

**Leibniz-Institut für
Angewandte Geophysik
Hannover**

**Aufbau eines Internet basierten
Informationszentrums für geothermische Energienutzung**

– Endbericht –

Projektleiter:	Dr. Rüdiger Schulz, Dir. u. Prof.
Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Projektträger Jülich (PtJ-EEN)
Förderkennzeichen:	0327542A
Laufzeit des Vorhabens:	01.06.2009 – 31.03.2013
Berichtsdatum:	18.04.2013
Archivnummer:	0131282

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des *Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit* unter dem Förderkennzeichen 0327542A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG):

AGEMAR, T. (Kap. 3 & 4)

ALTEN, J.-A. (Kap. 2)

GANZ, B. (Kap. 5)

KUDER, J. (Kap. 1 & 4)

SCHULZ, R. (Herausgeber)

SCHUMACHER, S. (Kap. 4)

TRIBBENSEE, K. (Kap. 3)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Projektbeschreibung.....	5
2 Technischer Ausbau und Pflege des Geothermischen Informationssystems	8
2.1 Bearbeitung der internen Arbeitsdaten	9
2.2 Internet-Webanwendung	12
3 Erweiterung und Aktualisierung des geologischen Untergrundmodells	15
3.1 Nordostdeutschland.....	15
3.2 Nordwestdeutschland	18
3.3 Hessen und nördlicher Oberrheingraben.....	21
3.4 Südlicher Oberrheingraben	22
3.5 Süddeutsches Molassebecken	22
3.6 Weitere Gebiete.....	23
4 Geothermische und hydraulische Parameter	24
4.1 Untergrundtemperaturen in Deutschland.....	24
4.2 Darstellung von Gebirgsdurchlässigkeiten	25
4.3 Der Einfluss von Säuerungsmaßnahmen auf den Produktivitätsindex	30
5 Informationszentrum für geothermische Energienutzung	34
5.1 Nationale und Internationale Zusammenarbeit.....	34
5.2 Internetportal für geothermische Standorte	34
5.3 Jährliche Energiestatistik.....	35
5.4 Trendreport für IEA-GIA	38
5.5 Neuauflage der Broschüre „Tiefe Geothermie“	39
5.6 Messepräsentationen und Workshops für Nutzer.....	40
6 Publikationen und Vorträge	41
6.1 Publikationen.....	41
6.1.1 Zeitschriften	41
6.1.2 Broschüren.....	41
6.2 Vorträge und Poster	41
6.2.1 Vortragsveröffentlichungen (Proceedings).....	41
6.2.2 Poster	42
6.2.3 Eingeladene Vorträge	43
6.2.4 Vorträge	43
6.3 Berichte	44
6.4 Öffentlichkeitsarbeit.....	45
6.4.1 Pressemitteilungen und Internet	45
6.4.2 Flyer.....	45
6.4.3 Messen und Workshops	45
6.4.4 Berichte über das Projekt.....	47
7 Literaturverzeichnis	48

Zusammenfassung

Für den Aufbau einer geothermischen Stromnutzung in Deutschland schlug das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) 2003 u. a. die Erstellung eines Atlases der geothermischen Ressourcen vor. Daraufhin förderte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) bis 2009 das Projekt „Aufbau eines Geothermischen Informationssystems für Deutschland“ (GeotIS), das sich auf die tiefen Grundwasserleiter (Heißwasseraquifere) im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens, im Oberrheingraben und in Süddeutschland konzentrierte. In diesen Gebieten ist die energetische Nutzung der tiefen Grundwasserleiter kurzfristig am besten zu realisieren.

Auf diese Vorarbeiten setzte das Projekt „Internet basiertes Informationszentrum für geothermische Energienutzung“ auf. Im Rahmen dieses Projektes wurde das Geothermische Informationssystem weiter ausgebaut; Datenbestände für hydrothermale Ressourcen in Deutschland wurden teilweise neu erfasst, erweitert und mit neuen Datenbanken vernetzt.

GeotIS ist als dynamisches System angelegt, das bedeutet, dass nach Eingang von neuen Informationen eine möglichst umgehende Aktualisierung stattfindet und der Öffentlichkeit über das Internet zur Verfügung gestellt wird. Aus diesem Grund spielt die Softwareentwicklung eine sehr große Rolle. Über den Zeitraum von sieben Jahren wurden mehr als 100.000 Zeilen Programmcode geschrieben. Neben der eigentlichen im Internet sichtbaren Web-Anwendung entstanden zahlreiche weitere Werkzeuge zur Konvertierung und Darstellung der vorhandenen Daten. Außerdem musste eine Infrastruktur zur Verwaltung der Code- und Datenbasis geschaffen werden.

Eine Vielzahl der vorhandenen Daten, insbesondere Daten aus der Kohlenwasserstoff-Industrie, ist vertraulich. Kurzfristig wird sich die Rechtslage nicht ändern, so dass die Darstellung dieser Daten nur in anonymisierter, d. h. in generalisierter Form möglich ist. Deshalb wird zwischen meist vertraulichen Arbeitsdateien für die interne Bearbeitung und externen Präsentationsdaten für die Veröffentlichung im Internet unterschieden. Aus den internen Arbeitsdaten werden durch Generalisierung, Aggregation und Filterung Präsentationsdaten erzeugt, die dem Eigentumsrecht an den Daten nicht mehr unterliegen. Für die Öffentlichkeit sind nur die Präsentationsdaten über die Web-Anwendung zugänglich.

Die wichtigsten Regionen für eine hydrothermale Nutzung in Deutschland sind das Norddeutsche Becken, der Oberrheingraben und das Süddeutsche Molassebecken. Im Norddeutschen Becken wurde für Nordostdeutschland das 3D-Modell vervollständigt und abgeschlossen. Für Nordwestdeutschland stehen jetzt für die drei wichtigsten geothermisch nutzbaren Formationen 3D-Strukturmodelle zur Verfügung. Im bayerischen Teil des Süddeutschen Molassebeckens wurde das 3D-Strukturmodell der Topfläche des Oberjura (Malm) einschließlich der Purbeck-Formation auf der Grundlage des überarbeiteten Geothermie-Atlases von Bayern neu angefertigt. Für den westlichen Teil des Molassebeckens wurde ein 3D-Strukturmodell neu erstellt und an das Modell von Bayern angeglichen. Für den südlichen Oberrheingraben wurden ge-

ologisch-geothermische Profilschnitte, die im Rahmen des BMU-Projektes „Entwicklung eines Prognosetools zur Unterstützung standortbezogener Aussagen zur Fündigkeit hydrogeothermischer Projekte in Baden-Württemberg“ (FKZ 0325136) vom Regierungspräsidium Freiburg entwickelt wurden, übernommen. Sie wurden mit Isothermen des aktuellen 3D-Temperaturmodell ergänzt. Im nördlichen Oberrheingraben konnte ein 3D-Modell für die geothermischen Potenziale für Hessen übernommen werden.

Das neue deutschlandweite 3D-Temperaturmodell basiert auf gemessenen Temperaturen in über 10.000 Bohrungen und umfasst den gesamten Bereich von der Oberfläche bis 5.000 m unter NN. Das Modell wurde mit „Universal Kriging“ erstellt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Temperaturkarten wurden die Daten räumlich und nicht flächenweise interpoliert.

Die Ermittlung von hydraulischen Leitfähigkeiten für geothermisch relevante Schichten erweist sich als äußerst schwierig. Das liegt daran, dass die hydraulischen Eigenschaften sehr heterogen sind und örtlich extrem schwanken können und nur wenige verlässliche Werte von charakteristischen hydraulischen Parametern existieren. Für verschiedenen Schichten wurde die Gebirgsdurchlässigkeit (T/H) punktuell ermittelt und versucht, diese Werte in Zonen zusammenzufassen. Karten von T/H-Zonen konnten für den Oberjura (Malm) im Süddeutschen Molassebecken und für geothermisch relevante Schichten im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens erstellt werden. Die im GeotIS integrierten Zonenkarten ermöglichen damit eine erste Abschätzung der Gesteinsdurchlässigkeiten.

Bei karbonatischem Gestein wie dem Malmkarst in Süddeutschland wird häufig versucht, die hydraulischen Eigenschaften durch Säuerungsmaßnahmen zu verbessern. Durch Analyse der Produktivitätsindizes konnte ermittelt werden, dass lediglich ein bis maximal zwei Säuerungsschritte durchgeführt werden sollten, da danach ihre Effektivität massiv abnimmt.

Mit dem Modul „Geothermische Standorte“ bietet das GeotIS einen umfassenden Überblick über die Anlagen mit Nutzung tiefer Geothermie in Deutschland. Zu jeder Anlage stehen Detailinformationen mit Daten zur installierten Leistung und zur Energieproduktion zur Verfügung. Diese Daten sollten ursprünglich alle fünf Jahre aktualisiert werden. Durch den schnellen Zuwachs an geothermischen Anlagen hat sich dieser Aktualisierungsrhythmus als zu lang erwiesen. Um in GeotIS künftig jährlich aktualisierte Betriebsdaten, u. a. Wärme- und Stromproduktion, bereitstellen zu können, wurden daher in 2011 erstmals Informationen zu den geothermischen Anlagen durch direkte Befragung der Betreiber eingeholt. So konnten Betriebsdaten für das zurückliegende Jahr im Herbst 2012 aktualisiert in GeotIS zur Verfügung gestellt werden. Zukünftig kann damit eine jährliche Statistik vorgelegt werden.

Ende 2010 übernahm das LIAG die Funktion eines Operating Agent im Rahmen des IEA-Geothermal Implementing Agreement (GIA). Dabei handelt es sich um ein internationales Netzwerk unter dem Dach der Internationalen Energieagentur (IEA) mit dem Ziel, die Nutzung der geothermischen Energie weltweit zu fördern und For-

schungsvorhaben zu unterstützen. Im Rahmen dieser Aufgabe wurde ein Abfragekonzept erarbeitet, auf dessen Grundlage die erste Datenabfrage im Sommer 2011 für Daten aus dem Jahr 2010 startete. Um Trends seit dem Jahr 2000 darstellen zu können, erfolgte zudem eine umfangreiche Auswertung von weiteren Datenquellen. Der „Geothermal Trend Report 2010“ wurde im Sommer 2012 auf der GIA-Homepage veröffentlicht und anschließend in kleiner Startauflage gedruckt. Die Arbeiten für den „Geothermal Trend Report 2011“ starteten im Sommer 2012 mit einer Überarbeitung des Abfrageformulars und der anschließenden Datenabfrage. Aufgrund des unzureichenden internationalen Datenrücklaufs wird der „Geothermal Trend Report 2011“ jedoch erst im Frühjahr 2013 vorgelegt werden.

Das Hauptprodukt des Forschungsvorhabens steht als aktualisiertes und überarbeitetes Geothermische Informationssystem unter www.geotis.de allen Nutzern kostenfrei zur Verfügung. Durchschnittlich wurde im Jahr 2012 pro Monat rund 3.500-mal auf das Informationssystem zugegriffen. Zusätzlich kann sich die Öffentlichkeit über die tiefe Geothermie mit Hilfe der BMU-Broschüre „Tiefe Geothermie“ informieren; sie erschien innerhalb des Projektes in der 2. und in der 3. überarbeiteten Auflage und hat jetzt eine Gesamtauflage von 18.000 Exemplaren.

1 Projektbeschreibung

Erneuerbare Energiequellen werden in Deutschland im Wärmemarkt vor allem im Mittel- und Niedertemperaturbereich (bis ca. 150 °C) eingesetzt. Unter den regenerativen Energiequellen nimmt die Erdwärme eine Sonderstellung ein, da sie ganzjährig und zu jeder Tageszeit zur Verfügung steht und daher im Grundlastbereich sowohl in der Wärme- wie in der Stromerzeugung eingesetzt werden kann. Moderne Wandlungstechniken, wie ORC-Verfahren und Kalina-Zyklus, ermöglichen die wirtschaftliche Stromerzeugung bei Temperaturen ab 100 °C. Damit wird die geothermische Stromerzeugung auch für normale geothermische Regionen wie Mitteleuropa interessant.

Für den Aufbau einer geothermischen Stromnutzung in Deutschland schlug das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) im TAB-Bericht 2003 neben der Entwicklung einer Aufbaustrategie für die geothermische Stromerzeugung sowie Aufbau und Betrieb von Demonstrationsanlagen auch die Erstellung eines Atlases der geothermischen Ressourcen vor (PASCHEN et al. 2003). Das dafür vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) bis 2009 geförderte Projekt „Aufbau eines Geothermischen Informationssystems“ (GeotIS) konzentrierte sich auf die tiefen Grundwasserleiter (Heißwasseraquifere) im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens, im Oberrheingraben und in Süddeutschland (SCHULZ 2009). In diesen Gebieten ist die wirtschaftliche Nutzung der tiefen Grundwasserleiter kurz- und mittelfristig am besten zu realisieren.

Auf diese Vorarbeiten setzt das Projekt „Internet basiertes Informationszentrum für geothermische Energienutzung“ auf. Das System dient zur Qualitätsverbesserung bei der Projektierung geothermischer Anlagen und zur Abschätzung des Fündigkeitsrisikos geothermischer Projekte an wählbaren Lokalitäten. Verstärkt muss dem Wunsch von Investoren, Versicherungen und öffentlichen Geldgebern nachgekommen werden, das Fündigkeitsrisiko für geothermische Bohrungen auf der im GeotIS vorhandenen Datengrundlage quantitativ zu bewerten.

Das Vorhaben wurde durch das BMU im Zeitraum vom 1. April 2009 bis zum 31. März 2013 unter dem Förderkennzeichen 0327542A gefördert und am Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) durchgeführt.

Zwischen dem LIAG, den ehemaligen Projektpartnern des GeotIS-Projektes und den staatlichen geologischen Diensten besteht ein enger Kontakt und Informationsaustausch, der durch regelmäßige Projekttreffen unterstützt wurde. Insbesondere mit dem vom BMU geförderten Projekt „Entwicklung eines Prognosetools zur Unterstützung standortbezogener Aussagen zur Fündigkeit hydrogeothermischer Projekte in Baden-Württemberg“ (FKZ 0325136) des Regierungspräsidiums Freiburg (RPF) bestand eine sehr enge Zusammenarbeit. Die Projekttreffen wurden wechselseitig vom RPF und dem LIAG organisiert (Tab. 1.1).

Nr.	Datum	Ort	Teilnehmende Organisationen
1	26.-27.11.2009	Hannover	LBEG, LfU, LIAG, LUNG, PtJ, RPF
2	15.-16.06.2010	Hannover	LBEG, LfU, LIAG, RPF
3	19.-20.01.2010	Freiburg	BMU, LBEG, LfU, LIAG, PtJ, RPF
4	27.-28.09.2011	Hannover	BMU, LBEG, LfU, LIAG, LUNG, PtJ, RPF
5	28.-29.02.2012	Offenburg	LBEG, LfU, LIAG, PtJ, RPF
6	11.09.2012	Hannover	GTN, HLUG, LBEG, LfU, LIAG, LLUR, LUNG, PtJ, RPF
7	27.03.2013	Offenburg	HLUG, LBEG, LfU, LIAG, LLUR, PtJ, RPF

BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
 GTN: Geothermie Neubrandenburg GmbH
 HLUG: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
 LBEG: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Niedersachsen)
 LfU: Bayerisches Landesamt für Umwelt
 LIAG: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik
 LLUR: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (Schleswig-Holstein)
 LUNG: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (Mecklenburg-Vorpommern)
 PtJ: Projektträger Jülich
 RPF: Regierungspräsidium Freiburg (Baden-Württemberg)

Tab. 1.1: Auflistung der Projekttreffen und der teilnehmenden Organisationen.

Im Rahmen dieses Projektes wurden vorhandene Datenbestände für hydrothermale Ressourcen in Deutschland teilweise neu erfasst, erweitert und mit neuen Datenbanken vernetzt. Eine Vielzahl der vorhandenen Daten, insbesondere Daten aus der Kohlenwasserstoff-Industrie, ist vertraulich. Kurzfristig wird sich die Rechtslage nicht ändern, so dass die Darstellung dieser Daten nur in anonymisierter, d. h. in generalisierter Form möglich war.

Der Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung (W.E.G.) gab seine Zustimmung zur Verwendung von Daten („Poro-Perm-Daten“) seiner Mitgliedsfirmen für dieses Projekt, so dass im Geothermischen Informationssystem die umfangreichste Datensammlung von hydraulischen Daten für tiefe Grundwasserleiter in Deutschland entstehen konnte. Der W.E.G. wurde regelmäßig über die Arbeiten informiert und zeigte sich angetan über die fachliche Qualität der Bearbeitung. Leider konnte bisher noch keine Zustimmung zur externen Darstellung der für die KW-Industrie sensiblen Daten erzielt werden. Hier ist noch weiterer Abstimmungsbedarf erforderlich. Es bestehen aber keine grundsätzlichen Bedenken gegen die externe Nutzung von anonymisierten Daten über eine Internetschnittstelle.

Intern dürfen und werden die Daten zur Durchführung von Projekten genutzt. Das Projekt „Geothermie-Atlas“ (SCHULZ et al. 2013), eine Studie über mögliche Nutzungskonkurrenzen zwischen Tiefe Geothermie und CO₂-Einlagerung, baut zu großen Teilen auf den Daten und Informationen auf, die aus dem vom LIAG entwickelten Geothermischen Informationssystem abgeleitet werden konnten.

Der vorliegende Endbericht fasst alle wichtigen Ergebnisse zusammen. In Kap. 2 werden der technische Ausbau, die Pflege und die Internationalisierung des Geothermischen Informationssystems erläutert. Die wichtigsten Regionen für eine hydrothermale Nutzung in Deutschland sind das Norddeutsche Becken, der Oberrheingraben und das Süddeutsche Molassebecken. Kap. 3 stellt die Erweiterungen und Aktu-

alisierung der entsprechenden geologischen Strukturmodelle sowie die Aufnahme von neuen Gebieten vor. Auf die Berechnung und Darstellung der Untergrundtemperaturen in Deutschland und der Gebirgsdurchlässigkeiten in Nordostdeutschland geht Kap. 4.2 ein. Des Weiteren wird gezeigt, wie Säuerungsmaßnahmen den Produktivitätsindex beeinflussen können. Die Möglichkeiten und Ergebnisse des Informationszentrums für geothermische Energienutzung werden in Kap. 5 präsentiert.

Ein umfangreiches Verzeichnis der im Rahmen des Projektes erstellten Schriften, der Vortragstätigkeit und Öffentlichkeitsarbeit schließt den Bericht. Das Geothermische Informationssystem steht unter Berücksichtigung von Eigentumsrechten an den Daten jedem Benutzer zur Verfügung (<http://www.geotis.de>).

2 Technischer Ausbau und Pflege des Geothermischen Informationssystems

Das internetbasierte Informationszentrum für die geothermische Energienutzung beruht auf dem Geothermischen Informationssystem (GeotIS), das als dynamisches System angelegt wurde. Das bedeutet, dass nach Eingang von neuen Informationen eine möglichst umgehende Aktualisierung stattfindet und der Öffentlichkeit über das Internet zur Verfügung gestellt wird.

Aus diesem Grund spielt die Softwareentwicklung für das GeotIS eine sehr große Rolle. Über den Zeitraum von 7 Jahren wurden mehr als 100.000 Zeilen Programmcode geschrieben. Neben der eigentlichen im Internet sichtbaren Web-Anwendung entstanden zahlreiche weitere Werkzeuge zur Konvertierung und Darstellung der vorhandenen Daten. Außerdem musste eine Infrastruktur zur Verwaltung der Code- und Datenbasis geschaffen werden.

Aus rechtlichen Gründen wird zwischen meist vertraulichen Arbeitsdateien für die interne Bearbeitung und externen Präsentationsdaten für die Veröffentlichung im Internet unterschieden. Aus den internen Arbeitsdaten werden durch Generalisierung, Aggregation und Filterung Präsentationsdaten erzeugt, die dem Eigentumsrecht an den Daten nicht mehr unterliegen. Für die Öffentlichkeit sind nur die Präsentationsdaten über die Web-Anwendung zugänglich.

