

Kord Ernstson

Inhaltsverzeichnis

2.1 Einführung 20

2.2 Geothermische Energie als Lagerstätte 22

2.3 Geologie und Geophysik in der Projektstudie: Stichhaltigkeit und Überprüfung 26

2.4 Geologische Befunde und Modelle 26

2.5 Die für die Geothermie wichtigen geophysikalischen Verfahren 32

2.6 Petrophysikalische Grundlagen der Geologie und Geophysik in der Geothermie 36

2.7 Existierende geophysikalische Daten 42

2.7.1 Gravimetrie und Geomagnetik 42

2.7.2 Reflexionsseismik 44

2.7.3 Refraktionsseismik 45

2.7.4 Tiefengeoelektrik 46

2.7.5 Geothermische Untersuchungen 47

2.8 Neue Messungen der Geophysik in der Vorerkundung 48

2.8.1 2D- und 3D-Reflexions-Seismik 48

2.8.2 Refraktionsseismik 50

2.8.3 Gravimetrie 52

2.8.4 Geomagnetik 60

2.8.5 Verfahren der Geoelektrik 64

2.8.6 Eigenpotentialmethode und mise-à-la-masse-Methode 69

2.9 Seismizität und geologisch-geophysikalische Untersuchungen 71

2.10 Bohrungsbegleitende Geophysik 71

2.11 Schlussbemerkungen 73

Literatur 75

Kord Ernstson (✉)
Höchberg, Deutschland
e-mail: kernstson@ernstson.de

Zusammenfassung

Bei Projekten der Tiefen Geothermie und in Erschließungskonzepten für zugeteilte Erlaubnisfelder spielen geologische und geophysikalische Untersuchungen eine wesentliche Rolle. Ausgehend vom Konzept der geothermischen Energie als Lagerstätte, die mit Tiefbohrungen im Rahmen einer hydrothermalen oder petrothermalen (EGS, *hot dry rock*) Geothermie zu erschließen ist, werden die wichtigsten geologischen und geophysikalischen Grundlagen mit vielfachem Bezug zu analogen Szenarien in der Kohlenwasserstoff-Exploration zusammengestellt. Die Situation in Deutschland steht dabei im Fokus. Die Erörterung betrifft lithofazielle und strukturelle Gegebenheiten und betont die Bedeutung der Untersuchung nicht nur des Reservoirs selbst sondern auch der hangenden Schichten entlang der geplanten Bohrpfade einschließlich möglicher oberflächennaher kritischer geologischer und anthropogener Konstellationen im Bereich der Bohransatzpunkte. Einer knappen Erläuterung der wichtigsten geophysikalischen Verfahren aus Seismik, Gravimetrie, Geomagnetik und Geoelektrik sowie der für die geothermalen Reservoirs wichtigsten petrophysikalischen Parameter folgen Hinweise, wie bereits existierende geophysikalische Daten für eine Projektstudie genutzt werden können. Bei der Diskussion von Neuerkundungen für ein Erlaubnisfeld werden mit starkem Blick auf internationale Verhältnisse die Verfahren der Refraktionsseismik, Gravimetrie, Geomagnetik und Geoelektrik als unerlässliche Ergänzungen der in Deutschland dominierenden Reflexionsseismik gegenübergestellt und die Vorzüge insbesondere der Gravimetrie und der Tiefengeoelektrik in Form der Magnetotellurik betont. Die Einbeziehung der standortspezifischen Geologie und Geophysik für Lösungsansätze bei der Unterscheidung verschiedener Arten der Seismizität, sowie die Verknüpfung von Messungen in Bohrungen mit Messungen der Oberflächengeophysik als Folgemöglichkeit einer bereits niedergebrachten Bohrung, z. B. in einer Geothermie-Dublette, sollten bereits in einer Projektstudie bedacht werden. Der Beitrag ist ein Plädoyer für eine größere, vielfach vermisste Harmonie zwischen Geologie und Geophysik, was der Exploration der Tiefen Geothermie nutzen würde.

