Erdbeben der Stärke 2 und näherungsweise die 32-fache Energiefreisetzung im Erdbebenherd. Abbildung 4.3 zeigt fast ausschließlich die natürliche Seismizität der Jahre 1973-2009 in Baden-Württemberg und Umgebung. In seltenen Fällen können aber auch durch menschliche Aktivitäten, wie durch den Betrieb großer Speicherbecken, durch Bergbau, durch große Trinkwasser-, Erdöl- oder Erdgas-Entnahmen oder durch den Bau und Betrieb von Geothermieanlagen, Erschütterungen ausgelöst werden. Dieser Effekt heißt **induzierte Seismizität**.

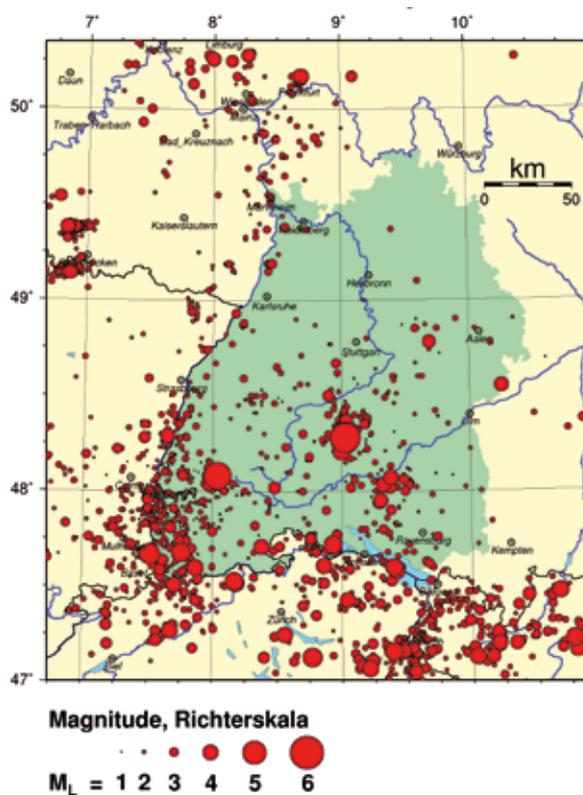


Abb. 4.3: Seismizität in Baden-Württemberg im Zeitraum 1973-2009.

Landeserdbebedienst BW

Grundsätzlich ist nicht davon auszugehen, dass beim Betrieb einer hydrothermalen Geothermieanlage mit Zirkulation (Förderung und Injektion) von Thermalwasser aus bzw. in einen tiefen Grundwasserleiter mit einer erhöhten Erdbebengefahr im Sinne schädigender oder spürbarer Ereignissen zu rechnen ist. Jedoch ist die allgemeine Verunsicherung so groß, dass auch unter den Aspekten der Beweissicherung, der Sichtbarmachung der tatsächlichen Vorgänge im Untergrund und der allgemeinen Transparenz ein seismisches Monitoring sinnvoll ist.

Vor dem Abteufen der ersten Bohrung muss auf dem Stand von Wissenschaft und Technik ein qualifiziertes **Gutachten zum Potenzial induzierter Seismizität** und zur möglichen Gefährdung durch einen Förder- und Injektionsbetrieb erstellt werden. Der Gutachter sollte daher über ausgewiesene Erfahrungen auf den Gebieten der Seismologie, der Paläoseismologie, der Geologie und Tektonik, der Geophysik, der Fels- und Hydromechanik sowie des Erdbebeningenieurwesens verfügen.

Außerdem sollte er die Methoden zur systematischen Erfassung und Analyse der möglichen Ereignisabläufe und der mathematisch-statistischen Grundlagen der Gefährdungsberechnung beherrschen, sowie über Kenntnisse der Methode der probabilistischen bzw. deterministischen seismischen Gefährdungsanalyse verfügen. Das Gutachten sollte die natürliche Seismizität der Region mithilfe der Erdbebenkataloge beschreiben (Abschn. 3.2), wobei eine Differenzierung nach der Herdtiefe anzustreben ist. Eine Vollständigkeitsschwelle sowie die Ortungsgenauigkeit als Funktion der Zeit sollten auch vorhanden sein. Erdbeben geringer Herdtiefe besitzen eine hohe Relevanz für die Beurteilung der Erdbebengefahr und sind bei Gutachten dieser Art zu berücksichtigen. Die Darstellung der Gefährdung sollte im Hinblick auf eine quantitative Gefährdungsbeurteilung erfolgen. Die im Gutachten durchgeführte Analyse sollte nachvollziehbar dargelegt und allgemein verständlich sein (FKPE 2015).

Für den Gutachter ist das geologische Modell (Abschn. 4.5) mit dem räumlichen Verlauf der Störungszonen wichtig. Anhand der struktur-geologisch-geomechanischen Modellierung (Abschn. 4.5) kann abgeschätzt werden, ob diese Störungszonen seismisch aktiv sind. Störungszonen bei tiefen geothermischen Projekten können nicht nur eine Zone mit potenziell erhöhter Wasserführung darstellen, sondern auch eine Struktur, entlang derer die Erdkruste eine geringere Festigkeit aufweist. Das Gutachten sollte daher auch berücksichtigen, wie sich die Injektion von Wasser in eine solche Störungszone auf das Auftreten von induzierten Beben auswirken könnte. Das Gutachten dient als Grundlage des Genehmigungsverfahrens und ist somit Teil davon.

Bereits vor Beginn des Abteufens der Erstbohrung sollte ein **seismisches Überwachungsnetz** (Monitoring) eingerichtet werden, um den Ausgangszustand (Ruhezustand) zu erfassen (Abb. 4.4). Mit dem Gutachter ist das seismische Monitoring, die erforderliche Anzahl von Messstellen (Seismometer) und das Noise/Signal-Verhältnis abzustimmen (FKPE 2012, GTV 2011). Für ein hydrothermales Geothermieprojekt sind etwa 4-5 übertägige Messstationen ausreichend, um ein eventuell auftretendes Ereignis lokalisieren zu können, wobei eine Messstelle in der Nähe der Geothermieanlage und die restlichen 4 Messstellen in etwa 2,5 - 3,5 km Entfernung vom Zentrum der Anlage installiert werden sollten (Barth & Gaucher 2012, GTV 2011).

Zur Minimierung von Störeinflüssen und zur Steigerung der Genauigkeit der Ermittlung der Tiefenlage eines Erdbebens (Herdtiefe) können u. U. auch Seismometer in Bohrlöchern in Betracht gezogen werden. Außerdem sollte festgelegt werden, auf welchem Weg die gemessenen Werte der Bergbehörde zur Verfügung gestellt werden und in welcher Form sie veröffentlicht werden. Der Vorhabenträger sollte die Öffentlichkeit umfassend über die Messergebnisse informieren, um Transparenz in der eigenen Sache herzustellen (Abschn. 4.1).

Zum seismischen Überwachungsnetz gehört auch die Messung der **Erschütterung** zur internen Betriebsüberwachung, zur Beweissicherung und ist Grundlage des bergrechtlichen Genehmigungsverfahrens. Die Wahl der Messstellen zur Ermittlung von Erschütterungseinwirkungen ist vom Vorhabenträger in Abstimmung mit dem Gutachter für das Potenzial induzierter Seismik festzulegen. Die Ergebnisse sollten gemäß der DIN 4150 dargestellt und dokumentiert werden. Das seismische Überwachungsnetz ist Grundlage für die bergrechtliche Genehmigung.

Vor und bei der Einrichtung der Messstellen muss darauf geachtet werden, ob die Belange des Natur- und Umweltschutzes tangiert werden (Abschn. 5.3).



Abb. 4.4: Beispiel für eine seismologische Messstation.

Mit Hilfe des seismischen Monitorings muss die Modellierung der Seismizität verifiziert werden, bzw. ggf. dazu benutzt werden, den Modellaufbau zu verfeinern.

Das seismische Monitoring erfolgt während der gesamten Bauphase und in der Betriebsphase der geothermischen Anlage unter wissenschaftlicher Begleitung, wobei nach einer gewissen Betriebszeit in Absprache mit der Bergbehörde ggf. eine Anpassung des Messumfangs erfolgen kann.

In dieser Phase erfolgen auch erste Überlegungen über ein sog. **Ampelschema**. Dies betrifft die Festlegung der Dauer von Maximal-Drücken in der Injektionsbohrung sowie, welche Maßnahmen bei Überschreitung einer festzulegenden Seismizitätsmagnitude zu ergreifen sind, um nicht tolerierbare, spürbare seismische Ereignisse zu vermeiden (vgl. hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 5.5).

4.7 Grundwasser-Monitoring

Im Umfeld des geplanten Bohrplatzes sollte die Einrichtung eines Grundwasser-Monitoring-Netzes vorgenommen werden. Dazu müssen geeignete Grundwassermessstellen für die oberflächennahe Grundwasserführung installiert werden. Es wird empfohlen, oberstrom der geplanten Anlage ein Messstelle abzuteufen, sowie 2 unterstromige Messstellen. Falls die Förder- und Injektionsbohrungen nicht vom selben Bohrplatz aus abgeteuft wurden, sollte das Grundwasser-Monitoring für jede Bohrung separat eingerichtet werden. In diesen Messstellen sollte in regelmäßigen Abständen der Grundwasserstand, sowie Temperatur und elektrische Leitfähigkeit des Wassers zur Beweissicherung gemessen werden. Mit der Einrichtung des Messstellennetzes sollte bereits vor Einrichtung des Bohrplatzes begonnen werden, damit die lokalen natürlichen Schwankungen erfasst werden können.

Da die Eigenschaften des Grundwassers natürlichen Schwankungen unterworfen sind, wird empfohlen, die Messdaten mit Daten aus dem überregionalen Beobachtungsnetz zu vergleichen. Geeignete Ansprechpartner sind die LUBW (Landesanstalt für Umweltschutz) und die untere Wasserbehörde des entsprechenden Land- oder Stadtkreises. Mit letzteren sollte auch die Lage und Tiefe der Grundwassermessstellen einvernehmlich festgelegt werden.

4.8 Scaling und Korrosion

In dieser Projektphase sollten auch Strategien entwickelt werden, um mit dem Thermalwasser so umzugehen, dass es zu keinen schädigenden Ausfällungen (Sinter, Scaling) oder Korrosion an den Anlagenteilen kommt. Außerdem ist in dieser Phase ein Konzept für die Entsorgung von Fluiden, Feststoffen, evtl. NORM-Abfällen („naturally occurring radioactive material“) und Oberflächenwasser zu erstellen.

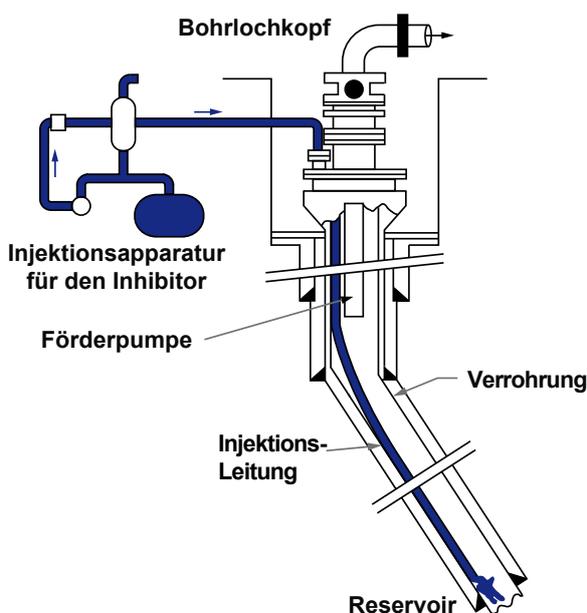


Abb. 4.5: Beispiel für das Einbringen eines Inhibitors im Aquiferbereich bei der Förderbohrung.

Grundsätzlich muss das Tiefenwasser übertage in einem geschlossenen (gasdichten) Leitungssystem zirkulieren. Denn falls Gase zu- oder austreten, ist fast immer mit **Ausfällungen (Scaling)** zu rechnen (Abb. 3.3). Unabhängig davon verändern sich die Druck- und Temperaturbedingungen der heißen Tiefenwässer, wenn sie an die Erdoberfläche gepumpt werden und ihnen dort die Temperatur entzogen wird.