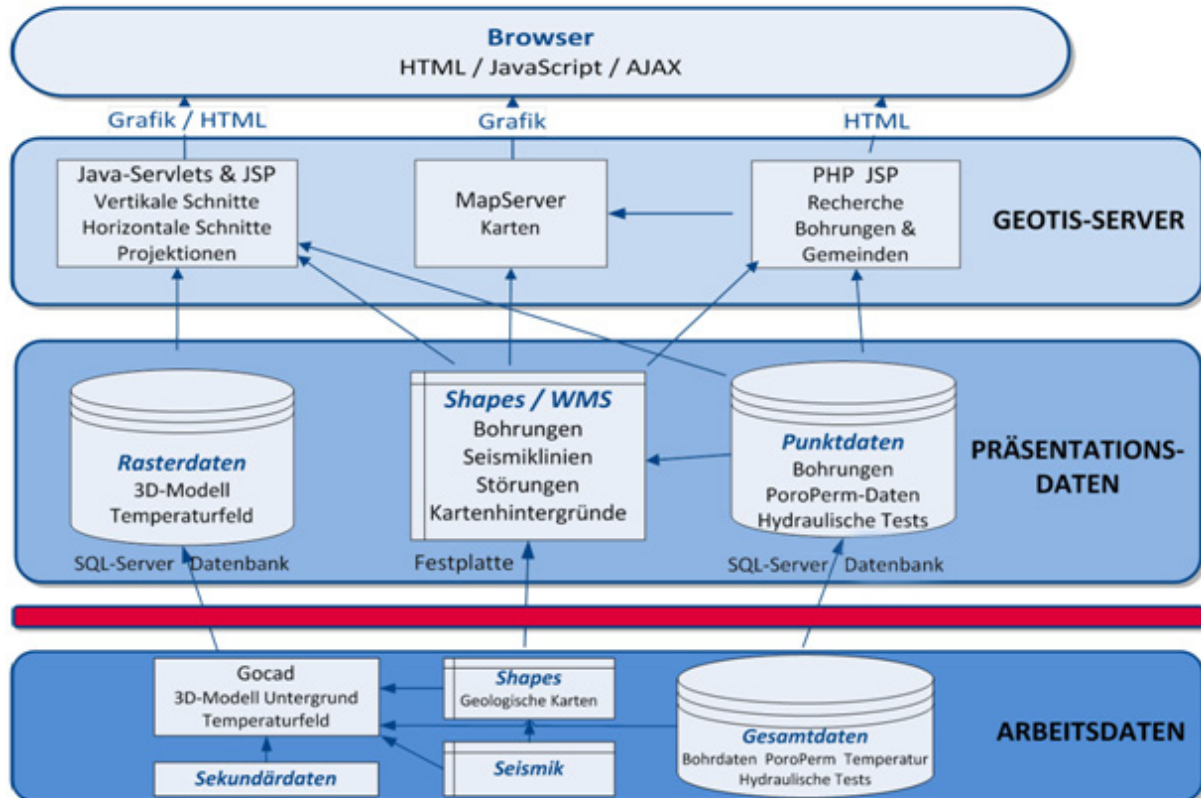


Abb. 2.1: Datenfluss und Architektur der Anwendung.

Die Abb. 2.1 zeigt in schematischer Form die Trennung der internen Daten und der Präsentationsdaten sowie die Datenflüsse und die grundlegende Architektur der Webanwendung. Die Webanwendung besteht aus einem Technologie-Mix aus Java-Servlets, Java-Server-Pages (JSP) und PHP-Seiten, zuzüglich aufwendiger JavaScript-Programmierung. PHP wurde aufgrund der besseren Integration von Mapscript (MapServer, ehemals UMN-Mapserver) gewählt, Java wegen seiner höheren Ausführungsgeschwindigkeit und Stabilität, sowie der besseren Eignung für die Programmierung komplexer Aufgaben.

Es sei hier besonders auf die strikte Trennung von Arbeits- und Präsentationsdaten, visualisiert durch den roten Balken, hingewiesen. Eine detailliertere Dokumentation des Vorgängersystems GeotIS, auf dem das Internet basierte Informationszentrum für die geothermische Energienutzung aufbaut, findet sich in SCHULZ (2009) sowie in AGEMAR et al. (2010).

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Neuerungen und Weiterentwicklungen für das internetbasierte Informationszentrum vorgestellt.

2.1 *Bearbeitung der internen Arbeitsdaten*

Im Bereich der Hard- und Software-Ausstattung sind alle Arbeitsplatzrechner auf Windows-7-Systeme (64 bit) umgestellt worden. Damit konnten die Probleme im Workflow bei der Erstellung der Datenbanken sowie die Engpässe bei der Bearbeitung großer Datenmengen beseitigt werden. Zeitnahe Aktualisierungen von Java und PHP zur Beseitigung von Sicherheitslücken bei den Arbeitsplatzrechnern und besonders bei den Servern waren obligatorisch.

Das Update der Datenbank-Server auf Microsoft-SQL-Server 2008 ermöglicht erstmals, räumliche Abfragen direkt über SQL-Statements auszuführen, ohne andere Programme zu Hilfe nehmen zu müssen.

Abhängig vom Aufgabenbereich der Bearbeiter wird auf den Arbeitsplatzrechnern eine Reihe von speziellen Softwarepaketen eingesetzt:

- ArcGIS für kartographische Darstellungen, Aufbereitung von Kartenmaterial und „typische“ 2D-Fragestellungen;
- GOCAD für die Erstellung von 3D-Modellen zuzüglich der Bearbeitung geostatistischer Fragestellungen;
- Origin, ein Analyse- und Darstellungsprogramm für wissenschaftliche Daten, für Datenbankabfragen, spezielle Datenanalysen und deren Darstellung;
- NetBeans und Eclipse als Entwicklungsumgebungen (entsprechend persönlicher Präferenzen der Bearbeiter) für die Java- und PHP-Programmierung;
- SQL-Server-Management-Studio für die Datenbankentwicklung.

Für die umfangreiche Software-Entwicklung im Projekt ist eine spezielle Infrastruktur notwendig, die die Codebasis verwaltet, Tests durchführt, Schnittstellen überwa-

chen und Dokumentationen erzeugen kann sowie Möglichkeiten zur Erfassung und Verwaltung von Programmfehlern und Erweiterungswünschen bietet.

Diese Infrastruktur ist technisch auf einem virtuellen Server unter Microsoft-Windows-Server 2008 R2 in einer „Private Cloud“ des Rechenzentrums des Geozentrums Hannover realisiert, um ca. 360 Java-Klassen mit 30.000 Zeilen Programmcode, 70.000 Zeilen HTML/JavaScript/CSS/PHP-Code, Skripte für rund 5,5 Mio. Datensätze, 1,8 GB 2D/3D-Rasterdaten und 12,4 GB Kartendaten zu verwalten. Es kommen dabei vier Open-Source-Server-Komponenten zum Einsatz, die untereinander sowie mit verschiedenen Client-Komponenten kommunizieren können (s. Abb. 2.2):

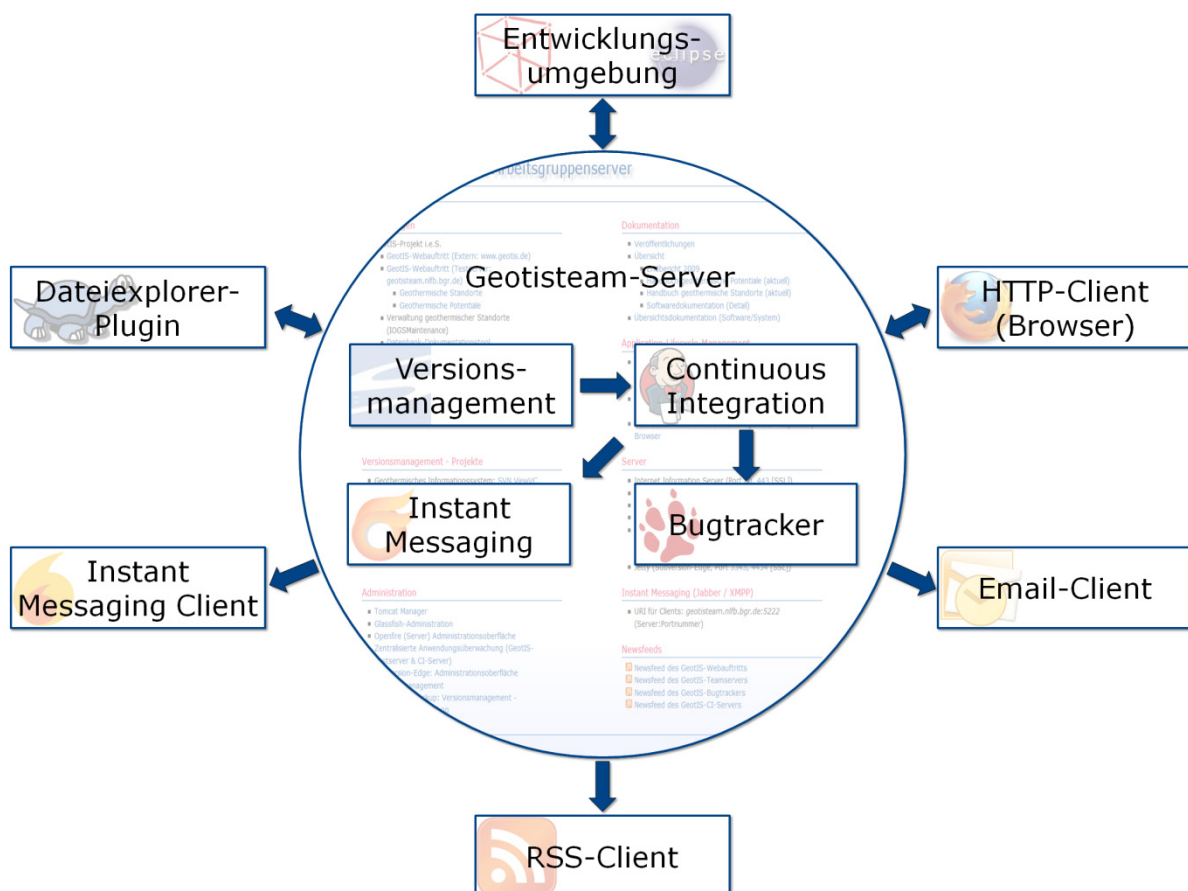


Abb. 2.2: Infrastruktur für die Software-Entwicklung.

- **Versionsmanagement (Subversion):** Erfasst alle Versionsstände in einem Archiv mit Benutzererkennung, Zeitstempel und Revisionsnummer. Dadurch haben alle Entwickler dieselben Versionsstände zur Verfügung, Änderungen lassen sich zurückverfolgen und rückgängig machen.
- **Continuous-Integration (Jenkins):** Ermöglicht das Bauen und Testen einer Anwendung, die automatische Dokumentationserstellung, Anwendung von Metriken und die statische Code-Analyse (mit Findbugs, PMD und Checkstyle) mit dem Ziel der Fehlerminimierung und zur Qualitätssicherung. Die Entwickler

werden sofort über verschiedene Clients über Erfolg oder Misserfolg des Builds informiert.

- **Bugtracker (Trac):** Mittels sogenannter Tickets lassen sich Programmfehler, Verbesserungsvorschläge, Anforderungen und Wünsche der Anwender erfassen und in einem Workflow den Entwicklern zuordnen, zusätzlich wird eine etwaige Kommunikation zu den Tickets aufgezeichnet.
- **Instant Messaging (Openfire):** Dient zum einen der Kommunikation zwischen den Projektmitarbeitern, zum anderen kann es vom Continuous-Integration-Server verwendet werden, um gezielt Nachrichten an einzelne Entwickler zu versenden.

Der Server dient auch gleichzeitig als „Staging Server“, auf dem hinreichend stabile Versionen der Webanwendung den übrigen Teammitgliedern für Akzeptanztests, Demonstrationszwecke und Fehlersuche zur Verfügung gestellt werden, bevor die Freigabe für die produktiven Systeme des Webauftritts erfolgt.

Die Datenbasis des Informationssystems wurde in halbjährlichen Abständen verifiziert und bei Bedarf aktualisiert sowie mit neuen Daten erweitert. Dafür wurden folgende Datensammlungen genutzt:

- Datenbankauszüge aus dem Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe (FIS KW) des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), entsprechend der Vereinbarung mit dem W.E.G. Von besonderem Interesse waren hier Porositäts- und Permeabilitätsdaten von Bohrkernen und die geologischen Bohrprofile.
- Korrigierte und validierte Untergrundtemperaturen entstammen ausschließlich dem Fachinformationssystem Geophysik (FIS GP) des LIAG.
- Validierte und ausgewertete hydraulische Testdaten von zahlreichen Projektpartnern sind aus dem GeotIS-Projekt hervorgegangen. Die Auswertungen mit den zugehörigen Metadaten wurden ebenfalls in die Datenbank übernommen. Dieser Datenbestand wurde im Projekt kontinuierlich ergänzt und aktualisiert. Ein großer Teil der Daten stammt aus der Zusammenarbeit mit dem Projekt „Entwicklung eines Prognosetools zur Unterstützung standortbezogener Aussagen zur Fündigkeit hydrogeothermischer Projekte in Baden-Württemberg“.

Die Transformation der Datenbestände in das Datenschema der Projektdatenbank erfolgt durch Java-Programme, welche SQL-Skripte generieren und listengesteuert starten können. Dieser Ansatz hat sich außerordentlich bewährt, da er eine große Flexibilität bei der Erzeugung verschiedener Datenbankauszüge ermöglicht und es sich damit vermeiden lässt, dass besonders zu schützende Daten auf externe Datenbanken für die Webanwendungen gelangen. Einige als „Präsentationstabellen“ bezeichnete Tabellen enthalten aus Gründen der Performance-Steigerung und des Datenschutzes absichtlich denormalisierte und aggregierte Daten.

Im Bereich der Datentransformation und Aggregation wurden umfangreiche Arbeiten zur Verbesserung der Build-Skripte durchgeführt mit dem Ziel der Optimierung und besseren Wartbarkeit der vorhandenen Skripte. Mit der Implementierung der Version

2008 des Microsoft-SQL-Servers wurde die Datenbankstruktur durch die Nutzung der OGC-konformen „Spatial Extensions“ erweitert. Damit lassen sich geometrische Objekteigenschaften speichern, mit denen einfache Abfragen über geometrische Beziehungen möglich sind. Des Weiteren wurde die Datenbank auf eine bessere Unterstützung von Web- bzw. Web-Map-Services vorbereitet.

Die interne Projektdatenbank enthält derzeit 167 Tabellen mit etwa 5,5 Mio. Datensätzen, von denen etwa 600.000 als generierte bzw. abgeleitete Datensätze zur Performanceoptimierung dienen. Ein wichtiger Teil des Datenbestandes (2,5 GB) sind die generierten und als BLOBs (**B**inary **L**arge **O**bjects) abgespeicherten 2D- und 3D-Rasterdaten der Struktur- und Temperaturmodelle.

Für die jährliche Erfassung der Betriebsdaten tiefegeothermischer Anlagen im Modul „Geothermischer Standorte“ (s. Kap. 5.3) waren umfangreiche Änderungen im Datenbankschema notwendig. Die neu zu erfassende zeitliche Dimension erforderte eine Abkehr von der ursprünglich vom Personenkreis Tiefe Geothermie entworfenen Excel-Tabelle zur Datenerfassung. Zu diesem Zweck wurde eine Datenbank-Benutzeroberfläche konzipiert und in Microsoft Access mittels Visual Basic for Applications (VBA) umgesetzt. Der Zugriff auf die tatsächliche MS-SQL-Server 2008 Datenbank erfolgt dabei mittels ODBC.

Die neue Nutzerschnittstelle dient der Erfassung, Verwaltung und fortwährenden Aktualisierung der Daten und Metadaten geothermischer Anlagen und ermöglicht so, eine bessere und einfachere Erstellung der jährlichen geothermischen Energiebilanzen. Unvollständige Datensätze lassen sich in gewissen Grenzen durch Berechnungen ergänzen. Die Anwendung spricht darüber hinaus eine serverseitige Schnittstelle an, über die die Präsentationstabellen ergänzt und ESRI-Shapefiles mit den aktualisierten Daten erzeugt werden können. Die Änderungen sind unmittelbar auf dem Staging-Server verfügbar und können dort im Kontext mit den anderen Daten visuell überprüft werden.

2.2 Internet-Webanwendung

Die Webanwendung ist ein redundant ausgelegtes System, welches derzeit auf drei physikalischen Servern (Geotis1a, Geotis2 und Geotis3) in der demilitarisierten Zone (DMZ) des Geozentrum-Rechenzentrums installiert ist. Auf den Servern kommt als Betriebssystem die 64-bit-Version von Windows-Server 2008 R2 zum Einsatz. Alle Server sind mit 32 GB RAM und Mehrkernprozessoren ausgestattet. Als Webserver wird der integrierte Internet-Information-Server (IIS) eingesetzt; PHP ist als FastCGI-Anwendung konfiguriert. Für den Java-Teil der Anwendung kommt der Applikationsserver Apache Tomcat zum Einsatz. Dieser ist über die ISAPI-Schnittstelle an den IIS angebunden. Die Datenbank für die Web-Anwendung befindet sich auf einem weiteren Server (SQLEX04) in der DMZ. Auf diesem Server befinden sich ausschließlich Präsentationsdaten, d.h. nicht der Vertraulichkeit unterliegenden Daten. Dieser Datenbankserver wird noch durch ein Failover-System ergänzt.

Die Besonderheit des Systems ist der konsequente Einsatz von Lastverteilung (Loadbalancing). Zwei als Failover-System ausgelegte Hardware-Loadbalancer ver-

teilen die Zugriffe auf die einzelnen Server. Zusätzlich sind auf den Servern jeweils drei Tomcat-Instanzen zur Lastverteilung konfiguriert. Dadurch wird gewährleistet, dass die vorhandene Hardware optimal ausgenutzt und die Serverlast verteilt wird. Eine Virtualisierung der Server in der „Private Cloud“ des Rechenzentrums wurde aufgrund der Charakteristik der Anwendung, zeitweise sehr hohe Prozessorauslastung und großer Speicherbedarf, verworfen.

Das System ist durch Firewalls vor dem Internet, dem Intranet und gemäß Rechenzentrum-Standard durch eine Web-Application-Firewall (WAF) abgesichert (Abb. 2.3). Die WAF überwacht anhand von Heuristiken, Blacklists und weiteren Regeln die Internet- und Intranetverbindungen zur Anwendung und unterbindet in deren Kontext unzulässige Aktionen. Regelmäßige Updates der Serversoftware sind obligatorisch und soweit möglich automatisiert. Die Systemsicherheit bei externen Angriffen wurde im Rahmen eines Sicherheits-Audits nachgewiesen. Bei einem Test durch einen externen Dienstleister widerstand das System erfolgreich allen Penetrationsversuchen.