Schlüsselwörter

hydrothermal-petrothermal exploration • geologic-geophysical reservoir models • interdisciplinary seismics • gravimetry • geomagnetics • geoelectrics • reservoir petrophysical parameters

2.1 Einführung

Geothermie bezeichnet ganz allgemein die geowissenschaftliche Untersuchung der thermischen Verhältnisse im Erdkörper. Dazu gehören die Temperaturverteilung sowie Prozesse des Wärmetransportes wie Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Wärmekonvektion in den Gesteinen als ein wichtiges Teilgebiet der Geophysik. Im engeren Sinn versteht man heute vielfach primär unter Geothermie die gespeicherte Wärmeenergie, die den Gesteinen

entzogen und genutzt werden kann. Auf diesem Gebiet vermittelt der Begriff Geothermie vor allem auch die ingenieurtechnischen Belange der Wärmenutzung. Die vorbereitenden Untersuchungen und Messungen der Geologie und Geophysik in diesem engeren Kontext der Geothermie sind Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen, die sich wiederum im Rahmen dieses Handbuches auf die sogenannte „Tiefe Geothermie“ beschränken werden. In Deutschland wird gemeinhin ein Unterschied zwischen der oberflächennahen und der Tiefen Geothermie gemacht, wobei etwas willkürlich eine Grenze der Nutzung der Erdwärme bei 400 m Tiefe gezogen wird, was bei einer Oberflächentemperatur von 10 °C und bei einem Temperaturgradienten von 3 °C/100 m ganz grob einer Temperatur von 20 °C in dieser Tiefe gleichkommt. Die „Tiefe Geothermie“, von der hier die Rede sein wird, überschreitet diese Tiefe und diese Temperatur bei weitem und ist eher im Bereich einige 1000 m Tiefe und Temperaturen der Größenordnung 100 °C und höher angesiedelt.

Bei der Erörterung der geologischen und geophysikalischen Vorerkundungen erscheint es sinnvoll und für das Verständnis hilfreich, die gespeicherte Wärmeenergie als eine Lagerstätte zu betrachten, die ähnlich Kohlenwasserstoff-Lagerstätten (Erdöl, Erdgas), Erzlagerstätten oder Kohlelagerstätten ausgebeutet werden soll. Vielfach steckt die Ausbeutung der tiefen Erdwärme noch in den Kinderschuhen, was sich immer wieder in teilweise unzureichenden Erschließungskonzepten und -realisierungen ausdrückt. Manches von den seit langen Zeiten etablierten Untersuchungs- und Fördermethoden bei anderen Lagerstätten kann übertragen werden, was nicht nur die technischen Aspekte im Zusammenhang mit ultratiefen Bohrungen sondern insbesondere auch die geologische und geophysikalische Herausforderung betrifft.

Für manche Leser mag es ungewohnt erscheinen, Geologie und Geophysik gemeinsam und eng verknüpft in einem Handbuch anzutreffen. Dem Verf. erschien dieser Aspekt besonders wichtig und vordringlich, weil er immer wieder feststellen muss, gerade auch auf dem Gebiet der Geothermie, wie weit Geologen und Geophysiker vielfach noch voneinander entfernt sind, die jeweils andere Sprache nur unvollkommen beherrschen und häufig nur rohe Vorstellung von der jeweils anderen Materie besitzen. Bei der Planung und dem Ansatz von ultratiefen Bohrungen mit Kosten durchaus mal im zweistelligen Millionenbetrag sollte man sich solche Hemmnisse nicht leisten. Gemäß dieser Sicht der gemeinsam geologisch-geophysikalischen Geothermie-Erschließung werden die Ausführungen den Schwerpunkt auf die diesbezüglichen Aspekte von Machbarkeitsstudien/Projektstudien und auf die spezifischen Messmethoden der Geophysik und ihre Bedeutung für die geologische Erkundung im Rahmen der Geothermie legen. Dabei wird es sich nicht vermeiden lassen, was dem Leser aber vielleicht sogar entgegenkommt, dass manche Aspekte in verschiedenen Abschnitten erneut und in unterschiedlicher Beleuchtung aufgegriffen werden. Einer besonderen Fokussierung auf die wichtige Reflexionsseismik und die Bohrlochgeophysik widmen sich andere Kapitel dieses Handbuches.

