



Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG
ABTEILUNG UMWELT

**Entwicklung eines Prognosetools zur Unterstützung
standortbezogener Aussagen zur Fündigkeit
hydrogeothermischer Projekte in Baden-Württemberg
(GeoTool)**

- Endbericht -

Projektleitung:	Prof. Dr. Ingrid Stober
Auftraggeber:	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Projektträger Jülich (PTJ-EEN)
Förderkennzeichen:	0325136
Laufzeit des Vorhabens:	01.07.2009 bis 31.03.2013
Berichtsdatum:	12.04.2013
Archivnummer:	4580/1.006

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0325136 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren (Regierungspräsidium Freiburg (RPF), Abteilung Umwelt):

Jodocy, M. (Abschn. 4, 9)

Stober, I. (Abschn. 1-8, 10), Herausgeberin

Inhalt

Zusammenfassung	3
1. Aufgabenstellung	4
2. Voraussetzungen	4
3. Planung und Ablauf	5
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand am Projektbeginn, Datenbestand am Projektende	6
4.1 Gebirgsdurchlässigkeiten T/H (m/s), normierte Produktivitätsindizes PI/H (m/s)	8
4.2 Porositäten und Permeabilitäten	10
4.3 Qualitative hydraulische Daten	10
4.4 Hydrochemische Daten	11
4.5 Temperaturdaten	11
4.6 Reflexionsseismische Daten	12
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	13
6. Ergebnis	14
6.1 Überblick, wesentliche Grundlagen	15
6.2 Hydraulik – Gebirgsdurchlässigkeiten	16
6.2.1 Gebirgsdurchlässigkeiten aus hydraulischen Tests	18
6.2.2 Produktivitätsindizes, Gegenüberstellung zu den Gebirgsdurchlässigkeiten aus hydraulischen Tests	23
6.2.3 Permeabilitäten/Durchlässigkeiten aus Bohrkernen und geophysikalischen Bohrlochvermessungen, Bewertung	26
6.2.4 Durchlässigkeiten aus Schichtenverzeichnissen	28
6.2.5 Informationen aus seismischen Sektionen im Hinblick auf die Gebirgsdurchlässigkeit	31
6.2.6 Räumliche Verteilung der Gebirgsdurchlässigkeit	38
6.3 Geologie, Temperaturverhältnisse	42
6.4 Hydrochemie der Tiefenwässer	46
6.4.1 Gesamtmineralisation - Wasserinhaltsstoffe	47
6.4.2 Gasgehalte	51
6.4.3 Zur Herkunft und Genese der Tiefenwässer	51
6.4.4 Sättigungszustände der Tiefenwässer	54
6.4.5 Wechselwirkung von Hydrochemie und Hydraulik	55
7. Verwertbarkeit	57
8. Fortschritt Anderer	58
9. Publikationen und Vorträge	58
9.1 Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften	58
9.2 Publikationen in populärwissenschaftlichen Zeitschriften	59
9.3 Tagungsstände	59
9.4 Vorträge und Abstracts	60
9.5 Poster und Abstracts	61
9.6 Berichte (unveröffentlicht)	61
9.7 Zwischenberichte (unveröffentlicht)	63
10. Im Endbericht zitierte Literatur	63
Dank	68
Anlagen: Inhaltsverzeichnis CD-ROM (<i>Anhang, Homepage</i>)	68

Zusammenfassung

Der Faktor des Fündigkeitsrisikos stellt bei der Projektierung geothermischer Anlagen eine der entscheidenden Planungsgrößen dar. Die ausschlaggebenden Kenngrößen im Rahmen der Vorbereitung von Geothermieprojekten mit hydrothermalen Wärmeenergienutzung sind hierbei die erreichbare Förderrate, die Fördertemperatur sowie Dichte und spezifische Wärmekapazität des heißen, z.T. hochkonzentrierten Tiefenwassers. Darüber hinaus sind Informationen über die Zusammensetzung der im Untergrund zirkulierenden Fluide unverzichtbar, da sie Rückschlüsse auf deren technische Handhabbarkeit unter dem Aspekt Lösung/Fällung geben, aber auch auf die o.g. Dichte und Wärmekapazität zulassen. Nur bei Kenntnis dieser Größen kann eine Vorerkundung qualitativ bewertet und das Fündigkeitsrisiko abgeschätzt werden.