Dadurch ändert sich der Sättigungszustand dieser Wässer bezüglich verschiedener Minerale und es kann so zu Übersättigungen mit der Folge von Mineralausfällungen kommen. Das ist ein natürlicher Vorgang, der auch aus dem Bäderwesen bekannt ist. Es gibt eine Reihe von sog. thermodynamischen Berechnungs-/ Simulations-Programmen, mit denen dieser Vorgang untersucht und damit prognostiziert werden kann.

Je nach Wasserbeschaffenheit kann es beispielsweise zur Vermeidung von Scaling ausreichend sein, wenn der Druck im übertägigen Anlagensystem einen bestimmten Wert nicht unterschreitet. Zusätzlich zu den theoretischen Überlegungen können auch Untersuchungen im Labor stattfinden, bei denen getestet wird, mit welchen Zusatzstoffen (**Inhibitoren**) die Sinterbildung unterbunden werden kann. So wird beispielsweise die Geothermieanlage in Bruchsal zur Vermeidung von Scaling nur mit Überdruck betrieben, während dem Thermalwasser der geothermischen Heizanlagen im Pariser Becken ein Inhibitor bereits im Aquifer in der Förderbohrung zugegeben wird (Abb. 4.5). Der Einsatz von Inhibitoren ist zulassungspflichtig.

Natürliche Radionuklide können prinzipiell in allen Tiefenwässern vorliegen. Die Aktivitätskonzentrationen weichen jedoch in Abhängigkeit von der Geologie des Aquifers stark voneinander ab und sind im granitischen Milieu i.d.R. wesentlich höher als in sedimentären Aquiferen. Die Werte sind im Wasser grundsätzlich sehr niedrig. Zudem können die Thermalwässer toxische und kanzerogene Elemente wie Arsen, Cadmium, Blei u. ä. enthalten.

Bei geothermischen Anlagen, die im Dubletten-Betrieb gefahren werden, ist das Risiko, dass belastete Stoffe an die Erdoberfläche gelangen, niedrig, da das Tiefenwasser in einem übertägig geschlossenen Kreislauf gefahren und über die Injektionsbohrung wieder in den tiefen Untergrund, aus dem das Thermalwasser gefördert wurde, zurückgebracht wird. Allerdings können in unterschiedlichen Mineralphasen (Scales) Radionuklide z. T. eingebunden und sogar angereichert sein. Deshalb ist Vorsicht beim Umgang mit Bauteilen geboten, auf denen sich Scales gebildet haben. Trotz Vermeidungsstrategie zur Bildung von Scales kann diese nicht völlig ausgeschlossen werden, insbesondere nicht in Wärmetauschern oder Pumpen. Sinterablagerungen ist daher grundsätzlich erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken und ausgetauschte Bauteile sollten sicherheitshalber untersucht und ggf. entsprechend fachtechnisch behandelt werden (StrlSchV 2001).

Diese natürlichen radioaktiven Stoffe werden als **NORM** („naturally occurring radioactive material“) bezeichnet und müssen ordnungsgemäß entsorgt werden. Der betriebliche Umgang und die betriebliche Überwachung der Radionuklide ist wesentlicher Bestandteil eines auszuarbeitenden Arbeitssicherheits-Konzepts. Informationen über die Überwachung, den Umgang und die Entsorgung von radioaktiven Stoffen erteilen beispielsweise die Umweltabteilungen (Referate 54.4) der 4 Regierungspräsidien in Baden-Württemberg.

Durch Laborexperimente lässt sich auch die Beständigkeit verschiedener Werkstoffe gegenüber den teilweise aggressiven Thermalwässern voruntersuchen (**Abschn. 5**). Die Ergebnisse können bei der Errichtung der technischen Anlagen im Bedarfsfall durch die Verwendung von **korrosionsbeständigem Material** entsprechend einfließen. Viele thermale Tiefenwässer enthalten CO₂ oder H₂S. Sollen derartige Wässer in Kohlenstoff-Stahlleitungen transportiert werden, so sollte vorab unbedingt der pH-Wert der wässrigen Phase eingehend untersucht werden, um die Korrosionsbeständigkeit zu prüfen. Soweit die Korrosionsbeständigkeit von C-Stählen nicht mehr ausreichend ist, kann auf höherwertige Werkstoffe zurückgegriffen werden.

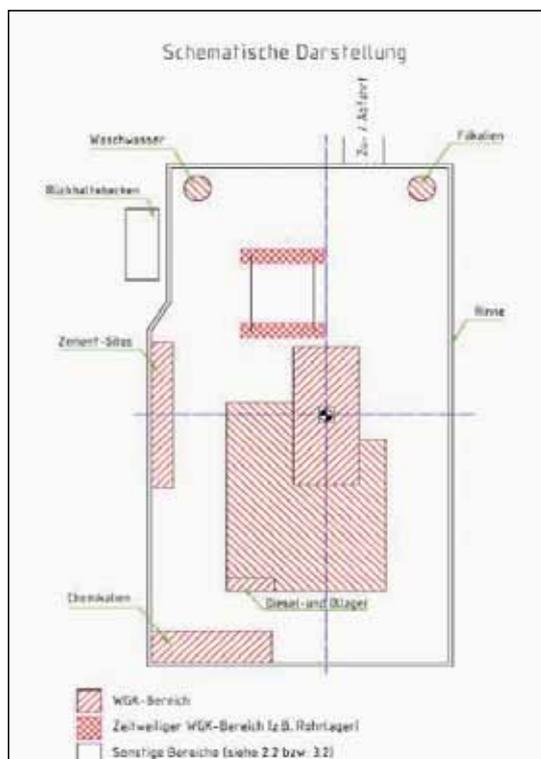
4.9 Konzeption für Bohrplatz und Tiefbohrungen

Für Tiefbohrungen müssen zunächst detailliert geplante und von der Bergbehörde genehmigte Bohrplätze errichtet werden. In der Richtlinie des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V. (BVEG, früher: Wirtschaftsverbandes Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., WEG) ist die Gestaltung eines **Bohrplatzes** für Tiefbohrungen gemäß technischer Standards beschrieben (WEG 2006). Dort sind die Mindestanforderungen an Bohrplätze und die Erfordernisse des Gewässerschutzes aufgeführt (**Abschn. 5.2, 5.3**). Die WEG-Richtlinie kann allerdings nur als Orientierung herangezogen werden. Die Konzeption von Bohrplatz und Bohrungen muss bereits bei der Überprüfung auf Notwendigkeit einer **Umweltverträglichkeitsprüfung** (UVP) und eines **Raumordnungsverfahrens** nach dem Landesplanungsgesetz integriert worden sein (**Abschn. 4.3**).

Es ist darauf zu achten, dass die Anforderungen des Naturschutzes bei der Standort-Entscheidung und im Zuge der Planung durch die Minimierung von Flächenbedarf und versiegelten Flächen, die Verwendung von recyclingfähigem Material sowie die Minimierung von Abfällen beim Rückbau des Bohrplatzes, berücksichtigt werden. Gegebenenfalls sind dabei Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen erforderlich, um Eingriffe zu kompensieren.

Bei der Durchführung von Bohrungen fallen auf dem Bohrplatz neben Bohrgut und Spülrückständen verschiedene Arten von Flüssigkeiten an. Aus Gründen des Umwelt- und Gewässerschutzes werden Bohrplätze so angelegt, damit keine wassergefährdenden Flüssigkeiten in den Boden und in benachbarte Gewässer gelangen. Des Weiteren werden Flüssigkeiten so weit wie möglich voneinander getrennt und entsorgt (WEG 2006).

Auch sollte bereits in dieser Phase begonnen werden, die Organisation der Bohrung, Teste etc. und das notwendige Personal zu definieren.



Der Richtlinie des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V. (WEG 2006) beschreibt die Aufteilung des Bohrplatzes hinsichtlich der Wassergefährdung in zwei unterschiedliche Bereiche, die der Aufstellung von Maschinen, der Unterbringung von Lagerbehältern und der Abwicklung des Verkehrs dienen (Abb. 4.6). Die Richtlinie trägt auch den arbeitssicherheitlichen Erfordernissen Rechnung. Baustatische Anforderungen (z. B. Bohranlagenfundamente sowie Fundamente für Hochtanks und Spülpumpen u. ä.) sind jedoch nicht berücksichtigt.

Abb. 4.6: Schematische Darstellung eines Bohrplatzes.

WEG 2006

Anhand des tektonisch-geologischen Untergrundmodells, das auf der Basis seismischer Untersuchungen (2D- und/oder 3D-Seismik) und Tiefbohrungen erstellt wurde, wird eine virtuelle **Bohrpfadplanung** vorgenommen, wobei der optimale Zielpunkt oftmals nur mit einer Schrägbohrung (Richtbohrung) erschlossen werden kann. Spezielle Applikationen erlauben die Beschreibung des dynamischen Verhaltens des Reservoirs über die Zeit hinsichtlich Druck, Temperatur und Fließverhalten. Basierend auf diesem Untergrundmodell wird letztlich die fundamentale Entscheidung getroffen, an welchem Standort und mit welchem Verlauf (Bohrpfad) die Bohrung abgeteuft und wo das optimale Ziel angetroffen werden soll.

Steht der Bohrfad fest, werden das Bohrwerkzeug und das **Bohrlochdesign**, d. h. die Konstruktion aus Stahlrohren und Zement, um das Bohrloch zu stabilisieren, festgelegt. Ausschlaggebend dafür sind die Beschaffenheit der Untergrundverhältnisse, die geplante Bohrtiefe und ob eine Vertikal- oder eine Schrägbohrung (Richtbohrung) vorgesehen ist. Die gesamte Bohrplanung basiert somit auf dem geologischen Untergrundmodell, das Schritt für Schritt aktualisiert werden muss. Bei Tiefbohrungen kommt in der Regel das sog. Rotarybohrverfahren zum Einsatz, bei dem ein rotierender Bohrstrang eingesetzt wird und das anfallende Bohrklein kontinuierlich durch die Bohrspülung ausgetragen wird. Andere Bohrverfahren werden häufig in den obersten Abschnitten angewandt oder in tieferen Bereichen bei speziellen geologischen Fragestellungen oder Verhältnissen.

Ausgehend von der angestrebten Bohrtiefe und dem Durchmesser wird eine passende **Bohranlage** (Abb. 4.7) mit ausreichender Hakenlast gewählt. Die Hakenlast bestimmt, welche Last mit der Bohranlage gehalten (gezogen) werden kann. Dadurch bestehen für Änderungen der maximalen Bohrtiefe sowie der Bohr- bzw. Ausbaudurchmesser nur noch kleine Variationsmöglichkeiten. Bohranlagen, die in Tiefen von 3.000 - 5.000 m vordringen, weisen typischerweise Hakenlasten zwischen 200 - 400 t auf und haben eine Masthöhe von 30 - 45 m. Die Masthöhe kann z. B. im Bereich von Flugverkehr eine gewisse Rolle spielen.

Die Energieversorgung der Anlage kann über Generatoren oder durch Anschluss an das lokale Energieversorgungsnetz erfolgen. Letzteres ist leiser und umweltverträglicher, aber i. d. R. auch teurer. Zum Lärmschutz werden Generatoren teilweise auch eingehaust. Bei Lärmemission ist in Abhängigkeit von der jeweiligen Lokation die Einhaltung bestimmter Immissionswerte zu beachten (vgl. WEG-Leitfaden Nr. 41).

Zur Peripherie der Bohranlage gehören das Spülungssystem sowie eine Bohrlochsicherungsausrüstung (Preventer) zur Vermeidung unkontrollierter Austritte von Fluiden oder Gasen.



Abb. 4.7: Bohrturm zur Erstellung einer Tiefbohrung.

Die allgemeine Sicherheit der Bohranlage wird durch die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik und betrieblicher Standards sichergestellt. Durch besondere Schutzausrüstung, vor allem aber durch angepasste organisatorische und technische Arbeitsschutzmaßnahmen, müssen Gefährdungen für das Bohrpersonal und Dritte vermieden werden. Große Bedeutung haben bspw. der Brand- und Explosionsschutz. Auf der Bohrstelle werden daher sog. Ex-Schutz-Bereiche festgelegt und durch gesonderte Beschilderung kenntlich gemacht. Innerhalb dieser Bereiche gelten besondere Anforderungen an Materialauswahl, Art der elektrischen Verbraucher und Geräte, Verhaltensweisen des Bedienpersonals etc. .