2.2 Geothermische Energie als Lagerstätte

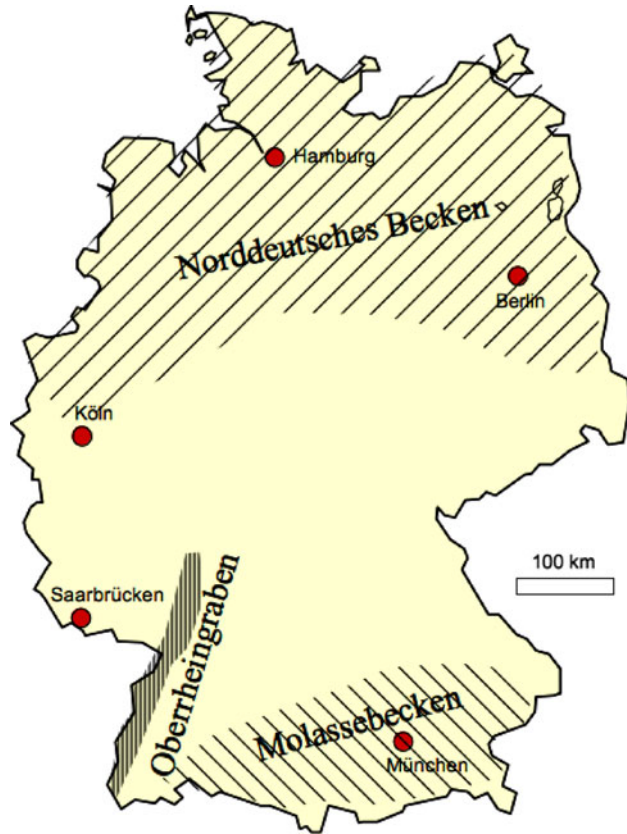
Bei der Nutzung geothermischer Energie gibt es grundsätzlich zwei Arten von Lagerstätten, die der hydrothermalen und der petrothermalen Geothermie zugeordnet werden. Die hydrothermale Lagerstätte besteht aus dem mit heißem Wasser gefüllten Porenraum im tiefliegenden Gestein und hat Verwandtschaft zu den Kohlenwasserstoff(KWST)-Lagerstätten von Erdgas und Erdöl, die den Porenraum im Gestein ausfüllen und von dort extrahiert werden. Bei den KWST-Lagerstätten spricht der Geologe von Fallen, tektonischen oder faziellen Strukturen, in denen sich der Bodenschatz bevorzugt angereichert hat. Der Geophysiker untersucht mit seinen Messmethoden die Strukturen und die Fazies dieser Fallen, um dann nach geologisch-geophysikalischer Interpretation die Erschließungsbohrungen optimal anzusetzen. In der hydrothermalen Geothermie kann man genauso gut von Fallen sprechen, in denen das heiße Wasser im Porenraum „gefangen“ ist, der im Festgestein als Poren- oder Kluftgrundwasserleiter fungiert, wobei Verkarstungsstrukturen im Karbonatgestein vielfach eine besondere Rolle zukommt. Geologische Betrachtungsweisen und geophysikalische Messmethodik haben dabei viel gemeinsam mit der KWST-Exploration. Das gilt auch für das Erschließungsrisiko und einzukalkulierende Fehlbohrungen, die sowohl bei der KWST-Exploration als auch der der tiefen Erdwärme unvermeidbar sind. Im ersteren Fall ist das Verhältnis fründige Bohrung zu Misserfolg durch kontinuierlich verbesserte Geophysik und geologische Betrachtungsweise immer größer geworden. Aus manchen Gebieten der Erdöl-/Erdgasförderung ist berichtet worden, dass vor dem „Zeitalter“ der 3D-Seismik nur etwa jede zehnte Bohrung erfolgreich niedergebracht wurde, nach Einführung der 3D-Seismik der Anteil auf z. T. über 50 % angestiegen war. Bei der Lagerstätte der Tiefen Geothermie sollten verbesserte geologische und geophysikalische Untersuchungen ebenfalls Früchte tragen.

Strukturelle Fallen in der hydrothermalen Geothermie sind allgemein tektonische Störungen mit Verwerfungen und Bruchzonen, in denen eine erhöhte Wasserwegsamkeit erwartet werden kann und die die Geophysik aufzuzeigen hat. Der gegenteilige Effekt durch Kompression im Gesteinsuntergrund, Kluftverheilung und Plombierung des Porenraums an tektonischen Bewegungsbahnen erfordert geologische Überlegungen und Abschätzungen.

