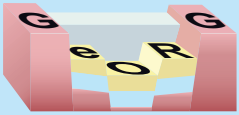
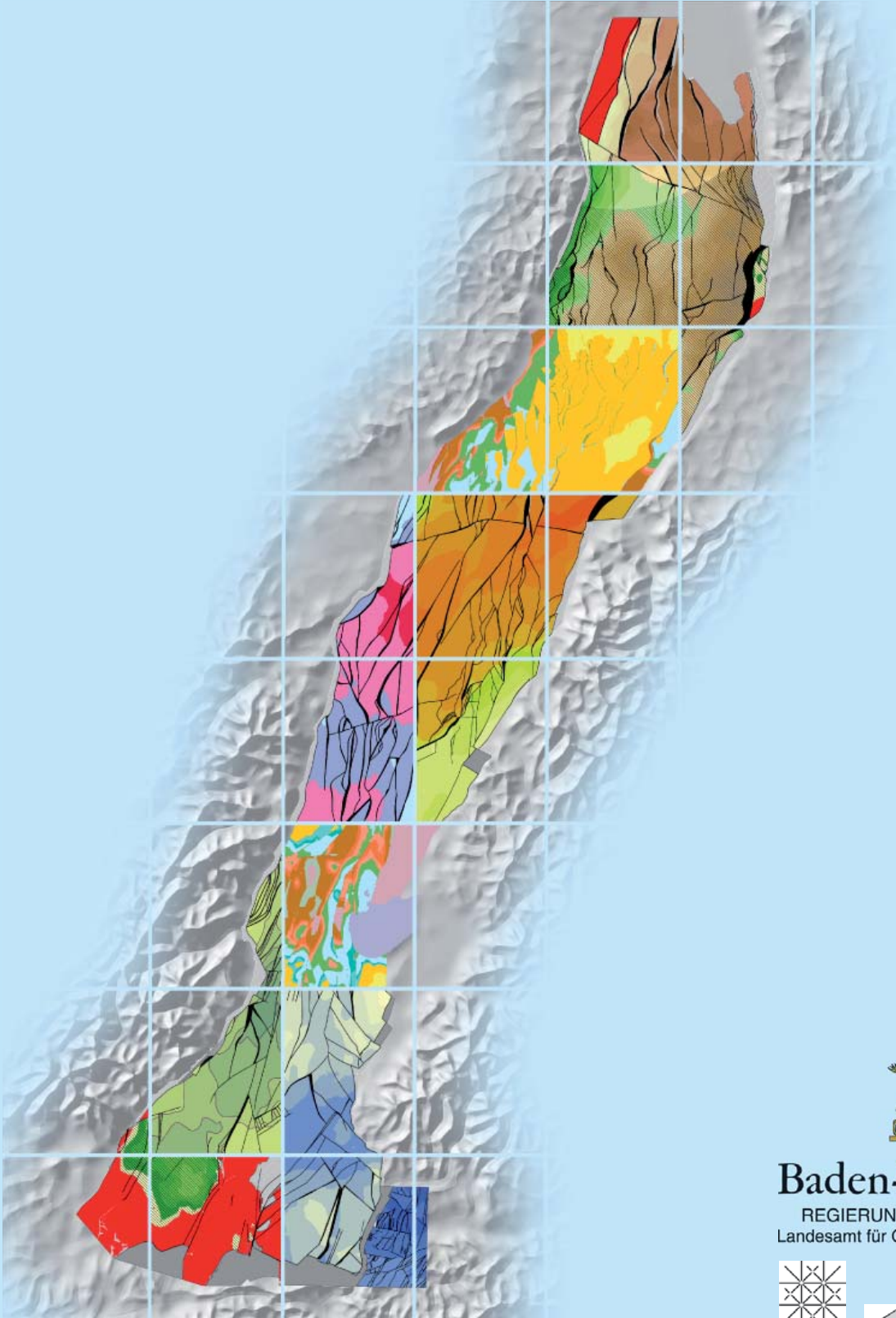


Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben



Fachlich-Technischer Abschlussbericht – Teil 2
Geologische Ergebnisse und Nutzungsmöglichkeiten



Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau



INTERREG IV
Oberrhein | Rhin supérieur

Der Oberrhein wächst zusammen,
mit jedem Projekt
*Dépasser les frontières :
projet après projet*



Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben

Der Fachlich-Technische Abschlussbericht des Interreg-Projekts GeORG besteht aus vier Teilen:

Teil 1 informiert zusammenfassend über die Ziele und Ergebnisse des Projekts GeORG.

Teil 2 informiert ausführlich über die geowissenschaftlichen Ergebnisse und die ermittelten Bewertungen hinsichtlich ihrer Geopotenziale.

Teil 3 dokumentiert ausführlich die im Projekt verwendeten Ausgangsdaten, Methoden und Hilfsmittel.

Teil 4 ergänzt als digitaler Atlas den Fachlich-Technischen Abschlussbericht mit Karten und Profilschnitten.

Der vollständige Fachlich-Technische Abschlussbericht wird im Internet unter www.geopotenziale.eu zum Download bereitgestellt. Die Ergebnisse des Projekts können dort zudem über den **GeORG-Kartenviewer** erschlossen werden.

2013

Freiburg i. Br. / Mainz / Strasbourg / Basel

Herausgegeben von:

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RP Freiburg, Baden-Württemberg)
Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (Mainz)
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Orléans et Strasbourg)
Abteilung Angewandte & Umweltgeologie (AUG) der Universität Basel



Schweizer Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Universität Basel:
Abteilung Angewandte
und Umweltgeologie,
Schweiz



Amt für Umwelt und Energie
Kanton Basel-Stadt



Amt für Militär und
Bevölkerungsschutz,
Amt für Umweltschutz und Energie
Kanton Basel-Landschaft



Kommission Klimaschutz der
Oberrheinkonferenz
Frankreich, Schweiz, Deutschland



Bureau de Recherches Géologiques
et Minières (BRGM) France



Région Alsace



ADEME



Conseil Général
du Bas-Rhin (CG67)



Conseil Général
du Haut-Rhin (CG68)



Communauté du
Strasbourg (CUS)



Dieses Projekt wird durch die Europäische Union
kofinanziert - Europäischer Fonds für regionale
Entwicklung (EFRE) - im Rahmen des Programms
INTERREG IV Oberrhein.



Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB)
Rheinland-Pfalz



Projektträger

Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie,
Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
Baden-Württemberg



GeORG-Projektteam

Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben

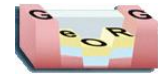
**Fachlich-Technischer Abschlussbericht
des INTERREG-Projekts GeORG**

Teil 2: Geologische Ergebnisse und Nutzungsmöglichkeiten



Das vorliegende Dokument ist Teil des „Fachlich-Technischen Abschlussberichts - Teil 2“ des INTERREG IV-Projekts „GeORG – Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“.

Der komplette Bericht (Teil 1-4) ist unter www.geopotenziale.eu zum Download bereit gestellt.



Impressum

Herausgeber: LGRB Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RP Freiburg, Baden-Württemberg)
BRGM Bureau de recherches géologiques et minières (Orléans et Strasbourg)
LGB Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (Mainz)
AUG Abteilung Angewandte & Umweltgeologie der Universität Basel

Autoren: GeORG-Projektteam:
Günter Sokol¹ & Edgar Nitsch¹ (Koord.), Birte Anders¹, Laurent Beccaletto², Laure Capar²,
Davy Cruz Mermey², Chrystel Dezayes², Horst Dresmann³, Philippe Elsass², Charlotte Fehn¹,
Gabriele Fischer¹, Matthias Franz¹, Jost Haneke⁴, Peter Huggenberger³, Thomas Kärcher⁴,
Johannes Krzyzanowski⁴, Gwennohé Oliviero^{1,2}, Rupert Prestel¹, Claudia Rodat¹, Isabel Rupf¹,
Joachim Schuff¹, Stefanie Siemon⁴, Roman Storz⁴, Jörg Tesch⁴, Stephan Urban², Michael
Weidenfeller⁴, Ulrike Wielandt-Schuster¹, Gunther Wirsing¹, Heiko Zumsprekel¹.

¹LGRB, ²BRGM, ³AUG, ⁴LGB

Übersetzung: Fa. Dynacom, 2 avenue Christian Doppler, F-77700 SERRIS (<http://www.dynacom.fr>)
Une traduction en français est disponible à <http://www.geopotenziale.eu>

Abbildungen: soweit nicht anders angegeben: GeORG-Projektteam

Satz: Charlotte Fehn

Webrepräsentation: <http://www.geopotenziale.eu>

Ausgabe: Dezember 2013

© Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Übersetzung, Nachdruck, Vervielfältigung auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen - auch auszugsweise - nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Zitiervorschlag: GeORG-Projektteam (2013): Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben, Fachlich-Technischer Abschlussbericht des Interreg-Projekts GeORG, Teil 2: Geologische Ergebnisse und Nutzungsmöglichkeiten. – 346 S.; Freiburg i. Br.

Vollständiger Projektbericht:

GeORG-Projektteam (2013): Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben, Fachlich-Technischer Abschlussbericht des Interreg-Projekts GeORG, Teile 1–4. – Internet (PDF-Dokument: <http://www.geopotenziale.eu>).



Das vorliegende Dokument ist Teil des „Fachlich-Technischen Abschlussberichts - Teil 2“ des INTERREG IV-Projekts „GeORG – Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“.

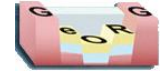
Der komplette Bericht (Teil 1-4) ist unter www.geopotenziale.eu zum Download bereit gestellt.



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.1 | Einführung und Übersicht | 1 |
| 2.2 | Schichtenfolge..... | 2 |
| 2.2.1 | Stratigraphische Intervalle des Modells..... | 3 |
| 2.2.1.1 | Lockergesteine, <i>Plio-Quaternaire</i> | 4 |
| 2.2.1.2 | Stratigraphisches Intervall: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2, <i>Tertiaire rhéнан supérieur</i> 2 6 | |
| 2.2.1.3 | Stratigraphisches Intervall: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1, <i>Tertiaire rhéнан supérieur</i> 1 9 | |
| 2.2.1.4 | Kaiserstuhl-Vulkangebiet, <i>Terrain volcanique du Kaiserstuhl</i> | 15 |
| 2.2.1.5 | Älteres Oberrheingraben-Tertiär, <i>Tertiaire rhéнан inférieur</i> | 16 |
| 2.2.1.6 | Oberjura, <i>Séquanien et Rauracien (Malm)</i> | 23 |
| 2.2.1.7 | Oberer Mitteljura, <i>Dogger supérieur</i> | 26 |
| 2.2.1.8 | Mittlerer und Unterer Mitteljura, <i>Dogger inférieur et moyen</i> | 30 |
| 2.2.1.9 | Unterjura, <i>Lias</i> | 37 |
| 2.2.1.10 | Keuper, <i>Keuper</i> | 43 |
| 2.2.1.11 | Oberer Muschelkalk / <i>Muschelkalk supérieur</i> | 50 |
| 2.2.1.12 | Unterer und Mittlerer Muschelkalk, <i>Muschelkalk inférieur et moyen</i> | 57 |
| 2.2.1.13 | Permotriassische Sandsteine, <i>Grès permo-triassiques</i> | 63 |
| 2.2.1.14 | Permokarbon, <i>Stéfano-Permien</i> | 72 |
| 2.2.1.15 | Grundgebirge, <i>Socle hercynien</i> | 75 |
| 2.2.2 | Stratigraphische Einheiten..... | 80 |
| 2.2.2.1 | Lockergesteine (D, CH) / <i>Plio-Quaternaire</i> (F)..... | 81 |
| 2.2.2.2 | Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär / <i>Tertiaire rhéнан supérieur</i> | 82 |
| 2.2.2.2.1 | Weierstadt-Formation / Formation de Weierstadt..... | 83 |
| 2.2.2.2.2 | Groß-Rohrheim-Formation / Formation de Groß-Rohrheim..... | 84 |
| 2.2.2.2.3 | Landau-Formation / Formation de Landau..... | 85 |
| 2.2.2.2.4 | Bruchsal-Formation / Formation de Bruchsal..... | 86 |
| 2.2.2.2.5 | Niederroedern-Formation / Formation de Niederroedern..... | 88 |
| 2.2.2.2.6 | Froidefontaine-Formation / Formation de Froidefontaine..... | 90 |
| 2.2.2.2.7 | Lörrach-Formation / <i>Grès d'Eguisheim et Gompholites d'Ajoie</i> | 92 |
| 2.2.2.3 | Älteres Oberrheingraben-Tertiär / <i>Tertiaire rhéнан inférieur</i> | 93 |
| 2.2.2.3.1 | Pechelbronn-Formation / Formation de Pechelbronn..... | 94 |
| 2.2.2.3.2 | Haguenau-Formation / Formation de Haguenau..... | 96 |
| 2.2.2.3.3 | Wittelsheim-Formation / Formation de Wittelsheim..... | 98 |
| 2.2.2.3.4 | Küstenkonglomerat-Formation / <i>Conglomérats côtiers</i> | 100 |
| 2.2.2.3.5 | Schliengen-Formation / Formation de Schliengen..... | 101 |
| 2.2.2.4 | Oberjura (D, CH) / <i>Malm</i> (F)..... | 103 |
| 2.2.2.4.1 | Courgenay-Formation (CH)..... | 104 |
| 2.2.2.4.2 | Balsthal -Formation (CH)..... | 105 |
| 2.2.2.4.3 | Wildeggen-Formation (CH)..... | 106 |
| 2.2.2.4.4 | Nerineenkalk-Formation (D) / <i>Calcaires à Nérinées</i> (F) / <i>Vellerat-Formation</i> (CH)..... | 107 |
| 2.2.2.4.5 | Korallenkalk-Formation (D) / <i>Calcaires récifaux jurassien</i> (F) / <i>St.-Ursanne-Formation</i> (CH)..... | 108 |
| 2.2.2.5 | Mitteljura (D, CH) / <i>Dogger</i> (F)..... | 109 |
| 2.2.2.5.1 | Kandern-Formation (D) / <i>Marnes callovo-oxfordienne et Marnes à chailles</i> (F) / <i>Bärschwil-Formation</i> (CH)..... | 111 |
| 2.2.2.5.2 | Ornatenton-Formation (D) / <i>Marnes à M. macrocephalus et Calcaire à R. anceps</i> (F) / <i>Herznach-Formation</i> (CH)..... | 113 |
| 2.2.2.5.3 | Variansmergel-Formation (D) / <i>Marnes et calcaires à Rynchonella alemanica</i> et <i>marnes</i> <i>à Belemnopsis canaliculatus</i> (F)..... | 114 |
| 2.2.2.5.4 | Hauptrogenstein-Formation (D) / <i>Grande Oolithe et Marnes et calcaires d'Imbsheim</i> (F) / <i>Hauptrogenstein</i> (CH)..... | 115 |
| 2.2.2.5.5 | Tonfazies des Bajocium..... | 116 |