Mit dem Projekt GeoTool hat das Regierungspräsidium Freiburg ein geothermisches Prognosetool zur standortbezogenen Abschätzung der Fündigkeit relevanten Parameter für alle potentiellen geothermischen Nutzhorizonte in den Baden-Württembergischen Teilen des Oberrheingraben und des Molassebeckens wie im Projektantrag beschrieben entwickelt. Das Prognosetool ist über ein Internetportal (<http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1337770/index.html>) für Jeden frei zugänglich. Das Prognosetool im engeren Sinn setzt sich aus einzelnen Algorithmen, d.h. aus mathematischen Beziehungen zwischen verschiedenen Größen, zusammen, um den harten Datenbestand der für die Abschätzung des Fündigkeitsrisikos relevanten Daten zu vergrößern. Zur Entwicklung und Kalibrierung der einzelnen Algorithmen wurden bestehende, zu erweiternde und durch "unscharfe" Informationen ergänzte Datenbestände verwendet, um eine quantitativ belegte Vorhersage zu ermöglichen, die den von der Wirtschaft gestellten inhaltlichen Fragestellungen und qualitativen Anforderungen gerecht wird. Die anhand der erzeugten Grundlegendaten prognostizierten Größen sind Basisinformationen für ein geothermisches Projekt.

Als weiteres Ergebnis ließen sich aus den Untersuchungen Hinweise auf besser und weniger gut geeignete Untersuchungsverfahren ableiten sowie auch Hinweise darauf, unter welchen Bedingungen auch weniger gute Untersuchungsverfahren akzeptable Ergebnisse liefern (Abschn. 6.2.2, 6.2.3). Auch konnten in Rahmen des Projektes GeoTool neue Untersuchungsverfahren entwickelt werden, die geothermisch bedeutende Informationen über den Untergrund liefern (Abschn. 6.2.4, 6.2.5). In Zusammenarbeit mit dem LIAG wurde ein 3D-Temperaturmodell für Baden-Württemberg entwickelt (AGEMAR et al. 2013) und zusammen mit den Bayerischen Projektpartnern (LfU) eine Karte der Gebirgsdurchlässigkeiten und der hydrochemischen Eigenschaften der Tiefenwässer im Oberjura des gesamten voralpinen Molassebeckens entwickelt (BIRNER et al. 2012).

Die einzelnen Punkte wurden genau wie im Projektantrag bei den "wissenschaftlichen und technischen Arbeitszielen des Vorhabens" angegeben erarbeitet. Die im Projekt gesetzten Ziele konnten alle realisiert werden. Die durchgeführten Arbeiten sind im Hinblick auf die Bereitstellung wichtiger geowissenschaftlicher Zusammenhänge, die auf der Basis von Grundlegendaten ermittelt wurden, für die hydrogeothermische Ressourcennutzung auch von wissenschaftlichem Interesse.

Die Projektmittel waren für die erbrachten Leistungen notwendig und angemessen. Die Zuwendung wurde ausschließlich für die Aufgabenstellungen im Projekt verwendet.