Fazielle Fallen der hydrothermalen Geothermie betreffen die Beschaffenheit des Porenraums bestimmter Gesteinseinheiten und damit deren Speichervolumen und Durchlässigkeit (Permeabilität) für das heiße Wasser und später für das abgekühlte Wasser bei der Infiltration ins Gebirge. Porosität, Korngrößenverteilungen und Zementation spielen eine wichtige Rolle. Generelle Unterschiede stellen sich bei silikatischen und karbonatischen Aquiferen. Im Bereich des Oberrheintalgrabens, aber auch im Norddeutschen Becken (Abb. 2.1, 2.2 und 2.4) sind es die permo-triassischen Sandsteine und Konglomerate mit dem Anteil intergranularer Porosität, aber auch Hohlräume bildende Vulkanite des Rotliegenden, die vor allem zu erörtern sind.

In Kalksteinen neigt eine Schichtfazies (z. B. Platten- und Bankkalke des Oberen Jura) zu geringerer Verkarstung als es bei Massenkalksteinen (Riff-Fazies) der Fall ist, die mit

Abb. 2.1 Die Hauptregionen mit einem hohen hydrothermalen Potential. Stark vereinfachte geologische Schnitte durch die Regionen mit den bevorzugten Aquiferen der hydrothermalen Geothermie zeigen die Abb. 2.2, 2.3 und 2.4



teilweise enormen Hohlraumbildungen zu den großen Schüttungsmengen in der hydrothermalen Geothermie führen können. Dieser Fall ist insbesondere im voralpinen Molassebecken (Abb. 2.1 und 2.3) mit seinen in Richtung Alpen stark abgesenkten Schichten des Malm gegeben. Dort ist aber auch die Frage einer Dolomitisierung, d. h. die Mineralumwandlung des Calcits in Dolomit mit möglicher Kornvergrößerung und einhergehen-

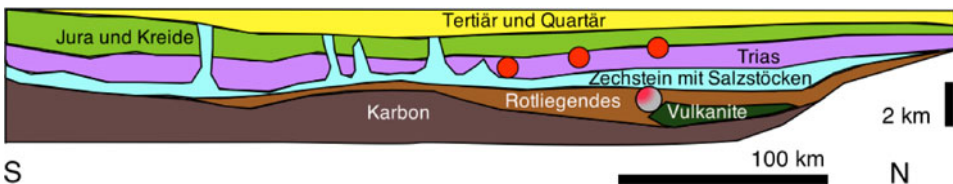


Abb. 2.2 Stark schematisierter geologischer Schnitt (ohne Verwerfungen) durch das Norddeutsche Becken mit Aquiferen für hydrothermale Geothermie im Jura, in der Trias und mit Perspektiven im Rotliegenden mit seinen Vulkaniten. Die roten Markierungen verweisen auf die wesentlichen Erschließungsziele in der Stratigraphie, was auch für die Abb. 2.3 und 2.4 gilt

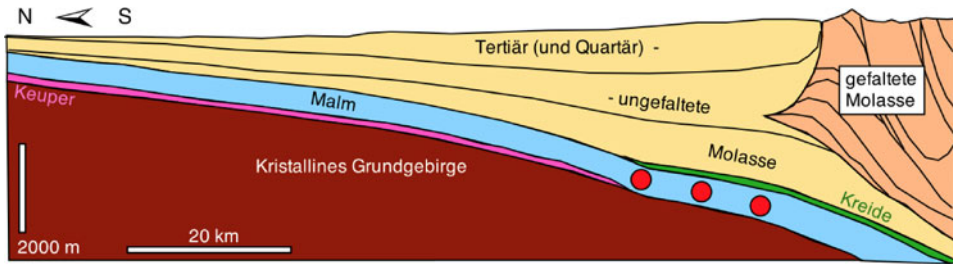


Abb. 2.3 Stark schematisierter geologischer Schnitt (ohne Verwerfungen) durch den voralpinen Molassetrog mit dem Aquifer für hydrothermale Geothermie im Oberen Jura (*Malm*)

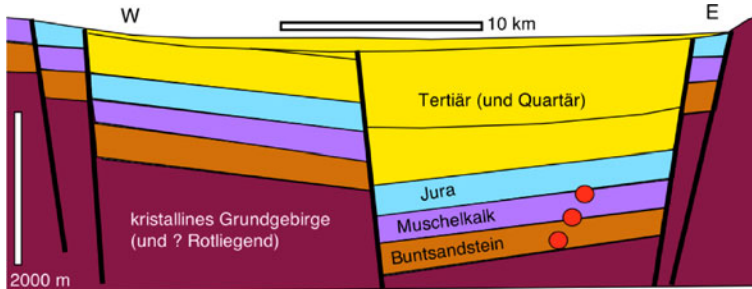


Abb. 2.4 Stark schematisierter geologischer Schnitt mit den Haupt-Randverwerfungen durch den südlichen Oberrheingraben mit Aquifern für hydrothermale Geothermie im Muschelkalk und Buntsandstein, bedingt im Jura