Zur technischen Umsetzung des Bohrplans muss im Vorfeld eine detaillierte **Bohrablaufplanung** erstellt werden. Dazu ist es zunächst erforderlich, am geplanten Standort entlang des Bohrpfad es ein bestmögliches geologisches Profil mit detaillierten Angaben zur Stratigraphie und Lithologie zu erstellen. Zur Bohrablaufplanung gehören ferner für jede Bohrphase detaillierte teufenbezogene Angaben zum Bohrverfahren, Bohrwerkzeug, Spülung, Bohrlochmessungen, hydraulische Tests sowie insbesondere Angaben über Formationen mit Gasführung oder gespannte Wässer sowie dem Umgang damit etc. .

Der Ausbau einer Tiefbohrung ist ein komplexes Gebilde aus Stahlrohren und Zement, eine Bohrloch-konstruktion, welche verhindert, dass Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe unkontrolliert aus- oder eintreten können. Sie muss so dimensioniert werden, dass sie alle auftretenden Belastungen während der Bohrphase und des Förderbetriebs sicher ertragen kann. Daher ist auch bei der Bemessung der Rohrwandung deren thermische Belastung beim Förderbetrieb einer Geothermie-anlage zu berücksichtigen.



Abb. 4.8: Beispiel für Bohrmeißel, die beim Rotary-Bohrverfahren eingesetzt werden.

Meistens werden von einem Bohrplatz aus mehrere Bohrungen (Schrägbohrungen, sog. Richtbohrungen) abgeteuft. Im Bereich des Bohran-satzpunktes wird ein sog. **Bohrkeller** (Abb. 4.1) erstellt. Von dort aus wird mit der Tiefbohrung begonnen. **Tiefbohrarbeiten** werden i.d.R. im Schichtbetrieb 24h/d ohne Unterbrechung ausgeführt. Die Tiefbohrung wird in einer Serie von Bohrphasen erstellt, wobei anhand des theoretischen Schichtenprofils festgelegt wird, in welchen Tiefen abgesetzt und eine Bohrloch-verrohrung gesetzt und zementiert werden muss (Abb. 4.9). Tiefbohrungen werden vorwiegend mit dem sog. Rotary-Bohrverfahren (Abb. 4.8) abgeteuft, bei dem das Bohrgut an der Erdoberfläche in Form von Cuttings (kleine Gesteins-bruchstücke) anfällt. Die laufende Untersuchung der Cuttings ermöglicht ein Vergleich mit dem prognostischen Bohrprofil. Fehlende oder nur unzureichende geologische Informationen über die abgeteuft Bohrstrecke können mit geophysikalischen Bohrlochvermessungen ergänzt werden.

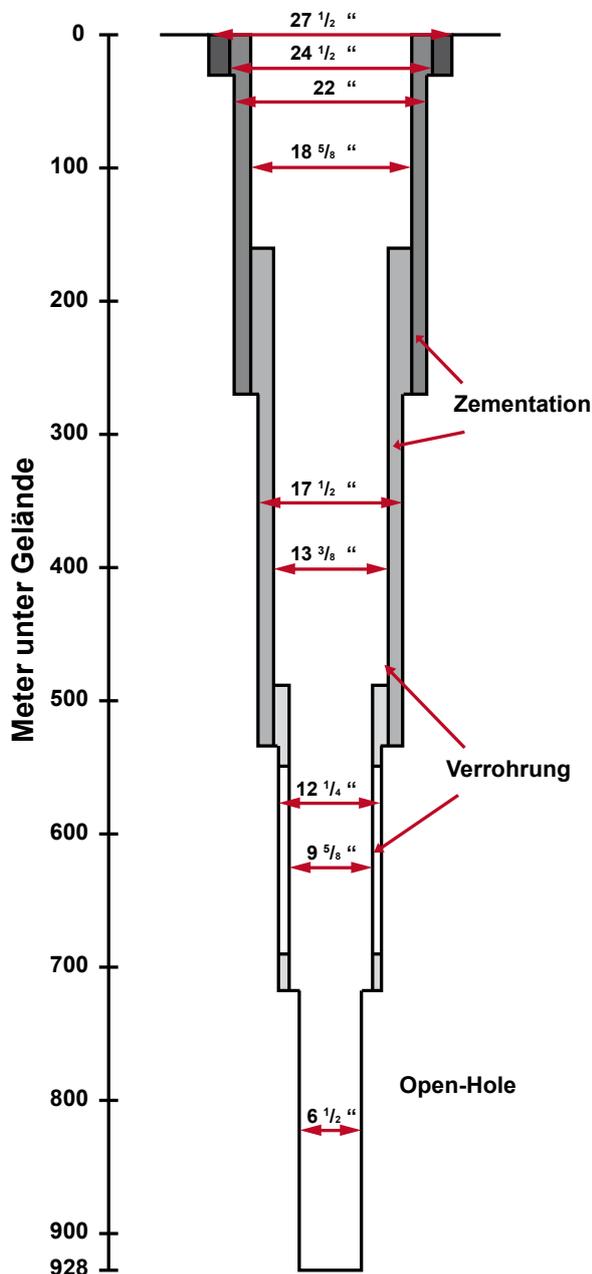


Abb. 4.9: Beispiel für den Ausbau einer Tiefbohrung mit Open-Hole.

Werden detailliertere Informationen über die geologische Schichtenabfolge benötigt, so besteht die Möglichkeit Bohrkerne zu ziehen, ein Verfahren das wesentlich aufwändiger ist als das Bohren mit dem Rotary-Verfahren. In welchen Teufenabschnitten mit welchem Bohrverfahren gearbeitet werden soll, muss im Vorfeld festgelegt werden.

Das Zusammenspiel zwischen der im Ringraum (zwischen Bohrlochwand und Verrohrung bzw. zwischen den einzelnen Rohrtouren) eingebrachten **Zementation** und den **Verrohrungen** stabilisiert die Bohrung und ist wichtig, damit die durchteuften Formationen hydraulisch voneinander getrennt sind (VBI 2013). Dabei kommen den einzelnen Rohrtouren unterschiedliche Aufgaben zur Bohrtechnik und zum Grundwasserschutz zu. Abb. 4.9 zeigt den schematischen Ausbau für eine Tiefbohrung. So dient bspw. das Standrohr der Sicherung der obersten Gebirgsschichten (Nachfall) sowie der Turmfundamente z. B. gegen Unterspülung und die Schutzrohrtour der Abdichtung etwaiger Grundwasserhorizonte und der Stabilisierung des Bohrlochs bei etwaigen späteren Spülungsverlusten bzw. instabilen Formationen.

Die Ankerrohrtour dient der Lastaufnahme von Futterrohr- und Steigrohrstrang sowie vom Bohrlochkopf und der Abdichtung etwaiger Wasserhorizonte und Spülungsverlustzonen. Technische Rohrtouren sind zum Schutz gegen ungünstige Gebirgsverhältnisse wesentlich.

Die Produktionsrohrtour ist die Verbindung zwischen Lagerstätte und Bohrlochkopf und trennt einzelne Reservoirs voneinander (WEG 2014, Länderverordnung 2006, API 2005 und 2006). Die Geothermie-Bohrung ist damit bereit für die Produktion. In der Erdöl-/Erdgasindustrie wird zusätzlich ein eigener Förderstrang, der über der Lagerstätte mit einem sog. Packer zu den Futterrohren abgedichtet ist, in das Bohrloch eingeschoben und somit eingebaut. Dieser Förderstrang dient damit gleichzeitig dem Schutz der Verrohrung der Bohrung. Einige geothermische Tiefbohrungen verfügen ebenfalls über einen derartigen Förderstrang.

Mit speziellen geophysikalischen Bohrlochmessungen lässt sich der sachgerechte Ausbau kontrollieren. Bei diesen sogenannten Kontrollmessungen wird die Anbindung des Zementes an die Rohre bzw. die kompakte Auffüllung des Ringraumes mit Zement überprüft. Mit jeder Bohrphase nehmen Bohr- und Rohrdurchmesser ab. In der Tiefbohrtechnik sind alle Rohr- und Meißeldurchmesser nach API (American Petroleum Institute) genormt. Eine fertig gestellte Tiefbohrung hat daher einen teleskopartigen Aufbau. Aus dem prognostischen geologischen Profil und dem Enddurchmesser der Bohrung ergibt sich daher auch der Anfangsdurchmesser. Zur Erzielung hoher Förderraten muss der Bohr- bzw. Rohrdurchmesser im Reservoir einen Minstdurchmesser aufweisen. Dieser Durchmesser bestimmt damit den Anfangsdurchmesser. Bei standfestem Gebirge im Reservoirbereich kann auf einen Ausbau verzichtet werden (Open-Hole), bei instabilem Gebirge oder Partikelführung sind im Bereich der Lagerstätte perforierte Liner oder Filterrohre einzubauen.

Nach Erstellung der Bohrablaufplanung ist die Genehmigung für die Bohrung unter Vorlage der detaillierten Bohrablaufplanung bei der Bergbehörde einzuholen (Betriebsplanzulassung). Im Anschluss an die detaillierte Bohrablaufplanung und Betriebsplanzulassung kann die **Ausschreibung der ersten Bohrung** erfolgen.

Bereits zu diesem Zeitpunkt, also noch in der eigentlichen Planungsphase, bevor die erste Bohrung abgeteuft wird, muss über alternative Möglichkeiten nachgedacht werden, sollte die Bohrung nicht die erwartete Fündigkeit (Abschn. 4.2) aufweisen. **Alternativnutzungen** bei zu niedriger Ergiebigkeit könnten beispielsweise die Thermalwasser-Nutzung für Badezwecke oder die Installation einer Tiefen Erdwärmesonde für Heizzwecke sein (Abschn. 1.1). Auch eine ggf. erforderliche Verfüllung der Tiefbohrung ist planerisch zu berücksichtigen.

4.10 Planung für Kraftwerksbau und Übertageeinrichtungen, Genehmigungsablauf

Bei der Planung der Übertageeinrichtungen (Heiz- und ggf. Kraftwerk) sind die Randbedingungen aus dem Energiekonzept entscheidend. Die Massen- und Energieströme des Kreislaufs müssen entsprechend ausgelegt werden. Die erwartete Nennleistung, der thermische Wirkungsgrad und die Rücklauftemperatur des Thermalwassers müssen für die Planung berechnet werden.

In Folge ist die Auslegung der Hauptkomponenten vorzunehmen. Für die Hauptkomponenten mit langen Lieferzeiten sollten bereits in dieser Phase Angebote eingeholt werden. Zudem erfolgt jetzt die Detailauslegung der Rohrleitungen und der Steuerung.



Abb. 4.10:
Beispiel von Schwerstangen zur Erzeugung einer höheren Bohrandruckkraft.

Sodann erfolgt die Beantragung der erforderlichen Genehmigungen und der Betriebserlaubnis. Für die Errichtung der Gebäude (i.d.R. Energiezentrale, Kraftwerksgebäude) ist eine Baugenehmigung gemäß Landesbauordnung erforderlich, die von der zuständigen unteren Baurechtsbehörde erteilt wird. Prüfungsgegenstand des Baugenehmigungsverfahrens sind auch die jeweiligen bauplanungsrechtlichen Vorschriften. Anlagen zur Nutzung von Tiefengeothermie erfüllen die Voraussetzung von ortsgebundenen Anlagen der öffentlichen Versorgung mit Wärme oder Elektrizität und sind daher entsprechend zu handhaben. Wegen ihrer Standortbindung sind solche Anlagen i.d.R. im Außenbereich bauplanungsrechtlich zulässig.

4.11 Finanzierung, Businessplan

Bei der **Finanzierung** spielt es eine wesentliche Rolle, ob es sich beim Vorhabenträger um einen kommunalen Träger, ein Energieversorgungsunternehmen oder einen privaten Projektentwickler handelt. Neben der Eigen- und Fremdfinanzierung (z. B. Bereitstellung von Bank-Krediten) stehen Förderinstrumente zur Verfügung (Abschn. 2.2, 4.2). Die Einbeziehung dieser Finanzierungsinstrumente innerhalb der Gesamtfinanzierung ist entscheidend vom Profil bzw. Geschäftsform des Vorhabenträgers abhängig. Zudem ist natürlich jede Finanzierung von der erreichbaren **Rentabilität** des Projektes abhängig. Vor der Entwicklung der Finanzierungsstruktur sind daher projektspezifische Rentabilitätsberechnungen erforderlich und Best-Case- sowie Worst-Case-Szenarien zu untersuchen.