| | | |
|------------|---|-----|
| 2.2.2.5.6 | Wedelsandstein- und Humphriesoolith-Formation (D) / Marnes et Calcaires de Griesbach (F) / obere Passwang-Formation (CH) | 117 |
| 2.2.2.5.7 | Murchisonaeoolith-Formation (D) / Marnes et grès de Schalkendorf (F) / untere Passwang-Formation (CH)..... | 119 |
| 2.2.2.5.8 | Opalinuston-Formation (D) / Marnes de Gundershoffen (F) / Opalinuston (CH) | 121 |
| 2.2.2.6 | Unterjura (D, CH) / Lias (F)..... | 122 |
| 2.2.2.6.1 | Jurensismergel-Formation (D) / Marnes à <i>Lytoceras jurensis</i> (F) | 123 |
| 2.2.2.6.2 | Posidonienschiefer-Formation (D) / Schistes carton (F) | 124 |
| 2.2.2.6.3 | Amaltheenton-Formation (D) / Marnes à <i>Amaltheus margaritatus</i> (F) | 125 |
| 2.2.2.6.4 | Numismalismergel-Formation (D) / Marnes à <i>Zeilleria numismalis</i> (F) | 127 |
| 2.2.2.6.5 | Obtususton-Formation (D) / Marnes d'Obermodern (F)..... | 128 |
| 2.2.2.6.6 | Langenbrücken-Formation und Äquivalente (D) / Calcaire et marnes de Hochfelden (F) 129 | |
| 2.2.2.6.7 | Staffelegg-Formation (CH) | 130 |
| 2.2.2.7 | Keuper | 131 |
| 2.2.2.7.1 | Exter-Formation (D) / Rhétien (F) / Oberkeuper (CH) | 132 |
| 2.2.2.7.2 | Arnstadt-Formation (D) / Marnes irisées supérieures (F) / Oberer Steinmergelkeuper (CH) | 134 |
| 2.2.2.7.3 | Löwenstein- und Trossingen-Formation (D)..... | 135 |
| 2.2.2.7.4 | Mainhardt- und Steigerwald-Formation (D) / Marnes irisées moyennes (F) / Unterer Steinmergelkeuper (CH) | 137 |
| 2.2.2.7.5 | Stuttgart-Formation (D) / Grès à roseaux (F) / Schilfsandstein (CH) | 139 |
| 2.2.2.7.6 | Grabfeld-Formation (D) / Marnes irisées inférieures (F) / Gipskeuper (CH) | 140 |
| 2.2.2.7.7 | Erfurt-Formation (D) / Lettenkohle moyen et supérieur (F) / Lettenkeuper (CH) | 141 |
| 2.2.2.8 | Muschelkalk | 142 |
| 2.2.2.8.1 | Oberer Muschelkalk (D, CH) / Muschelkalk supérieur s. str. (F)..... | 144 |
| 2.2.2.8.2 | Diemel-Formation (D) / Dolomies cavernieuses de Muschelkalk moyen (F) / Dolomitzone der Anhydritgruppe (CH) | 146 |
| 2.2.2.8.3 | Heilbronn-Formation (D) / Muschelkalk moyen: Marnes gréseuses bariolées à gypse (F) / Anhydritgruppe: Steinsalz- und Sulfatzonen (CH) | 147 |
| 2.2.2.8.4 | Karlstadt-Formation (D) / Dolomie à <i>Myophoria orbicularis</i> (F) / Orbicularisschichten (CH) | 149 |
| 2.2.2.8.5 | Jena- und Freudenstadt-Formation (D) / Zone marno-dolomitique (F) / Wellenmergel und Wellendolomit (CH) | 150 |
| 2.2.2.8.6 | Udelfangen-Formation (D) / Grès coquiller (F)..... | 152 |
| 2.2.2.9 | Permotriassische Sandsteine (Buntsandstein s. l.) und Zechstein | 153 |
| 2.2.2.9.1 | Oberer Buntsandstein (D, CH) / Buntsandstein supérieur: Grès à <i>Voltzia</i> et Couches intermédiaires (F) | 154 |
| 2.2.2.9.2 | Mittlerer und Unterer Buntsandstein (D, CH) / Buntsandstein moyen: Conglomérat principal, Grès vosgien et Conglomérat inférieur (F) | 156 |
| 2.2.2.9.3 | Annweiler- und Speyerbach-Formation (D) / Grès d'Annweiler (F)..... | 158 |
| 2.2.2.9.4 | Tigersandstein- und Wiesental-Formation (D) | 159 |
| 2.2.2.9.5 | Basis spätpermische Sandsteine bis Basis Zechstein (D) | 160 |
| 2.2.2.10 | Permokarbon | 161 |
| 2.2.2.10.1 | Rotliegend (D, CH) / Rotliegende (F) | 162 |
| 2.2.2.10.2 | Oberkarbon (D, CH) / Carbonifère supérieur (F)..... | 164 |
| 2.2.2.11 | Grundgebirge | 165 |
| 2.2.2.11.1 | Mitteleuropäische Kristallinzone | 166 |
| 2.2.2.11.2 | Kraichgau-Nordvogesen-Schiefergebirge | 167 |
| 2.2.2.11.3 | Vogesen-Schwarzwald-Kristallin | 168 |
| 2.2.2.11.4 | Südschwarzwald-Kristallin..... | 169 |
| 2.3 | Tektonischer Bau | 170 |





| | | |
|-------------|---|-----|
| 2.3.1 | Tektonische Baueinheiten | 171 |
| 2.3.1.1 | Der nördliche Grabenabschnitt | 173 |
| 2.3.1.2 | Die Illfurth–Bruchsal–Störungszone | 175 |
| 2.3.1.3 | Die westlichen Schollenfelder (Alsace–Pfalz) | 178 |
| 2.3.1.4 | Die östlichen Randschollen (Grabenrand Schwarzwald–Kraichgau) | 181 |
| 2.3.1.5 | Das südliche Bruchschollengebiet Freiburg–Mulhouse–Basel | 183 |
| 2.3.1.6 | Faltenjura | 186 |
| 2.3.2 | Tektonischer Bau nach Tiefenstufen | 187 |
| 2.3.2.1 | Geologie bei 500 m unter Geländeoberfläche | 188 |
| 2.3.2.2 | Geologie bei 1000 m unter Geländeoberfläche | 190 |
| 2.3.2.3 | Geologie bei 1500 m unter Geländeoberfläche | 192 |
| 2.3.2.4 | Geologie bei 2000 m unter Geländeoberfläche | 194 |
| 2.3.2.5 | Geologie bei 2500 m unter Geländeoberfläche | 196 |
| 2.3.2.6 | Geologie bei 3000 m unter Geländeoberfläche | 198 |
| 2.3.2.7 | Geologie bei 3500 m unter Geländeoberfläche | 200 |
| 2.3.2.8 | Geologie bei 4000 m unter Geländeoberfläche | 202 |
| 2.3.2.9 | Geologie bei 4500 m unter Geländeoberfläche | 203 |
| 2.3.2.10 | Geologie bei 5000 m unter Geländeoberfläche | 204 |
| 2.4 | Geopotenziale | 205 |
| 2.4.1 | Was sind Geopotenziale? | 207 |
| 2.4.2 | Untergliederung der Gesteinsabfolge im Modellgebiet | 208 |
| 2.4.3 | Geothermische Systeme und Nutzungsformen tiefengeothermischer Potenziale | 210 |
| 2.4.3.1 | Geothermische Systeme | 211 |
| 2.4.3.2 | Nutzungsformen tiefengeothermischer Potenziale | 213 |
| 2.4.4 | Geothermische Potenziale und Seismizität im Oberrheingraben | 217 |
| 2.4.5 | Temperaturverteilung im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens | 219 |
| 2.4.5.1 | Pilotstudie: „Logauswertung und konduktive Temperaturmodellierung im Oberrheingraben zwischen Rastatt und Landau“ | 221 |
| 2.4.5.2 | Ergebnisse der geostatistischen 3D-Temperaturmodellierung | 227 |
| 2.4.5.2.1 | Temperaturen in verschiedenen Tiefenstufen (in m u. Gelände) und Abschätzung des geothermischen Potenzials auf Grundlage der Temperaturen | 229 |
| 2.4.5.2.1.1 | Temperaturen in 500 m u. Gelände und geothermische Potenzialabschätzung ... | 230 |
| 2.4.5.2.1.2 | Temperaturen in 1000 m u. Gelände | 232 |
| 2.4.5.2.1.3 | Temperaturen in 1500 m u. Gelände | 234 |
| 2.4.5.2.1.4 | Temperaturen in 2000 m u. Gelände | 236 |
| 2.4.5.2.1.5 | Temperaturen in 2500 m u. Gelände | 238 |
| 2.4.5.2.1.6 | Temperaturen in 3000 m u. Gelände | 240 |
| 2.4.5.2.2 | Tiefenlage der Fläche gleicher Temperatur in Meter unter Gelände (Isotherme) | 242 |
| 2.4.5.2.2.1 | Tiefenlage der 60 °C-Isotherme in Meter unter Gelände | 243 |
| 2.4.5.2.2.2 | Tiefenlage der 100 °C-Isotherme in Meter unter Gelände | 244 |
| 2.4.5.2.2.3 | Tiefenlage der 150 °C-Isotherme in Meter unter Gelände | 245 |
| 2.4.5.3 | Vergleich und Diskussion der Ergebnisse des geostatistischen 3D-Temperaturmodells mit dem konduktiven Temperaturmodell | 246 |
| 2.4.6 | Geothermische Einheiten | 251 |
| 2.4.6.1 | Oberjura | 257 |
| 2.4.6.1.1 | Gesteins- und Fluideigenschaften | 258 |
| 2.4.6.1.2 | Temperaturen an der Oberfläche des Oberjura und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials | 259 |
| 2.4.6.2 | Hauptrogenstein (Mitteljura) | 260 |
| 2.4.6.2.1 | Gesteins- und Fluideigenschaften | 261 |
| 2.4.6.2.2 | Temperaturen an der Oberfläche Hauptrogenstein und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials | 263 |
| 2.4.6.3 | Oberer Muschelkalk | 264 |
| 2.4.6.3.1 | Gesteins- und Fluideigenschaften | 265 |





| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.4.6.3.2 | Temperaturen an der Oberfläche Muschelkalk und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials | 267 |
| 2.4.6.4 | Permotriassische Sandsteine | 268 |
| 2.4.6.4.1 | Gesteins- und Fluideigenschaften | 269 |
| 2.4.6.4.2 | Temperaturen an der Oberfläche der Permotriassischen Sandsteine (bzw. des Buntsandstein) und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials | 271 |
| 2.4.6.5 | Permokarbon | 272 |
| 2.4.6.5.1 | Gesteins- und Fluideigenschaften | 273 |
| 2.4.6.5.2 | Temperaturen an der Oberfläche des Permokarbon und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials | 274 |
| 2.4.6.6 | Grundgebirge | 275 |
| 2.4.6.6.1 | Gesteins- und Fluideigenschaften | 276 |
| 2.4.6.6.2 | Temperaturen an der Oberfläche Grundgebirge und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials | 278 |
| 2.4.7 | Abschätzung des Wärmeinhalts und der theoretisch gewinnbaren Wärmemenge | 279 |
| 2.4.7.1 | Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Oberjura | 281 |
| 2.4.7.2 | Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Hauptrogenstein | 282 |
| 2.4.7.3 | Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Oberen Muschelkalk | 283 |
| 2.4.7.4 | Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge in den Permotriassischen Sandsteine | 284 |
| 2.4.7.5 | Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Grundgebirge | 285 |
| 2.4.8 | Speicher- und Barrierepotenzial (insbesondere für CO ₂ - Speicherung) | 287 |
| 2.4.8.1 | Grundlagen der Nutzung des tieferen Untergrundes als Speicher (insbesondere für dauerhafte CO ₂ -Speicherung) | 289 |
| 2.4.8.2 | Speicher- und Barrierekomplexe (insbesondere für dauerhafte CO ₂ -Speicherung) | 291 |
| 2.4.8.3 | Beschreibung der Speicher- und Barrierekomplexe (insbesondere für dauerhafte CO ₂ -Speicherung) | 292 |
| 2.4.8.3.1 | Speicher- und Barrierekomplex Älteres Oberrheingraben-Tertiär | 293 |
| 2.4.8.3.2 | Speicherkomplex Oberjura | 295 |
| 2.4.8.3.3 | Barrierekomplex Oberer Mitteljura (Kandern-Formation, Ornatenton-Formation, Variansmergel-Formation) | 296 |
| 2.4.8.3.4 | Speicherkomplex Hauptrogenstein | 297 |
| 2.4.8.3.5 | Barrierekomplex Unterjura und Keuper | 298 |
| 2.4.8.3.6 | Speicherkomplex Oberer Muschelkalk (einschließlich Diemel-Formation, falls vorhanden) | 299 |
| 2.4.8.3.7 | Barrierekomplex Unterer Muschelkalk und Mittlerer Muschelkalk bis Top der Salinar-Formation | 300 |
| 2.4.8.3.8 | Speicherkomplex Permotriassische Sandsteine | 301 |
| 2.4.8.3.9 | Speicherkomplex Permokarbon | 302 |
| 2.4.8.4 | Bewertung | 303 |
| 2.4.9 | Bestehende Nutzungen im Projektgebiet | 305 |
| 2.4.9.1 | Bestehende Nutzungen der Tiefengeothermie | 306 |
| 2.4.9.2 | Bestehende Nutzungen zur Erdgasspeicherung | 308 |
| 2.4.9.3 | Bestehende Nutzungen der Kohlenwasserstoffe | 310 |
| 2.4.9.4 | Bestehende Nutzungen von Thermalwässern und von Mineralwässern | 313 |
| 2.5 | Einsatz der 3D-Modelle als Expertenwerkzeug | 316 |
| 2.5.1 | Einsatz des 3D-Modells als Werkzeug – Fallbeispiele im Raum Basel | 317 |
| 2.5.1.1 | Prinzipielles Konzept und Vorgehen zum Einsatz des „Werkzeugs“ geologisches 3D-Modell | 318 |
| 2.5.1.2 | Fallbeispiel: Autobahntunnel – „Anschluß Margarethenstrasse“ – „Anschluß St. Jakobsstrasse West“ (A2-Abschnitt7) und Osttangente | 323 |
| 2.5.1.3 | Erdwärmennutzungskarte (EWNK) Basel-Landschaft | 329 |
| 2.5.1.4 | Beurteilung und Ausblick | 331 |
| 2.5.2 | Geothermisches Potential im Untergrund der Stadtgemeinde Strasbourg | 332 |
| 2.6 | Literatur | 335 |



2.1 Einführung und Übersicht

Kurzbeschreibung

Teil 2 des fachlich-technischen Abschlussberichts stellt die geowissenschaftlichen Ergebnisse des GeORG-Projekts dar. Schichtenfolge, tektonischer Bau und Geopotenziale des Untersuchungsgebietes werden darin beschrieben.

Einführung

Teil 2 des Fachlich-Technischen Abschlussberichts gliedert sich in eine Beschreibung der Schichtenfolge im Modellgebiet mit besonderer Berücksichtigung ihrer Nutzhorizonte (2.2), des tektonischen Baus innerhalb der Grabenrandstörungen (2.3), der unterschiedlichen Geopotenziale des tieferen Untergrunds (2.4) und in die Beschreibung des 3D-Modells als Werkzeug (2.5).

Schichtenfolge

Das *Kapitel 2.2 Schichtenfolge* beschreibt zunächst die im 3D-Modell erfassten bzw. durch stratigraphische Horizonte gegeneinander abgegrenzten stratigraphischen Intervalle und deren Verbreitung im Untergrund des Oberrheingrabens (2.2.1). Dabei wird jeweils auf die darin auftretenden Geopotenziale eingegangen. Anschließend werden die stratigraphischen Einheiten (Formationen, teilweise Gruppen oder Untergruppen) innerhalb dieser Intervalle im Einzelnen beschrieben (2.2.2).

Tektonische Baueinheiten

Das *Kapitel 2.3 Tektonischer Bau* gibt zunächst eine Übersicht über die strukturellen Baueinheiten des Grabeninneren, jeweils in der Größenordnung von 10–40 km, wie sie sich nach dem modellierten Störungsmuster insbesondere in der känozoischen Grabenfüllung abgrenzen lassen (2.3.1). Anschließend wird der geologische Bau in unterschiedlichen Tiefenstufen erläutert (2.3.2).

Geopotenziale

Das *Kapitel 2.4 Geopotenziale* gibt nach der Begriffsdefinition (2.4.1 und 2.4.2) einleitend einen Überblick über die geothermischen Systeme und Nutzungsformen der Geothermie (2.4.3). Im Folgenden werden die geothermischen Potenziale im Oberrheingraben beschrieben (2.4.4). Grundlage hierfür bilden das geologische 3D-Modell, das konduktive Temperaturmodell, das im Rahmen einer Pilotstudie erstellt wurde (2.4.5.1), sowie das geostatistische Temperaturmodell (2.4.5.2). Darauf aufbauend werden die Temperaturen in verschiedenen Tiefenstufen und die Tiefenlagen von Flächen gleicher Temperatur beschrieben. In Kap. 2.4.6 werden die geothermischen Nutzhorizonte hinsichtlich ihrer Gesteins- und Fluideigenschaften sowie der Temperaturverteilung an ihrer Oberfläche charakterisiert. Eine Abschätzung des Wärmeinhalts und der gewinnbaren Wärmemenge bezogen auf die geothermischen Nutzhorizonte findet sich in Kap. 2.4.7. Als weiteres Geopotenzial werden die Speicher- und Barrieregesteine im Oberrheingraben (insbesondere im Hinblick auf die CO₂-Speicherung) abgehandelt (2.4.8). Die bestehenden Nutzungen der Geopotenziale im tieferen Untergrund sind in Kap. 2.4.9 zusammengefasst.

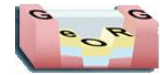
Fallbeispiele

Das *Kapitel 2.5* zeigt Beispiele für den Einsatz der 3D-Modelle als Expertenwerkzeug. Kapitel 2.5.1 beschreibt für das 3D-Modell im Raum Basel das Konzept und die Vorgehensweise für eine problemorientierte Anwendung. Die Einsatzmöglichkeiten des 3D-Modells zur Lösung konkreter Fragestellungen werden an den Fallbeispielen eines Autobahntunnels (2.5.1.2) und einer Erdwärmesondenkarte (2.5.1.3) vorgestellt. In Kapitel 2.5.2 wird das Projekt der Stadtgemeinde Strasbourg (CUS) vorgestellt.

Literatur zu Teil 2

Kapitel 2.6 führt die in den Kapiteln 2.2 bis 2.5 angegebenen Literaturzitate auf.





2.2 Schichtenfolge

Ziel: Beschreibung der Schichtenfolge im Modellgebiet mit besonderer Berücksichtigung ihrer Nutzhorizonte

Eingangsdaten

Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse, Seismik.

Kapitelverweise

2.2.1, 2.2.2





2.2.1 Stratigraphische Intervalle des Modells

Ziel: Beschreibung der stratigraphischen Intervalle des geologischen 3D-Modells im Modellgebiet





2.2.1.1 Lockergesteine, *Plio-Quaternaire*

Geopotenziale

Grundwasser: Das in den Lockergesteinen des Oberrheingrabens zirkulierende Grundwasservorkommen bildet eine der bedeutendsten Trinkwasserressourcen Mitteleuropas.

Geothermie: Die Lockergesteine bzw. das darin zirkulierende Grundwasser werden mittels Erdwärmesonden- bzw. Grundwasserwärmepumpenanlagen für Heiz- bzw. Kühlzwecke genutzt (oberflächennahe Geothermie, Kapitel 2.4.3). Die Nutzung der geothermischen Energie erfolgt über Wärmetauschersysteme mit Niveauanhebung zur Wärmebereitstellung. Für Baden-Württemberg gibt das Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (ISONG) Auskunft über die Nutzungsmöglichkeiten des Geopotenzials mittels Erdwärmesonden.

Oberflächennahe Rohstoffe: Sand und Kies.

Kurzbeschreibung

Geländeoberfläche bis Basis Lockergesteine: Unverfestigte Kiese, Sande und Tone. Mannheim-, Ludwigshafen- und Viernheim-Formation, Ortenau-Formation, Neuenburg- und Breisgau-Formation, Iffezheim-Formation; Pliozän bis Quartär.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben einschließlich Randschollenzzone.

Im Raum Heidelberg bis 700 m, nach Süden und Norden abnehmend, meist bis 300 m. Im Randschollenbereich teilweise unter 10 m oder fehlend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse, Seismik.

Stratigraphische Gliederung

Umfasst Rheinkiese mit alpinem Material (im Norden Viernheim-, Ludwigshafen- und Mannheim-Formation, zwischen Karlsruhe und Lahr Ortenau-Formation, im Süden Breisgau- und Neuenburg-Formation), und ohne alpine Materialzufuhr (Iffezheim-Formation), sowie südlich Mulhouse die Sundgau-Schotter. Gebietsweise von Löß, Flugsand oder quartären Umlagerungsdecken überlagert.

Ältere Bezeichnungen umfassen: „Quartär“, „Rheinkies“, „Pliozän“, „Weißes Pliozän“, „Fluviatiles Jungtertiär II“.

Seismische Charakteristik

In der Tiefenseismik geht die Basis der Lockergesteine häufig im oberflächennahen Rauschen unter. Bei hinreichender Mächtigkeit zeigt sich die Basis der Lockergesteine als flach diskordanter Reflektor mittlerer bis guter Konnektivität, darüber können mehrere konkordante Reflektoren auftreten. Basis örtlich an steilen Störungen versetzt.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Im Rahmen des GeORG-Projekts nicht bearbeitet, da für die betrachteten Geopotenziale im tieferen Untergrund nicht unmittelbar relevant.