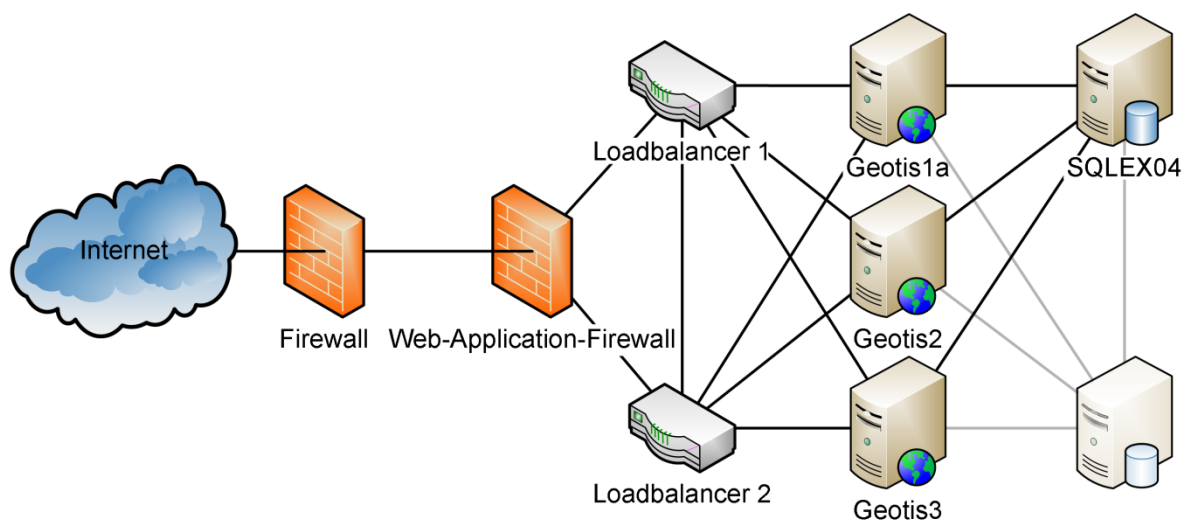


Abb. 2.3: Wichtige Netzwerk-Komponenten für die Web-Anwendung

Seit Mai 2012 ist die Webanwendung einschließlich der zugehörigen Hilfeseiten zusätzlich auch auf Englisch verfügbar. Mit der Internationalisierung wurden die Programmstrukturen geschaffen, die die Erweiterung des Systems um weitere Sprachen erleichtern und unterstützen. Damit wird das Informationssystem für englischsprachige User nutzbar und ist für die Zusammenarbeit mit anderen europäischen Partnerländern vorbereitet.

Während die Internationalisierung im Bereich der Java-Programme relativ einfach war, da dies dort schon seit langem standardisiert ist, war dies im Bereich PHP und JavaScript deutlich schwieriger. Das Problem konnte jedoch durch die sogenannte ICU-Bibliothek für PHP und das Dojo-Toolkit im Bereich JavaScript gelöst werden. Für die Konvertierung zwischen den unterschiedlichen Formaten der Sprachdateien wurde eine Java-Anwendung erstellt, die diese Aufgabe sehr stark vereinfachte.

Folgende Erweiterungen und Aktualisierungen wurden zusätzlich im Bereich der Webanwendung durchgeführt:

- Für die „Standorte geothermischer Nutzung“ und „Gebiete mit Aquifertemperaturen über 60° C“ wurden Web-Map-Services (WMS) eingerichtet. Diese Dienste sind auch über das Geoportal – Themenbereich Geothermie (<http://www.geoportal.de>) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie erreichbar.
- Bedienelemente und Funktionalitäten wurden, u. a. auf der Grundlage von Nutzervorschlägen, ergänzt, erweitert oder neu eingeführt.
- Zur Verbesserung der Nutzer-Anwenderschnittstelle wurde mit der Umstellung auf die JavaScript-Bibliothek Dojo und deren Widget-Bibliothek Dojo/Dijit begonnen; ältere Bibliotheken werden dabei ersetzt.
- Im Modul „Geothermische Potentiale“ wurde die Benutzerschnittstelle für Vertikalschnitte, Horizontalschnitte, Horizonttemperaturen und Bodentemperaturen vereinheitlicht.
- Für die Horizont-Farbauswahl wurde die Benutzerschnittstelle verbessert, verschiedene Farbschemata stehen zur Verfügung, neue Farbschemata können leichter hinzugefügt werden.
- Mit der Einbindung der Java-Bibliothek GeoTools können 3D-Shape-Dateien verwendet werden, statt wie bisher nur 2D-Shape-Dateien.
- Zur Gewinnung neuer Kooperationen und um den weiteren Ausbau der Webanwendung voranzutreiben, wurde eine umfangreiche IT-Übersichtsdokumentation erstellt und den staatlichen geologischen Diensten übergeben (AGEMAR et al. 2010).
- Im Bereich „Geothermische Potentiale“ der Webanwendung wurden die Kartenebenen „Gebirgsdurchlässigkeitszonen (T/H) für die geothermisch relevanten Aquifere im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens“ sowie „Salzstrukturen Norddeutschlands“ (BGR) neu hinzugefügt.
- Die summarische Darstellung der Energiedaten im Modul „Geothermische Standorte“ wurde durch eine differenzierte Berechnung verbessert.
- Für die geologischen Untergrundmodelle von Hessen und Nordwestdeutschland mussten in der Webanwendung zahlreiche programmtechnische Anpassungen vorgenommen werden.
- Unabhängig von der Internet-Anwendung können mit der GeotIS-App skalierbare Temperaturkarten für hochwertige Drucke erzeugt werden.
- Um GOCAD-Objekte mit unterschiedlichen Koordinatensystemen verarbeiten zu können, wurde ein Programm zur Umsetzung der Koordinatenkonvertierung geschrieben.

Durchschnittlich wurde im Jahr 2012 pro Monat rund 3.500-mal auf das Informationssystem zugegriffen.

3 Erweiterung und Aktualisierung des geologischen Untergrundmodells

3.1 Nordostdeutschland

Das geologische Untergrundmodell für Nordostdeutschland nimmt in GeotIS eine Sonderstellung ein, da es mit Abstand das umfassendste Strukturmodell darstellt. Bereits im Vorgängerprojekt „Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland“ (SCHULZ 2009) wurde damit begonnen, dieses Modell auf der Grundlage der Kartenwerke „Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR“ (WORMBS et al. 1989) und „Geologische Grundlagen zur Geothermienutzung in Nordost-Deutschland“ (WORMBS et al. 1992) Blatt für Blatt im Maßstab 1:200.000 unter Verwendung der Programme ArcGIS und GOCAD aufzubauen. Diese Kartenwerke wurden vor rund 25 Jahren mit der Hilfe von Regionalkarten des VEB Geophysik (REINHARDT 1986-1989) vom Zentralen Geologischen Institut (ZGI) bzw. von der Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH Berlin (UWG Berlin) konstruiert. Die Karten decken den östlichen Teil des Norddeutschen Beckens mit den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Teilen von Sachsen-Anhalt ab und sind in 10 CC-Blätter unterteilt. Für das Gebiet Salzwedel existiert für jede Schicht noch ein weiteres Kartenblatt mit höherem Detailgrad. Die Karten umfassen eine Reihe von stratigraphischen Basisflächen mesozoischer Sedimentfolgen:

- Unterkreide
- Korallenoolith
- Bajoc
- Aalen-Sandstein
- Toarc
- Lias
- Schilfsandstein
- Solling / Detfurth.

Da die Formationen im Bajoc und im Toarc sowie der Korallenoolith nur lokal von Bedeutung sind, wurden diese nicht in den Modellierungsprozess mit aufgenommen.

Nach Westen schließt sich das Modellgebiet für Nordwestdeutschland (Kap. 3.2) an, wobei vor allem die Nutzhorizonte des Rhät (im Wesentlichen Postera- und Contorta-Schichten) eine westliche Fortsetzung erfahren. Das Norddeutsche Becken gehört zum Mitteleuropäischen Beckensystem, welches sich seit dem Perm bis zum Ende der Kreide sukzessive vertiefte. In diesem Zeitabschnitt entstanden die Sedimentfolgen, die als Zielhorizonte für die geothermische Energienutzung dreidimensional zu erfassen waren.

Berücksichtigt wurden Kriterien für eine hydrothermale Nutzung geothermischer Reservoirs. Hierzu zählen unter anderem eine Mindestmächtigkeit permeabler Schichten von 25 m, eine regionale Verbreitung, sowie eine Tiefenlage, die eine Formationstemperatur von mindestens 40 °C erwarten lässt. Ziel der Strukturmodellierung ist die räumliche Darstellung geologischer Körper bzw. Sedimentformationen, welche

mit hoher Wahrscheinlichkeit einen oder mehrere geeignete Grundwasserleiter erwarten lassen. Da Isobathen, Störungsverläufe und Verbreitungslinien die räumliche Gestalt eines geologischen Körpers nicht vollständig festlegen, muss diese Informationslücke bei der 3D-Modellierung durch die geologische Interpretation des Modellierers geschlossen werden. Die größten Schwierigkeiten bereiten dabei folgende Aspekte:

- Fehlende Information über Azimut und Einfallen der Störungsflächen
- Überschneidungen zwischen Hangendem und Liegendem
- Inkonsistente Tektonik
- Keine Kartengrundlage für die Top-Flächen.

Bezüglich der Geometrie der Störungsflächen wurden mangels genauerer Informationen sämtliche Störungen vertikal modelliert. Bei größeren Überschneidungen oder bei anderen inkonsistenten Strukturen wurden in Kooperation mit dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG) das Kartenwerk vom VEB Geophysik (REINHARDT 1986-1989) sowie Bohrdaten zur Klärung hinzugezogen. Inkonsistente Tektonik äußert sich zum Beispiel in gegenläufigen Versätzen zweier Flächen entlang einer Störung. Eine umfassende Überprüfung aller Störungen konnte aus Zeitgründen nicht durchgeführt werden.

Die fehlenden Top-Flächen stellen für die Abschätzung des geothermischen Potentials eines geologischen Körpers vor allem dann ein Problem dar, wenn Grundwasserleiter über mehrere Stockwerke verteilt vorliegen und die Temperaturen an der Basisfläche nur eine Obergrenze der Reservoir-Temperaturen darstellen. Erst wenn Basis- und Top-Fläche vorhanden sind, können Formationen als geologische Körper betrachtet werden. Dabei stellt die Höhendifferenz zwischen diesen beiden Flächen die stratigraphische Mächtigkeit dar. Diese darf nicht mit der kumulierten Mächtigkeit der Grundwasserleiter verwechselt werden, da diese nur die durchlässigen Sandsteine berücksichtigt.

Für die Topflächen wurden die Basisflächen kopiert und nur in Randbereichen bei Überschneidungen beschnitten. Um die Tiefenlage der Topflächen zu bestimmen, wurde regional anhand von Bohrprofilen eine mittlere Mächtigkeit der stratigraphischen Einheit ermittelt und die Topfläche vertikal verschoben. Anschließend wurde die Fläche an alle Bohrprofile kleinräumig angepasst. Auch an den Blattübergängen wurde die Tiefenlage der Topflächen angeglichen. Bei der Modellierung wurden auch die Abstände zur darüber liegenden Fläche berücksichtigt. Bei stratigraphischen Einheiten jünger als Lias wurde zudem der Einfluss der Halokinese auf die Sedimentmächtigkeiten bei der Modellierung beachtet. So wurde beispielsweise die Mächtigkeit in Randsenken von Salzdiapiren angehoben. Da diese Arbeiten im Vorgängerprojekt und auch zu Beginn dieses Projekts blattweise durchgeführt wurden, ergaben sich mit Ausnahme der Unterkreide für alle Horizonte Mächtigkeitsänderungen entlang der Blattkanten. Durch die Angleichung, bzw. Glättung des vertikalen Versatzes an den Blatträndern konnte diese jedoch nur bei sehr genauer Betrachtung von langen Profilschnitten, die sich über mehrere Blätter erstrecken, sichtbar werden. Dieses Problem wurde gelöst, in dem mit neuen, stärkeren Rechnern die Topflächen nicht

mehr blattweise, sondern als Gesamtflächen neu modelliert wurden. Mit Ausnahme des Mittleren Buntsandsteins wurde die großräumige Variabilität der stratigraphischen Mächtigkeit zunächst durch Kriging abgeschätzt. Anschließend wurde entlang von Störungszonen, Schwellen und Senken die stratigraphische Mächtigkeit dem geologischen Aufbau angepasst. Neben der Neumodellierung von Top-Flächen wurden vereinzelt auch die bereits bestehenden Flächen korrigiert, soweit Fehler offenkundig wurden. Darüber hinaus wurden für die Blätter Bad Doberan / Schwerin, Güstrow, Neuruppin, Eberswalde / Bad Freienwalde die Basis- und Top-Flächen für den Mittleren Buntsandstein modelliert. Für die Basisflächen dienten Isobathen, Verbreitungsgrenzen und Störungsverläufe als Datenbasis, welche vom LUNG im Rahmen des Vorgängerprojekts erstellt worden waren (BRANDES & OBST 2009a; BRANDES & OBST 2009b). Die Top-Fläche des Mittleren Buntsandsteins wurde auf der Grundlage des Rx-Leithorizonts S1 des Regionalen Kartenwerkes des VEB Geophysik (REINHARDT 1986-1989) konstruiert.

Nach Süden wurde das Strukturmodell für alle fünf Horizonte erweitert, so dass die geologische Modellierung für das gesamte Gebiet der Kartenwerke „Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR“ (WORMBS et al. 1989) und „Geologische Grundlagen zur Geothermienutzung in Nordost-Deutschland“ (WORMBS et al. 1992) im Maßstab 1:200.000 für fast alle wichtigen Zielhorizonte abgeschlossen ist (Abb. 3.1).

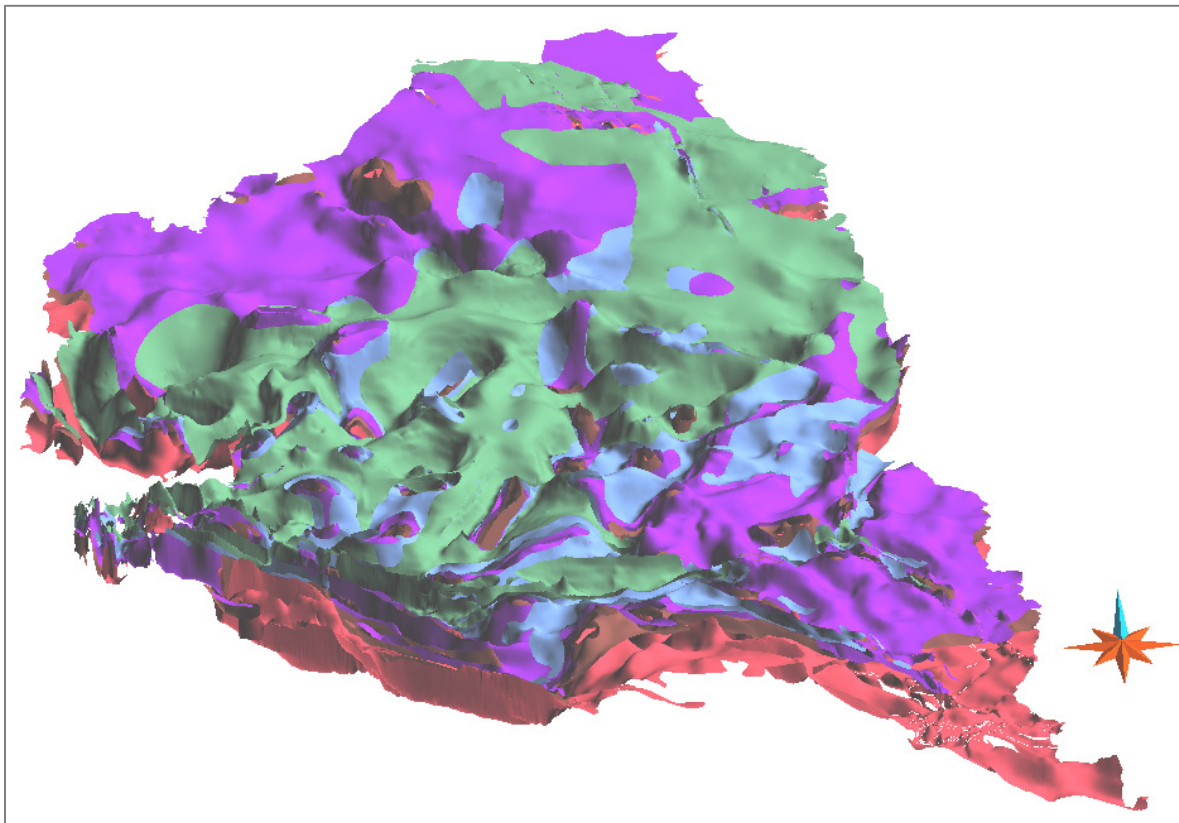


Abb. 3.1: Darstellung der mesozoischen Basisflächen im 3D-Strukturmodell für den östlichen Teil des Norddeutschen Beckens: Unterkreide (grün), Aalen (blau), Lias (violett), Schilfsandstein (braun), Mittlerer Buntsandstein (rot).

Nur für das Rhät muss noch eine Basisfläche konstruiert werden. Die älteren Rhät-Sandsteine liegen in der Regel unterhalb der Lias-Basis und eignen sich vielerorts in Nordostdeutschland besonders gut für die hydrothermale Energienutzung. In den Kartenwerken wurden aufgrund der dichten Abfolge mehrerer Sandsteinhorizonte im Oberen Keuper und im Unterjura diese Stufen als Rhät-Lias-Aquifer-Komplex zusammengefasst und lediglich die Lias-Basis als Bezugsfläche dargestellt. Zur Konstruktion der Rhät-Basisfläche könnte der Rx-Leithorizont K2 bzw. T7 (Basis Dolomitmergelkeuper/Arnstadt-Formation) des Regionalen Kartenwerkes des VEB Geophysik (REINHARDT 1986-1989) verwendet werden.

Für Nordostdeutschland stehen in GeotIS neben dem geologischen Modell auch Lithofazies-Karten der Unterkreide, des Doggers und dem Aquifer-Komplex Lias-Rhät zur Verfügung. Diese wurden bereits im Vorgängerprojekt vom LUNG in Zusammenarbeit mit dem LIAG entwickelt und zeigen in Form von Kartenebenen in grober Unterteilung die kumulierte Mächtigkeit der Sandsteine in den Zielhorizonten (FELDRAPPE et al. 2008). In einem Projekt der Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN) werden zurzeit in Kooperation mit der TU Freiberg und dem LUNG die mesozoischen Ablagerungssysteme genau untersucht. Der Fokus der Untersuchung liegt auf den Sandsteinen des Mitteljuras (ab Bajoc) bis zum Mittleren Keuper (Schilfsandstein/Stuttgart-Formation) im Norddeutschen Becken. Im Projekt sollen die Sandsteine dabei auf die lokale Eignung als tiefe Grundwasserleiter untersucht und charakterisiert werden. Eine wichtige Rolle spielen die Ablagerungsmilieus, insbesondere die homogenen Ablagerungen in den Verteilerrinnen. Dabei sollen die Sandsteine verschiedenen Faziestypen zugeordnet und ihre Durchlässigkeit bestimmt werden. Es wurde mit GTN vereinbart, dass die Ergebnisse in Kartenform dem LIAG für GeotIS zur Verfügung gestellt werden.

3.2 Nordwestdeutschland

Im Jahr 2010 wurde mit der Prüfung begonnen, wie das Kartenwerk „Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Ressourcen in Nordwestdeutschland“ (BEUTLER et al. 1994) für GeotIS aufbereitet und als Grundlage für Fazieskarten und 3D-Modelle verwendet werden kann. Für die Weiterbearbeitung wurden folgende Karten ausgewählt:

- Tiefenlage Basis Oberer Buntsandstein (Röt)
 - Nettomächtigkeit Barrensandstein
- Basis Mittelrhät
 - Nettomächtigkeit Unterrhät-Sandsteine
 - Nettomächtigkeit Mittelrhät-Sandsteine
- Basis Wealden
- Basis marine Unterkreide
 - Nettomächtigkeit Unterkreide Sandsteine

Der Barrensandstein, auch Doetlingen-Sandstein genannt, erreicht im Modellgebiet Mächtigkeiten von teilweise bis zu 80 m und erstreckt sich in einem relativ schmalen, ca. 15 – 25 km breiten Streifen vom westlichen Emsland bis nach Salzwedel. Der

Barrensandstein besitzt sehr gute Porositäten von 20 – 24 % und weist nur in geringem Umfang Ton- und Schluff-Einschaltungen auf (BEUTLER et al. 1994). Aufgrund von Versenktiefen von üblicherweise 3.000 m bis 4.000 m werden Temperaturen von bis zu 140 °C erreicht. Er ist für Niedersachsen der wichtigste Grundwasserleiter für eine geothermische Nutzung innerhalb des Mittleren Buntsandsteins. Der Quickborn-Sandstein erreicht weiter nördlich in Schleswig-Holstein und eng begrenzt im westlichen Emsland eine für die geothermische Nutzung ausreichende Mächtigkeit. Da aber das geothermische Potential von Schleswig-Holstein vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) in naher Zukunft noch genauer erfasst wird, wurde der Quickborn-Sandstein vorerst noch nicht in GeotIS aufgenommen. Der Detfurth-Sandstein erreicht zwar in Niedersachsen vereinzelt auch Mächtigkeiten von bis zu 50 m, ist aber nur lokal für die geothermische Nutzung geeignet.