Über die gesamte Projektlaufzeit hinweg müssen durch Aktualisierung des Finanzierungsplans die Wirtschaftlichkeit und die finanziellen Risiken des Geothermieprojektes beobachtet werden (Abschn. 3.3).

Da sich die Gesamtsumme für ein größeres Tiefengeothermieprojekt auf einige 10er Mio. € beläuft, sollten hohe Anforderungen an den **Businessplan** mit sehr detaillierten Finanzsimulationen gestellt werden.

Auch der Faktor Zeit kann ursächlich dafür verantwortlich sein, dass ein ursprünglich machbares Projekt, unwirtschaftlich werden kann, wenn es zu unerwarteten Stillstandzeiten oder Verzögerungen kommt. Für Tiefengeothermieprojekte ist daher eine Businessplanung mit zahlreichen geologischen, technischen und betriebswirtschaftlichen Varianten erforderlich. Diese Betrachtungstiefe bei der Projektanalyse wird häufig auch für den Abschluss einer Fündigkeitsversicherung benötigt (VBI 2013, Abschn. 4.2).





ERSTE ERSCHLIESSUNGSPHASE

In dieser Projektphase wird die erste Bohrung, die über das weitere Vorgehen und das Gesamtprojekt entscheidet, niedergebracht.

Davor sind weitere Planungsarbeiten und die Einholung von Genehmigungen erforderlich. Falls mit dieser Bohrung die Fündigkeitsziele auch nach ggf. erfolgten Optimierungsmaßnahmen nicht erreicht werden können, muss vom geplanten Vorhaben Abstand genommen werden und eine Alternativnutzung der Bohrung zur Schadensbegrenzung angestrebt werden, andernfalls ist die Bohrung ordnungsgemäß zu verfüllen.

Bürgerbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit haben auch hier einen zentralen Stellenwert, und sollten durchgehend und kontinuierlich erfolgen.



Rotary-Bohrmeißel.

5.1 Planungsarbeiten während der Durchführung der Bohrung

Vor Beginn der Bohrarbeiten müssen sämtliche Planungsarbeiten für die Durchführung der Bohrung inklusive des Bohrlochausbaus im Detail festgeschrieben sein (Abschn. 4.9). Dazu gehören auch sämtliche Untersuchungen sowie sonstige Aktivitäten in der Bohrung.

Während des Abteufens der Bohrung sollte man sich nicht nur auf den Zielhorizont fixieren, sondern es ist wichtig, dass auch bestimmte hangende, durchbohrte Grundwasser führende Schichten, die eventuell alternativ genutzt werden können, hydraulisch und umfassend hydrochemisch getestet werden (Stober & Bucher 2014, BMU 2011). Ist die Schichtenabfolge hinter der Verrohrung, bedarf es eines großen Aufwandes wieder an diese Horizonte zu gelangen. Sollte die Ergiebigkeit im Zielhorizont nicht ausreichend sein, dann könnte man Alternativlösungen in hangenden Grundwasserleitern anstreben, wie beispielsweise eine reine Thermalwassernutzung für Badezwecke oder eine geothermische Nutzung möglicherweise auf niedrigerem Temperatur-Niveau unter zusätzlicher Verwendung einer Wärmepumpe, da Wässer aus hangenden Stockwerken mitverwandt werden, oder ähnliche Alternativnutzungen.

Um die hydrochemische Kompatibilität von Wässern aus verschiedenen Horizonten zu untersuchen und um Aussagen über potenzielle Ergiebigkeiten aufstellen zu können, sollte hier nicht an der falschen Stelle gespart werden. Für eine potenzielle Einbeziehung von Wässern aus anderen Stockwerken ist das hydraulische Potenzial entscheidend.

Entsprechend sind geophysikalische Bohrlochmessungen inklusive Temperatur-Logs einzuplanen. Die Messungen sollten über die gesamte Bohrlänge – soweit sinnvoll – erfolgen, da die Interpretation von nur abschnittsweise ausgeführten Messungen schwierig und problematisch ist. Bei den geophysikalischen Bohrlochuntersuchungen wird zwischen Verfahren in der verrohrten (ausgebauten) oder im offenen, noch nicht ausgebauten Bohrloch differenziert. Zu den Aufgaben der Bohrlochgeophysik gehört es, die Bohrlöcher, die Zementation in nächster Umgebung sowie den umgebenden geologischen Untergrund zu untersuchen.



Abb. 5.1: Beispiel für großkalibrige Bohrwerkzeuge zum Kern von Gebirgsabschnitten.

Bohrlochmessungen gehören zu den wichtigsten Messverfahren bei Tiefbohrungen. In der Bohrlochgeophysik kommen vornehmlich mechanische, geoelektrische, magnetische, elektromagnetische und akustische Verfahren sowie Radioaktivität verwendende Verfahren zum Einsatz. Mit ihrer Hilfe werden in den Bohrlöchern lithologische, petrophysikalische, lagerstätten-technische Eigenschaften sowie gefügekundliche und bohrtechnische Daten aufgenommen. Zum Teil haben die Bohrlochmessungen das zeit- und kostenintensive Kern von Bohrstrecken ersetzt bzw. reduziert (Abb. 5.1).

Mit Hilfe der Ergebnisse der ersten Bohrung können das geologisch-tektonische Modell sowie das erstellte prognostische Bohrprofil (Abschn. 4.5, 4.9) aktualisiert oder präzisiert werden. Ebenso kann das Gutachten zum induzierten seismischen Potenzial und zur möglichen Gefährdung auf den aktuellen Stand gebracht werden (Abschn. 4.5, 4.6) (FKPE 2015).

Nach Erreichen des Zielhorizontes ist dieser ausführlich **hydraulisch zu testen** und **hydrochemisch zu beproben**. Dabei sind Tests mit konstanter Förderrate (Aquifertest) und stufenförmiger Entnahmerate (Brunnentest) zur Ermittlung der Durchlässigkeit und Prognose der maximal möglichen Förderrate sinnvoll (Abb.5.2). Während des Tests sollte die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit des Förderwassers laufend aufgezeichnet werden, um potenzielle Änderungen der Wasserbeschaffenheit zu erfassen. Damit die hydraulischen Tests ausgewertet werden können, ist der Druck im Aquiferbereich (**Basisdruckmessung**) kontinuierlich mit einer Drucksonde zu registrieren. Die Basisdruckmessung kann kaum durch eine Druckmessung oberhalb des Aquifers oder durch eine Messung des Grundwasserstandes ersetzt werden. Für die Durchführung aussagkräftiger Fördertests müssen entsprechend große Auffangbecken, die zuvor ebenfalls genehmigt werden müssen, bereitgestellt werden, da eine direkte Einleitung des geförderten Wassers in das lokale Abwassernetz i.d.R. nicht möglich und nicht zulässig ist (Abb. 5.3). Hydrochemische Proben müssen wegen der erhöhten Temperatur, der Entgasung sowie wegen der teilweisen Aggressivität der Wässer von Fachpersonal entnommen werden. Häufig ist es sinnvoll, dass die hydraulische Tests und die hydrochemische Beprobung abschnittsweise durchgeführt werden. Dazu ist der Einsatz von Packern, zur Absperrung bestimmter Gebirgsstrecken, notwendig (Stober & Bucher 2014, BMU 2011).

Die Wasserstände in den umliegenden Grundwassermessstellen (Abschn. 4.7) sind ebenfalls zu beobachten.

Entsprechend sorgfältig sind die einschlägigen **geophysikalischen Bohrloch-Logs** wie Temperatur-, Salinität-, Gamma-Log etc. durchzuführen. Caliber-Logs im Open-Hole geben Rückschlüsse auf Bohrlochrandausbrüche und auf das Stressfeld, ebenso Televiever-Aufnahmen, also Untersuchungsverfahren, die für die geomechanische Modellierung benötigt werden (Abschn. 4.5). Weitere Verfahren zur Erfassung der Geometrie der Bohrung sind obligatorisch, ebenso wie technische Messungen zur Kontrolle der Dichtigkeit der Verrohrung und der Korrektheit der Zementierung der Verrohrung. Entsprechende Untersuchungs- und Auswerteverfahren sind in Stober & Bucher (2014) aufgeführt.

Abb. 5.2: Beispiel für die Durchführung einer hydraulischen Testserie, unten: Entnahmeraten, oben: resultierende Druck-Absenkung des Wasserspiegels unter den Ruhewasserdruckspiegel (RWSp).

Strayle et al. 1994

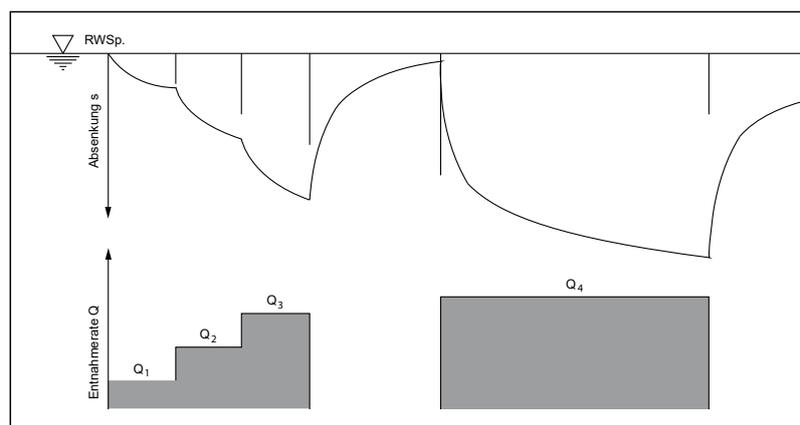
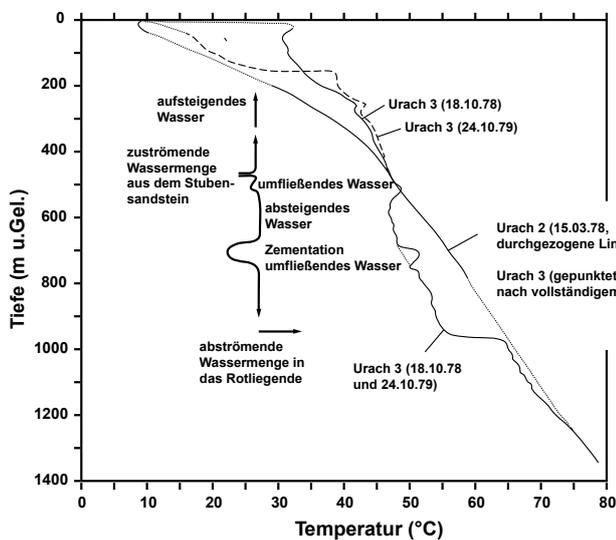


Abb. 5.3: Beispiel für ein Thermalwasserauffangbecken für hydraulische Tests, Geothermieanlage Kirchstockach, Bayern.

5.2 Notwendige Genehmigungen, Erlaubnisse und Vorgaben

Vor Abteufen der ersten Bohrung ist gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG) eine **wasserrechtliche Erlaubnis** für die Benutzung des Tiefenwassers durch Förderung oder Injektion einzuholen. Dafür ist die Bergbehörde zuständig, die diese Erlaubnis jedoch im Einvernehmen mit der zuständigen Wasserbehörde des entsprechenden Land- oder Stadtkreises erteilt. Bei der Genehmigung wird die hydraulische Beeinflussung Dritter ausgeschlossen, das heißt, falls notwendig werden entsprechend niedrigere Förderraten genehmigt. Zu beachten ist, dass bestehende oder künftige Wasserversorgungen für Trink- oder Heilwasser Vorrang vor einer Geothermienutzung haben. In Wasserschutzgebieten gelten zudem die Anforderungen der jeweiligen Schutzgebietsverordnung (Abschn. 2.5, Abb. 2.3).

Neben der wasserrechtlichen Erlaubnis für die Benutzung des Tiefenwassers ist auch eine wasserrechtliche Erlaubnis für Bohrplatz und ggf. Ableitungen erforderlich.



Die Bohrung muss entsprechend des **genehmigten Betriebsplans** ausgeführt werden. Das betrifft insbesondere auch die hydraulischen Tests, die hydrochemischen Untersuchungen (ggf. Untersuchung Scaling, Radioaktivität), sowie die geophysikalischen Bohrlochmessungen inklusive der Temperaturmessungen (Abb. 5.4). Sollten Änderungen notwendig werden, müssen diese von den zuständigen Behörden genehmigt werden.