Literaturhinweise, Externe Links

Bonvalot 1974, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

ISONG – http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/geothermie/is_geothermie

Kapitelverweise

2.2.2.1





Atlasblätter

2.1.1, 2.1.2, 3.1, 4.1, 7.1, 7.5





2.2.1.2 Stratigraphisches Intervall: Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 2, *Tertiaire rhénaie supérieure 2*

Geopotenziale

Geothermie

Nutzungsmöglichkeit durch mitteltiefe Geothermie für die Wärmegewinnung zu Heiz- und Produktionszwecken anhand von erdekoppelten Wärmetauschersystemen.

Mineral-/Thermalwassernutzung

In der Landau-Formation sind am Grabenrand Mineralwasservorkommen bekannt, welche vereinzelt als Heilwässer genutzt werden, so z. B. die „Frohmühlquelle“ in Bad Dürkheim oder die Schönbornquelle bei Bruchsal (Kap. 2.4.9.4).

Kohlenwasserstoffe

Die Modelleinheit hat lokal als Erdöl-Speichergestein wirtschaftliche Relevanz. Eine Förderung der Kohlenwasserstoffe aus dieser Modelleinheit findet seit mehreren Jahrzehnten an verschiedenen Stellen im Projektgebiet statt (Kap. 2.4.9.2).

Kurzbeschreibung

Basis Lockergesteine bis Basis Landau-Formation (in deren Verbreitungsgebiet): Überwiegend graue, gering verfestigte, lagenweise auch verfestigte Mergelsteine, Bänke von Karbonatgesteinen, untergeordnet Sandsteine und Braunkohle. Weiterstadt-Formation, Groß-Rohrheim-Formation, Landau-Formation; Spätes Oligozän bis Mittleres Miozän.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben nördlich von Wissembourg und Karlsruhe. Im Raum Heidelberg-Worms bis 1400 m, nach Süden abnehmend. Südlich des Verbreitungsgebietes faziell durch Teile der Niederroedern-Formation vertreten (s. 2.2.1.3).

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse, Seismik.

Stratigraphische Gliederung

Im oberen Abschnitt (nördlich von Landau und Karlsruhe) Weiterstadt-Formation: Wechselfolgen von Sanden und Tonen, teils kalkhaltig und teils kalkfrei.

darunter oder als oberste unter den Lockergesteinen erhaltene Einheit Groß-Rohrheim-Formation: grüne und bunte Mergelsteine mit lokalen Sandstein-Einschaltungen.

unten Landau-Formation: mächtige, überwiegend graue Mergelsteine mit Kalkstein- und Dolomitsteinbänken, örtlich Sandstein-Einschaltungen, örtlich geringmächtige Braunkohle, lagenweise Anhydritknollen.

Seismische Charakteristik

In der Seismik zahlreiche parallele Reflektoren guter Konnektivität, unter der Basis der Lockergesteine vielfach flach diskordant abgeschnitten.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegen aus 9 Aufschlüssen 30 Messwerte (20 Mittelwerte, 5 Min-Werte, 5 Max-Werte) aus dem nördlichen Teil des Projektgebietes im Oberrheingraben und an dessen östlicher Grabenschulter vor.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung



häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei sehr hohen 26,3 %. Die Werte schwanken deutlich zwischen 3,1 und 37 %. Auf Grund des vergleichsweise geringen Verfestigungsgrades dürften die hohen Porositätswerte im Vergleich zu stärker verfestigten mergeligen Abfolgen durch eine erhöhte Matrixporosität bedingt sein.

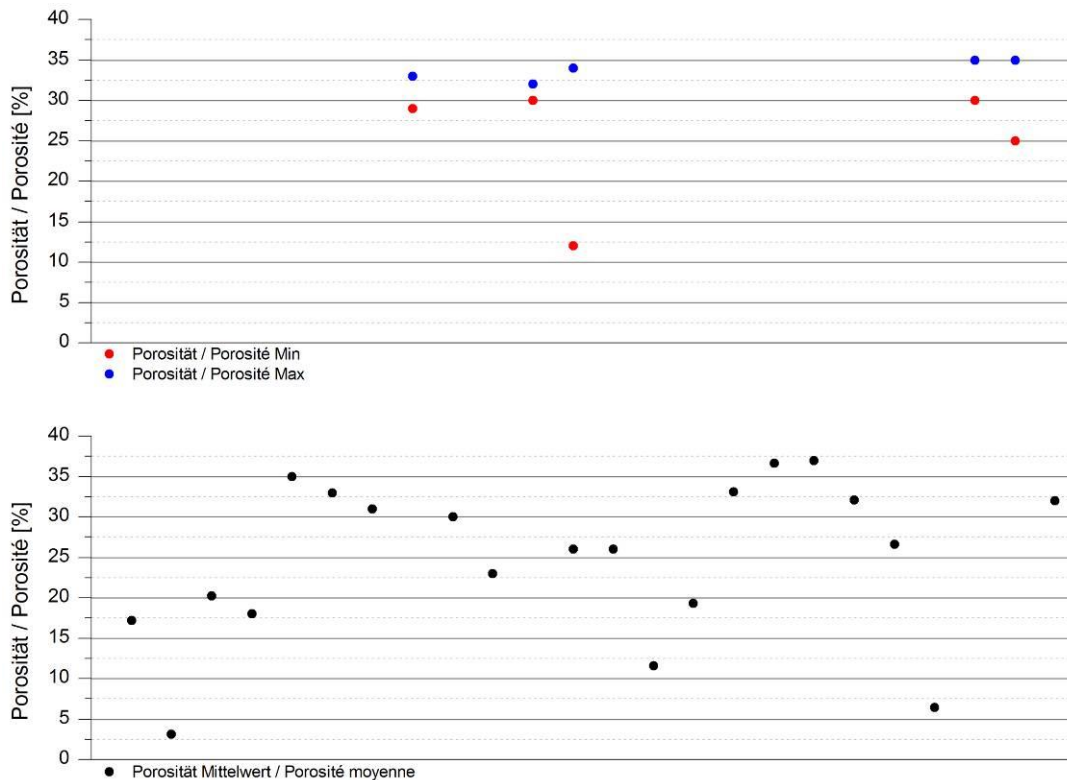


Abb. 2.2.1.2-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2).

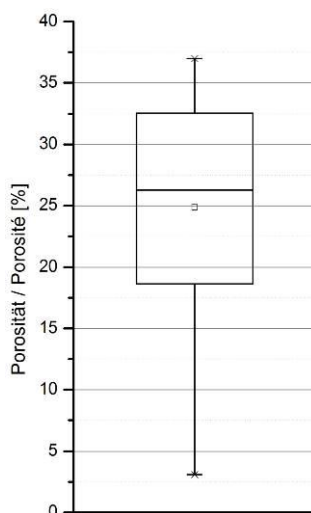


Abb. 2.2.1.2-02: Boxplot der Porositäten im Jüngeren Oberrheingraben-Tertiär 2.

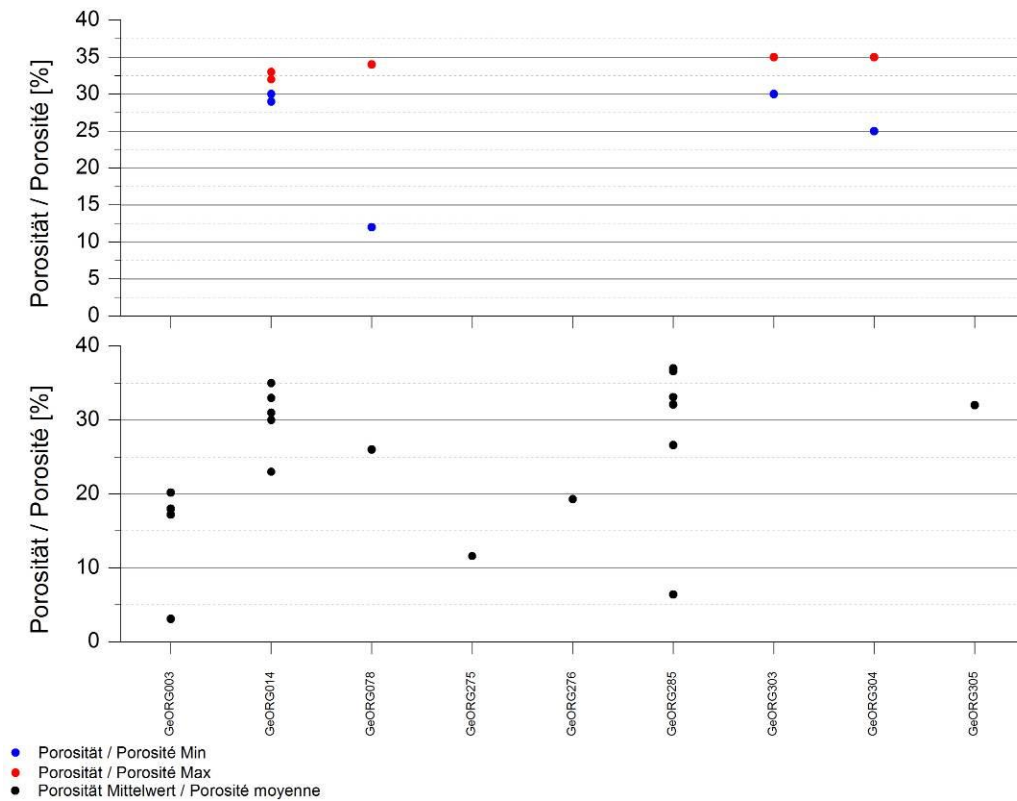


Abb. 2.2.1.2-03: Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 2: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen.

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegt lediglich ein Messwert vor. Der K-Wert von 5.933 mD ist für die mergelig dominierte Modelleinheit atypisch hoch. Er lässt auf eine ausgeprägte Zerrüttung des beprobten / vermessenen Gebirgsabschnittes oder auf eine höher durchlässige Sandsteineinschaltung schließen.

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet keine Messwerte vor.

Literaturhinweise

DSK 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.2.2.1, 2.2.2.2.2, 2.2.2.2.3, 2.2.2.2.4

Atlasblätter

2.2., 4.1, 7.1, 7.2, 8.1, 8.2



2.2.1.3 Stratigraphisches Intervall: Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1, *Tertiaire rhénan supérieur 1*

Geopotenziale

Geothermie

Es besteht ein geothermisches Potenzial im Bereich der mitteltiefen Geothermie für die Wärmegegewinnung zu Heiz- und Produktionszwecken anhand von erdgekoppelten Wärmetauschersystemen.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Im Jüngeren Oberrheingraben-Tertiär 1 sind am Grabenrand Mineralwasservorkommen bekannt, welche vereinzelt als Heilwässer genutzt werden.

Bergbau

In der Randschollenzzone wurden lokal Tonsteine der Froidefontaine-Formation abgebaut.

Kohlenwasserstoffe

Im nördlichen Oberrheingraben wurden an mehreren Orten Kohlenwasserstoffe aus den Niederroedern-Formation und der Froidefontaine-Formation gefördert.

Kurzbeschreibung

Basis Landau-Formation bis Basis Froidefontaine-Formation (bzw. Top Niederroedern-Formation bis Basis Froidefontaine-Formation): Mergelsteine und Kalksteinbänke mit wechselnden Einschaltungen von Sandsteinen und Evaporiten. Bruchsal-Formation (im Norden), Niederroedern-Formation, Froidefontaine-Formation; Frühes Oligozän bis Frühes Miozän.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone. Nördlich Karlsruhe bis über 3000 m, sonst im Grabeninneren bis ca. 1000–1500 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse, Seismik.

Stratigraphische Gliederung

Oben (nur nördlich Karlsruhe–Wissembourg) Bruchsal-Formation: Graue und grüne Mergelsteine und Tonmergelsteine, meist feingeschichtet, mit nach oben zunehmenden Einschaltungen von Anhydritstein in Lagen und Knollen, im Raum Worms Einschaltungen von Steinsalz, lokal geringmächtige Sandsteine.