Im Rhät sind die Sandsteine der Postera-Schichten (Unterrhät) im östlichen Niedersachsen bis zu 40 m mächtig. Für die geothermische Nutzung bedeutsamer sind jedoch die Sandsteine der Contorta-Schichten (Mittelrhät). Sie erreichen im östlichen Niedersachsen bis zu 100 m Mächtigkeit. Tendenziell nimmt die Sandsteinmächtigkeit nach Westen hin ab, wobei größere Mächtigkeiten bevorzugt in Tieflagen zwischen Salzstrukturen auftreten. Die Schichtfolgen des Mittelrhät sind im östlichen Niedersachsen überwiegend in Teufen zwischen 1.500 und 2.500 m anzutreffen, teilweise werden aber auch Versenkungen von über 4.000 m erreicht. Damit liegt die Temperaturspanne bei etwa 50 °C bis 100 °C, wobei lokal auch 140 °C erreicht werden können.

Im Raum Hannover, Celle, Braunschweig kommen sowohl die Sandsteine des Wealden wie auch die Sandsteine des transgredierenden Valangin für eine geothermische Nutzung in Frage. Die Sandsteine treten in Wechselfolge mit dünnen Tonsteinlagen auf, wobei das Verhältnis Sandstein zu Tonstein regional starken Schwankungen unterliegt. Vermutlich bilden die Sandsteine des Wealden und des Valangin dennoch einen einheitlichen Aquiferkomplex. Die Wealden-Basis erreicht bei Teufen von 1.000 m bis 1.500 m Temperaturen von 40 °C bis 70 °C, wobei lokal in größeren Tiefen auch Temperaturen über 100 °C im Modellgebiet angetroffen werden. Stratigraphisch muss der „deutsche Wealden“ vom Wealden an seiner Typuslokalität in England unterschieden werden; die traditionsbedingt mit „Wealden“ bezeichnete Einheit ist dem stratigraphischen Begriff „Bückeberg-Formation“ zuzuordnen.

Die Konstruktion der triangulierten Flächen erfolgte analog der Vorgehensweise für Nordostdeutschland. Die Karten wurden gescannt, georeferenziert und anschließend vektorisiert, wobei der letzte Schritt in Auftrag gegeben wurde. Die ESRI-Shape Dateien wurden in GOCAD importiert und aus Isobathen, Störungslinien und Umrisslinien wurden 3D-Flächen modelliert. Im Unterschied zu Nordostdeutschland stimmen die Isobathen in vielen Fällen nicht mit lokalen Bohrprofilen überein – möglicherweise, weil diese den damaligen Bearbeitern noch nicht vorlagen. Die vertikalen Abweichungen betragen mehrere 10er bis wenige 100er Meter.

Da auch hier meist jeweils nur ein stratigraphischer Tiefenbezug zu einem oder mehreren Grundwasserleiter vorlag, mussten weitere Flächen konstruiert werden, um

sowohl Unter- wie Oberkante einer stratigraphischen Einheit abzubilden. Der Barrensandstein tritt zu Beginn der Solling-Folge auf, demzufolge wurde die Basis der Solling-Folge als Unterkante modelliert. Die Oberkante wurde von der Basisfläche Röt abgeleitet.

Unter den Rhät-Sandsteinen sind die der Contorta-Schichten am bedeutendsten. Daher wurde zur Fläche der Mittelrhät-Basis die Rhät-Topfläche hinzugefügt. Diese wurde auf der Grundlage der Lias-Basisfläche aus dem Geotektonischen Atlas (BALDSCHUHN et al. 1996; BALDSCHUHN et al. 2001) bzw. dem Geotektonischen Atlas 3D (GTA-3D) und Bohrprofilen ermittelt. Obwohl die Isobathen der Mittelrhät-Basis vor 20 Jahren ebenfalls auf der Grundlage der Lias-Basis aus dem Geotektonischen Atlas konstruiert wurden und das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) bei der Umsetzung des Geotektonischen Atlas zum GTA-3D keine Korrekturen vornahm, zeigen die beiden resultierenden Flächen zahlreiche räumliche Überschneidungen. Diese räumlichen Überschneidungen sind geometrisch falsch, da es eine negative Mächtigkeit nicht gibt. Diese Fehler mussten im 3D-Modell aufwändig manuell korrigiert werden.

Da die Postera-Schichten noch unterhalb der Mittelrhät-Basis liegen, müsste eigentlich auch hier für das östliche Niedersachsen wie für Nordostdeutschland noch eine Rhät-Basisfläche konstruiert werden. Diese Arbeit soll in naher Zukunft noch umgesetzt werden.

Für die 3D-Modellierung der Unterkreide stehen aus dem Kartenwerk „Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Ressourcen in Nordwestdeutschland“ (BEUTLER et al. 1994) zwei Isobathen-Karten zur Verfügung: Basis Wealden und Basis marine Unterkreide. Für eine Teilfläche konnte auch aus dem GTA-3D eine Basisfläche für die marine Unterkreide in die Modellierung einbezogen werden. Leider stellte sich das Gebiet aufgrund umfangreicher halokinetischer Verformungen als äußerst schwer modellierbar heraus. Die aus den Isobathen und Störungsverläufen generierten Flächen zeigten zahlreiche räumliche Überschneidungen sowohl untereinander als auch mit der Teilfläche aus dem GTA-3D. Dabei stellten Flächenfehler aufgrund falsch beschrifteter Isobathen die am einfachsten zu lösenden Problemfälle dar. Die größte Tiefenabweichung konnte beim ehemaligen Erdölfeld Eilte-Nienhagen westlich der Aller-Leine-Mündung beobachtet werden. Aufgrund der in den Karten nicht eingezeichneten Synklinalstruktur war die Wealden-Basis bis zu 800 m zu tief dargestellt worden. Auch hier waren umfangreiche Korrekturen an den Modellflächen erforderlich, so dass der ursprüngliche Plan, noch eine Top-Fläche für den Valangin zu konstruieren aus Zeitmangel aufgegeben werden musste.

Für Nordwestdeutschland stehen damit für drei Formationen 3D-Strukturmodelle in Gestalt von Basis- und Topflächen zur Verfügung (Abb. 3.2).

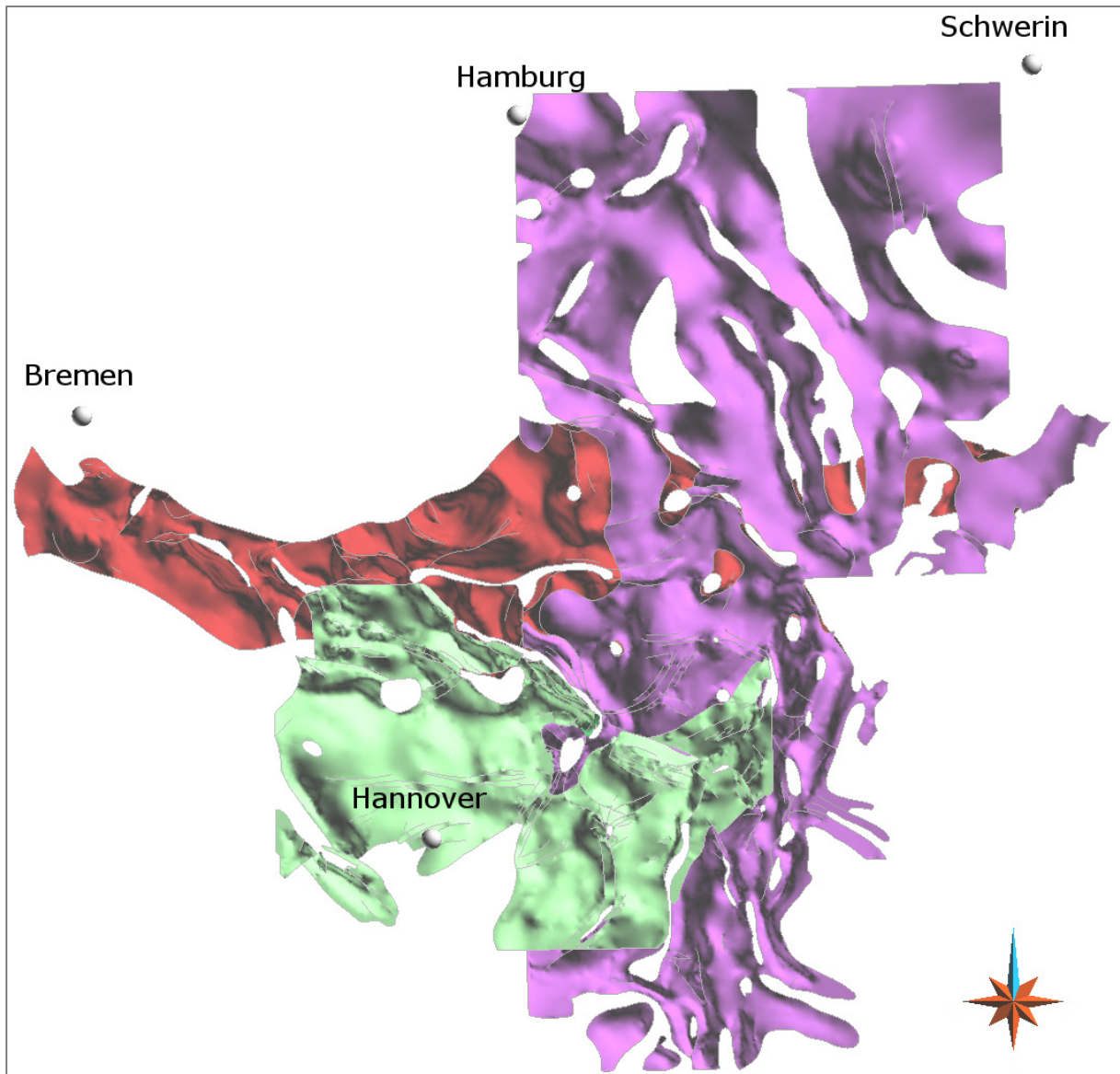


Abb. 3.2: Darstellung der triangulierten Topflächen im 3D-Strukturmodell für das östliche Niedersachsen: Wealden (grün), Rhät (violett), Solling (rot).

3.3 *Hessen und nördlicher Oberrheingraben*

Anfang 2008 initiierte das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV) das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „3D-Modell der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen“, das vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) und dem Institut für Angewandte Geowissenschaften (IAG) der TU Darmstadt gemeinsam durchgeführt wurde. Ein Ergebnis dieses Projekts ist unter anderem ein geologisches 3D-Strukturmodell der für die geothermische Nutzung relevanten stratigraphischen Einheiten (ARNDT 2012). Hierzu wurden Daten aus dem Archiv des HLUG und aus der Literatur aufbereitet und anschließend mit dem Programm GOCAD für die Konstruktion der Basis- und Topflächen verwendet. Aus diesem 3D-Modell wurden geologisch-geothermische Profilschnitte abgeleitet (ARNDT 2012; BÄR 2012), die bereits 2012 mit Isothermen aus dem aktuellen 3D-Temperaturmodell vom LIAG ergänzt und in GeotIS veröffentlicht wor-

den sind. Die 3D-Modelle folgen im Frühjahr 2013. Eine Besonderheit des hessischen 3D-Modells ist, dass die Störungsflächen mit Einfallswinkel dargestellt sind, was die Aussagekraft und Genauigkeit gerade im Bereich des tektonisch stark beanspruchten Oberrheingrabens sehr erhöht. Leider war die technische Infrastruktur von GeotIS für diese Besonderheit nicht ausgelegt. Da zukünftig 3D-Strukturmodelle weniger aus alten Karten denn aus Seismikdaten abgeleitet werden, sollen die Störungen in neueren Modellen in einem neuen Projekt korrekt mit Einfallen dargestellt werden. Für die aktuelle Situation wurde nur eine Zwischenlösung in GeotIS realisiert, die in der Lage ist, die im Oberrheingraben häufig auftretenden Abschiebungen mit Einfallswinkel darzustellen.

In Hessen kommen für eine geothermische Nutzung vor allem die Sedimente und Vulkanite der unteren Nahe-Subgruppe des Rotliegend im Oberrheingraben in Frage, die Mächtigkeiten von mehr als 500 m und Temperaturen über 150 °C erreichen. Als weiterer Nutzhorizont wurde der Buntsandstein in GeotIS aufgenommen, wenn auch das vermutete geothermische Potenzial hier deutlich geringer ausfällt.

3.4 Südlicher Oberrheingraben

Für den südlichen Oberrheingraben konnte noch kein 3D-Strukturmodell für GeotIS bereit gestellt werden. Daher beschränkt sich das Angebot auf die geologisch-geothermischen Profilschnitte vom Regierungspräsidium Freiburg (RPF), die mit Isothermen vom aktuellen 3D-Temperaturmodell vom LIAG ergänzt wurden.

3.5 Süddeutsches Molassebecken

Im bayrischen Bereich des Molassebeckens wurde das 3D-Strukturmodell der Topfläche des Oberjura (Malm) einschließlich der Purbeck-Formation auf der Grundlage des überarbeiteten Geothermie-Atlas von Bayern (FRITZER et al. 2010) neu erstellt (Abb. 3.3). Eine Überarbeitung des bestehenden Modells war nicht möglich, da sich die neue Karte vor allem in den Störungsverläufen deutlich von der Vorgängerkarte unterscheidet.

Für das westliche Molassebecken (Anteil Baden-Württemberg) wurde auf der Grundlage der Oberjura-Karte „Bodensee-Oberschwaben“ (BERTLEFF et al. 2005) ebenfalls ein 3D-Strukturmodell erstellt und in der Grenzregion zu Bayern an das Modell von Bayern angeglichen (Abb. 3.3).

Die Karte wurde auf der DVD „Hydrogeologische und geothermische Grundlagen zur Nutzung der tiefen Geothermie/Hydrogeothermie in der Region Bodensee – Oberschwaben“ veröffentlicht, stellt jedoch lediglich eine Kompilation älterer Arbeiten und damit keinen neuen Kenntnisstand dar (STOBER, pers. Mitt. 2011). Bei der Fortsetzung der Fläche Top Oberjura nach Westen konnten keine gravierenden Abweichungen zum bayerischen Modell festgestellt werden. Allerdings zeigen sich geringe Differenzen zu den von Jodocy und Stober neu erstellten Profilschnitten im westlichen Teil des Molassebeckens. Neben geringfügig variierender Tiefenlage stimmt die Lage von Störungen häufig nicht genau überein.

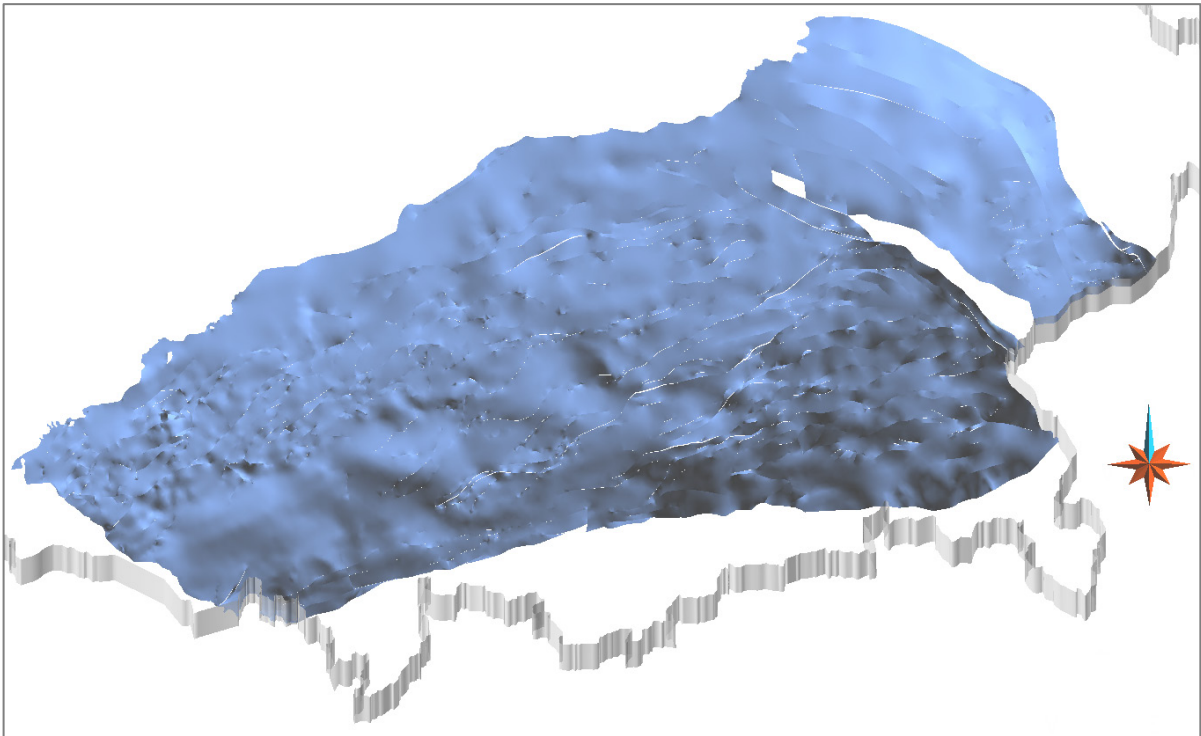


Abb. 3.3: Darstellung der Oberjura-Topfläche (blau) im 3D-Strukturmodell für das Süddeutsche Molassebecken. Die Landesgrenze ist als graues Band dargestellt.

3.6 Weitere Gebiete

Die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) hat von 2010 bis 2012 ein 3D-Modell des thüringischen Beckens mit dem Programm GOCAD erstellt. Dieses Modell bildet das Deckgebirge (Permokarbon bis Quartär) hochaufgelöst ab und würde in Verbindung mit einem Temperaturmodell die Einschätzung geothermischer Potentiale ermöglichen. Die geologische Modellierung erfolgt zurzeit mit dem Programm SKUA auf der Grundlage von Seismik, Bohrprofilen und Oberflächenkarten und ist in das Forschungsvorhaben „INFLUINS - Integrierte Fluidynamik in sedimentären Becken“ eingebunden.

Mit der TLUG wurde vereinbart, das 3D-Strukturmodell des Thüringer Beckens in GeotIS einzubinden. Leider ist es dazu bis heute nicht gekommen. Damit beschränkte sich die Zusammenarbeit mit der TLUG auf den Abgleich von Metadaten zu Bohrungen in Thüringen.

In Schleswig-Holstein wurde am LLUR im Rahmen eines Projekts auf der Basis des Geotektonischen Atlases ein geologisches 3D-Modell mit dem Programm GOCAD erstellt. Die Modellflächen potentieller Speicherhorizonte in Schleswig-Holstein könnten in einem Folgeprojekt in GeotIS eingebunden werden. Aus geothermischer Sicht ist im südlichen Schleswig-Holstein der Glückstadt-Graben mit seinen mächtigen, tiefreichenden Keuper-Ablagerungen besonders interessant. Eine Kooperation mit dem LLUR ist geplant.

4 Geothermische und hydraulische Parameter

4.1 *Untergrundtemperaturen in Deutschland*

Das neue deutschlandweite 3D-Temperaturmodell basiert auf gemessenen Temperaturen und umfasst den gesamten Bereich von der Oberfläche bis 5.000 m unter NN. Die Gitterpunktabstände des Modells betragen in den Horizontalebene jeweils 2.000 m und der Abstand in der Vertikalen beträgt 100 m. Das Modell wurde mit Universal Kriging erstellt. Eine detaillierte Beschreibung des 3D-Temperaturmodells und der verwendeten Daten findet sich in AGEMAR et al. (2012).