Abb. 5.4: Beispiel für die Interpretation von Temperaturmessungen. Das Temperaturprofil gibt Hinweise auf auf- und absteigende Wässer.

Auch ggf. erforderliche **Ertüchtigkeitsmaßnahmen** im Zielhorizont sollten rechtzeitig eingeplant und für den Bedarfsfall bereits im Vorfeld genehmigt werden (Abschn. 5.5).

Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen wie dem Arbeitsfluid in einem ORC- oder Kalina-Kreislauf des Kraftwerkes unterliegen einer sog. wasserrechtlicher Eignungsfeststellung bzw. Bauartzulassung (VBI 2013), ggf. ist eine Anzeigepflicht nach der Störfall-VO sowie ein Störfallkonzept erforderlich (Abb. 5.5).

Für die übertägigen Gebäude und Anlagen ist neben der bergrechtlichen Betriebsplanzulassung und der wasserrechtlichen Erlaubnis eine **Baugenehmigung** des späteren Kraftwerkes erforderlich. Bei der Vorbereitung sollten die bauplanungsrechtlichen Gestaltungsmöglichkeiten mit der kommunalen Verwaltung sondiert werden.



Abb. 5.5: Beispiel für eine ORC-Anlage, Geothermiekraftwerk Landau.

Sowohl für die Durchführung der Tiefbohrungen als auch für den später stattfindenden Betrieb als Heiz- und/oder Kraftwerk müssen die **Immissionsrichtwerte** bzw. die Richtlinien für Baulärm (BImSchG, AVV Baulärm, TA Lärm) eingehalten werden. Der Antragsteller muss daher vorab in einer Immissionsprognose nachweisen, dass die Immissionsrichtwerte eingehalten werden können.

Scaling bzw. Sinterbildung muss in einer Geothermieanlage aus verschiedenen Gründen grundsätzlich vermieden werden (**Abschn. 4.8**). In jedem Fall sollte auf ein mögliches Vorkommen verstärkt geachtet und dann, falls es dennoch auftritt, aus Sicherheitsgründen auf Radioaktivität untersucht werden. Neben der Bestimmung der StrlSchV sind das Abfallrecht mit den entsprechenden Entsorgungsnachweisen und Deklarationsanalysen, das Transportrecht und die Deponiebestimmungen zu beachten (VBI 2013).

Zu Beginn der ersten Erschließungsphase ist die Prüfung der UVP-Pflichtigkeit des Vorhabens erforderlich, in der die zuständige Behörde, die Bergbehörde, überschlägig klärt, ob erhebliche Umweltbeeinträchtigungen eintreten können (**Abschnitt 4.3**), d. h. es wird somit abgeklärt, ob keine UVP oder ob eine UVP inkl. Planfeststellungsverfahren durchgeführt werden muss. Der Vorhabenträger hat dabei die Aufgabe, die voraussichtlichen Umweltauswirkungen in einem Bericht detailliert und komplett zu beschreiben. Die Behörde erhält damit eine vergleichsweise breite Informationsgrundlage für die Prüfung der Umweltverträglichkeit des Projektes.

5.3 Umweltschutz

Der **Landesnatschutzverband** Baden Württemberg (LNV BW) und die beiden großen Naturschutzverbände BUND und NABU haben sich in Positionspapieren klar für die Energie-wende und den zunehmenden Einsatz regenerativer Energien, einschließlich der Nutzung der Geothermie, als Maßnahme zum Klimaschutz ausgesprochen. Sämtliche Risiken für Grundwasser, Siedlungen und Naturhaushalt sind zu beachten sowie Schäden sicher zu vermeiden. Die Themen Naturschutz, Artenschutz, Ökologie, Klimaschutz, Landschaftsschutz sowie eventuell örtliche Verkehrsbelastungen und –gefährdungen, die insbesondere während der Bauzeit auftreten können, sind aufzugreifen und entsprechend zu berücksichtigen.

Projekte, die in einem oder in der Nähe eines **Natura 2000-Gebiets** (FFH-Gebiet, EU-Vogelschutzgebiet) liegen, müssen die Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) und des Landesnaturschutzrechts beachten, ggf. ist auch im Vorfeld eine FFH-Verträglichkeitsprüfung erforderlich. Das Projekt kann nur dann zugelassen werden, wenn es so ausgeführt wird, dass es zu keinen erheblichen Beeinträchtigungen in diesem Gebiet kommen kann.

Für alle Bohrungen (Erkundungsbohrungen, Monitoring-Messstellen, Hauptbohrungen), Bohrplätze, das Kraftwerk und die Infrastrukturmaßnahmen (Zufahrtsstraßen, Ver- und Entsorgungsleitungen, Wärme- und gegebenenfalls Strom-Ableitungen) in Zusammenhang mit der Planung, Bau oder Betrieb einer Geothermieanlage sind die Naturschutzgebiete, Natura 2000-Gebiete, geschützte Biotop und örtliche Vorkommen geschützter Arten bzw. Artenschutz-Bestimmungen, Naturdenkmale, Bodendenkmale, Wasserschutzgebiete, Heilquellenschutzgebiete, sensible Grundwassernutzungen, Gewässerrandstreifen Altlastenflächen und Bodenschutz-Bestimmungen sowie der Lärmschutz zu erheben und zu beachten (**Abschn. 4.3**):

- Die Energieversorgung der Tiefbohranlage, des Bohrplatzes und des Geothermiekraftwerks (Antrieb der Bohranlage, sonstige Geräte, Beleuchtung) sind umweltrelevant und dahingehend zu optimieren (z. B. teilweise oder vollständige Elektrifizierung).
- Neben den gesetzlich geregelten Bestimmungen für den Siedlungsbereich sind Lärm- und Lichtemissionen (**Abschn. 5.2**) auch im Außenbereich und bezüglich Umwelt und Natur bestmöglich zu vermeiden bzw. zu reduzieren.
- Für die Abfallbeseitigung, den Rückbau von Anlagen und Zufahrtsstraßen sowie die Beseitigung von Flurschäden sind die gesetzlichen Bestimmungen sowie örtlich angepasstes umwelt- und naturverträgliches Vorgehen einzuhalten.
- Bei Auswahl und Anlage des Bohrplatzes sowie bei der Herstellung unterirdischer Zu- und Ableitungen sind Bestimmungen des Bodenschutzes zu beachten.
- Das Abwasser muss ordnungsgemäß beseitigt und der Gewässerschutz eingehalten werden. Es ist eine Entwässerung des Bohrplatzes mit Schadstoff-Rückhaltung vorzusehen. Ebenso ist die Sicherung des Spülwasserkreislaufs vorzusehen sowie die Beseitigung eventueller artesischer Überläufe sowie die Ableitung oder Auffangen von tiefem Grundwasser aus hydraulischen Tests und die ordnungsgemäße Ableitung von sonstigem anfallendem Wasser am Bohrplatz (**Abschn. 4.9**).
- Die Geothermieanlage und die oberirdischen Fernwärmeleitungen sollten auch im Hinblick auf den Landschaftsschutz beurteilt werden. Sofern überschüssige Abwärme durch Kühltürme oder entsprechende Anlagen in die Atmosphäre abgeleitet werden muss, sind auch die lokalklimatischen Auswirkungen darzustellen und zu berücksichtigen.
- Betroffene oder nahe gelegene Heilquellenschutzgebiete sowie sensible Gewinnungen von Mineralwasser, Heilwasser oder Thermalwasser müssen entsprechend berücksichtigt werden.

Das in **Abschnitt 4.7** empfohlene Grundwasser-Monitoring dient der Beweissicherung und Kontrolle der Güte des oberflächennahen Grundwasservorkommens.

5.4 Bürgerbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit

Im Mittelpunkt der Kommunikation stehen die zu erwartenden Probleme und Belästigungen, wie zum Beispiel Lärm-, Dampf- und Geruchsentwicklungen, die einhergehen mit erhöhtem LKW-Verkehrsaufkommen durch die Anlieferung und Abtransport. Zum einen muss versucht werden, diese Belästigungen möglichst gering zu halten, zum anderen sollte die Bevölkerung aber auch umfassend über die zu erwartenden Maßnahmen informiert werden. Potentiell eintretende Probleme müssen dargelegt bzw. mit den Betroffenen sinnvolle Lösungen gesucht werden. Es ist ganz wesentlich, die Öffentlichkeit in Veranstaltungen (z. B. Tag der offenen Tür) oder bei anstehenden Feierlichkeiten (z. B. Meißelweihe) vor Ort einzubinden. In kürzeren Intervallen sollten die Bürger informiert werden, wobei empfohlen wird, dies immer mit den in der Kommune Verantwortlichen abzusprechen.

Während der Erschließungsphase sollte durchgängig ein Ansprechpartner vor Ort sein, sowie die Möglichkeit gegeben sein, die Bohrarbeiten aus sicherer Entfernung zu besichtigen bzw. in Führungen die Technologie kennen zu lernen. Die in den **Abschnitten 2 - 4** zusammengestellten Informationsmaterialien bzw. Informationsmöglichkeiten sollten weiter genutzt werden, unter anderem durch regelmäßige Pressetermine.

Der Austausch mit der Bevölkerung und im Projektbeirat sollte dazu genutzt werden, um das Projekt zu verbessern oder es ggf. an die Bedürfnisse vor Ort anzupassen, d. h. offen sein für Anregungen, und Sorgen der Bevölkerung ernst nehmen (**Abschnitt 3.1**). Oft kann aus einer ängstlichen Frage eine Verbesserung des Projektes erfolgen.

Es kann überlegt werden, ob auch Behördenvertreter bei Veranstaltungen als unabhängige Experten zur Verfügung stehen. Behörden sind wichtige Partner im Projekt und mitverantwortlich, dass von Projekten keine Gefährdung für die Bevölkerung ausgeht. Für unabhängige Fachinformationen stehen auch verschiedene Fachleute aus der Wissenschaft zur Verfügung. In BW kann auch das Landesforschungszentrum Geothermie (LFZG) angefragt werden (<http://lfzg.rz.hs-offenburg.de>).

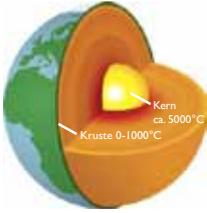
Im Falle einer Havarie, also einer Betriebsstörung oder eines Schadensfalles, sollte dem Grundsatz gefolgt werden, angemessen und vollständig transparent zu informieren, bei Fragen und Konflikten schnell, besonnen und umfassend zu agieren und reagieren. Vorsicht ist geboten mit öffentlichen Schuldzuweisungen und -abweisungen. Tritt beispielsweise ein sog. Bergschaden auf, so ist dieser in den §§ 114 ff BBerG geregelt. Beim Bergschaden handelt es sich um eine verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung. Beim Auftreten einer schädlichen Gewässeränderung sind die Haftungsregelungen im § 89 WHG geregelt und greifen unabhängig davon ein, ob ein Verschulden vorliegt.

LANDES
FORSCHUNGS
ZENTRUM
GEOTHERMIE

Geothermie

Unter Geothermie oder Erdwärme versteht man die in der Erde gespeicherte Wärme. Sie stammt zum einen aus der Entstehungszeit der Erde, zum anderen wird sie **ständig neu** im Erdinneren erzeugt.

**Geothermie -
unerschöpfliche
Energiequelle
unter unseren Füßen**



In der Erdkruste - der nur etwa 30 km dicken obersten Erdschicht - nimmt die Temperatur um ca. 30°C pro km zu. Schon in rund 3 km Tiefe ist das Gestein mit rund 100°C kochend heiß.

Diese Energie können wir für eine umweltfreundliche Energieversorgung nutzen: Im Rahmen der **oberflächennahen Geothermie** werden z. B. Erdwärmesonden bis in eine Tiefe von rund 400 m eingebracht. Die so gewonnene Energie kann zum Heizen oder Kühlen von Gebäuden eingesetzt werden.

Nur ein Teil des Mediaangebots auf der Internetseite des LFZG: Informationen rund um die Geothermie.