Darunter (und südliche Faziesvertretung) Niederroedern-Formation: Bunte und graue Mergelsteine mit unregelmäßigen Sandstein-Einschaltungen, am Grabenrand zunehmend konglomeratisch, lagenweise Anhydritknollen, gebietsweise (vor allem im Süden) Kalksteinbänke. Südlich Karlsruhe-Wissembourg vertritt der obere Teil der Niederroedern-Formation offenbar faziell die Bruchsal-Formation und Teile der Landau-Formation (DoebI & Geissert 1971). In konglomeratischen Lagen des Kaiserstuhl-Gebiets wurden Gerölle aus dessen miozänen Vulkaniten gefunden, was auch für den Südgraben miozäne Anteile der Niederroedern-Formation nahe legt. Südlich des Kaiserstuhls ist in lateral wechselnden Anteilen die Karbonatfazies der Tüllingen-Schichten in die bunte Normalfazies eingelagert oder vertritt deren höheren Abschnitt.

Unten Froidefontaine-Formation: oben überwiegend graue Mergelsteine und Feinsandsteine (Karlsruhe-Member), darin nahe am Grabenrand örtlich bunte Mergelhorizonte, darunter euxinisch-marine bituminöse Mergelsteine (Frauenweiler-Fischschiefer), an der Basis marine Mergelsteine mit Foraminiferen (Foraminiferenmergel).

Lörrach-Formation: Im Raum Lörrach geringmächtige Sandsteine als fazielle Vertretung der tieferen Froidefontaine-Formation.





Seismische Charakteristik

Unter der Obergrenze der Bruchsal-Formation bilden gebietsweise Evaporitlagen ein auffälliges Bündel stärkerer Reflektoren. Die tiefsten Reflektoren der Bruchsal-Formation verlieren sich im Raum Wissembourg–Karlsruhe nach Süden in der seismischen Fazies der Niederroedern-Formation. Die Niederroedern-Formation stellt eine Zone meist gering konnektiver Reflektoren dar, über der im Norden die Bruchsal-Formation durch besser konnektive Reflektoren abgegrenzt ist.

Die Basis der Froidefontaine-Formation ist im größten Teil des Oberrheingrabens durch zwei starke seismische Reflektoren mit guter Konnektivität gekennzeichnet und stellt dann den besten seismischen Leithorizont dar. Darüber folgt nördlich Karlsruhe ein deutliches, aber nicht sehr konnektives Reflektorenbündel der Karlsruhe-Kalksandsteine in der mittleren Froidefontaine-Formation. Die Unteren und Oberen Karlsruhe-Mergel begleiten dieses Bündel unten und oben als gering reflektive Horizonte.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegen 656 Messwerte (408 Mittelwerte, 115 Min-Werte, 133 Max-Werte) aus 65 Aufschlüssen vor. Die Messstellen konzentrieren sich auf den nördlichen Teil des Projektgebietes und befinden sich im Oberrheingraben sowie an dessen westlicher und östlicher Grabenschulter.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei vergleichsweise hohen 16,8 %. Die Werte schwanken hierbei ausgesprochen deutlich zwischen 0,06 und 34 %. Die Modelleinheit wird von Mergelsteinen dominiert; die durchflusswirksame Matrixporosität dürfte deutlich geringer sein.

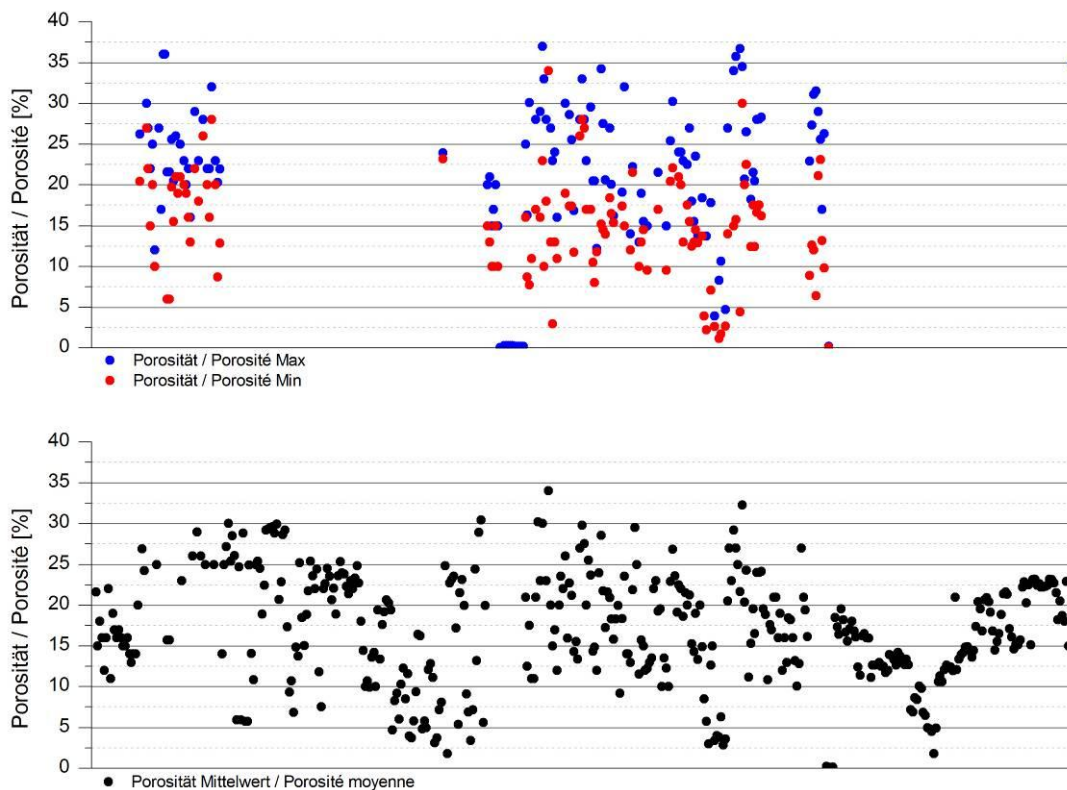


Abb. 2.2.1.3-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1).



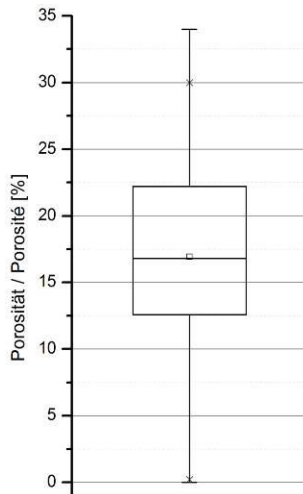


Abb. 2.2.1.3-02: Boxplot der Porositäten im Jüngeren Oberrheingraben-Tertiär 1.

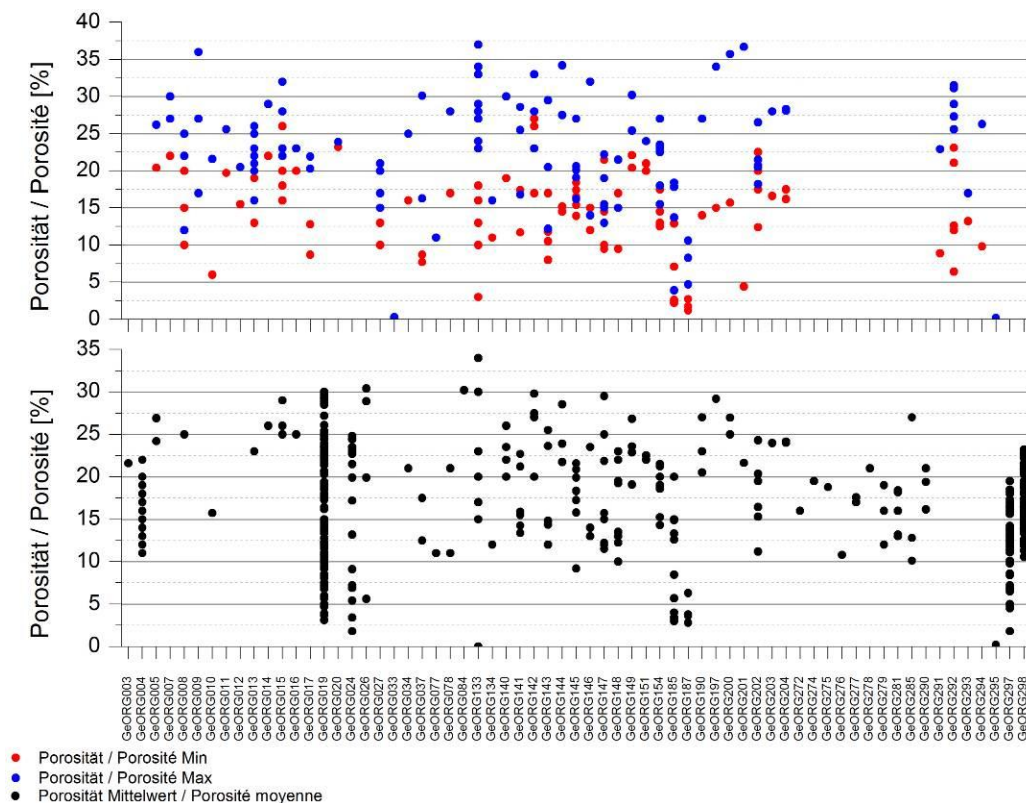


Abb. 2.2.1.3-03: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen.

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet 408 Messwerte (213 Mittelwerte, 36 Min-Werte, 48 Max-Werte) aus 25 Aufschlüssen vor.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Permeabilitätswerte liegen im Median bei vergleichsweise geringen Werten von ca. 3,2 mD, was für die





tonige und mergelige Fazies mit einer äußerst geringen nutzbaren Matrixporosität als realistischer Wert erscheint. Die Werte schwanken hierbei zwischen $3 \cdot 10^{-3}$ und 2870 mD, was auf die hydraulische Funktion von lokal ausgebildeten Trennflächen hinweist.

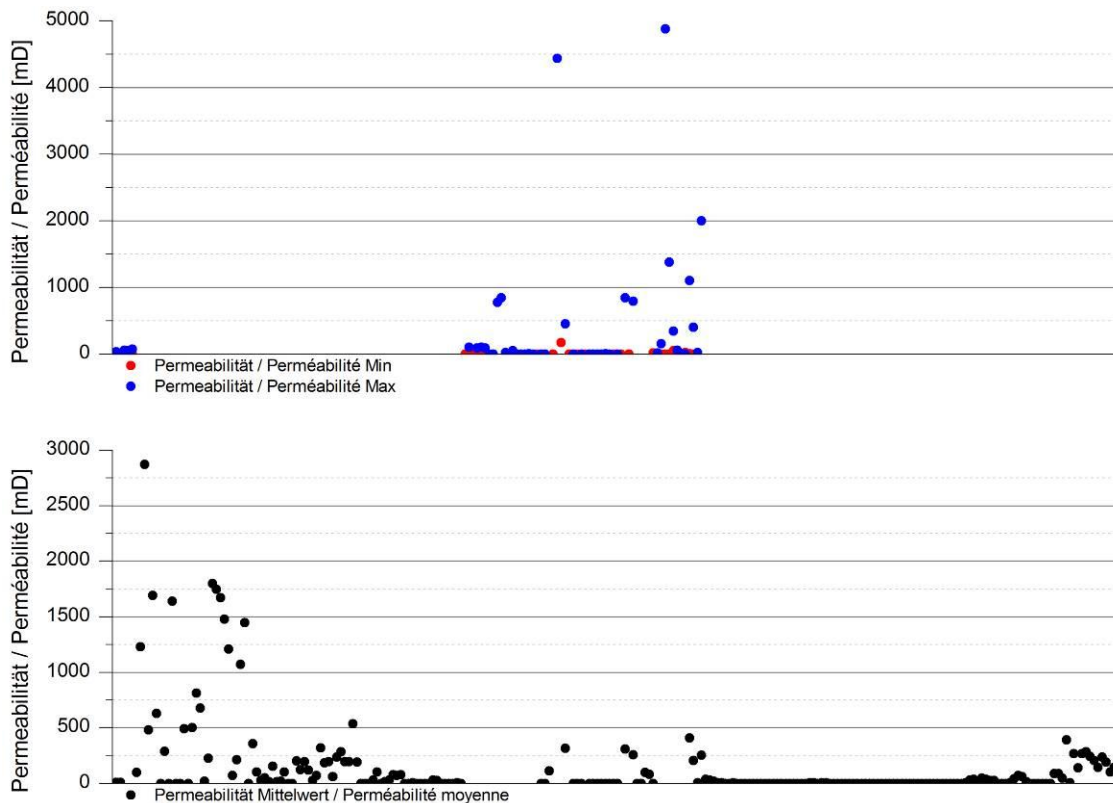


Abb. 2.2.1.3-04: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten (Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1).