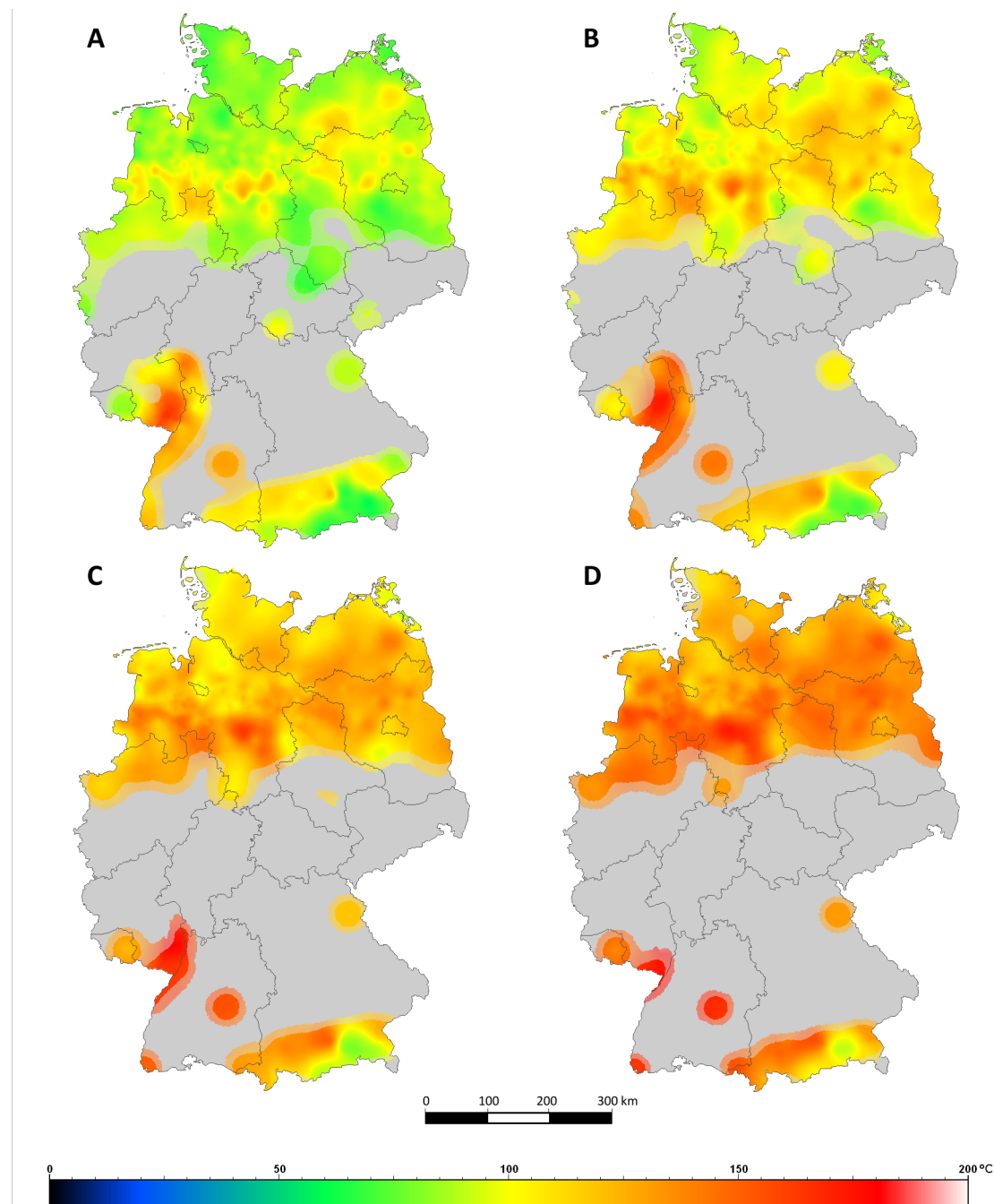


Abb. 4.1: Verteilung der Untergrundtemperatur in den Tiefen -2.500 m NN (A), -3.000 m NN (B), -3.500 m NN (C) und -4.000 m NN (D). Bereiche ohne ausreichende regionale Datengrundlage für eine geostatistische Temperaturprognose sind grau dargestellt.

Das 3D-Temperaturmodell steht den GeotIS-Nutzern frei zur Verfügung und kann auf vielfältige Weise interaktiv abgerufen werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Temperaturkarten wurden die Daten räumlich und nicht flächenweise interpoliert. 2D-Algorithmen bergen die Gefahr, mit zunehmender Tiefe inkonsistente Temperaturgradienten zu produzieren.

Das aktuelle 3D-Temperaturmodell wurde zuletzt im November 2011 auf der Grundlage einer erweiterten Datenbasis aktualisiert (Abb. 4.1). Die nächste Aktualisierung wurde bereits vorbereitet, indem noch einmal viele neue Temperaturdaten aus Geothermie-Bohrungen neu im Fachinformationssystem (FIS) Geophysik aufgenommen wurden. Unter anderem hat sich auch die Datendichte entlang der deutsch-niederländischen Grenze durch zusätzliche Temperaturwerte vom Geologischen Dienst der Niederlande (TNO) deutlich verbessert.

Das FIS Geophysik des LIAG (KÜHNE et al. 2003) stellt GeotIS Temperaturwerte aus ca. 10.000 Bohrungen bereit. 2011 wurde es mit neuen Datensätzen aus Baden-Württemberg (AGEMAR et al. 2013) und Bayern erweitert. Neben den Untergrundtemperaturen wurden auch meteorologische Daten der Jahre 1961-1990 zur Bestimmung der durchschnittlichen Bodentemperatur verwendet. Die Bodentemperaturbasiskarte wurde im Projektzeitraum noch einmal optimiert und erweitert. Sie deckt nun auch die Grenzregionen zu den Nachbarländern Deutschlands ab. Als Datengrundlage dienen das erweiterte Geländemodell des LIAG, die durchschnittlichen Lufttemperaturen von 675 Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes und von 37 weiteren Stationen im europäischen Ausland. Diese Lufttemperaturen wurden für den durchschnittlichen Temperaturanstieg in Deutschland korrigiert und stellen eine gute Näherung für die Bodentemperatur in 13 m Tiefe dar, einem Tiefenbereich, der weitgehend frei von jahreszeitlichen Schwankungen ist.

Neben Vorhersagen der Untergrundtemperatur sind im System auch die aus der normierten Varianz berechneten Standardabweichungen der Kriging-Werte gespeichert. Mit den Standardabweichungen kann die Zuverlässigkeit der Vorhersagen abgeschätzt werden. Der Nutzer kann zum Beispiel im Browserfenster mit dem Mauszeiger diese Standardabweichungen zur Untergrundtemperatur punktgenau in Karten- und Schnittdarstellungen abrufen.

4.2 Darstellung von Gebirgsdurchlässigkeiten

Um die hydraulische Leitfähigkeit geologischer Schichten zu beurteilen, benötigt man verlässliche Werte von charakteristischen hydraulischen Parametern. Diese werden mit hydraulischen Tests an Bohrlöchern und Laboruntersuchungen an Gesteinsproben ermittelt. Mit den Untersuchungen werden u. a. die Gebirgsdurchlässigkeiten (Transmissivitäten (T)) der getesteten Schichten und die Porositäten und Permeabilitäten der Gesteine bestimmt. Ein wichtiges Ziel ist die Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte k_f der untersuchten Schichten. Der Durchlässigkeitsbeiwert oder auch hydraulische Leitfähigkeit beschreibt die Durchlässigkeit eines Mediums, in diesem Fall das Gestein, gegenüber einer viskosen Flüssigkeit mit einer bestimmten Dichte. Mit Kenntnis der Schichtmächtigkeit kann die Transmissivität T der Schicht bestimmt

werden (s. Formel 4.2). Die Transmissivität ist ein integraler Wert über einen Aquifer (Testhorizont) mit der Mächtigkeit H . Der T/H-Wert entspricht dem Durchlässigkeitsbeiwert und ist eine Normierung der Durchlässigkeit des untersuchten Aquifers.

Für die geothermisch relevanten Schichten im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens wurden T/H-Werte berechnet, mit deren Hilfe Karten von T/H-Zonen erstellt wurden. Die im GeotIS-System integrierten Zonenkarten ermöglichen eine erste Abschätzung der Gesteinsdurchlässigkeiten. Für die Anfertigung der T/H-Zonen liegen nur wenige aus hydraulischen Tests stammende T/H-Werte als Primärdaten vor. Aus diesem Grund wurden unter Verwendung von Permeabilitätsdaten aus Bohrkernen und weiteren hydraulischen Daten T/H-Werte zur Verbreiterung der Datenbasis berechnet und als Sekundärdaten verwendet. Eine detaillierte Darstellung der Berechnungsmethoden und der berücksichtigten Randbedingungen ist in KUDER (2012) zu finden.

Die Kerndaten und die zugehörigen Permeabilitätswerte stammen aus dem Fachinformationssystem Kohlenwasserstoffe (FIS KW) des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (WIRTH 2007). Im FIS KW werden Daten von Industriefirmen und staatlichen Archiven gesammelt. Die Bohrdaten durften unter Beachtung von Eigentumsrechten für diese Untersuchung genutzt werden. Die verwendeten Temperaturlogs stammen aus dem FIS Geophysik des LIAG (KÜHNE et al. 2003).

Zur Berechnung der Werte ist es nötig, die druck- und temperaturabhängigen Dichte- und Viskositätswerte des jeweiligen Bohrlochfluids zu ermitteln. Dann können die T/H-Werte und Durchlässigkeiten k_f der Gesteine mit den Formeln (4.1) und (4.2) berechnet werden.

$$k_f = K \cdot \frac{\rho \cdot g}{\eta} \quad (4.1)$$

$$\frac{T}{H} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{fi} \cdot H_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \quad (4.2)$$

mit K = Permeabilität [m^2], η = dyn. Viskosität [Pas], ρ = Dichte [kgm^{-3}], g = Erdbeschleunigung [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$], H = Mächtigkeit [m] der gesamten betrachteten Schicht und H_i = Teilmächtigkeit der betrachteten Schicht mit zugeordneter Durchlässigkeit k_{fi} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

In KUDER (2011 und 2012) werden die Randbedingungen, die Fehlerabschätzungen, die Ergebnisse und die Entwicklung der Berechnungsmethode vorgestellt. Am Beispiel des Mittleren Buntsandsteins des östlichen Teils des Norddeutschen Beckens werden die Ergebnisse der berechneten T/H-Werte und die aus hydraulischen Tests bestimmten Werte in Abb. 4.2 gegenübergestellt.

Für den Mittleren Buntsandstein gibt es 38 T/H-Werte, davon wurden 32 berechnet und 6 aus hydraulischen Tests bestimmt. Die Werte befinden sich in einem Tiefenintervall von 700 bis ca. 3.000 m. Auffällig im Vergleich zu den anderen Schichten ist,

dass die Daten aus den hydraulischen Tests nur in einem kleinen Intervall von 1.400 bis 1.800 m erhoben worden sind.

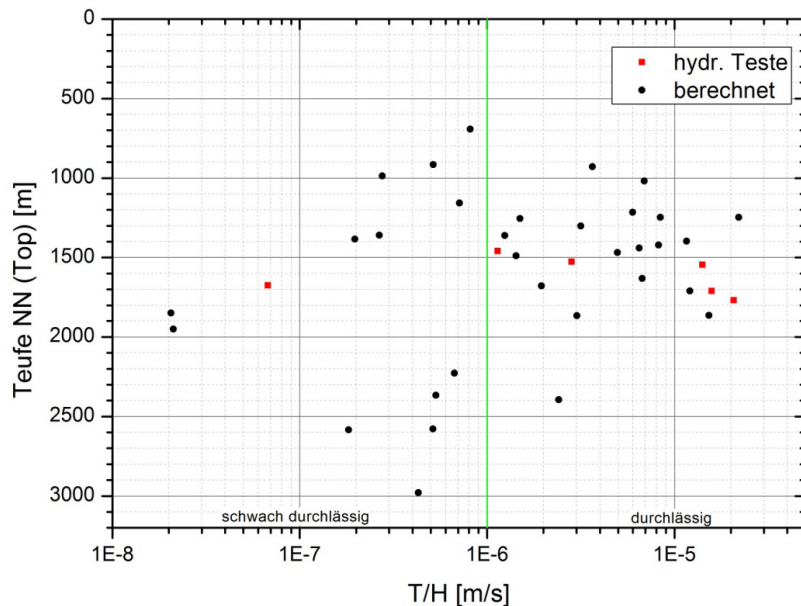


Abb. 4.2: T/H-Werte aus dem Mittleren Buntsandstein des östlichen Teils des Norddeutschen Beckens.

Die T/H-Werte erstrecken sich über den Bereich von schwach durchlässig bis durchlässig. Dabei sind 13 berechnete und nur 1 hydraulischer Wert schwach durchlässig. Von den restlichen Werten liegen 19 berechnete und 5 hydraulisch bestimmte Werte im durchlässigen Bereich. Die Verteilung der Daten ist ein Hinweis darauf, dass die Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins regional in durchlässige und schwach durchlässige Bereiche eingeteilt werden können.

Der direkte Vergleich von hydraulisch bestimmten und berechneten Werten in Abb. 4.3 ergibt, dass die Werte von nur einem Paar stärker als eine Zehnerpotenz voneinander abweichen. Vier von sechs Wertepaaren unterscheiden sich um weniger als eine halbe Zehnerpotenz. Zum Beispiel ist die Differenz zwischen berechneten und hydraulisch bestimmten T/H-Wert für Bohrung 3 gleich $1,3 \cdot 10^{-5}$ m/s. Im Mittleren Buntsandstein stimmen die berechneten Werte gut mit den Werten aus hydraulischen Tests überein.

Die Unterschiede zwischen den Werten aus den hydraulischen Tests und den Rechnungen können aus verschiedenen Gründen entstehen. Ein Grund könnte sein, dass die hydraulischen Tests nicht in den gleichen Tiefenintervallen durchgeführt wurden, aus denen die Kernproben stammen und damit unterschiedliche geologische Strukturen getestet wurden.

Die berechneten Werte beziehen sich auf die Ergebnisse der Kernprobenuntersuchungen, hydraulische Tests liefern jedoch integrale Werte über den getesteten Bereich im Bohrloch und seine Umgebung. Des Weiteren wird mit dem hydraulischen Test nicht nur der Fluidfluss durch die Gesteinsporen sondern auch der Fluss durch vorhandene Klüfte gemessen. Wenn die hydraulischen Testdaten wesentlich größer sind als die berechneten, könnte dies ein Hinweis auf Fluidflüsse durch Klüfte sein.

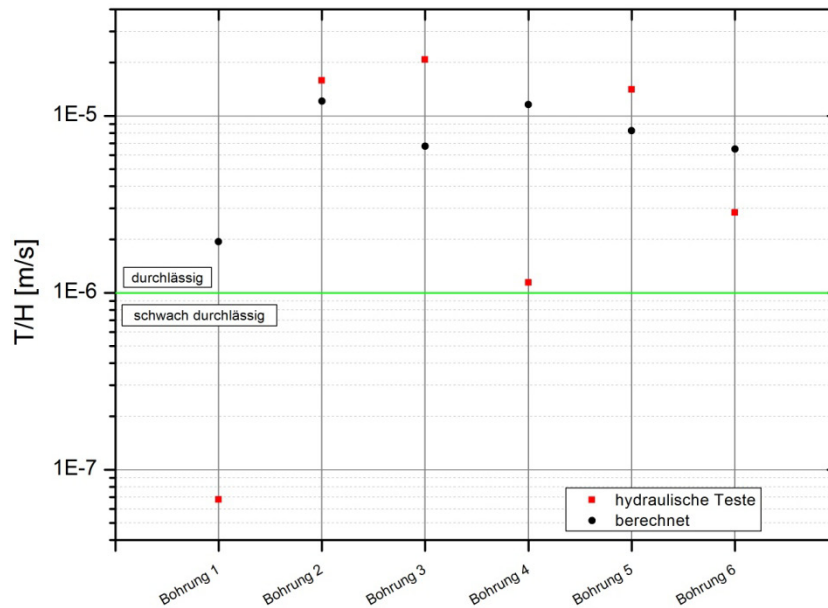


Abb. 4.3: Vergleich von berechneten und hydraulisch bestimmten T/H-Werten aus Bohrungen aus dem Mittleren Buntsandstein.

Die Tab. 4.1 listet die Anzahl der für die geothermisch relevanten Schichten im Ostteil des Norddeutschen Beckens berechneten und den aus hydraulischen Tests bestimmten T/H-Werte auf.

Stratigrafie	Berechnete T/H-Werte	T/H-Werte aus hydr. Tests	Gesamt	Anzahl T/H-Paare
Unterkreide	4	1	5	0
Dogger	33	11	44	9
Lias-Rhät-Komplex	46	36	82	21
Mittlerer Keuper	7	3	10	2
Mittlerer Buntsandstein	32	6	38	6
Gesamtanzahl:	122	57	179	38

Tab. 4.1: Anzahl der T/H-Werte aus hydraulischen Tests und Berechnungen sowie die Anzahl der Wertepaare, d.h., wie häufig für eine Bohrung und eine Schicht ein berechneter und ein aus hydraulischen Tests bestimmter T/H-Wert vorhanden ist.

Die Grundlage zur Erstellung der T/H-Zonen bilden die ermittelten T/H-Werte und die Verteilungskarten der Nettomächtigkeiten der Sandsteine der einzelnen Schichten (FELDRAPPE et al. 2008 und HURTER & HAENEL 2002). Die Zonen entsprechen aber nicht der geografischen Verteilung der Sandsteine. Es wurden nur dann Zonen ausgewiesen, wenn für die Gebiete ausreichend Informationen vorlagen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Sandsteine der entsprechenden Aquifere, obgleich sie nicht in Zonen eingeteilt sind, hohe Durchlässigkeiten besitzen können; es existieren nur keine verifizierenden Daten. Wenn in einer Bohrung für eine Schicht ein T/H-Wert aus einem hydraulischen Test und ein berechneter T/H-Wert existieren, dann wird nur der T/H-Wert aus dem hydraulischen Test als Repräsentant berücksichtigt, da er aussagekräftiger ist.

Alle Ergebnisse für alle Schichten sind im GeotIS-System aufrufbar und in KUDER (2012) dargestellt. Für den Mittleren Buntsandstein als Beispiel (Abb. 4.4) sind zwei

T/H-Zonen konstruiert worden, im Süden eine schwach bis nicht durchlässige Zone mit 10^{-11} bis 10^{-6} m/s und im Nordosten eine durchlässige Zone mit 10^{-6} bis 10^{-5} m/s. Ein farbiger Kreis steht für einen T/H-Wert aus einem hydraulischen Test und eine farbige Raute für einen berechneten Wert. Das Intervall von 10^{-4} bis 10^{-3} m/s befindet sich im oberen Teil des durchlässigen Bereichs. Das Intervall von 10^{-5} bis 10^{-4} m/s befindet sich im mittleren und das Intervall von 10^{-6} bis 10^{-5} m/s liegt im unteren Teil des durchlässigen Bereichs. Der schwachdurchlässige bis undurchlässige Bereich wird durch das Intervall 10^{-6} bis 10^{-11} m/s abgedeckt. Sehr gut durchlässige Zonen ($> 10^{-3}$ m/s) sind nach der Datenlage im östlichen Teil des Norddeutschen Beckens nicht vorhanden.

Mit der vorgestellten Methode zur Berechnung von T/H-Werten konnte mit Hilfe von hydraulischen Parametern die Datenbasis der T/H-Werte aus hydraulischen Tests im Norddeutschen Becken deutlich erweitert werden. Der Vergleich von berechneten und gemessenen Daten, wie in Abb. 4.3, zeigt auf, dass die Abweichungen der Daten im Allgemeinen unter einer Zehnerpotenz liegen. Die seltenen großen Abweichungen können u. a. durch unterschiedliche Fluidtransportwege erklärt werden.