1. Aufgabenstellung

Der Faktor des Fündigkeitsrisikos stellt bei der Projektierung geothermischer Anlagen eine der entscheidenden Planungsgrößen dar. Im Rahmen der Vorbereitung von Geothermieprojekten mit hydrothermalen Wärmeenergienutzung sind die erreichbare Förderrate, die Fördertemperatur sowie Dichte und spezifische Wärmekapazität des heißen, z.T. hochkonzentrierten Tiefenwassers die ausschlaggebenden Kenngrößen, wenn es um die Beurteilung des Fündigkeitsrisikos geht. Darüber hinaus sind Informationen über hydrochemische Analysen unverzichtbar, da sie Aufschluss über die Zusammensetzung der im Untergrund zirkulierenden Fluide geben und Rückschlüsse auf deren technische Handhabbarkeit unter dem Aspekt Lösung/Fällung, aber auch auf die o.g. Dichte und Wärmekapazität zulassen. Nur bei Kenntnis dieser Größen kann eine Vorerkundung qualitativ bewertet und das Fündigkeitsrisiko abgeschätzt werden.

Das Regierungspräsidium Freiburg hatte im Projekt GeoTool die Aufgabe, ein Prognosetool der zur standortbezogenen Abschätzung der Fündigkeit relevanten Parameter für die baden-württembergischen Teile des Oberrheingraben und des Süddeutschen Molassebeckens zu entwickeln. Gemäß Projektantrag (Datum 04.02.2009) sollte sich das Prognosetool dabei aus einzelnen Algorithmen, d.h. aus mathematischen Beziehungen zwischen verschiedenen Größen, zusammensetzen. Zur Entwicklung und Kalibrierung der einzelnen Algorithmen sollten bestehende, zu erweiternde und durch "unscharfe" Informationen gegebenenfalls noch zu ergänzende Datenbestände verwendet werden, um eine quantitativ belegte Vorhersage zu ermöglichen, die den von der Wirtschaft gestellten inhaltlichen Fragestellungen und qualitativen Anforderungen gerecht wird. Die anhand der erzeugten Grundlagendaten prognostizierten Größen sollten hierbei Basisinformationen für ein geothermisches Projekt darstellen.

Die Projektergebnisse sollten in das Internet des RPF eingestellt werden und damit kostenfrei über ein Internetportal potenziellen Interessenten aus Wirtschaft und Forschung zur Verfügung gestellt werden. Ein Andocken an das „Geothermische Informationssystem (GeotIS)“ war damit gewährleistet. Da die meisten Ursprungsdaten der Geheimhaltung unterliegen, sollten die abgeleiteten Informationen auf der Basis der zu entwickelnden Berechnungsansätze frei zugänglich sein.

2. Voraussetzungen

Im unmittelbar zuvor durchgeführten Projekt "Geothermisches Informationssystem für Deutschland (GeotIS, Fördernr.: 0327542)" wurden vom Regierungspräsidium Freiburg (RPF) für die Baden-Württembergischen Teile des Oberrheingraben und Molassebeckens bereits geothermisch relevante Datengrundlagen zusammengestellt, validiert und ausgewertet. Abschnitt 4 gibt einen detaillierten Überblick welche Daten bereits mit Abschluß des Projektes GeotIS vorlagen und welche Daten im Projekt GeoTool für die neu zu bearbeitenden und die bereits im Projekt GeotIS bearbeiteten geothermischen Nutzhorizonte neu erhoben und ausgewertet wurden. Bei dem Projekt GeoTool handelt es sich um ein Anschlussvorhaben an das Projekt GeotIS.

Zur Personalausstattung gehörten für die Gesamtlaufzeit des Projekts GeoTool ein wissenschaftlicher Mitarbeiter auf der Basis von „E13“ (TV-L West) sowie zwei studentische Hilfskräfte.

Zur Bewältigung der Aufgabenstellungen wurden als Software die beiden Programme SPSS (Statistics Base 17) und Surfer (Golden Software Surfer 8) und als Hardware zwei 24-Zoll-Monitore sowie ein Notebook erworben.