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet 47 Messwerte für 36 Proben an 10 Messstellen vor. Die Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei ca. 2,3 W/(m*K) im trockenen Zustand und bei 3,3 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 1,1 bis 3,9 W/(m*K) im trockenen Zustand und 2,4 bis 3,9 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand.

Die Probenahmestellen liegen ausschließlich im nördlichen Teil des Modellgebietes. Die Modelleinheit weist im trockenen Zustand auf Grund der Dominanz von Ton- und Mergelsteinen generell relativ niedrige Wärmeleitfähigkeitswerte auf; die höheren Messwerte dürften auf tonfreie Abschnitte entfallen. Ein Einfluss des Wassergehaltes ist bei einigen Probenahmestellen deutlich erkennbar, was an diesen Lokalitäten auf eine hohe Porosität schließen lässt.



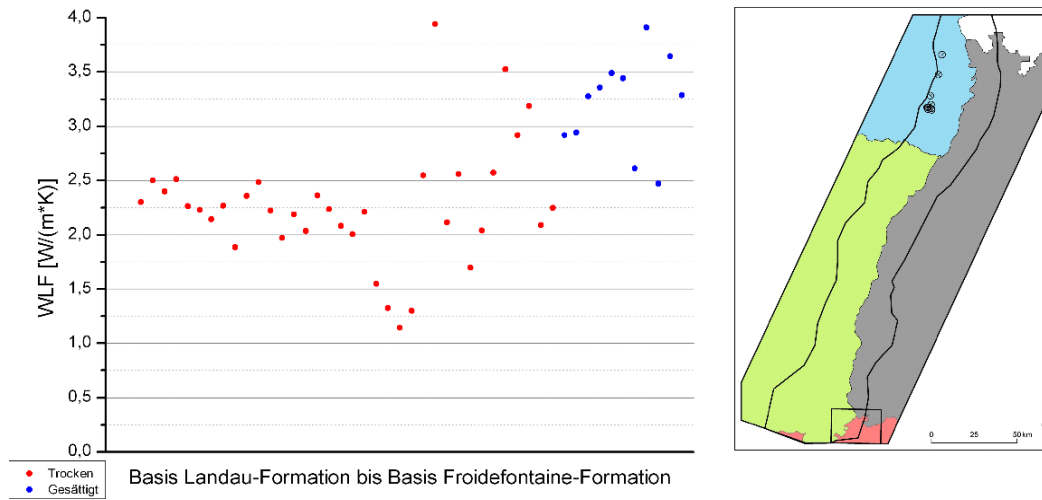


Abb. 2.2.1.3-05: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1).

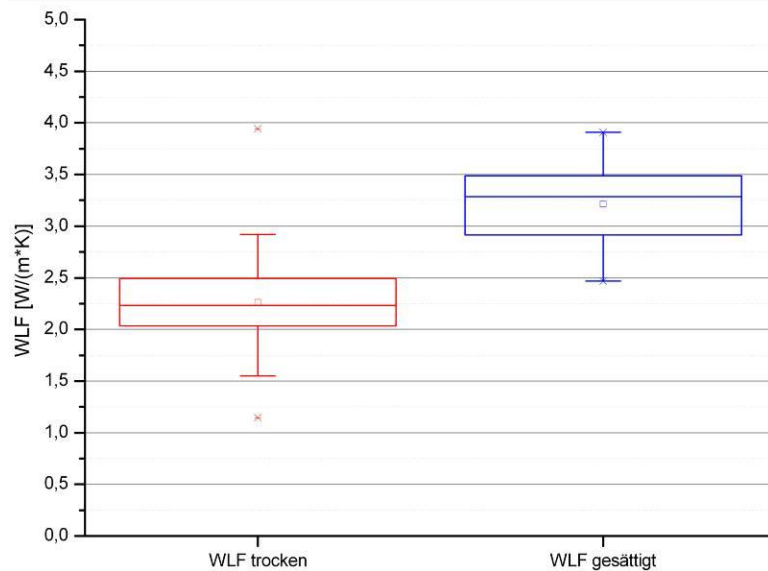


Abb. 2.2.1.3-06: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1).

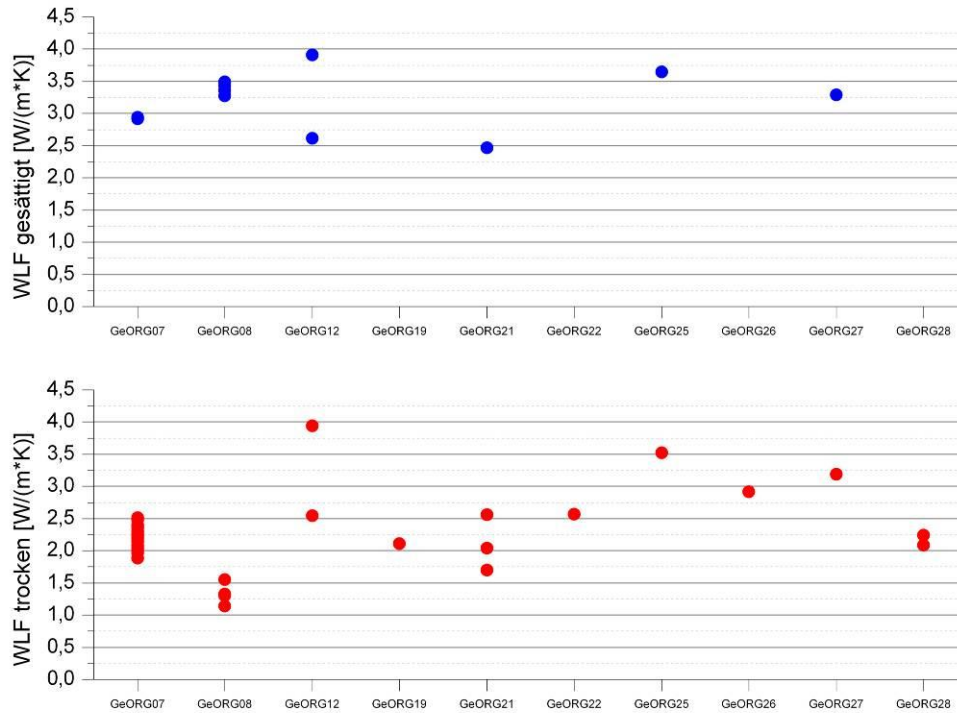
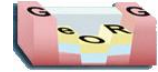


Abb. 2.2.1.3-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1).

Literaturhinweise

Prell-Müssig 1965, Doebl & Geissert 1971, Sittler & Schuler 1988, DSK 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.2.5, 2.2.2.2.6, 2.2.2.2.7

Atlasblätter

2.3, 4.1, 7.1, 7.2, 8.1, 8.2



2.2.1.4 Kaiserstuhl-Vulkangebiet, *Terrain volcanique du Kaiserstuhl*

Geopotenziale

Im Rahmen des GeORG-Projekts nicht bearbeitet.

Kurzbeschreibung

Vulkanite und Subvulkanite des Kaiserstuhls, im Untergrund in ältere Sedimente eingedrungen. Miozän.

Verbreitung, Mächtigkeit

Kaiserstuhl und Limberg im südlichen Oberrheingraben, unter Bedeckung wenige Kilometer über die geomorphologische Begrenzung des Kaiserstuhls hinaus verbreitet. Abgrenzung im Modell anhand der geomorphologischen Umgrenzung.

Laven und Tuffdecken des Randbereichs bis über 400 m. Magmatische Durchtränkung der Förderzentren nach geophysikalischen Daten bis in mehrere Kilometer Tiefe.

Eingangsdaten

Oberflächenaufschlüsse, Bohrdaten, Seismik

Stratigraphische Gliederung

Überwiegend ultrabasische Laven, Pyroklastika und Subvulkanite (darunter Tephrit, Basanit, Phonolith, Nephelinit), untergeordnet Karbonatit. Die Vulkanite verzahnen sich randlich mit den Sasbach-Schichten der Niederroedern-Formation und enthalten teilweise Schollen älterer Gesteine. Alter zwischen 19 und 17 Ma (Miozän).

Seismische Charakteristik

In der Seismik unübersichtlicher seitlicher und vertikaler Wechsel zwischen verrauschten bis transparenten Bereichen und unterschiedlich einfallenden Partien mit parallelen Reflektoren unterschiedlicher Intensität. Aus den bisherigen Messungen lassen sich weder Schichtlagerung noch Störungsmuster konstruieren.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität, Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet keine Porositäts- und Permeabilitätswerte vor.

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet keine Messwerte vor.

Fluideigenschaften

Im Rahmen des GeORG-Projekts nicht bearbeitet.

Literaturhinweise

Wimmenauer 2003, Regierungspräsidium Freiburg 2009

Atlasblätter

1.4, 1.5, 8.2





2.2.1.5 Älteres Oberrheingraben-Tertiär, *Tertiaire rhénan inférieure*

Geopotenziale

Geothermie

Es besteht ein geothermisches Potenzial im Bereich der Mitteltiefen Geothermie für die Wärmegewinnung zu Heiz- und Produktionszwecken anhand von erdgekoppelten Wärmetauschersystemen.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Historisch von Bedeutung ist die Pechelbronner Thermalquelle mit bis zu 70 Grad heißem schwefelhaltigem Wasser. Weitere Mineralwassernutzungen erfolgen aus dem Älteren Oberrheingraben-Tertiär z. B. im Südgraben südwestlich von Müllheim (Kap. 2.4.9.4).

Bergbau

in Oberelsass (F) und Markgräfler Land (D) wurden früher Kalisalze und Steinsalz der Wittelsheim-Formation in tiefen Bergwerken gewonnen. Oberflächennah wurden früher örtlich Gipsvorkommen aus diesem Schichtabschnitt abgebaut.

Kohlenwasserstoffe

Die Pechelbronn-Formation stellt lokal ein Erdöl-Speichergestein mit wirtschaftlicher Relevanz dar. Eine Förderung von Kohlenwasserstoffen aus dieser Formation findet bzw. fand über mehr als hundert Jahre in mehreren Feldern statt (Landau, Pechelbronn, Forst, Rot; Kap. 2.4.9.3). Pechelbronn war der Ausgangsort der Kohlenwasserstoffgewinnung im Oberrheingraben. Dort wurde Öl ursprünglich aus Ölsumpflöchern und seit dem Jahr 1813 erstmals aus einer Bohrung gewonnen.

Kurzbeschreibung

Basis Froidefontaine-Formation bis Basis Tertiär: Bunte und graue Mergelsteine mit Dolomitstein- und Kalksteinbänken, abschnittsweise Einschaltung von Sandsteinen, am Grabenrand Konglomerate. Im Elsass und südlich des Kaiserstuhls Steinsalzlager mit Kalisalzen. Pechelbronn-Formation, Haguenau-Formation, Wittelsheim-Formation, Schliengen-Formation; Eozän bis Frühes Oligozän.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzone.

Bis annähernd 2000 m, in Randschollenzone örtlich unter 50 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Starke fazielle Gliederung: in den Gebieten größter Mächtigkeit im Südgraben Steinsalz und Anhydrit führende Mergelsteine (Wittelsheim-Formation, Fazies: salinar, lakustrin, lagenweise brackisch-marin), sonst im Grabeninneren graue, grüne und teilweise bunte Mergelsteine mit Karbonatbänken (Haguenau-Formation, Fazies lakustrin), die nach oben in bunte und graue Mergelsteine mit Sandstein-Einschaltungen (Pechelbronn-Formation, Fazies: fluviolakustrin, lagenweise brackisch-marin) übergehen. Am Grabenrand grobe Konglomerate (Küstenkonglomerat-Formation).

An der Basis der tertiären Schichtenfolge liegen gebietsweise und lückenhaft verbreitet bunte kalkfreie Tonsteine und Sandsteine geringer Mächtigkeit (Schliengen-Formation, Fazies: fluvial und pedogen).