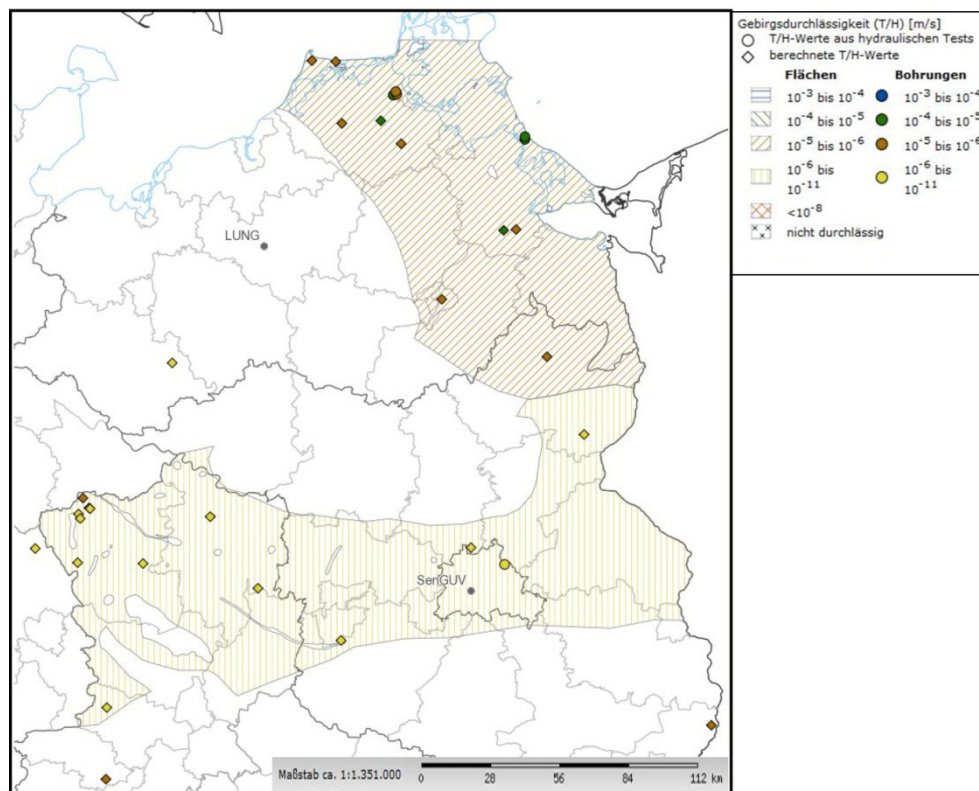


Abb 4.4: T/H-Zonen für den Mittleren Buntsandstein, im Süden eine schwach bis nicht durchlässige Zone mit 10^{-11} bis 10^{-6} m/s und im Nordosten eine durchlässige Zone mit 10^{-6} bis 10^{-5} m/s.

Wenn in hydraulischen Tests wesentlich größere hydraulische Durchlässigkeiten ermittelt wurden, beruht dieser Effekt wahrscheinlich auf einen Fluss durch Klüfte, während die berechneten Werte nur die Poren der Kernprobe berücksichtigen.

4.3 Der Einfluss von Säuerungsmaßnahmen auf den Produktivitätsindex

Der bislang größte Zuwachs an geothermischen Heizzentralen und Kraftwerken lässt sich im Süddeutschen Molassebecken verzeichnen. Die für die Geothermie relevante Geologie dieses Gebietes ist durch verkarstete Malmkalke und -dolomite gekennzeichnet, die in der Schwäbischen und Fränkischen Alb noch obertägig anzutreffen sind und nach Süden hin unter die Alpen abtauchen. Hierbei erreichen sie schon im Großraum München Versenkungstiefen von bis zu 3.000 m und bieten aufgrund dieser Tiefenlage und größtenteils guten hydraulischen Leitfähigkeiten ein für die Geothermie interessantes Heißwasserreservoir.

Aufgrund der Hohlraumstruktur im Karstgrundwasserleiter, ist es durchaus möglich, dass eine Bohrung knapp an vielen oder sogar allen Wegsamkeiten vorbei abgeteuft wird und so trotz einer guten hydraulischen Leitfähigkeit in der Region sehr schlechte Werte aufweist. Die geringe hydraulische Leitfähigkeit basiert also lediglich darauf, dass die Bohrung schlecht an das Reservoir angebunden ist. Sie hat in diesem Fall nichts mit den allgemeinen hydraulischen Eigenschaften des Reservoirs zu tun.

Allerdings bieten der Kalkstein und der Dolomit des Malms die Möglichkeit, durch technische Maßnahmen die Anbindung der Bohrung an das Reservoir zu verbessern. Da beide Karbonate säurelöslich sind, kann unter Zuhilfenahme großer Säuremengen (vorzugsweise 15-prozentige Salzsäure) das Bohrloch und eventuell vorhandene Wegsamkeiten vergrößert und dadurch das Bohrloch besser an das Reservoir angeschlossen werden.

Daher wird inzwischen standardmäßig jedes neue Bohrloch im Süddeutschen Molassebecken mit Hilfe von Säuerungsmaßnahmen ertüchtigt. Bislang gab es allerdings keine Analyse, inwieweit Säuerungsmaßnahmen den Produktivitätsindex einer Bohrung (das Verhältnis von Fließrate zur Absenkung des Wasserspiegels im Bohrloch) verbessern. Qualitative Beobachtungen der beteiligten Firmen deuteten an, dass ein fortgesetztes Säuern durch vier, fünf oder sogar sechs Säuerungsmaßnahmen keine deutlichen Verbesserungen mehr erzielt. Dies ist eine umso erstaunlichere Beobachtung, wenn man berücksichtigt, dass für jede einzelne dieser Säuerungsmaßnahmen in der Regel 100 m³ Säure oder mehr verwendet wurden.

Da Säuerungsmaßnahmen aufgrund der großen Menge der verwendeten Säure kosten- und zeitintensiv sind, war es Ziel dieser Untersuchung, eine Handlungsempfehlung hinsichtlich der Anzahl der Säuerungsschritte zu finden, so dass zukünftige Geothermieprojekte effizienter durchgeführt werden können.

Hierzu wurden die Daten von 16 Geothermiebohrungen aus dem Großraum München ausgewertet. Da die Analyse des Einflusses der Säuerungsmaßnahmen auf den Produktivitätsindex (PI) voraussetzt, dass der Produktivitätsindex sowohl vor als auch nach dem jeweiligen Säuerungsschritt gemessen wurde, beschränkte sich die letztendlich auswertbare Datenmenge auf 14 Bohrungen.

Als weitere Schwierigkeit präsentierte sich der Umstand, dass die Daten jeweils im Hinblick auf die wirtschaftliche Nutzung der Bohrung und nicht im Hinblick auf die

wissenschaftliche Vergleichbarkeit erfasst wurden. Daher wurden alle Messungen bei unterschiedlichen Fließraten durchgeführt. Des Weiteren musste bei der Analyse ebenfalls berücksichtigt werden, dass auch die technische Umsetzung der Säuerungen von Bohrung zu Bohrung verschieden waren. So gab es Unterschiede nicht nur in der verwendeten Säuremenge oder Säureart sondern auch in den verwendeten Säurekonzentrationen. Diese Variationen traten nicht nur bei von einander verschiedenen Bohrungen auf, sondern sogar schon bei verschiedenen Säuerungsschritten einer einzelnen Bohrung. All diese Faktoren mussten daher in die Auswertung der Daten einfließen, um eine gewisse Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Trotzdem lassen sich einzelne Bohrungen nicht quantitativ miteinander vergleichen. Dies ist nur für verschiedene Säuerungsschritte einer einzelnen Bohrung möglich.

Um den Einfluss der unterschiedlich durchgeführten Säuerungsmaßnahmen auf das Endergebnis ermitteln zu können, wurde zuerst ein Standardwert definiert. Dieser Standardwert umfasste eine Messung bei einer Fließrate von 10 l/s, sowie eine Säuerung mit einem Kubikmeter 15-prozentiger Salzsäure. In mehreren weiteren Schritten wurden alle Ergebnisse auf diesen Standardwert normiert. Abbildung 4.5 zeigt das Ergebnis dieser Normierungen.

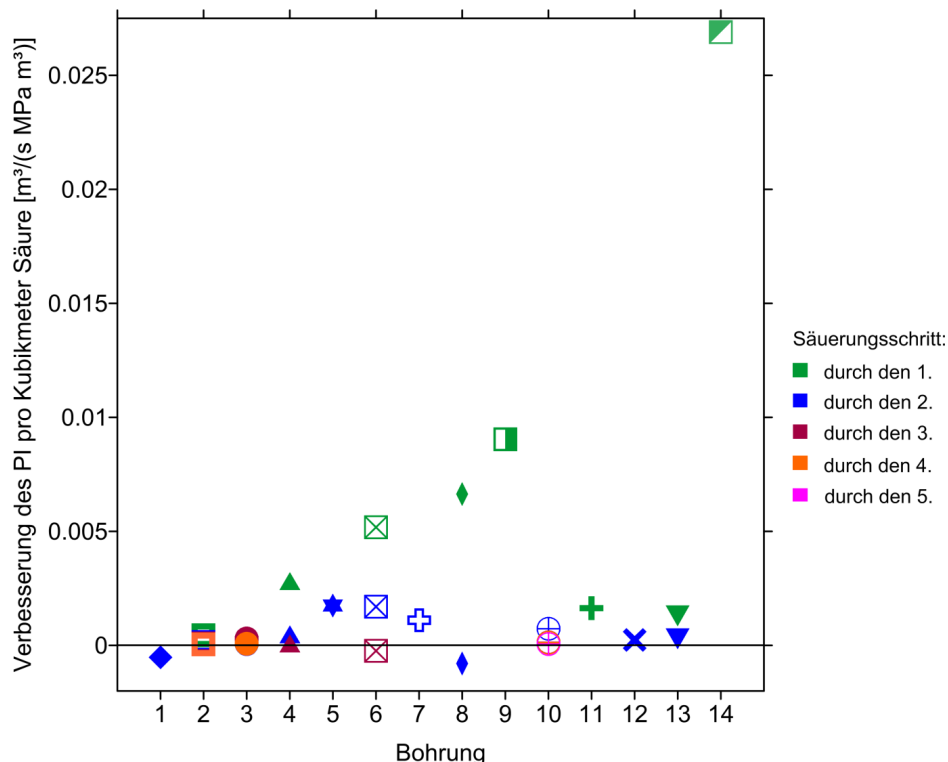


Abb. 4.5: Verbesserung des Produktivitätsindex pro verwendeten Kubikmeter 15-prozentiger Salzsäure. Die Verbesserung bezieht sich immer auf den Zustand unmittelbar vor dem jeweiligen Säuerungsschritt.

Es fällt auf, dass einige Bohrungen (insbesondere Bohrung 14) massiv von Säuerungsmaßnahmen profitieren, während die Verbesserungen bei einigen Bohrungen eher gering sind (z. B. Bohrung 2). Manche Bohrungen (Bohrungen 1, 4, 6 und 8) weisen bei fortgesetzter Säuerung sogar eine Verschlechterung des Produktivitätsin-

dexes auf. Eine mögliche Erklärung für dieses überraschende Verhalten ist in chemischen Reaktionen innerhalb des Reservoirs zu finden. Da der Kalkstein und der Dolomit meistens geringfügige Verunreinigungen enthalten, die sich nicht durch Salzsäure lösen lassen, können diese durch das Säuern aus den Gesteinen herausgelösten Stoffe kleine vorhandene Wegsamkeiten verstopfen. Alternativ ist auch in Betracht zu ziehen, dass bestimmte Silikate durch Salzsäure bis auf das Fünffache ihres ursprünglichen Volumens aufquellen können. Dies kann ebenfalls zu einer Verringerung des Produktivitätsindex führen.

Es ist daher nicht möglich zu prognostizieren, wie erfolgreich die geplanten Säuerungsmaßnahmen an einer Bohrung sein werden. Abbildung 4.6 lässt allerdings doch eine allgemeine Aussage über das Verhalten des Produktivitätsindex bei mehrfacher Säuerung zu.

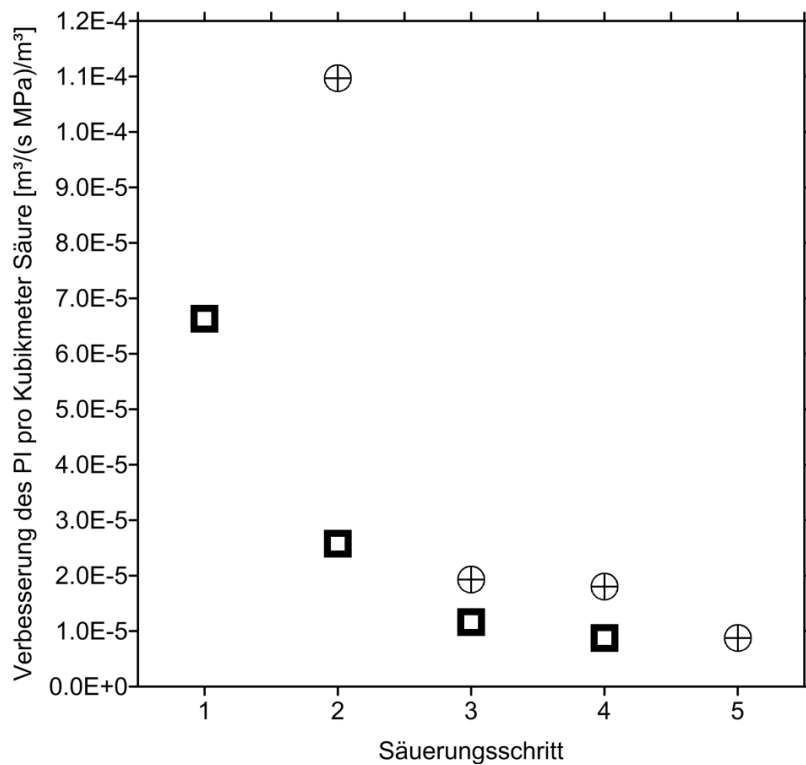


Abb. 4.6: Verbesserung des Produktivitätsindex pro verwendetem Kubikmeter 15-prozentiger Salzsäure und Säuerungsschritt für zwei Bohrungen. Die Verbesserung bezieht sich immer auf den Zustand unmittelbar vor dem jeweiligen Säuerungsschritt.

Es wird deutlich, dass insbesondere der erste Säuerungsschritt zu einer Verbesserung der Bohrung führt, während spätestens ab dem dritten Säuerungsschritt die Erfolge nur noch marginal sind. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der erste Säuerungsschritt die bei der Bohrung eingetretenen Schädigungen der unmittelbaren Bohrlochumgebung beseitigt und damit das Bohrloch reinigt, während die weiteren Schritte primär zu einer Aufweitung des Bohrlochs führen. Durch die dadurch erzielte größere Oberfläche des Bohrlochs ist auch eine höhere Produktivität möglich, aber die Verbesserungen sind äußerst gering im Vergleich zum Aufwand.

Es kann daher für zukünftige Geothermieprojekte der Schluss gezogen werden, dass lediglich ein bis maximal zwei Säuerungsschritte durchgeführt werden sollten, da danach ihre Effektivität massiv abnimmt und die mit der Säuerung verbundenen Kosten in keinerlei Verhältnis mehr zur erwarteten Verbesserung stehen.

5 Informationszentrum für geothermische Energienutzung

5.1 Nationale und Internationale Zusammenarbeit

Hauptziel der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten war die konsequente Weiterentwicklung des Geothermischen Informationssystems (GeotIS) zu einem Internetbasierten Zentrum für die geothermische Energienutzung.

GeotIS zeigt die Potentiale der tiefen Geothermie und stellt mit seiner umfassenden Datenbasis eine zentrale Entscheidungshilfe für mögliche Investoren, Versicherer und Projektentwickler dar. Darüber hinaus bietet das System einen aktuellen Überblick über bestehende und in Bau befindliche geothermische Projekte und ihren Beitrag zur regenerativen Wärmebereitstellung und Stromerzeugung. Diese Daten bilden die Grundlage für jährliche Statistiken, die in nationalen Erhebungen sowie Statistiken internationaler Organisationen Verwendung finden. Diese Datengrundlage wird mit dem beständigen Ausbau des Systems und umfangreichen Datenerhebungen kontinuierlich erweitert und verbessert.

Durch das Engagement des LIAG im Geothermal Implementing Agreement (GIA) der Internationalen Energieagentur (IEA) besteht eine Zusammenarbeit mit einer internationalen Organisation, die von gegenseitigem Nutzen ist. Zum einen steuert GeotIS wichtige Daten zur Geothermienutzung in Deutschland bei, zum anderen bietet sich damit die Möglichkeit, das System auch international bekannt zu machen. So findet GeotIS z.B. Erwähnung als beispielhaftes Informationssystem in der „Technology Roadmap - Geothermal Heat and Power“ der IEA (OECD/ IEA 2011).

Um den geothermischen Datenaustausch innerhalb der Bundesrepublik zu befördern, fanden außerdem Workshops für Nutzer und Firmen statt, und verschiedene interessierte Zielgruppen konnten sich auf Messen und Veranstaltungen über das Geothermische Informationssystem informieren. Mit Hilfe der Broschüre „Tiefe Geothermie“, welche überarbeitet in der 2. und 3. Auflage (STOBER et al. 2010, 2011) erschien, wird die Öffentlichkeit allgemein über die tiefe Geothermie informiert.

5.2 Internetportal für geothermische Standorte

Mit dem Modul *Geothermische Standorte* bietet das Geothermische Informationssystem einen umfassenden Überblick über die Anlagen mit Nutzung tiefer Geothermie in Deutschland. Informationen zu geothermischen Standorten können über eine digitale Kartenoberfläche abgerufen und selektiert werden. Zu jeder Anlage stehen Detailinformationen mit Daten zur installierten Leistung und zur Energieproduktion zur Verfügung. Das Modul ist seit 2008 online.

Verschiedene Filter ermöglichen eine Eingrenzung nach Kriterien wie z.B. Nutzungsart, Betriebszustand (in Bau / in Betrieb), Temperatur oder Leistung. Über das Ebenenfenster lassen sich der Kartendarstellung verschiedene Layer wie Topographie, Einwohnerdichte und Energieverbrauch hinzufügen. Mithilfe der Funktion „KML-Export“ ist auch eine Darstellung der Auswahl in Google Earth möglich. Die Auswahl

wird dort als eigene Ebene eingefügt und steht mit weiteren Funktionalitäten zur Verfügung.

Details zu den geothermischen Anlagen können unmittelbar aus GeotIS als auch aus der beschriebenen Google-Earth-Darstellung direkt aus der Kartenoberfläche per Mausklick auf einen Standort abgerufen werden. Auf dem jeweiligen Datenblatt werden Informationen zur energetischen Nutzung, Temperatur, Fließrate und zum genutzten Horizont sowie zur Tiefe der Bohrung bzw. des erschlossenen Nutzhorizonts und zusätzliche Informationen komprimiert angezeigt (Abb. 5.1).