5.5 Durchführung der Untersuchungen in der Tiefbohrung, Ertüchtigungsmaßnahmen

Die geplanten hydraulischen Tests, die hydrochemischen Untersuchungen, die bohrlochgeophysikalischen Messungen, insbesondere die Temperaturmessungen, sind so wie vorgesehen und genehmigt (Betriebsplan) durchzuführen (Abschn. 5.1) und die Daten entsprechend auszuwerten. Falls Ausfällungen auftreten, sind diese zu beproben und auch auf Radioaktivität zu untersuchen. Da die Temperatur und die Förderrate letztlich über die Fündigkeit der Bohrung (Abschn. 4.2) entscheiden, kommt der Auswertung der hydraulischen Tests eine zentrale Stellung zu. Die **hydraulischen Tests** müssen daher sehr sorgfältig durchgeführt werden, damit sie geohydraulisch auswertbar sind (Stober 1986). Die gewonnenen Auswertungen ergeben Rückschlüsse auf die Eignung der Bohrung, oder ob nach Alternativen gesucht werden muss.



Abb. 5.6:
Beispiel für die
Einrichtung einer
hydrochemischen
Probenahme von
Thermalwasser.

GEIE EMC, Foto: J. Scheiber

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen richtet sich auf die **Hydrochemie**. Die im Vorfeld auf der Basis von hydrochemischen Analysendaten aus dem näheren oder weiteren Umfeld durchgeführten thermodynamischen Berechnungen und Laborversuche zur Unterbindung von Ausfällungen und Korrosion können jetzt erstmals mit dem tatsächlichen Thermalwasser verifiziert, justiert oder validiert werden (Abb. 5.6).

Wird die erwartete Durchlässigkeit bei der ersten Bohrung zunächst nicht angetroffen, so können sog. **Ertüchtigungsmaßnahmen** zur Steigerung der Ergiebigkeit durch Verbessern des Grundwasseranschlusses durchgeführt werden. Als klassische Ertüchtigungsmaßnahme ist das Verfahren der hydraulischen Druckbeaufschlagung oder auch das Schocken (kurzzeitiges, intervallweises Fördern) zu nennen. Das (Druck)-Säuern mit und ohne leichten Überdruck ist ebenfalls eine Standardmethode, die seit vielen Jahrzehnten im Brunnenbau in der Trink-, Mineral- aber auch in der Thermalwassererschließung bei karbonatischem Gesteinsmaterial (bspw. Kalkstein, Dolomit) oder bei Gebirgen mit Kalzitbelägen auf Klüften eingesetzt wird. Diese Ertüchtigungsmaßnahmen dienen primär nicht der Schaffung eines neuen Klufnetztes, sondern dem verbesserten hydraulischen Anschluss des Bohrlochs an einen bestehenden, geklüfteten oder verkarsteten tiefen Grundwasserleiter.

Für diese Ertüchtigungsmaßnahmen sowie das dafür eingesetzte Fluid müssen im Voraus Betriebspläne, also Genehmigungsanträge, bei der Bergbehörde eingereicht werden (Abschn. 4.3), in denen im Detail die Injektionsmengen und -raten, die maximalen Drücke, das einzusetzende Fluid etc. anzugeben sind, sowie ein Gutachten über mögliche seismische Auswirkungen und mögliche wasserrechtliche Belange.

Grundsätzlich ist bei einer abgelenkten Bohrung, d.h. bei einer **Schrägbohrung**, die den Aquifer nicht vertikal sondern mit einer gewissen Neigung durchteuft, eine höhere Ergiebigkeit als bei einer klassischen Vertikalbohrung zu erwarten, da die Wahrscheinlichkeit, eine höhere Anzahl offener Klüfte anzufahren, deutlich größer ist. Eine Ergiebigkeitssteigerung lässt sich auch durch einzelne

von der Bohrung ausgehende Ablenkbohrungen (**Sidetracks**) im Nutzhorizont erzielen. Hierzu ist spezielles Bohrwerkzeug erforderlich (Abb. 5.7). Eine erhöhte Ergiebigkeit wird auch erwartet, wenn die Bohrung in eine hydraulisch aktive Auflockerungszone (damage zone) einer Störzone abgeteuft wird. Selbstverständlich sind auch diese Maßnahmen im Vorfeld genehmigungspflichtig (betriebsplanpflichtig).

Weitergehende Maßnahmen, wie die **massive hydraulische Stimulation**, werden in der Geothermie typischerweise bei petrothermalen Systemen (Enhanced Geothermal System, EGS), also in Gebirgen mit einer wesentlich geringeren Durchlässigkeit vorgenommen. EGS-Systeme dienen in der Regel der Stromproduktion und werden daher in diesem Handlungsleitfaden, wie in **Abschn. 1.1** dargelegt, **nicht** behandelt. Der Einsatz dieser Technologie muss in jedem Fall strengen Sicherheitsstandards folgen, klar geregelt sein und umfassend überwacht werden (acatech 2015).

Sämtliche Untersuchungen insbesondere diejenigen im Zielhorizont, auch die Ertüchtigungsmaßnahmen, müssen möglichst rasch ausgewertet werden, so dass die Prüfung auf Eignung des Untergrundes, d. h. eine Entscheidung über die Fündigkeit (**Abschn. 4.2**), erfolgen kann. Ist der Untergrund trotz erfolgter Ertüchtigungsmaßnahmen nicht für das Vorhaben geeignet, müssen die anvisierten Alternativen zum Tragen kommen (**Abschn. 4.9, 5.1**) oder die Bohrung ist wieder ordnungsgemäß zu verfüllen.

Bei Abweichungen zur geplanten Thermalwasser-Ergiebigkeit oder Temperaturen müssen alternative Nutzungskonzepte in der Wärmebereitstellung betrachtet werden, da sich eine geringere Förderrate proportional auf die Wärmeleistung auswirkt (**Gl. 1**) und somit den Ertrag verringert.



Abb. 5.7: Beispiel für ein Bohrwerkzeug für gerichtetes Bohren. Hinter dem Bohrmeißel folgt ein Steuerkopf, mit dem die Richtungskontrolle erfolgt.

Falls die Bohrung in Bezug auf die Zielvorgabe als fündig eingestuft wird, müssen die Einbindemöglichkeiten in das lokale Wärme- bzw. Energiekonzept überprüft (**Abschn. 3.3**), aktualisiert oder ggf. falls möglich neu entwickelt werden. Entsprechendes gilt auch für die ggf. angedachten Alternativlösungen.

■ Selbstverständlich muss die **Öffentlichkeit** und der **Projektbeirat** umgehend über diese ersten wichtigen Ergebnisse informiert werden.

Anhand der neu gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere über den Zielhorizont, erfolgt falls notwendig die Justierung der numerischen Untergrundmodelle, insbesondere bezüglich der hydrogeologischen (Hydraulik, Hydrochemie) und Temperatur-Eigenschaften (**Abschn. 4.5**). Mit der Justierung der Untergrundmodelle geht die Verifikation von seismologischem Monitoring und Modellierung (**Abschn. 4.6**) einher. Entsprechendes gilt für das Grundwasser-Monitoring (**Abschnitt 4.7**). Auch die hydrochemischen Berechnungen in Bezug auf Scaling- und Korrosionsproblem müssen verifiziert bzw. abgeändert werden (**Abschn. 4.8**). Die Vermeidungsstrategien für Scaling/Korrosion unter dem vorgesehenen Materialeinsatz muss verifiziert oder entsprechend abgeändert werden (**Abschn. 4.8**).



ZWEITE UND WEITERE ERSCHLIESSUNGSPHASE

Auf der Basis der Ergebnisse der ersten Tiefbohrung und der geohydraulischen sowie geomechanischen Modellierung muss der Bohrfad inklusive der Zielpunkt (Target) für jede weitere Bohrung überprüft, verifiziert oder korrigiert werden (Abb. 6.1, 6.2).

Erfahrungen zeigen, dass der untertägige Abstand von zwei Bohrungen einer geothermischen Dublette bei etwa 1.500 m bis 2.500 m beträgt. Der natürliche hydraulische Gradient im Reservoir spielt dabei i.d.R. keine ausschlaggebende Rolle, da er in Tiefen-Reservoirs sehr niedrig ist.

Abb. 6.1: Beispiel für eine Tiefbohranlage.





Abb. 6.2: Beispiel für einen Steuerpult einer Tiefbohranlage.

Herrenknecht AG

Das Vorgehen für die zweite und jede weitere Bohrung erfolgt in Analogie zur ersten Tiefbohrung (Abschn. 5). Das betrifft auch die erforderlichen Genehmigungen, die hydraulischen und hydrochemischen Untersuchungen mit Auswertungen, die numerischen Modelle und Überwachungsnetze (Abschn. 5.1, 5.5).

Auch hier erfolgt im Anschluss die Prüfung auf Eignung des Untergrundes, d. h. eine Entscheidung über die Fündigkeit (Abschn. 4.2). Falls die benötigte Durchlässigkeit zur Erzielung der gewünschten Thermalwassermenge nicht erreicht wird, müssen alternative Nutzungs-

konzepte in der Wärmebereitstellung betrachtet werden, da sich eine geringere Thermalwassermenge proportional auf die Wärmeleistung auswirkt und somit den Ertrag verringert. In diesem Falle könnten beispielsweise Sidetracks anvisiert werden oder – falls wirtschaftlich tragbar – eine dritte Bohrung, um vom vorgesehenen Ziel nicht abweichen zu müssen, insbesondere dann, wenn die erste Bohrung bereits fündig war.

Wird der Bohrplatz nicht mehr benötigt, muss er rückgebaut werden. Der Rückbau ist betriebsplanpflichtig.

6.1 Probetrieb des Primärkreislaufes, Inbetriebnahme der Dublette

Im Falle der Feststellung der Eignung des Untergrundes, also der Feststellung der Fündigkeit separat für jede einzelne Bohrung, muss im Anschluss daran ein Probetrieb des Primärkreislaufes durchgeführt werden. Auch hierfür ist rechtzeitig zuvor ein Betriebsplan zu erstellen und die erforderliche Genehmigung einzuholen. Der übertägige Thermalwasserkreislauf ist dabei in einem geschlossenen Kreislauf zu fahren, d. h. ohne Möglichkeit eines Gasaustausches oder Wasseraustritts (Abschn. 4.8). Bei dem Probetrieb wird dem Thermalwasser noch keine Wärme entzogen, d. h. das geförderte Thermalwasser gelangt über die Injektionsbohrung direkt in den Aquifer zurück, mit einer nur geringfügig erniedrigten Temperatur. Allerdings unterliegt das Thermalwasser infolge der großen Förderhöhe (2.000 - 4.000 m) starken Druckänderungen, wodurch es zu Ausfällungen (insbesondere von Calcit) kommen kann. Ggf. sind bereits bei diesem Versuch entsprechende Vorkehrungen zu treffen, wie sie in den Abschnitten 4.8, 5.5 untersucht und erhoben wurden.

Während des Probetriebes sollten unbedingt Basisdruckmessungen (Abschn. 5.1) in der Förder- und der Injektionsbohrung vorgenommen werden. Parallel dazu sind die Temperatur und die Salinität aufzuzeichnen. Auch mehrere hydrochemische Beprobungen sollten erfolgen, um zu erkennen, ob sich die Wasserchemie ändert. Während des Probetriebes sind die seismologischen- und Grundwasser- Monitoringsysteme zusätzlich zum normalen Messrhythmus in engen Zeitintervallen zu beobachten.

Leitstand einer Tiefbohranlage.



Auch hier muss die Auswertung der während des Probetriebs durchgeführten Untersuchungen zügig erfolgen. Der Einfluss der Hydrochemie muss in Bezug auf ihre potenzielle Beeinflussung der Über- und Untertage-Anlagen verifiziert werden. Die Ergebnisse des Probetriebs dienen auch dazu, die Modellierungen im Detail zu justieren. Letztlich müssen die Modell-Ergebnisse mit den beobachteten Werten in Einklang stehen. Die Erfahrungen aus der ersten Erschließungsphase in Hinblick auf das induzierte seismische Potenzial und die mögliche Gefährdung sind durch ein qualifiziertes Standortgutachten (Abschn. 4.6) im Hinblick auf eventuell erforderliche weitere Ertüchtigungsmaßnahmen und mögliche Betriebsstörungen (Wechsel von Pumpen etc.) anzupassen.

Mit dem Probetrieb sind die wesentlichen Fragen der gegenseitigen Beeinflussung der beiden Bohrungen abzuklären: Reagieren die beiden Bohrungen hydraulisch (u. U. sogar thermisch) aufeinander? Dient die Injektion dem Recharge (Wiederauffüllung) des Aquifers? Ist ein hydraulischer Kurzschluss zu befürchten, d. h. ein Direktkontakt (direkte, sehr kurzzeitige Verbindung) zwischen Injektions- und Förderbohrung?