Seismische Charakteristik

Tertiärbasis ist häufig strukturelle Diskordanz von aushaltenden Reflektoren mittlerer bis guter Konnektivität über stärker gestörtem Untergrund mit eng begrenzten Blöcken von Reflektorenbündeln mit lateral unterschiedlichem Einfallen. Zwischen Tertiärbasis und Basis Froidefontaine-Formation meist mehrere Bündel von Reflektoren mittlerer bis guter Konnektivität. Im Bereich von Salzdiapiren (nur südlich Strasbourg) starke



Aufwölbungen der Reflektoren zu einer indifferenten bis transparenten Zone, darunter scheinbare Aufbeulung der liegenden Reflektoren.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegen 398 Messwerte (281 Mittelwerte, 54 Min-Werte, 63 Max-Werte) aus 34 Aufschlüssen vor. Die Messorte konzentrieren sich auf den nordöstlichen Teil von Frankreich im Oberrheingraben, vereinzelt liegen sie an der östlichen Grabenschulter sowie in den nördlichen und südlichen Bereichen des Oberrheingrabens.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei 15,7 %. Die Werte schwanken hierbei ausgesprochen deutlich zwischen 0,2 und 45,4 %. Die Modelleinheit ist von Ton- und Mergelsteinen dominiert; der durchflusswirksame Hohlraumanteil dürfte daher deutlich geringer ausfallen. Die hohen Porositätswerte können auf die konglomeratische Randfazies oder auf stärker geklüftete/gestörte Sandsteinlagen entfallen.

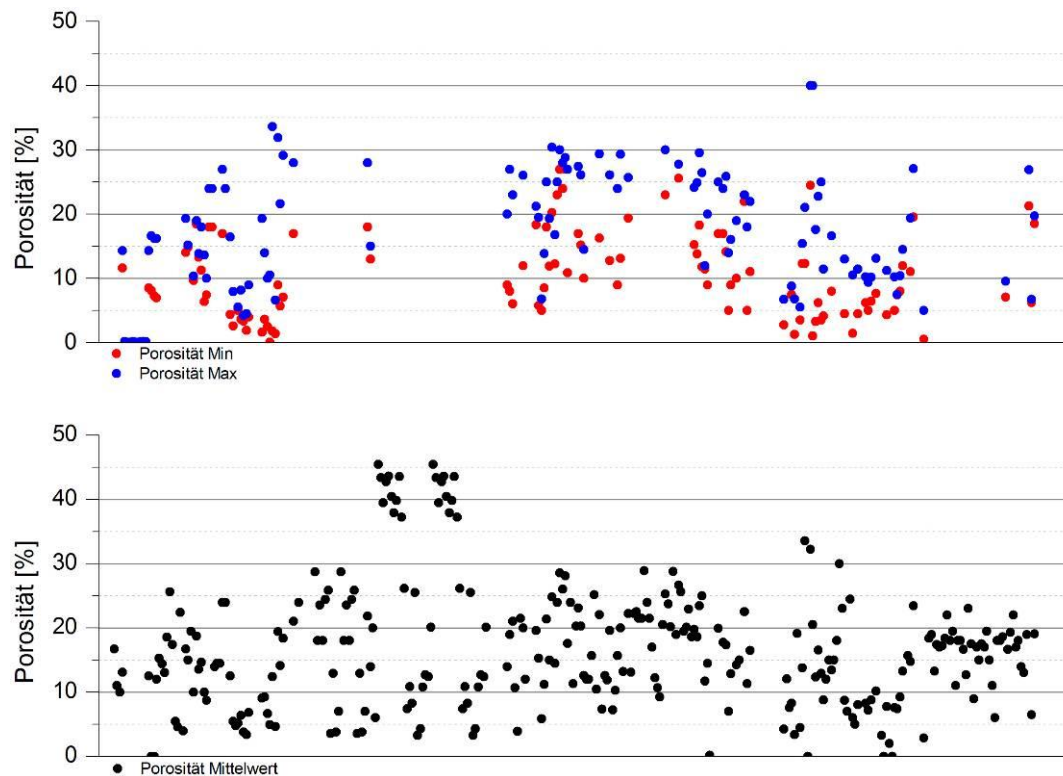


Abb. 2.2.1.5-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Älteres Oberrheingraben-Tertiär).

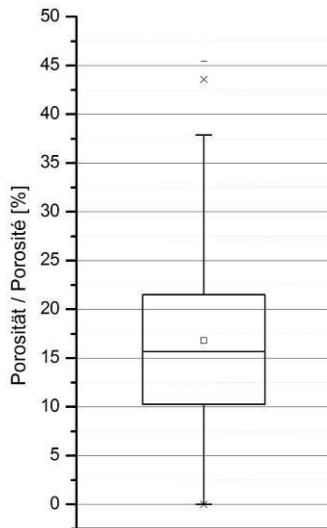


Abb. 2.2.1.5-02: Boxplot der Porositäten im Älteren Oberrheingraben-Tertiär.

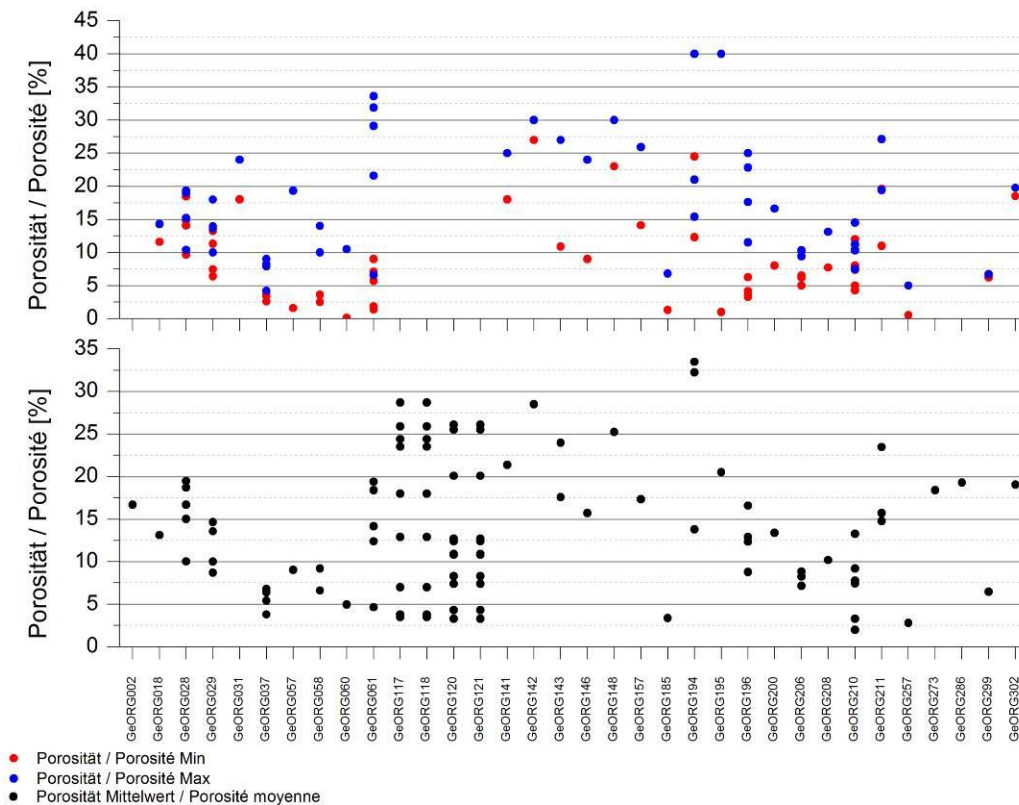


Abb. 2.2.1.5-03: Älteres Oberrheingraben-Tertiär: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen 398 Messwerte (106 Mittelwerte, 52 Min-Werte, 66 Max-Werte) aus 39 Aufschlüssen vor.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen



Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Permeabilität vornehmen zu können.

Die Permeabilitätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei ca. 27 mD, was für die mergelige Gesteinsfazies als realistischer Wert erscheint. Die Werte schwanken hierbei zwischen 0,0107 und 5000 mD. Vergleichsweise höhere Werte von über 1000 mD treten vereinzelt an mehreren Probenahmestellen auf und sind vermutlich durch ein ausgeprägtes Trennflächengefüge bedingt.

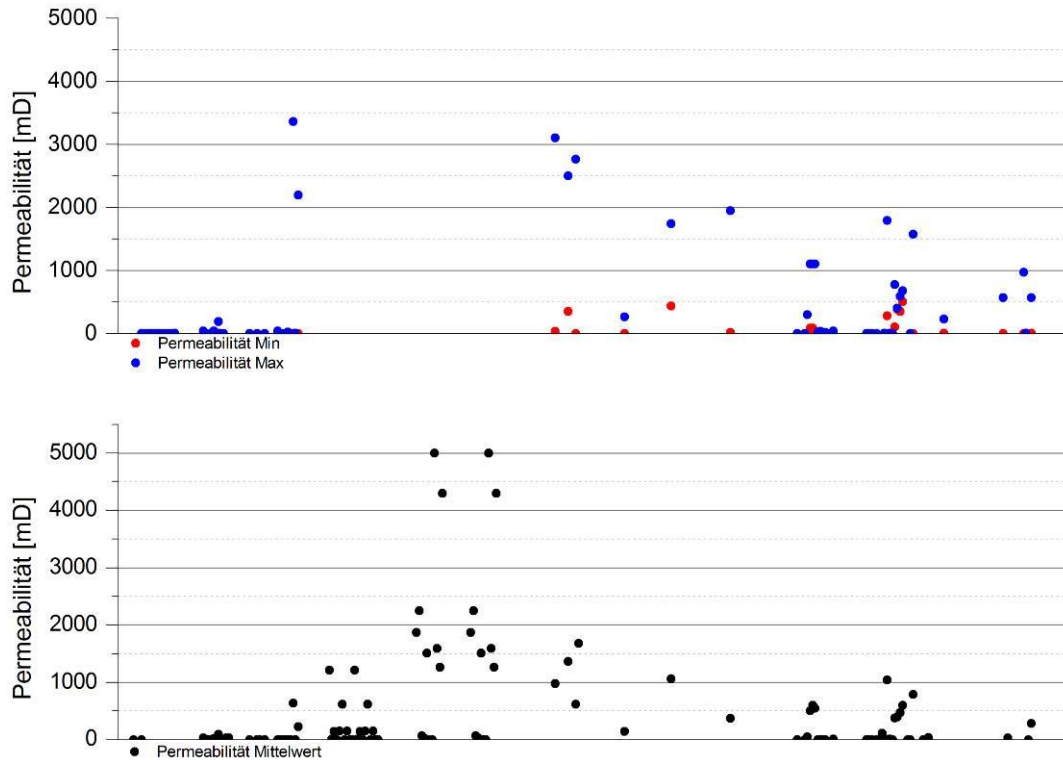


Abb. 2.2.1.5-04: Mittelwerte der Permeabilitäten (Älteres Oberrheingraben-Tertiär).

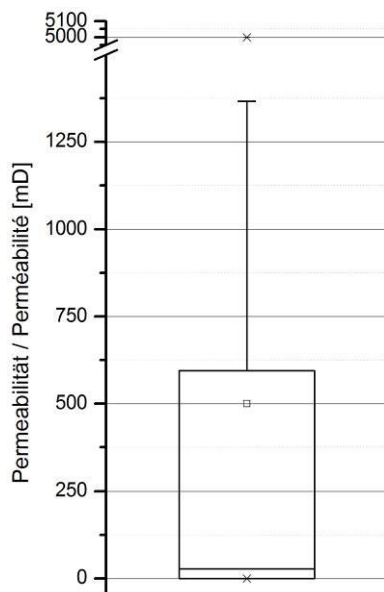


Abb. 2.2.1.5-05: Boxplot der Permeabilitäten im Älteren Oberrheingraben-Tertiär.