der Zunahme der Porosität, Gegenstand einer kontrovers geführten Diskussion. Hier stellt sich die wichtige Frage an die Geophysik, wie weit sie außer der im Vordergrund stehenden Strukturerkundung auch Aussagen zu Fazieswechseln z. T. in mehreren 1000 m Tiefe machen kann, was im Bereich der Reflexionsseismik mit dem Begriff der Attributanalyse verknüpft ist. Auswahl von Bohrpfeilen und Zielpunkten der Geothermie-Tiefbohrungen können davon mitbestimmt werden und auch über Erfolg und Misserfolg bei den erzielten Schüttungsmengen entscheiden.

In Deutschland sind schätzungsweise nur etwa 1 % des Gesteinsvolumens, das tiefenmäßig mit heutiger Erschließungstechnik erreichbar ist, der hydrothermalen Geothermie in den drei Regionen Bayerische Molasse, Oberrheintalgraben und Norddeutsches Becken zuzuordnen. 95 % des geothermischen Energiepotentials haben standortunabhängig petrothermalen Charakter (bei 4 % ausnutzbaren standortabhängigen Störungszonen) mit der Aussicht, dass die petrothermale Geothermie – gegenwärtig gegenüber der hydrothermalen Geothermie noch völlig im Hintertreffen – an Bedeutung erheblich zunehmen wird.

Die Lagerstätte der petrothermalen Geothermie (oder auch *enhanced geothermal system*, EGS, bzw. *hot-dry-rock* Geothermie) hat einen völlig anderen Charakter, den man mit dem Begriff der aktiven Geothermie im Gegensatz zur passiven hydrothermalen Geother-

mie benennen mag. Während in der hydrothermalen Geothermie beides, Schüttungsmenge und Temperatur den Nutzeffekt bestimmen, ist in der petrothermalen Geothermie die Temperatur der maßgebliche Parameter, der bestimmt, wie stark das in existierende oder künstlich erzeugte Kluftsyste me injizierte kalte Wasser aufgeheizt wird; und je tiefer an einer Stelle gebohrt wird, desto heißer wird es im allgemeinen. Gegenwärtig kommen Erschließungstiefen von 3000–6000 m in Betracht, was bei normalen Gradienten ganz grob 100–200 °C Gesteinstemperatur entspricht.

Es leuchtet ein, dass möglichst hohe Temperaturen in möglichst geringer Tiefe angetroffen werden sollen, und hier ist es ähnlich wie bei allen anderen Lagerstätten, dass die Erschließung auf anomale Anreicherung des Bodenschatzes abzielt. Mit der Temperatur in der Erdkruste ist es nicht anders. Sie kann sehr unterschiedlich verteilt sein, und das Aufsuchen und Auffinden sogenannter Hotspots ist ein wichtiger Gesichtspunkt bei der petrothermalen Geothermie.

Ursprünglich waren die „heißen Flecken“ eine Modellvorstellung der Geodynamik, die Erdmanteldiapire (sogenannte *plumes*) als Ursache für lokal begrenzten Wärmefluss und Intraplattenvulkanismus postulierte. Heute zählt man auch die Eifel zu den Hotspots, und jüngere Untersuchungen in einem seismologischen Eifel-Plume Forschungsprojekt haben auch Relevanz für eine Tiefe Geothermie, obwohl bisherige Erkundungen des Temperaturfeldes z. B. mit der 750 m tiefen Bohrung Ochtendung (Kappelmeyer 1977) eher enttäuschend verliefen. Hotspots können anscheinend auch viel kleiner dimensioniert und nicht unbedingt an der Erdoberfläche zu erkennen sein. Ein aufschlussreiches Beispiel dafür ist die Bohrung für das Freizeit- und Thermalbad der Stadt Tuttl ingen am Rande des Schwarzwaldes, die 1998 überraschenderweise ein knapp 50 °C heißes fossiles (ca. 10.000 Jahre altes) Wasser aus den Keuper-Schichten in nur 640 m Tiefe förderte. Eine geophysikalische Untersuchung (Gravimetrie) im Umfeld der Bohrung konnte keinen Hinweis auf einen magmatischen Pfropfen als „Ofen“ für das heiße Wasser erbringen, und weitere geologische Überlegungen zur Stellung dieser außergewöhnlichen Wärmeanomalie innerhalb der mesozoischen Sedimentite sind offenbar unterblieben. Hinweise auf kleinere, weniger spektakuläre Hotspots in geodynamisch „unverdächtigen“ Gebieten gibt es immer wieder mit unerklärlich höheren Temperaturen auch in weniger tiefen Bohrungen, die als „Tracer“ für eine tiefe petrothermale Geothermie durchaus in Frage kommen und geologisch-geophysikalisch studiert werden sollten.