GeotIS www.geotis.de		Geothermische Anlage Kirchstockach			
STANDORT					
Produktionsbohrung	Bundesland	Rechtswert	Hochwert	Koordinatenwerte gerundet	Zustand
Kirchstockach	Bayern	3.700.546	5.324.490	ja	in Bau
DIREKTWÄRMENUTZUNG (Definitionen...)					
Installierte Leistung gesamt		Installierte Leistung geothermisch		Jahresproduktion	
kein Eintrag		kein Eintrag		kein Eintrag	
STROMERZEUGUNG					
Installierte Leistung (vorgesehen)		Jahresproduktion			
5,5 MW _e		kein Eintrag			
NUTZUNG (Definitionen...)					
Hauptnutzung		Nebennutzung			
Stromerzeugung		Fernwärme			
TEMPERATUR					
Temperatur (Lagerstätte)		Temperatur (Bohrlochkopf)			
kein Eintrag		138,8 °C			
FLIESSRATE					
Max.		Betrieb		Wasserrecht	
circa 120 l/s		kein Eintrag		kein Eintrag	
ERSCHLIESSUNGSKONZEPT, BERGRECHT und KONZESSIONSBEZEICHNUNG (Definitionen...)					
Erschließungskonzept		Bergrecht		Konzessionsbezeichnung	
Dublette		Erlaubnisfeld vorhanden		Kirchstockach	
AQUIFER / NUTZHORIZONT					
Stratigraphie		Petrographie			
Malm		kein Eintrag			
ZULAUF Tiefe					
Zulauf		Kommentar			
3.350 bis 3.750, Endteufe 3.881,6 m		TVD; Neigung 32°			
Zusätzliche Informationen					
Bemerkungen		Datenquellen / Literatur		Stand der Daten	
ORC-Anlage zur Stromerzeugung; Inbetriebnahme in 2013 vorgesehen. Später auch Fernwärmeauskopplung geplant.		Jamin (Süddt. Geothermie-Projekte Gesellschaft mbH), pers. Mitt. 22.08.12; Görke (pers. Mitteilung)		19.06.2012	
Weitere Informationen					
http://www.sgg-bayem.de/pro_3_shtml					
Zuständiger Geologischer Dienst					
Bayerisches Geologisches Landesamt					

Abb. 5.1: Datenblatt mit Detailinformationen am Beispiel der Anlage Kirchstockach.

5.3 Jährliche Energiestatistik

Von besonderem Interesse für die Öffentlichkeit sind Daten zur installierten Leistung und zur thermischen bzw. elektrischen Energieproduktion geothermischer Anlagen. Angaben zur Nutzung tiefer Geothermie in Deutschland gehen sowohl in nationale Erhebungen wie auch in internationale Energiestatistiken ein. Die Daten und Funktionen des Moduls *Geothermische Standorte* bieten somit einen Beitrag zu Statistiken

zur Nutzung erneuerbarer Energien, wie sie beispielsweise von der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-stat) erstellt werden. Sie gehen damit in Veröffentlichungen wie „Erneuerbare Energien in Zahlen“ (BMU 2011) ein und werden im Zuge internationaler Berichtspflichten an die IEA bzw. Eurostat gemeldet sowie für die Datenerhebung der IEA-GIA verwendet (s. Kap. 5.4).

Im Modul *Geothermische Standorte* ist die summarische Wärmeproduktion der in Betrieb befindlichen Anlagen abrufbar. Die Wärmelieferung aus einer Auswahl von Standorten lässt sich über die Schaltfläche „Produktionsdaten anzeigen“ unterhalb der Selektionstabelle darstellen. Um Doppelzählungen in Anlagen mit energetisch relevanter Haupt- und Nebennutzung zu vermeiden (z.B. Heizung eines Thermalbades als Hauptnutzung und Heizung der Gebäude des Bades als Nebennutzung), wird bei der Summierung der Wärmeproduktion nur die Wärmebereitstellung der jeweiligen Hauptnutzung berücksichtigt. Seit Ende 2012 wird die Wärmeproduktion von stromproduzierenden Geothermiekraftwerken in die Summation mit eingeschlossen. Die berechneten Werte bieten somit einen vollständigen Überblick über die Wärmebereitstellung aus tiefer Geothermie (Abb. 5.2).

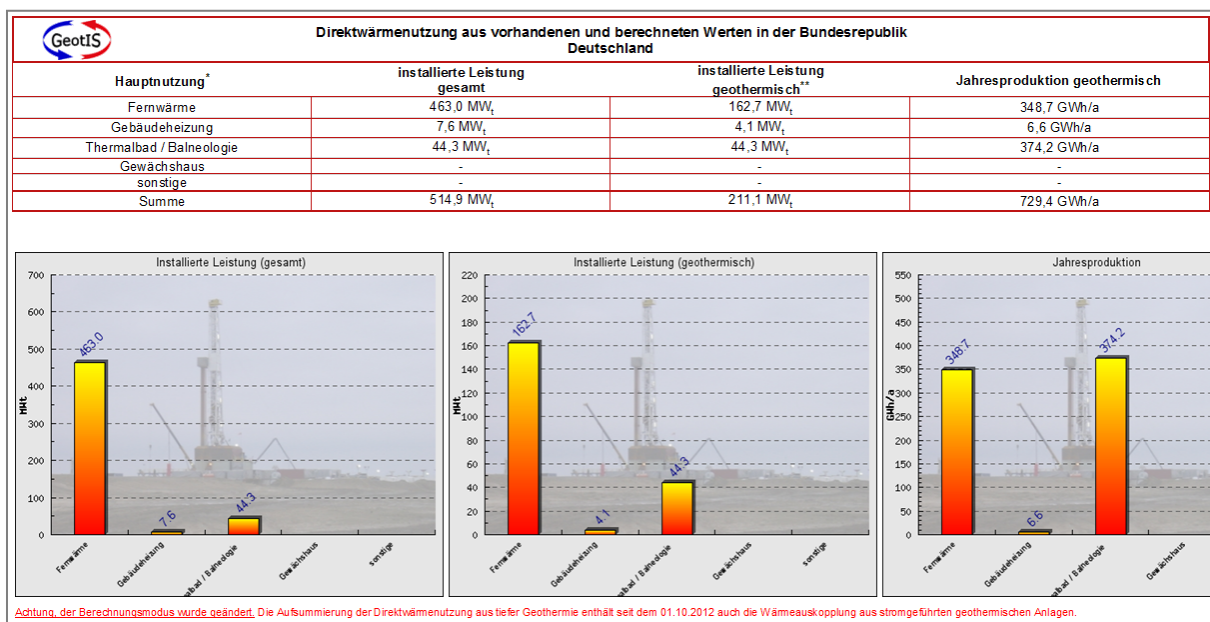


Abb. 5.2: Summarische Darstellung der geothermischen Direktwärmenutzung in GeotIS.

Eine summarische Darstellung der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland steht seit Anfang 2013 zur Verfügung. Aufgrund der geringen Anzahl stromproduzierender Anlagen werden die Angaben derzeit noch nicht dynamisch generiert, sondern in statischer Form bereit gestellt.

Im Zuge des Aufbaus eines Geothermischen Informationssystems für Deutschland hatte der Personenkreis "Tiefe Geothermie" der Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaft Geologie des Bund/Länder-Ausschusses Bodenforschung (BLA-GEO) ein Verzeichnis aller geothermischen Anlagen in Deutschland erstellt. Diese Daten, die von den Staatlichen Geologischen Diensten bereit gestellt wurden, sollten ursprünglich alle fünf Jah-

re aktualisiert werden. Durch die hohen Qualitätsanforderungen und den schnellen Zuwachs an geothermischen Anlagen hat sich dieser Aktualisierungsrhythmus als zu lang erwiesen. Um in GeotIS künftig jährlich aktualisierte Betriebsdaten, u. a. Wärme- und Stromproduktion, bereitstellen zu können, wurden daher in 2011 erstmals Informationen zu den geothermischen Anlagen durch direkte Befragung der Betreiber eingeholt. Hierfür wurde ein Formular an die Ansprechpartner versendet und ggf. per Mail oder telefonisch nachgefragt. Zumindest für die größeren Anlagen war dieser Ansatz erfolgreich und die Betriebsdaten aus dem Vorjahr konnten im Herbst 2012 aktualisiert in GeotIS zur Verfügung gestellt werden.

Bei den Thermalbädern erwies sich die direkte Befragung aufgrund fehlender sachkundiger Ansprechpartner als zu zeitaufwändig. Mit vertretbarem Aufwand konnten nur wenige Angaben überprüft und in GeotIS aktualisiert werden. Da sich in vielen Fällen bei Thermalbädern nur wenig über die Jahre ändert und in GeotIS bei fehlenden Angaben die geothermische Wärmeproduktion automatisch aus Fließrate und Temperatur berechnet wird, bietet das Modul *Geothermische Standorte* mit der jährlichen Aktualisierung der Daten eine insgesamt gute Datengrundlage über die Wärmenutzung aus tiefer Geothermie.

Der geothermische Beitrag an der installierten Wärmeleistung ist von 2010 bis 2012 von 160 MW_t auf etwa 211 MW_t angestiegen (Tab. 5.1). Der Anteil der 20 größeren Anlagen an der erzeugten Fern- oder Nahwärme liegt bei 70 bis 75 Prozent, Tendenz steigend.

Anlagen mit Nutzung tiefer Geothermie: installierte Wärmeleistung in MW_t	2010	2011	2012	2013
Fernwärme	113	135	163	192
Gebäudeheizung	4	4	4	5
übrige Nutzungen (v.a. Thermalbäder)	44	44	44	45
Gesamt	161	183	211	242

Tab. 5.1: Installierte geothermische Wärmeleistung in Deutschland in MW_t, geothermischer Anteil. Für 2013 wurden konservative Schätzungen anhand voraussichtlicher Inbetriebnahmen in 2013 vorgenommen.

Bei der erzeugten Wärmemenge (Tab. 5.2) ist von 2010 zu 2011 ein Zuwachs von 711 auf knapp 730 GWh/a zu verzeichnen. Da die 2011 in Betrieb gegangenen Anlagen Garching und Oberhaching nur wenige Monate zur Wärmeversorgung beitrugen, ist ein deutlicherer Zuwachs für das Jahr 2012 zu erwarten. Auch die ersten Betriebsmonate der im September 2012 in Betrieb gegangenen Anlagen Poing und Waldkraiburg werden sich 2012 erstmals in den Produktionszahlen bemerkbar machen.

Anlagen mit Nutzung tiefer Geothermie: produzierte Wärmemenge [GWh/a]	2010	2011
Fernwärme	340	349
Gebäudeheizung	7	7
übrige Nutzungen (v.a. Thermalbäder)	374	374
Gesamt	711	729

Tab. 5.2: Wärmebereitstellung aus geothermischen Anlagen in Deutschland in GWh/a, geothermischer Anteil.

Die Heizwärmenutzung macht derzeit knapp die Hälfte der gesamten geothermischen Wärmeproduktion aus. Dieser im Verhältnis zur installierten Leistung geringe Anteil an der Wärmeproduktion ist durch die saisonale Nutzung geothermischer Heizwerke begründet, der bei einer balneologischen Nutzung normalerweise ein Ganzjahresbetrieb gegenübersteht. Mit dem weiteren Ausbau der Geothermie ist eine Verschiebung des Verhältnisses zugunsten der Fernwärmenutzung zu erwarten.

Aus der eingeführten jährlichen Datenerhebung ergaben sich weitreichende neue Erfordernisse an die Datenadministration und -pflege. Die ursprüngliche Datenpflege in Form einer Excel-Tabelle mit späterem Einlesen in die Datenbank wurde durch eine Access-Lösung ersetzt. Die Datenbankstruktur wurde entsprechend an eine jährliche Datenverwaltung angepasst und eine übersichtliche Nutzeroberfläche programmiert (vgl. Kap. 2.2).

5.4 Trendreport für IEA-GIA

Ende 2010 übernahm das LIAG die Funktion eines Operating Agent im Rahmen des IEA-Geothermal Implementing Agreement (GIA). Dabei handelt es sich um ein internationales Netzwerk unter dem Dach der Internationalen Energieagentur (IEA) mit dem Ziel, die Nutzung der geothermischen Energie weltweit zu fördern und Forschungsvorhaben zu unterstützen. Das Abkommen ist im Kontext internationaler Energiestrategien zur Förderung erneuerbarer Energien zu sehen. Für die Umsetzung der operativen Ziele ist ein Exekutivkomitee (ExCo) aus Vertretern der aktuell 14 Mitgliedsstaaten und der Fördermitglieder verantwortlich. Aufgaben und Ziele sind unter anderem die Förderung internationaler Kooperationen im Bereich F&E, Wissenstransfer und Informationsaustausch, Handlungsempfehlungen für die Politik und die Unterstützung kooperativer Forschungsaktivitäten.

Die Umsetzung der Arbeitsprogramme (Tasks) erfolgt in fünf sog. Annexen, die jeweils von einem oder mehreren „Annex Leadern“ inhaltlich geleitet werden. Ende 2010 wurde Annex X „Data Collection and Information“ ins Leben gerufen, der vom LIAG koordiniert wird; eine GeotIS Mitarbeiterin ist als „Annex Leader“ für die inhaltliche Umsetzung der Ziele verantwortlich.

Ziel von Annex X ist, Daten zur Geothermienutzung in den GIA-Ländern nach einheitlichen Kriterien zu sammeln und in Form eines jährlichen Reports zu veröffentlichen. Diese Daten sollen einen Mangel an jährlich erhobenen internationalen Daten zur Geothermienutzung zumindest für die GIA-Länder beheben. Eine spätere Ausdeh-

nung auf Nicht-GIA-Länder ist angedacht, sofern verlässliche Daten gewonnen werden können.

Im Rahmen dieser Aufgabe wurde zunächst ein Abfragekonzept erarbeitet, das im Mai 2011 während des ExCo-Meetings in Paris vorgestellt und diskutiert wurde. Die erste Datenabfrage startete im Sommer 2011 mit Daten aus dem Vorjahr. Um Trends seit dem Jahr 2000 darstellen zu können, erfolgte zudem eine umfangreiche Auswertung weiterer Datenquellen. Erste Ergebnisse konnten auf dem folgenden ExCo Meeting im Herbst 2011 in London vorgestellt werden. Im Mai 2012 wurde der fertig gestellte „Geothermal Trend Report“ dem Exekutivkomitee vorgestellt und die Veröffentlichung genehmigt. Der Report (GANZ, B. et al. 2012) wurde im Sommer 2012 auf der GIA-Homepage veröffentlicht und anschließend in kleiner Startauflage gedruckt. Die Arbeiten für den Folgereport (Geothermal Trend Report 2011) starteten parallel im Sommer 2012 mit einer Überarbeitung des Abfrageformulars und der anschließenden Datenabfrage. Aufgrund des unzureichenden Datenrücklaufs konnte der Geothermal Trend Report jedoch nicht wie vorgesehen Anfang des Jahres 2013 in einer ersten Version vorgelegt werden.

Im Rahmen der Arbeiten für Annex X wurden neben den beschriebenen Tätigkeiten zur Erstellung eines Trend Reports folgende Arbeiten geleistet:

- Recherche internationaler Datenquellen und -abfragen
- Bereitstellung deutscher Daten für Annex X-Länderreport
- Teilnahme an ExCo-Meetings und Berichte an ExCo
- inhaltliche Vorbereitung und Leitung von vier Annex-Meetings
- Beiträge für den GIA-Annual Report, Zwischenberichte, Mid-Term-Report und End-of-Term-Report und Beitrag zum Strategieplan für 3. Periode des GIA
- Erstellung von Sitzungsprotokollen und Präsentationen
- umfangreiche internationale Korrespondenz.

Für die weiteren Arbeiten in Annex X ist vorgesehen, mit der Datensammlung fortzufahren und zu optimieren. Um Doppelarbeiten zu vermeiden und zu garantieren, dass die bei der IEA-GIA veröffentlichten Geothermiedaten den Daten aus anderen offiziellen Erhebungen entsprechen, wird zudem eine Zusammenarbeit mit Institutionen wie Eurostat und der International Geothermal Association (IGA) angestrebt.

5.5 Neuauflage der Broschüre „Tiefe Geothermie“

Für die Neuauflage der 2. Auflage der BMU-Broschüre „Tiefe Geothermie - Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland“ ist der Text der Broschüre komplett überarbeitet und um Beispiele von Geothermieprojekten in Deutschland erweitert worden (STOBER et al. 2010). Sämtliche redaktionellen Beiträge und Änderungen wurden bis Ende Juli 2011 eingearbeitet. Die Broschüre wurde an die aktuellen Corporate Design-Richtlinien des BMU angepasst, durch ein professionelles Lektorat geprüft und liegt seit Ende des Jahres 2011 in der 3. Auflage mit einer Auflage von 10.000 Stück vor (STOBER et al. 2011). Sie ist kostenfrei über das BMU zu beziehen und steht auf den Internetseiten des BMU sowie unter <http://www.geotis.de> als barrierefreies PDF-Dokument zum Download zur Verfügung.

5.6 Messepräsentationen und Workshops für Nutzer

Die Arbeiten und Ergebnisse im Rahmen der Erweiterung des GeotIS zu einem Informationszentrum für die geothermische Energienutzung wurden auf zahlreichen Fachausstellungen, Messen und im Rahmen von Workshops verschiedenen Zielgruppen vorgestellt. In Zusammenarbeit mit Partnern wurden auch übergreifende Geothermiethemen präsentiert.

Bei den jährlich stattfindenden Fachveranstaltungen wie der GeoTHERM expo & congress (Offenburg), der Norddeutschen Geothermietagung (Schwerin, Hannover) sowie der GeoEnergia (Karlsruhe, Bochum), der begleitenden Fachausstellung zum Deutschen Geothermiekongress, war das Geothermische Informationssystem Schwerpunkt des jeweiligen Messeauftritts. Auf der Hannover Messe, einer der führenden Industrie- und Technologiemesen, hat sich das Geozentrum in den letzten Jahren gemeinschaftlich mit den Geothermieschwerpunkten der beteiligten Einrichtungen (BGR, LIAG, LBEG) präsentiert; unter den vorgestellten Themen waren auch das Geothermische Informationssystem und die internationalen Aktivitäten im Rahmen des IEA-GIA. Auf der IdeenExpo 2011 betreuten GeotIS-Mitarbeiter zusammen mit dem Energieforschungszentrum Niedersachsen einen Gemeinschaftsstand mit Exponaten und Experimenten zum Thema Geothermie, boten Standführungen für Besuchergruppen an und führten Geothermie-Workshops für Schulklassen durch. In mehreren Workshops, die sowohl für spezielle Interessentengruppen als auch im Rahmen von Fachveranstaltungen angeboten wurden, fand zudem eine Einführung in die Funktionalitäten des Geothermischen Informationssystems durch LIAG-Mitarbeiter statt.

Eine vollständige Übersicht über die Aktivitäten wird in Kapitel 6.4.3 gegeben.

6 Publikationen und Vorträge

Im Folgenden werden alle im Rahmen des Projektes erstellten Publikationen, Poster und Vorträge aufgelistet.

6.1 Publikationen

6.1.1 Zeitschriften

AGEMAR, T., BRUNKEN, J., JODOCY, M., SCHELLSCHMIDT, R., SCHULZ, R. & STOBER, I. (2013): Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg. – ZDGG, *im Druck*.

AGEMAR, T., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2012): Subsurface Temperature Distribution of Germany. – *Geothermics*, 44: 65 - 77.

AGEMAR, T. & SCHULZ, R. (2011): Immer tiefer, immer heißer - Die tiefe Geothermie kann zur Wärme- und Stromversorgung einiges beitragen. - *Deutsches Ingenieur Blatt* 03/11: 32-36; Berlin.

GANZ, B. (2010): Geothermische Informationssystem aktualisiert Standortdaten. – *Geothermische Energie* 69 (GtE 4/2010): 16; Berlin.

PESTER, S. & SCHULZ, R. (2009): Tiefe Geothermie - Das Geothermische Informationssystem für Deutschland ist online. – *GMIT*, 38: 19-20; Dez. 2009.

6.1.2 Broschüren

GANZ, B. & IEA-GIA (2012): Trends in Geothermal Applications. Survey Report on Geothermal Utilization and Development in IEA-GIA Member Countries in 2010, with trends in geothermal power generation and heat use 2000 - 2010. – 38 p., 19 tab., 18 fig.; Publication of the International Energy Agency - Geothermal Implementing Agreement.

STOBER, I., FRITZER, T., OBST, K. & SCHULZ, R. (2010): Tiefe Geothermie - Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. – 2. akt. Aufl., 73 Seiten; Bonn (BMU).

STOBER, I., FRITZER, T., OBST, K. & SCHULZ, R. (2011): Tiefe Geothermie - Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. – 3. akt. Aufl., 81 Seiten; Berlin (BMU).