Um einen hydraulischen Kurzschluss ausschließen zu können, kann zwischen den beiden Bohrungen ein Markierungsversuch mit sog. Tracern durchgeführt werden. Dieser liefert auch Aussagen über die Verweilzeit und den Förderanteil des wieder in den Aquifer injizierten Wassers (KäB 2004).

In Folge sind ggf. weitere Produktionstests erforderlich, ggf. auch weitere Ertüchtigungsmaßnahmen (Abschn. 5.5) zum Erreichen der vorgesehenen Zirkulationsrate. Dies erfordert natürlich immer wieder die Verifikation bzw. Justierung der numerischen Untergrundmodelle sowie der seismologischen Prognosen. Selbstverständlich müssen alle derartigen Tests im Vorfeld genehmigt sein. In dieser Phase ist es auch wichtig festzulegen, welche Bohrung die spätere Injektions- und welche die Förderbohrung sein wird, sofern durch den Ausbau der Bohrungen diesbezüglich keine Restriktionen vorliegen. Es wird empfohlen, für den späteren Produktionsbetrieb nach Möglichkeit die Bohrung mit der höheren Durchlässigkeit als Injektionsbohrung vorzusehen, um möglichst niedrige Injektionsdrucke zu erzielen.

Sind alle Ergebnisse zufriedenstellend ausgefallen, erfolgt die Verifikation von Projekt-Zielen und der Einbindungsmöglichkeiten in das lokale Wärme-, bzw. Energiekonzept und es kann mit dem Genehmigungsverfahren des Heiz- oder/und Kraftwerks begonnen werden.



Hydrothermales Kraftwerk im Probetrieb. Im Vordergrund ein Preventer für die beiden Bohrungen und Abdampfschwaden während eines Pumpversuchs.

6.2 Bürgerbeteiligung und Öffentlichkeitarbeit

Die Erfahrungen aus den vorangegangenen Erschließungsphasen sollten in die weiteren Schritte zur Öffentlichkeitsinformation einfließen und entsprechend berücksichtigt werden. Dabei ist ausgehend von [Abschn. 4.1](#) und [5.4](#) auch zu überprüfen, welche Maßnahmen zu einer Verbesserung beitragen können. Der Bürger muss erkennen können, dass er ernst genommen wird und dass auf seine Wünsche und Anregungen eingegangen wird, wie z. B. Reduzierung des Lärmaufkommens in Bezug auf den LKW-Verkehr durch die Materialanlieferung zu bestimmten Uhrzeiten.

Unter Umständen muss auch das Kommunikationskonzept angepasst werden. Dazu ist eine kritische Selbstreflexion (ggf. mit Hilfe eines Mentors) erforderlich. In jedem Fall sollte versucht werden, den Bürger mitzunehmen und Vertrauen zu schaffen durch Transparenz der Vorgänge auf der Baustelle.

■ Hierfür kann ein Projektbeirat ein wichtiges Instrument sein.

6.3 Erstellung des Heizwerks / Kraftwerks

Im Anschluss an den erfolgreichen Testbetrieb und die erfolgreiche Inbetriebnahme der Dublette kann mit den übertägigen Arbeiten in Zusammenhang mit dem Heiz- oder/und Kraftwerk und dem eigentlichen Bau der Anlage begonnen werden. Zunächst müssen die einzelnen Komponenten hierfür ausgeschrieben und bestellt werden. Ebenso müssen die Montagearbeiten ausgeschrieben werden. Infolge sind umfangreiche Planungsarbeiten und einzelne Testläufe notwendig, bevor der sog. Abnahmetest durchgeführt werden kann und letztlich die Geothermieanlage in einem Probebetrieb fahren kann.

■ Für die Errichtung der Gebäude (i.d.R. Heizzentrale, Kraftwerksgebäude) ist im Vorfeld eine Baugenehmigung nach der Landesbauordnung erforderlich, die von der zuständigen unteren Baurechtsbehörde erteilt wird. Prüfungsgegenstand des Baugenehmigungsverfahrens sind auch die jeweiligen bauplanungsrechtlichen Vorschriften ([Abschn. 4.10](#)).





In dieser Phase werden die Übertageanlagen, das Heizwerk oder / und das Kraftwerk angefahren. Es erfolgt erstmals ein Probetrieb der Geothermieanlage, d. h. dem Thermalwasserkreislauf wird im Gegensatz zum zuvor durchgeführten Testbetrieb des Primärkreislaufs Wärme entzogen und diese im Kraftwerk genutzt.

PROBEBETRIEB DER GEOTHERMIEANLAGE

7

Dieser Probetrieb erfordert ein sehr ausführliches Monitoring der Hydraulik, der Hydrochemie sowie der Seismizität und es müssen auch die entsprechenden Messinstrumente installiert sein (z. B. Basisdrucksonden, Temperaturfühler, hydrochemische Probenahme, etc.). Die Messdaten müssen zu den Daten aus dem Modell passen. Ggf. muss erneut eine Verfeinerung und Justierung der Modellierungen vorgenommen werden, sodass das Modell kalibriert ist.

Die Erfahrungen aus dem Probetrieb sind im Hinblick auf das induzierte seismische Potenzial und die mögliche Gefährdung erneut zu bewerten und zu überprüfen. Entsprechendes gilt für die Vermeidungsstrategien in Bezug auf Scaling. In dieser Projektphase wird auch die spätere Förderrate festgelegt. In jedem Fall müssen die beobachteten Druckabsenkungen und -aufhöhungen zu den berechneten Werten passen.

Anhand des durch den Probetrieb der Geothermieanlage justierten, verifizierten und somit kalibrierten, thermisch-hydraulischen numerischen Untergrundmodells wird die **hydraulische und thermische Reichweite** der Anlage für eine festgesetzte Betriebsdauer (i.d.R. 30-50 Jahre) berechnet.

Diese Berechnung ist Grundlage für die Abgrenzung des **bergrechtlichen Bewilligungsfeldes** zur Gewinnung von Erdwärme.

Auf der Basis dieser Berechnungen kann das Bewilligungsfeld bei der Bergbehörde beantragt werden. Eine Gefährdung anderer Bewilligungsfelder und sonstiger Gewinnungen im weiteren Umfeld darf nicht gegeben sein.



Für die im Anschluss an die Aufsuchung stattfindende Gewinnung der Erdwärme ist eine bergrechtliche Bewilligung erforderlich, die für einen längeren Zeitraum (30 - 50 Jahre) erteilt wird (Abschn. 7). Auch in dieser Phase sind der Bergbehörde zusätzlich zu dem nach hydraulischen und thermischen Vorgaben abgegrenzten Bewilligungsfeld ein Arbeitsprogramm sowie die Glaubhaftmachung der Finanzierung der vorgesehenen Maßnahmen vorzulegen. Die Bewilligung ist Inhabergebunden, d.h. sie darf nur mit Zustimmung der Bergbehörde auf Dritte übertragen werden.

DAUERBETRIEB

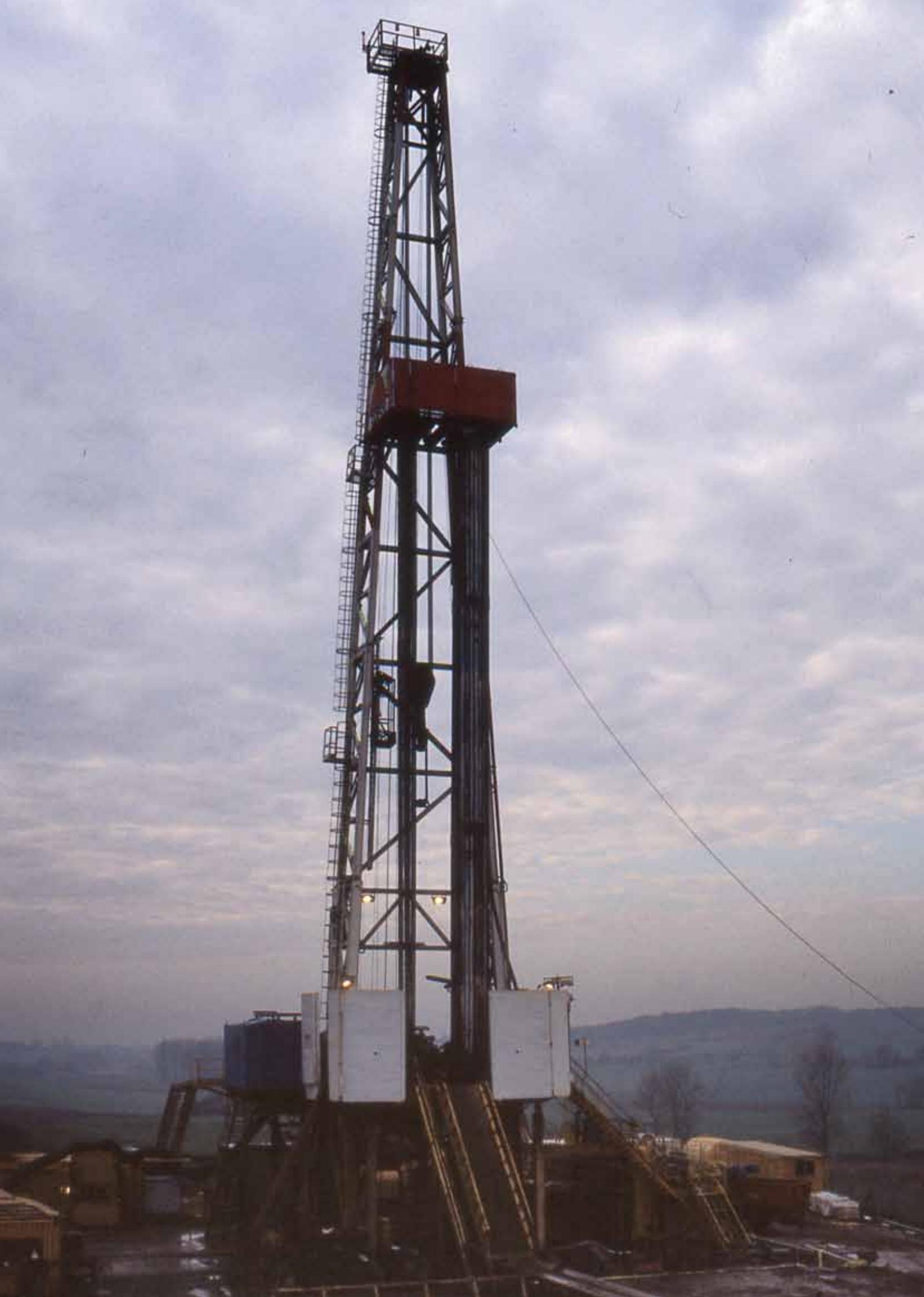
Die sich an die Gewinnung anschließende Nutzung der Erdwärme durch ein Kraft- oder Heizwerk fällt nicht mehr unter das Bergrecht sondern primär unter das Baurecht (Abschn. 2.4, 4.10, 5.2). Betriebsplanpflichtig bleibt weiterhin der Primärkreislauf inklusive der Bohrungen.

Die verschiedenen Monitoring-Systeme sind weiter zu betreiben, ebenso die Maßnahmen für die hydraulischen und hydrochemischen Betriebsdaten der Anlage. Eine ggf. mögliche oder notwendige Anpassung des Monitoring erfolgt in Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden. Ggf. sind Entsorgungsmaßnahmen erforderlich, wenn z.B. Sinter in den Filtern beobachtet wird (Abschn. 4.8).

Abweichungen von den Prognosen sind zu beachten, und den möglichen Ursachen muss unmittelbar nachgegangen werden. Dabei ist

zwischen untertägigen Auffälligkeiten, wie Druckänderungen oder Änderungen in der Hydrochemie und im Gasgehalt, und übertägigen Auffälligkeiten der Anlage (Betriebsstörungen) zu differenzieren. Die jeweils zuständigen Behörden sind unmittelbar zu informieren.

Läuft die Anlage im Regelbetrieb ohne Probleme, kann die Kommunikation mit der Öffentlichkeit reduziert werden. Dabei sollte nicht vergessen werden, dass weiterhin Informationsbedarf und auch Interesse an dem Vorhaben vor Ort besteht oder bestehen könnte. Es wird daher vorgeschlagen, Besuchsmöglichkeiten vor Ort anzubieten und Betriebszahlen in Internet zu publizieren. Läuft die Anlage jedoch mit Problemen und längeren Produktionsausfällen, ist eine umfassende, offene und ehrliche Informationspolitik zu empfehlen.