Grundsätzlich liegt die Lagerstätte der petrothermalen Geothermie dann aber tatsächlich in 3000–6000 m Tiefe und damit in weiten Teilen Deutschlands im kristallinen Grundgebirge. Für die Geophysik, insbesondere für die Seismik stellt dies wegen der komplexen internen Strukturen im Kristallin eine besondere Herausforderung dar, aber auch die Geologie ist hier mit besonderer erdgeschichtlicher Entwicklung unter Verzicht auf eine mehr oder weniger gewohnte Stratigraphie konfrontiert. Immerhin müssen die Tiefbohrungen der petrothermalen Geothermie aber auch das teilweise mehrere 1000 m mächtige Deckgebirge durchteufen, und für die Bohrfadplanungen sind genaue Untersuchungen der Geologie und Geophysik unverzichtbar.

2.3 Geologie und Geophysik in der Projektstudie: Stichhaltigkeit und Überprüfung

Geologie und Geophysik bestreiten einen wesentlichen Teil einer Projektstudie in der Tiefen Geothermie, da sie Ressourcen und Verfügbarkeit prüfen und damit zu diesem Entscheidungsinstrument für die Projektentwicklung beitragen. Im privatwirtschaftlichen Bereich werden solche Studien in aller Regel von Ingenieurbüros oder Geologiebüros erstellt. Hier muss vermieden werden, dass die Projektaussichten rosiger geschildert werden als sie aufgrund der existierenden Daten tatsächlich sind. Zu erwartende höhere Temperaturen und ergiebiger Schüttungen sind einleuchtender Weise die kritischen Parameter, aber auch auf Grund geologischer Konstellationen eventuell sehr schwierige Bohrspfade (z. B. komplexe Tektonik, Gaszutritte) sollten klar artikuliert werden, um Projektleitung, Investoren und Versicherungen eine sichere Basis an die Hand zu geben. So hat es sich als probat erwiesen, Projektstudien von fachkundiger dritter, unabhängiger Seite begutachten zu lassen. Hier sind die geologischen Vorarbeiten mit ihrer Interpretation zu prüfen, aber auch die Relevanz früherer geophysikalischer, meist seismischer Daten nebst Prozessing und Interpretation sowie ihre Einsetzung in das geologische Konzept kritisch zu hinterfragen. Das betrifft gleichermaßen eine gegebenenfalls in der Studie vorgeschlagene Präzisierung von Ansatzpunkten, Bohrspaden und Zielpunkten sowie den Vorschlag zu Lage und Umfang einer detaillierten Seismik. Führt die Projektstudie letztlich zu einer Realisierung des Geothermieprojektes, wird in aller Regel über eine 3D-Seismik, seltener mit einer reinen 2D-Seismik oder mit zusätzlich anderen Verfahren der Geophysik (Gravimetrie, Geomagnetik, Tiefengeoelektrik) der komplette Bohrpfad vorgezeichnet. Auch an dieser Stelle sollte die Stimme eines unabhängigen Gutachters gehört werden, der die Geophysik und ihre Interpretation auf Schlüssigkeit überprüft hat. Auch die anspruchsvollste 3D-Seismik und das ausgeklügeltste Datenprozessing führen gar nicht selten zu widersprüchlichen Ansichten zum stratigraphischen und strukturellen Bau, und es sind Bohrungen der Tiefen Geothermie vorgekommen, bei denen wegen Interpretationsunverträglichkeiten im Zuge der Überprüfung der 3D-Seismik ein ursprüngliches geologisch-strukturelles Konzept noch über den Haufen geworfen wurde.