6.2 Vorträge und Poster

6.2.1 Vortragsveröffentlichungen (Proceedings)

AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., GANZ, B., KUDER, J., KÜHNE, K., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2011): GeotIS - das Geothermische Informationssystem für Deutschland. - *Sächsischer Geothermietag Spezial*, 18.-19.05.2011, Tagungsband: 45-49; Freiberg (Sachsen).

AGEMAR, T., ALTEN, J., KUDER, J., KÜHNE, K., PESTER, S., SCHULZ, R. (2009): GeotIS – Das Geothermische Informationssystem für Deutschland - In: *Geothermische Vereinigung Bundesverband Geothermie e. V. (Hrsg.), Der Geothermiekongress 2009 - Kongressband CD-ROM*, 17.-19. November 2009; Bochum.

- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., KUDER, J. & SCHULZ, R. (2010): GeotIS - Das Geothermische Informationssystem für Deutschland. - Tagungsband-CD: Der Geothermiekongress 2010; Karlsruhe.
- AGEMAR, T., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2011): 3D Modell der Untergrundtemperatur von Deutschland. - Der Geothermie Kongress 2011, 15.-17.11.2011: 9 Seiten; Bochum.
- PESTER, S., AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., KUDER, J., KÜHNE, K., MAUL, A.-A. & SCHULZ, R. (2009): Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland. - In: V. D. BOOGAART, R. & SCHAEBEN, H. (Hrsg.): GIS - Geowissenschaftliche Anwendungen und Entwicklungen, 8. GIS-Kolloquium, 18.06.2009, Wiss. Mitteilungen des Instituts für Geologie, 40: 3-8, ISSN 1433-1284; Freiberg.
- PESTER, S., AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., KUDER, J., KÜHNE, K., MAUL, A.-A. & SCHULZ, R. (2010): GeotIS – the Geothermal Information System for Germany. - Proceedings World Geothermal Congress 2010, Paper 3225: 6p.; 25-29 April 2010, Bali, Indonesia.
- SCHULZ, R., PESTER, S., SCHELLSCHMIDT, R. & THOMAS, R. (2010): Quantification of Exploration Risks as Basis for Insurance Contracts. - Proceedings World Geothermal Congress 2010, Paper 409: 7p; 25-29 April 2010, Bali, Indonesia.
- SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2011): Effektivität von Säuerungsmaßnahmen an Geothermiebohrungen in der bayerischen Molasse - Der Geothermiekongress 2011, 15.-17. November 2011: 3 Seiten; Bochum.

6.2.2 Poster

- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., GANZ, B., KUDER, J., KÜHNE, K., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2011): Geothermisches Informationssystem für Deutschland. - Poster, LIAG-Austauschsitzung, 02.-03.11.2011; Hannover.
- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., GANZ, B., KUDER, J., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2010): GeotIS - The Geothermal Information System of Germany. - Poster, Austausch-sitzung 03.-04.11.2010; Hannover.
- AGEMAR, T., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2011): Subsurface Temperature Distribution of Germany. - Poster, LIAG-Austauschsitzung, 02.-03.11.2011; Hannover.
- GANZ, B., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2012): LIAG as a Partner in International Networks. – Poster, Hannover Messe 2012, Kompetenzzentrum Geothermie, 23.-27.04.2012; Hannover.
- PESTER, S., AGEMAR, T., ALTEN, J., BRUNKEN, J., HEBER, M., KUDER, J., KÜHNE, K. & SCHULZ, R. (2009): Das Geothermische Informationssystem. - Poster, LIAG-Austauschsitzung, 04.-05.11.2009; Hannover.

6.2.3 Eingeladene Vorträge

- AGEMAR, T. (2011): GeotIS - das Geothermische Informationssystem für Deutschland. Sächsischer Geothermietag Spezial, 18.-19.05.2011; Freiberg.
- AGEMAR, T., SCHELLSCHMIDT, R. & SCHULZ, R. (2011): 3D-Temperaturmodell des Norddeutschen Beckens. - 4. Norddeutsche Geothermietagung, 26.-27.10.2011; Hannover.
- SCHULZ, R. (2009): Planungssicherheit durch Information - Geothermiedaten aus dem LIAG. - Hotspot Hannover: Geothermie - durch Innovation zur Wirtschaftlichkeit, Geothermietag, 29.10.2009; Hannover.
- SCHULZ, R. (2010): Ein Informationssystem für die tiefe Geothermie in Deutschland. - Festkolloquium zur Einrichtung der Stiftungsprofessur Angewandte Geothermie, 25.01.2010; TU Darmstadt.
- SCHULZ, R. (2010): Geowissenschaftliche Datengrundlage für Projekte der Tiefen Geothermie. - FH-DGG Fortbildungsveranstaltung, 24.02.2010; Offenburg.
- SCHULZ, R., AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., GANZ, B., KUDER, J. & SCHUMACHER, S. (2010): Das Geothermische Informationssystem GeotIS. – Geothermie Nord Kongress, 07.10.2010; Schwerin.

6.2.4 Vorträge

- AGEMAR, T. (2012): 3D-Modelle geothermisch nutzbarer Strukturen im GeotIS - 3. Workshop 3D-Geologie, 24.-25.10.2012; Akademiezentrum Sankelmark, Oeversee.
- AGEMAR, T., ALTEN, J., BRUNKEN, J., HEBER, M., KUDER, J., KÜHNE, K., PESTER, S. & SCHULZ, R. (2009): Das Geothermische Informationssystem: Intention, Ziele und Umsetzung. - LIAG-Austauschsitzung, 05.11.2009; Hannover.
- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., GANZ, B., KUDER, J., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2010): 3D-Modelle im Geothermischen Informationssystem für Deutschland. - 3D-Geologie-Workshop, 04.-05.11.2010; St. Quirin.
- AGEMAR, T., ALTEN, J., HEBER, M., SCHULZ, R. (2009): Vorstellung des GeotIS Projektes. – BIS-Steuerungsgruppe. 14.10.2009; Hannover.
- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., KUDER, J., PESTER, S. & SCHULZ, R. (2010): Aufbau eines Internet-basierten Informationszentrums für geothermische Energienutzung. - GOCAD-Anwender-Treffen, 23.-25.03.2010; Freiberg.
- AGEMAR, T. & SCHULZ, R. (2012): 3D-Modelle geothermisch nutzbarer Strukturen in GeotIS. - SDGG, Heft 80 - GeoHannover 2012, 1.-3.10.2012; Hannover.
- ALTEN, J.-A., AGEMAR, T., GANZ, B., KUDER, J., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2010): Weiterentwicklungen im Geothermischen Informationssystem. - LIAG-Austauschsitzung, 04.11.2010; Hannover.

- GANZ, B. (2011): Presentation of a draft questionnaire for a data query on geothermal energy uses in GIA countries within Annex X (Data Collection and Information). - IEA Geothermal Implementing Agreement, ExCo-Meeting, 04.05.11; Paris.
- GANZ, B. (2011): Annex X Data Collection and Information: Current Status of the Data Collection and First Results. – IEA Geothermal Implementing Agreement, ExCo Meeting, 28.-30.09.2011; London.
- GANZ, B., ALTEN, J.-A., AGEMAR, T., KUDER, J., KÜHNE, K., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2012): The Geothermal Information System for Germany. - Meeting CGER (Norwegian Center for Geothermal Energy Research), 21.05.2012; Oslo.
- SCHULZ, R. & GEOTIS-TEAM (2009): Geothermisches Informationssystem für Deutschland: Intentionen, Ziele, Ausblick. - BIS-Steuerungsgruppe; 14.10.2009, Hannover.

6.3 Berichte

- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A., BREUCKMANN, S., GANZ, B., KUDER, J., KÜHNE, K., SCHUMACHER, S., TRIBBENSEE, K., WABERZECK, T. & SCHULZ, R. (2011): Internet basiertes Informationszentrum für geothermische Energienutzung. - Forschungsjahrbuch des Projektträgers Jülich, Erneuerbare Energien 2010; Jülich.
- AGEMAR, T., ALTEN, J.-A. & BRUNKEN J. M. (2010): Übersichtsdokumentation GeotIS - 2010. – LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0128975; Hannover.
- AGEMAR, T., BRUNKEN, J., JODOCY, M., SCHELLSCHMIDT, R., SCHULZ, R. & STOBER, I. (2011): Neue Temperaturkarten für verschiedene Tiefen in Baden-Württemberg. - Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 5: Umwelt; Freiburg.
- KUDER, J. (2011): Methoden zur Berechnung von Fluidparametern. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0129 716; Hannover.
- KUDER, J. (2011): Porositätsdaten, Permeabilitätsdaten und Kerndaten ab Dogger oder 2500 Meter Teufe aus Hamburg und Umgebung. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0130063; Hannover.
- KUDER, J. (2011): Porositäts- und Permeabilitätsdaten aus Thüringen in der GeotIS-Datenbank. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0129915; Hannover.
- KUDER, J. (2012): Berechnung von T/H-Werten und Konstruktion von T/H-Zonen für geothermisch relevante Schichten in Nordostdeutschland. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0130 617; Hannover.
- SCHELLSCHMIDT, R., PESTER, S. & SCHULZ, R. (2009): Temperatur-Tiefen-Profile für Geothermieprojekte in Bispingen und Munster. – LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0128 408; Hannover.

- SCHELLSCHMIDT, R., PESTER, S. & SCHULZ, R. (2010): Temperatur-Tiefen-Profile und Temperaturkarten für den Standort Emden-Barenburg. – LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0128 781; Hannover.
- SCHULZ, R. (2010): Aufbau eines Internet basierten Informationszentrums für geothermische Energienutzung – 1. Zwischenbericht. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 128 646; Hannover.
- SCHULZ, R. (2011): Aufbau eines Internet basierten Informationszentrums für geothermische Energienutzung – 2. Zwischenbericht. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 129 6662; Hannover.
- SCHULZ, R. (2012): Aufbau eines Internet basierten Informationszentrums für geothermische Energienutzung – 3. Zwischenbericht. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 130 244; Hannover.
- SCHULZ, R. (2013): Aufbau eines Internet basierten Informationszentrums für geothermische Energienutzung – 4. Zwischenbericht. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 131 070; Hannover.
- SCHUMACHER, S. (2011): Falsche Zuordnung von Porositäts- und Permeabilitätsdaten in der Molasse. – LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 0130188; Hannover.

6.4 Öffentlichkeitsarbeit

6.4.1 Pressemitteilungen und Internet

- BINOT, F. & GANZ, B. (2012): Access granted – Geothermal Information System now in English. – LIAG Pressemitteilung; 14.06.2012.
- GANZ, B. (2012): GeotIS - Geothermisches Informationssystem jetzt auch auf Englisch. – BMU-Newsletter, 02: 7-8.
- GEOTIS-TEAM (2011): Geothermisches Informationssystem aktualisiert Daten – Ankündigung im Portal www.geothermie-nachrichten.de.

Website des Projektes: <http://www.geotis.de>

6.4.2 Flyer

- PESTER, S., SCHÖNHOFEN, K. & GEOTIS-TEAM (2009): Flyer: Geothermisches Informationssystem für Deutschland. – 8 S., 8 Abb., Auflage: 1000 Stück; 2. Auflage.
- GANZ, B., TRIBBENSEE, K. & GEOTIS-TEAM (2012): Flyer (Englische Version): Geothermal Information System for Germany. – 8 S., 8 Abb., Auflage: 300 Stück; 1. Auflage.

6.4.3 Messen und Workshops

- AGEMAR, T. & WABERZECK, T. (2011): Einführung in die Nutzung von GeotIS - Informationsveranstaltung für HDI GERLING, 17.01.2011; Hannover.
- GANZ, B. (2012): Workshop Annex X - Data Collection and Information. - Vorstellung und Diskussion des ersten GIA Trend Reports, 23.05.2012; Oslo.

- GANZ, B. (2012): IEA-GIA, Annex X - Data Collection and Information. Durchführung des Annex X Meeting, 28. GIA ExCo Meeting, 18.09.2012; Pisa.
- GEOTIS-TEAM (2009): GeotIS-Workshop für Vertreter der BIS-Steuerungsgruppe, 14.05.09; Hannover
- GEOTIS-TEAM (2009): Messeteilnahme an der GeoEnergia 2009. – 18.-19.11.2009; Bochum, Standausstattung und Betreuung, 2 Poster, 3 Flyer, Demonstration von Software.
- GEOTIS-TEAM (2010): GeotIS-Messestand auf GeoTHERM expo & congress, 25.-26.02.2010; Offenburg.
- GEOTIS-TEAM (2010): Messestand in Zusammenarbeit mit LBEG und BGR auf der Hannover Messe, 19.-23.04.2010; Hannover.
- GEOTIS-TEAM (2010): Messeteilnahme an der GeothermieNord 2010. - 07.-08.10.2010; Schwerin.
- GEOTIS-TEAM (2010): Messeteilnahme an der geoEnergia 2010. – 17.-19.11.2010; Karlsruhe.
- GEOTIS-TEAM (2011): GeotIS-Messestand auf GeoTHERM expo & congress, 24.-25.02.2011; Offenburg.
- GEOTIS-TEAM (2011): Messestand in Zusammenarbeit mit LBEG und BGR auf der Hannover Messe, 04.-08.04.2011; Hannover.
- GEOTIS-TEAM (2011): Workshop II: GeotIS, 7. Internationale Geothermiekonferenz. – 10.05.2011; Freiburg.
- GEOTIS-TEAM & LIAG (2011): Ideen-Expo 2011: Workshops Geothermie. - Durchführung von fünf Workshops mit Exponaten und Versuchen zum Thema tiefe Geothermie für Schülergruppen, 28.08.-04.09.2011; Hannover.
- GEOTIS-TEAM (2011): Messestand in Zusammenarbeit mit LBEG und BGR auf der 4. Norddeutschen Geothermietagung, 26.-27.10.2011; Hannover.
- GEOTIS-TEAM (2011): GeotIS-Messestand auf der geoEnergia, 15.-16.11.2011; Bochum.
- GEOTIS-TEAM (2012): GeotIS-Messestand auf GeoTHERM expo & congress, 01.-02.03.2012; Offenburg.
- GEOTIS-TEAM (2012): Messestand in Zusammenarbeit mit LBEG und BGR auf der Hannover Messe, 23.-27.04.2012; Hannover.
- GEOTIS-TEAM (2012): Messestand in Zusammenarbeit mit LBEG und BGR auf der 5. Norddeutschen Geothermietagung, 17.-18.10.2012; Hannover.
- GEOTIS-TEAM (2012): GeotIS-Messestand auf der geoEnergia, 14.-15.11.2012; Karlsruhe.
- GEOTIS-TEAM (2013): GeotIS-Messestand auf GeoTHERM expo & congress, 28.02.-01.03.2013; Offenburg.

6.4.4 Berichte über das Projekt

GEOTIS-TEAM & FIZ KARLRUHE GMBH (2011): BINE-Informationdienst Projektinfo 09/2011: Tiefer Erdwärme auf der Spur - Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik bietet im Internet Zugang zu Basisdaten für die tiefe Geothermie (Deutsch und Englisch).

GEOTIS-TEAM (2012): Temperaturkarte. – Bild der Woche der Leibniz Gemeinschaft, 23.-29.01.2012.

SCHULZ, R. (2012): Interview. - Energie und Technik, 23.03.2012.

7 Literaturverzeichnis

Zusätzlich zu den in Kap. 6 genannten Schriften wurde für den Bericht folgende Literatur verwendet.

- ARNDT, D. (2012): Geologische Strukturmodellierung von Hessen zur Bestimmung von Geopotenzialen. – Dissertation; TU Darmstadt.
- BÄR, K. M. (2012): Untersuchung der tiefeingeothermischen Potenziale von Hessen. - Dissertation; TU Darmstadt.
- BALDSCHUHN, R., BINOT, F., FLEIG, S. & KOCKEL, F. (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor: Strukturen, Strukturentwicklung, Paläogeographie. - Geol. Jb., A153: 88 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F. (1996): Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland 1:300.000. – 17 Teile, Kt., Taf.; Hannover (BGR).
- BERTLEFF, B., ONDREKA, J., PLUM, H., STORZ, R. & SCHLOZ, W. (2005): Hydrogeologische und geothermische Grundlagen zur Nutzung der tiefen Geothermie/Hydrogeothermie in der Region Bodensee – Oberschwaben. - Kartenwerk/Bericht, RPF; Freiburg i. Br.
- BEUTLER, G., RÖHLING, H.-G., SCHULZ, R. & WERNER, K.-H. (1994): Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Ressourcen in Nordwestdeutschland. – Endbericht, NLFB-GGA, Archiv-Nr. 111 758; Hannover.
- BMU (HRSG.) (2011): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. - Stand Juli 2011: 115 S.; Berlin.
- BRANDES, J. & OBST, K. (2009a): Isobathenkarte für den Aquiferkomplex Mittlerer Buntsandstein in NE-Deutschland. - Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 16: 19-28.
- BRANDES, J. & OBST, K. (2009b): Isobathenkarte der Detfurth-Basis für den Aquiferkomplex Mittlerer Buntsandstein in NE-Deutschland. - ZDGG, **63**: 209.
- FELDRAPPE, H., OBST, K., & WOLFGRAMM, M. (2008): Die mesozoischen Sandstein-aquifere des Norddeutschen Beckens und ihr Potential für die geothermische Nutzung. - Zeitschrift für Geologische Wissenschaften, **36** (4/5): 199-222.
- FRITZER, T., SETTLES, E. & DORSCH, K. (2010): Bayerischer Geothermieatlas – Hydrothermale Energiegewinnung. - Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; München.
- HURTER, S. & HAENEL, R. (Eds.) (2002): Atlas of Geothermal Resources in Europe. - Office for Official Publications of the European Communities; Luxemburg.
- KÜHNE, K., GORLING, L. & MAUL, A.-A. (2003): Aufbau eines Fachinformationssystems Geophysik. - Z. Angew. Geol., **49** (2): 48-53; Hannover.

- OECD/ IEA (2011): Technology Roadmap - Geothermal Heat and Power. - Publication of the International Energy Agency: 52 p.; Paris.
- PASCHEN, H., OERTEL, D. & GRÜNWARD, R. (2003): Möglichkeiten der geothermischen Stromerzeugung in Deutschland. – Sachstandsbericht, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht **84**: 129 S.; Berlin (TAB).
- REINHARDT, H.-G. (1986-1989): Regionales geophysikalisches Kartenwerk der DDR. Tiefenlinienkarte der Rx-Horizonte. - Kartenwerk/Bericht, VEB Geophysik; Leipzig.
- SCHULZ, R. (Hrsg.) (2009): Aufbau eines geothermischen Informationssystems für Deutschland – Endbericht. - LIAG-Bericht, Archiv-Nr. 128 452; Hannover.
- SCHULZ, R., SUCHI, E., DITTMANN, J., KNOPF, S. & MÜLLER, C. (2012): Geothermie-Atlas zur Darstellung möglicher Nutzungskonkurrenzen zwischen CCS und Tiefer Geothermie – Endbericht. - LIAG-Bericht; Hannover.
- WIRTH, W. (2007): Porositäts- und Permeabilitätsdaten aus Bohrkernanalysen in der KW-Datenbank des LBEG – Datenbestand. – GGA-Bericht, Archiv-Nr. 0126992; Hannover.
- WORMBS, J., DIENER, I., PASTERNAK, G., STOLLBERG, K., TESCH, M. & TESSIN, R. (1992): Geologische Grundlagen für die Geothermienutzung in Nordost-Deutschland. - Kartenwerk/Bericht, Gesellschaft für Umwelt- und Wirtschaftsgeologie mbH; Berlin.
- WORMBS, J., DIENER, I., RUSITZKA, I., PASTERNAK, G., TESCH, M., TOLEIKIS, R., TESSIN, R., TROTTNER, D., URLACHER, G. & ZELT, F. (1989): Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR (II). - Kartenwerk/Bericht, Zentrales Geologisches Institut; Berlin.