Erfolgt die Stilllegung der Anlage, z.B. weil sie nach einer langen Betriebszeit von über 30 - 50 Jahren veraltet ist oder weil sich der Eigentümer einer anderen Nutzung zugewandt hat, so ist ein sog. Abschlussbetriebsplan für die Folgenutzung aufzustellen und der dafür zuständigen Bergbehörde zur Genehmigung vorzulegen.

RÜCKBAU / STILLEGUNG

9

Die Geothermieranlage muss außer Betrieb genommen werden und der Rückbau des Heizwerkes/Kraftwerkes kann beginnen. Werden die Bohrungen nicht mehr benötigt, müssen sie ordnungsgemäß verfüllt werden. Auch die übertägigen Anlagenteile sind ordnungsgemäß zu entsorgen. Diese Maßnahmen sind von vorneherein bei der Finanzierung zu berücksichtigen (Hinterlegung der Kosten für den Rückbau). Die Arbeiten werden von den zuständigen Behörden begleitet.

Grundsätzlich wird zwischen einer bergrechtlichen Folgenutzung, die betriebsplanpflichtig ist, und dem Rückbau der existierenden Geothermieranlage unterschieden. Beim Rückbau ist für das Werksgebäude eine Abrissgenehmigung erforderlich und für die Verfüllung der Bohrungen ein Abschluss-Betriebsplan.

Auch in diesem Fall sollten die Verantwortlichen die Bevölkerung informieren.



Rechtliche Vorschriften

Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) Baulärm und
Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)

BauGB, Baugesetzbuch

BbergG, Bundesberggesetz

BBodSchG, Bundes-Bodenschutzgesetz

BimSchG, Bundesimmissionsschutzgesetz

BNatSchG, Bundesnaturschutzgesetz

EWärmeG, Erneuerbare-Wärme-Gesetz

EEWärmeG, Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

KrWG, Kreislaufwirtschaftsgesetz

LBO, Landesbauordnung

LplG, Landesplanungsgesetz

NatSchG BW, Naturschutzgesetz des Landes BW

StrlSchV (2001): Verordnung für die Umsetzung von
EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz vom 20. Juli 2001.-
Bundesgesetzblatt 2001, Teil I, Nr. 38 vom 26.07.2001, S. 1714 ff.

UVPG, Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung

UVP-V, Bergbau

UWvG, Umweltverwaltungsgesetz

VAwS, Verordnung über Anlagen zum Umgang mit
wassergefährdenden Stoffen

Verwaltungsvorschrift (VwV) Öffentlichkeitsbeteiligung,
und dazu Planungsleitfaden

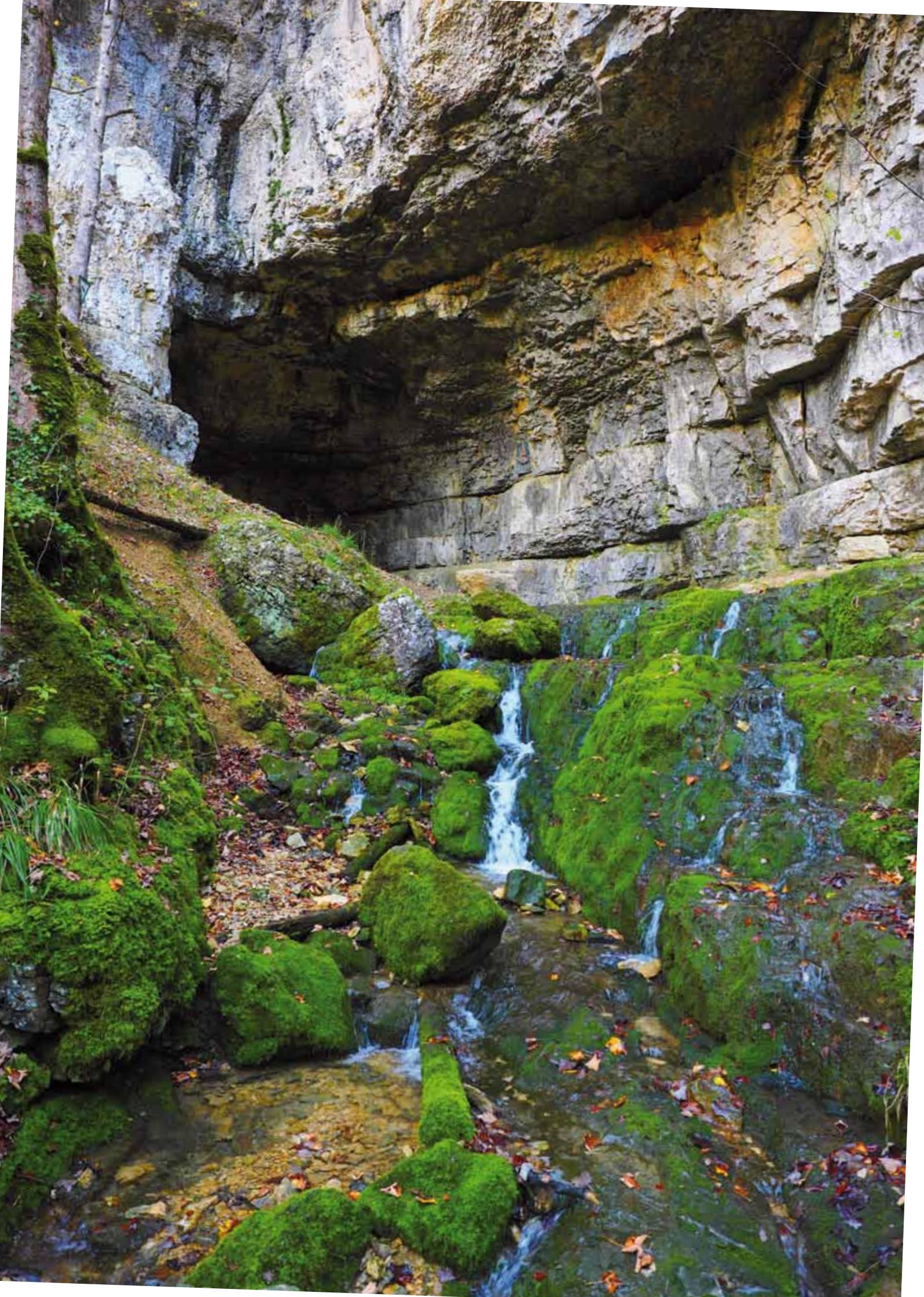
WG, Wassergesetz des Landes Baden-Württemberg

WHG, Wasserhaushaltsgesetz des Bundes

Literatur

- Acatech (2015):** Position „Hydraulic Fracturing – eine Technologie in der Diskussion“.- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 51 S., Berlin.
- API (2005):** API standard 14B (fifth edition), Design, Installation, Repair and Operation of Subsurface Safety Valve System.
API Publishing Services, 1220 L Street, N.W., Washington, D.C.
- API (2006):** API SPEC 5CT/ISO 11960, Specification for Casing and Tubing.
API Publishing Services, 1220 L Street, NW, Washington D.C.
- Barth, A., Gaucher, E. (2012):** Monitoring geothermaler Felder durch seismische Netzwerke: Vorgaben und Chancen.- bbr, 56-61.
- BINE (2016):** Kommunikationskonzept Tiefe Geothermie.-
BINE Informationsdienst Projektinfo 17, 4 S., Bonn.
- BMU (2011):** Nutzungsmöglichkeiten der Tiefen Geothermie in Deutschland.-
BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit),
Bearbeiter: Stober, I., Fritzer, T., Obst, K., Schulz, R., 73 S., 2. Aufl., Berlin.
- DIN 4149 (2005):** 2005-04: Bauten in deutschen Erdbebengebieten.
Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.
Normenausschuss im Bauwesen (NABau), DIN – April 2005, Berlin.
- DIN 4150-3 (1999):** Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen.
Normenausschuss im Bauwesen (NABau), DIN–Ausgabe 1999-02, Berlin.
- Enerchange (2014):** Öffentlichkeitsarbeit für Geothermieprojekte.-
agentur für erneuerbare energien, 71 S., Freiburg.
- FKPE (2015):** Empfehlungen zur Erstellung von Stellungnahmen zur seismischen Gefährdung bei tiefengeothermischen Projekten, Positionspapier des FKPE, Milestone 3,
DGG Mitteilungen 1/2015, S. 5-7, Hamburg.
- FKPE (2012):** Empfehlungen zur Überwachung induzierter Seismizität,
Positionspapier des FKPE, Milestone 1, DGG Mitteilungen 3/2012, S. 17-31, Hamburg
- GTV (2011):** Richtlinie Bundesverband Geothermie e.V., „Seismizität bei Geothermieprojekten,
Blatt 1: Seismische Überwachung – Weißdruck-, GTV1101, Dezember 2011.
- von Hartmann, H., Beilecke, T., Buness, H., Musmann, P., Schulz, R. (2015):**
Seismische Exploration für tiefe Geothermie.- Geologisches Jahrbuch, Reihe B, Band B 104.
- IEKK (2014):** Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg.-
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, 175 S., Stuttgart.
- KäB, W. (2004):** Geohydrologische Markierungstechnik, Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 9,
mit Beiträgen von: H. Behrens, J. Frank, K. Grust, T. Himmelsbach, R. Hock,
P. Höhener, H. Hätzl, D. Hunkeler, H. Moser, P. Rossi, H.D. Schulz, I. Stober, A. Werner,
557 S., Gebrüder Bornträger Berlin u. Stuttgart.

- Länderverordnung (2006):** Bergverordnung für Tiefbohrungen, Unterspeicherung und für die Gewinnung von Bodenschätzen durch Bohrungen im Land Niedersachsen (Tiefbohrverordnung – BVOT).
- Schellschmidt, R. & Stober, I. (2008):** Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg.- LGRB-Fachbericht, 2, 28 S., Regierungspräsidium Freiburg.
- Schulz, R., Schellschmidt, R. (1991):** Das Temperaturfeld im südlichen Oberrheingraben.- Geol. Jb., E48: 153-165; Hannover.
- Stober, I. (1986):** Strömungsverhalten in Festgesteinsaquiferen mit Hilfe von Pump- und Injektionsversuchen.- Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 42, 204 S., Hannover.
- Stober, I., Jodocy, M., Burisch, M. (2013):** Auswirkungen der physikalischen Eigenschaften von Tiefenwässern auf die thermische Leistung von Geothermieranlagen und die Aquiferparameter.- Z. geol. Wiss., 41, 1-2: 9-20, Berlin.
- Stober, I., Bucher, K. (2014):** Geothermie.- Springer Verlag, 2. Auflage, 302 S., 145 Abb., Heidelberg (DOI 10.1007/978-3-642-41763-4).
- Stober, I., Bucher, K. (2015):** Hydraulic and hydrochemical properties of deep sedimentary aquifers of the Upper Rhine Graben, Europe.- Geofluids, 15/3, 464-482.
- Strayle, G., Stober, I., Schloz, W. (1994):** Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen.- Informationen 6, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 114 S., 65 Abb., 11 Tab., Freiburg i.Br.
- VBI (2013):** Tiefe Geothermie.- Leitfaden des Verband beratender Ingenieure, Bd. 21, 123 S., Berlin.
- VDI 7000 (2015):** Frühe Öffentlichkeitsbeteiligung bei Industrie- und Infrastrukturprojekten.- Verein Deutscher Ingenieure, Richtlinie, 103 S., Düsseldorf.
- VDI 7001 (2014):** Kommunikation und Öffentlichkeitsbeteiligung bei Planung und Bau von Infrastrukturprojekten.- Verein Deutscher Ingenieure, Richtlinie, 44 S., Düsseldorf.
- WEG (2006):** Technische Regel – Futterrohrberechnung, mit Rohrfestigkeiten wie angegeben in API Bul 5C2/ISO 10400 oder berechnet nach API Bul 5C3/ISO 10400.- Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V.
- WEG- Richtlinie (2006):** Gestaltung des Bohrplatzes.- Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., 6 S.
- WEG-Richtlinie (2014):** Praxis der hydraulischen Bohrlochbehandlung für konventionelle Speichergesteine.- Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., 67 S.





LANDES
FORSCHUNGS
ZENTRUM
GEOTHERMIE