2.4 Geologische Befunde und Modelle

Am Anfang eines Geothermie-Projektes steht ein bergrechtlich zugeteiltes Erlaubnisfeld, dessen flächige Ausdehnung entsprechend einer zu erwartenden geothermischen Höffigkeit (Temperatur, Schüttung) und hinsichtlich konkurrierender Nutzung und Umweltschutzbelangen ausgewählt wurde. Für Geologen und Geophysiker, die hier Untersuchungen vor Augen haben, sind 50–100 km² ganz rohe Anhaltswerte. An dieser Stelle ist der großräumige geologische und gegebenenfalls hydrogeologische Rahmen bekannt, der im allgemeinen aus der Literatur in die Projektstudie übernommen wird. Entscheidend für den nächsten Schritt sind die regionalen und lokalen geologischen Verhältnisse des

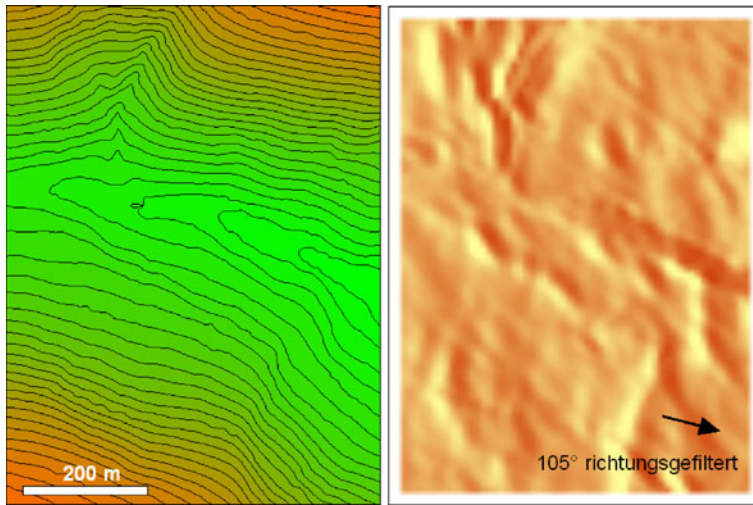


Abb. 2.5 Topographische Karte (Digitales Geländemodell DGM1, Abstand der Höhenlinien 5 m) und Feld des richtungsabhängig berechneten Horizontalgradienten. In dem Gebiet mit dem generell schwierig zu kartierenden Mittleren Buntsandstein prägen wegen der wechselvollen Stratigraphie aus kompetenten und inkompetenten Schichten tektonische Strukturen auch sehr deutlich die Morphologie

Untergrundes, die in vielen Fällen relativ gut, in anderen weniger gut bekannt sind, wobei mit zunehmender Tiefe die Kenntnisse im allgemeinen lückenhafter werden und es in den sehr großen Tiefen vor allem der petrothermalen Geothermie geologisch noch sehr duster aussieht. An der Erdoberfläche beginnt die Erkundung mit Lineationsanalysen von Satelliten- und Luftbildmaterial und der Analyse digitaler Geländemodelle (Abb. 2.5), wobei die enormen Möglichkeiten des LIDAR (*Light Detection and Ranging*) noch keineswegs ausgeschöpft werden. Datenfelder dieser hochauflösenden Vermessung zu erschwinglichen Preisen erlauben die Anwendung von Filterverfahren (Richtungsfilter, Gradientenbildungen) mit der Erstellung speziell abgeleiteter Karten, in denen sich vielfach bereits geologische Strukturen abzeichnen können.

Geologische Karten liegen größtenteils im Maßstab 1 : 25.000 vor. Die Güte und Verlässlichkeit der Kartierung ist sehr unterschiedlich; manchmal existiert sie bei den Ämtern nur als Entwurfszeichnung. Und es gibt immer wieder „weiße“ Blätter, auf denen die beste geologische Information nur im Maßstab 1 : 200.000 erhältlich ist. Oberflächlich kartierte austreichende Schichten und kartierte Verwerfungen extrapoliert der Geologe in die Tiefe und erstellt dreidimensionale Strukturmodelle mit Schichtlagerung, Stratigraphie und Tektonik, die je nach Verfügbarkeit von zusätzlichen Tiefenaufschlüssen (Bohrungen, Schächte des Bergbaus) auch eine mehr oder weniger gute Vorgabe für die Tiefengeothermie sind.