3. Planung und Ablauf

Über den Projektablauf wurde in engem Kontakt zum Zuwendungsgeber (PtJ) im Rahmen von halbjährigen Projekttreffen mit den Kooperationspartnern Bericht erstattet. Für die Jahre 2009, 2010, 2011 und 2012 wurden für den jeweiligen Berichtszeitraum Zwischenberichte mit Darlegung des Arbeits- und Zeitplans sowie Darlegung der erbrachten Leistungen erstellt (Abschnitt 9.7). Von Beginn an wurden die einzelnen Arbeitsschritte, wie im Projektantrag ausführlich dargestellt, festgelegt und gemäß dem beiliegenden Balkenplan (Abb. 1) abgearbeitet. Das Vorgehen gliedert sich in drei Hauptabschnitte: Datenrecherche, Auswertung der erhobenen Daten und Darstellung der Ergebnisse in Karten und Graphiken sowie die Entwicklung statistischer Modellierungsansätze und Prognosetechniken.

Arbeitsschritt	2009		2010			2011				2012		Verlängerung	2012		2013	
	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q		2 Q	3 Q	4 Q	1 Q
1. Erhebung von Grundlagendaten																
1.1 Literaturrecherche																
1.2 Behördeninterne Datenrecherche (Bohrunterlagen, Schichtenverzeichnisse, Geophysik etc.)																
a) Hydraulik (Poro-Perm-Daten, hydraulische Tests)																
Oberheingraben (BW)																
Molassebecken																
b) Hydrochemie																
Oberheingraben (BW)																
Molassebecken																
c) Geothermie (BHT-Werte, Logs, Korrekturparameter, Wärmeleitfähigkeit u. -kapazität)																
Oberheingraben (BW)																
Molassebecken																
d) Qualitative Informationen zur Hydraulik (Klüfte, Spülungsverluste, Bohrtlochausbrüche,...)																
e) Qualitative Informationen zur Hydrochemie (Dichte, TDS, Salzgehalt, Gasgehalte,...)																
1.3 Externe Datenrecherche (Hydraulik, Hydrochemie, Geothermie)																
a) Kohlenwasserstoffindustrie (Oberheingraben und Molassebecken)																
b) Frankreich (BRGM), Oberheingraben																
2. Auswertung der erhobenen Grundlagendaten																
a) Hydraulische Tests																
b) Hydrochemie																
c) Geothermie																
d) Qualitative Informationen																
3. Entwicklung statistischer Modellierungsansätze und Prognosetechniken																
3.1 Einarbeitung in Software																
3.2 Hydraulik																
3.3 Hydrochemie																
3.4 Geothermie																
4. Abschlußarbeiten und Schlußbericht																

Abb. 1: Balkenplan für den Projektablauf

Das Projekt GeoTool wurde unmittelbar nach Zustellung des Zuwendungsbescheids am 10.06.2009 zum 01.07.2009 begonnen, d.h. der Projektbeginn musste aus verwaltungstechnischen und personalrechtlich Gründen gegenüber dem Zuwendungsbescheid um einen Monat auf den 01.07.2009 verschoben werden. Mit Zuwendungsbescheid vom 05.07.2011 wurde das Projekt um 9 Monate verlängert. Damit ergibt sich infolge der Verschiebung gleich zu Beginn des Vorhabens der Abschluss des Projekts zum 31.03.2013.

Die Verlängerung des Projekts war notwendig, da die Datenrecherche in den Archiven des BRGM, des LIAG, des LBEG und bei den verschiedenen Firmen der Kohlenwasserstoff-Industrie (KW) wesentlich mehr hydraulische Testdaten, Poro-Perm-Daten, Produktivitätsindizes, Temperaturdaten und temperaturrelevante Korrekturparameter sowie hydrochemische Analysen erbracht hatte, als bei Projektplanung erwartet werden konnte. Zudem wurden wider Erwarten in großem Umfang zusätzliche Informationen zu den bereits im Projekt GeotIS (Fördernr.: 0327542) abgehandelten Nutzhorizonten gefunden. Bei Projektbeginn wurde von einer vollständigen Datenerfassung für diese Horizonte ausgegangen. Da alle recherchierten Daten ausschließlich in analoger Form