In bisherigen Projekten der Tiefengeothermie und den dazu erstellten Projektstudien ist immer wieder festzustellen, dass der Geologie der höheren Stockwerke bis hin zur kartierten Erdoberfläche wenig oder gar keine Aufmerksamkeit geschenkt wird. Dabei wird

nicht bedacht, dass die Tiefbohrungen der Geothermie auf dem Weg zum Zielpunkt häufig einen sehr komplexen Untergrund durchteufen müssen und technische Probleme nicht selten auf ein Unvorbereitetsein zurückgeführt werden müssen, die bei besserer geologischer Kenntnis auch weniger tiefer Bereiche vermeidbar wären. Geologisch und mit der Geologie in Verbindung stehend sind im Zusammenhang mit vorhandenem Altbergbau Hohlraumortung und generell Eruierung von alten Bergbautätigkeiten zu nennen. Beispiele sind das Penzberger Kohlerevier in Südbayern mit intensivem altem Bergbau teilweise bis in über 1000 m Tiefe und vielfach nur grob bekanntem Verlauf alter Grubengebäude, das Erzgebirge und Nordbayern mit untertägigen Erz-Abbauten und das Saarland mit einem geradezu durchlöcherten Untergrund des Kohlereviers, wovon noch die Rede sein wird. Auf dem Steine-Erden-Sektor sind es z. B. der Tonabbau Klingenberg/Main oder der Abbau von Keupersandstein im Nürnberger Land, wo auch eine Vielzahl von oberflächennahen Lagerkellern bzw. Brauereikellern mit z. T. unbekanntem Ausmaß existiert. Zum Thema zählen bis 100 m tief reichende intensive Verkarstung im Bereich der Frankenalb sowie Auswirkungen von Salzlösungsprozessen im Untergrund (z. B. Bad Dürkheim, Bad Rappenau, Rheinfelden, Bad Wimpfen mit dem Salinar des Mittleren Muschelkalk, aber auch Zechstein-Salinar in Mittel- und Norddeutschland). Hier kommen noch Auflockerungstendenzen des überlagernden Deckgebirges durch Setzungsabläufe infolge der Salzlösung hinzu. All diese geologisch einschlägigen Konstellationen sind wichtig für die Bohrkonzepktion und Bohrfpfadplanung, aber auch für die Bohrplatzherrichtung (z. B. Fundamentierung).

Für die tieferen Bereiche werden dann immer mehr die Aufschlüsse bereits vorhandener Tiefbohrungen wichtig. Dazu gehören Forschungsbohrungen, aber auch Tiefbohrungen der Trink-, Mineral- und Thermalwassererschließung und natürlich Tiefbohrungen bereits existierender Projekte der Tiefengeothermie. Interessant sind vor allem aber Erkundungs- und Förderbohrungen in den KWST-Lagerstätten, mit einer Häufung in den Becken- und Grabenstrukturen Norddeutschlands, der alpinen Molasse und des Oberrheins, die auch das Hauptziel der hydrothermalen Geothermie darstellen. Unglücklicherweise sind die Daten aus diesen Bohrungen häufig für die Geothermie nicht nutzbar weil nicht zugänglich. Erkundungsbohrungen und Schächte auf bzw. durch andere Lagerstätten können ebenfalls nützliche Informationen liefern; so wurde die Bohrung Saar 1 bei Neunkirchen im Saargebiet bis auf 5800 m abgeteuft, eine für die petrothermale Geothermie hoffige Tiefe. Bei Schneeberg im Erzgebirge ist das tektonische Störungssystem in den Metamorphiten und Graniten durch den Bergbau bis in eine Tiefe von 2,5 km gut bekannt, sodass eine mögliche Kontinuität bis in eine Tiefe von 5 km eine gute Voraussetzung für eine petrothermale Geothermie mit einem natürlichen Wärmetauscher offener Klüfte liefern würde: typischer Gegenstand einer Projektstudie und geophysikalischer Erkundung.

In der hydrothermalen Geothermie rückt dann der tiefliegende Aquifer selbst in den Vordergrund der Betrachtungen. Angaben zu Tiefenlagen, Mächtigkeiten und Mächtigkeitsveränderungen kann eine vorhandene Seismik z. B. der KWST-Exploration liefern. Zu bedenken ist, dass die Geothermie vielfach in Tiefen vordringt, die für die Erdöl-/Erdgas-Industrie nicht mehr interessant waren mit der Konsequenz, dass Daten aus diesen große-

Handbuch Tiefe Geothermie

Prospektion, Exploration, Realisierung, Nutzung

Bauer, M.; Freeden, W.; Jacobi, H.; Neu, Th. (Hrsg.)

2014, XXXII, 854 S. 333 Abb., 264 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-642-54510-8