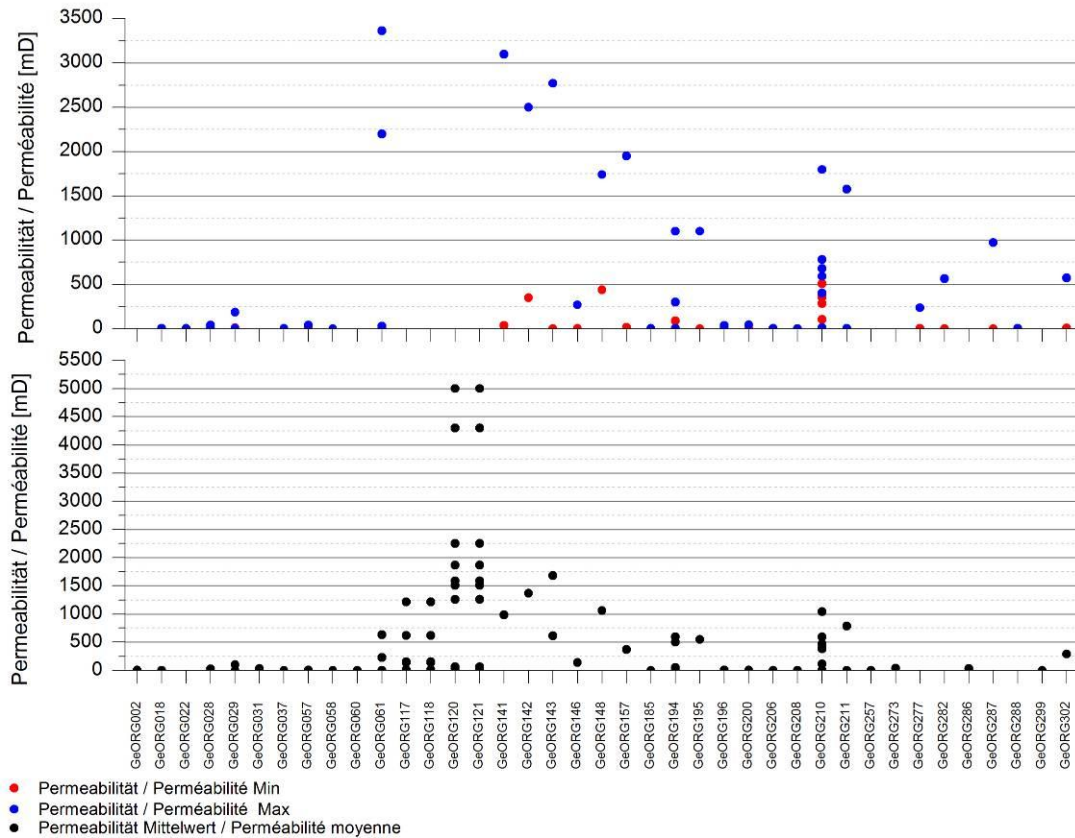


Abb. 2.2.1.5-06: Älteres Oberrheingrabentertiär: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 104 Messwerte für 63 Proben an 12 Messstellen vor. Die Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei ca. 2,6 W/(m*K) im trockenen und 3,49 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand und liegen somit über den Medianwerten der hangenden Modelleinheit. Die Werte schwanken hierbei zwischen 1,6 bis 5,7 W/(m*K) im trockenen Zustand und 1,6 bis 5,9 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand.

Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Auffallend ist die Tatsache, dass diese mit einem Median von lediglich 1,65 W/(m*K) auf einem äußerst geringen Niveau und deutlich unter den gemessenen Wärmeleitfähigkeitswerten des anderen Messpunktes im trockenen Zustand liegen. Inwieweit dies auf die lithologische Gesteinsausbildung oder auf das gewählte Korrekturverfahren zurück zu führen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht fest machen. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} Werte liegt bei 3,54 W/(m*K). Zu beachten ist, dass in der Darstellung der Messwerte in den einzelnen Probenahmepunkten die TC_{eff} Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung mit dargestellt wurden.

Die Wärmeleitfähigkeitswerte in diesen tonig-mergeligen Gesteinen weisen eine auffallend große Spannweite auf. Messwerte für den mittleren Bereich des Oberrheingrabens liegen nicht vor. Ein Einfluss der Wassergehalte ist bei den meisten Probenahmestellen deutlich erkennbar, was an diesen Lokalitäten auf eine hohe Porosität schließen lässt.



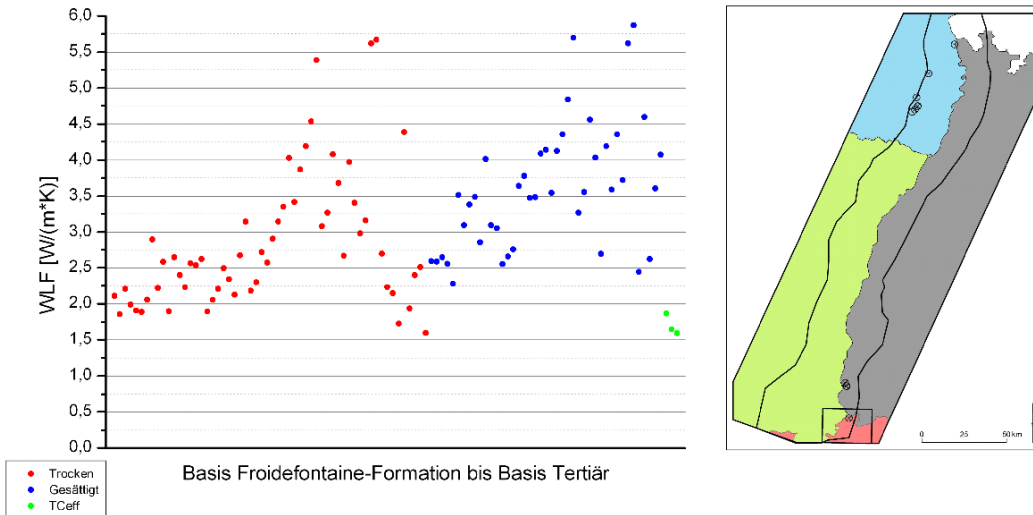


Abb. 2.2.1.5-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit Basis Froidefontaine-Formation bis Basis Tertiär).

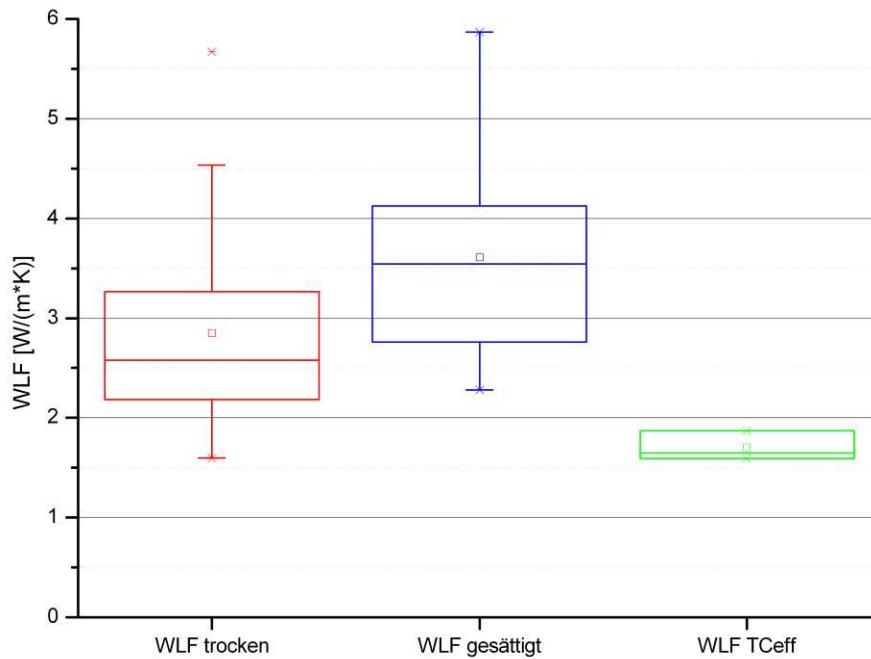


Abb. 2.2.1.5-08: Boxplots für Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit Basis Froidefontaine-Formation bis Basis Tertiär).

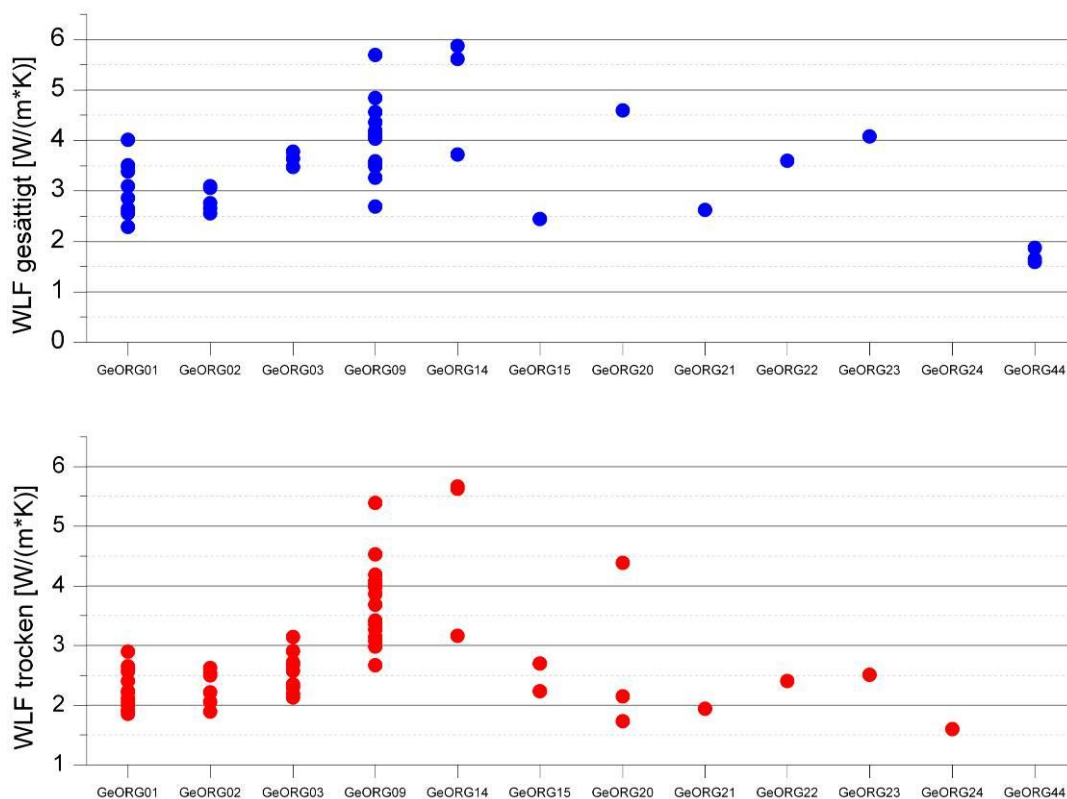


Abb. 2.2.1.5-09: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit Basis Froidefontaine-Formation bis Basis Tertiär) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Literaturhinweise

Maikovsky 1941, Schnaebelé 1948, Fülöp 1960, Gunzert 1961, Barth 1970a, Schwarz 1997, DSK 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.2.3

Atlasblätter

2.4, 4.2, 8.1, 8.2



2.2.1.6 Oberjura, *Séquanien et Rauracien (Malm)*

Geopotenziale

Geothermie

Die Karbonatgesteine können lokal verkarstet sein und somit erhöhte Wasserwegsamkeiten aufweisen. Bei ausreichender Versenkungstiefe und einem damit einhergehenden ausreichenden Temperaturniveau ist die Modelleinheit für eine geothermische Wärme- und ggf. Stromerzeugung grundsätzlich geeignet. Allerdings lässt sich der Grad der Verkarstung nicht vorhersagen, so dass bevorzugt Störungssysteme für die Erschließung in Frage kommen. Für ungestörte Gesteinsbereiche ist von einem verhältnismäßig hohen Fündigkeitsrisiko auszugehen.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Im karbonatischen Kluftgrundwasserleiter ist insbesondere in Bereichen mit verstärkter Verkarstung und Zerrüttung sowie entsprechender Tiefenlage von der Existenz höher bis hoch mineralisierten Grundwässern auszugehen.

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzone lokaler Abbau von Kalkstein.

Kurzbeschreibung

Basis Tertiär bis Basis Oberjura-Kalksteine: Hellgrauer Kalkstein, gebankt mit untergeordneten Mergelstein-Zwischenlagen. Oberjura (ohne Kandern-Formation / Argiles callovo-oxfordien); Mittleres Oxfordium und jünger.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südlicher Oberrheingraben, südlich von Thann–Mulhouse und Neuenburg–Müllheim. Im Süden bis annähernd 100 m, nach Norden auskeilend (Mulhouse–Müllheim).

Eingangsdaten

Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Oben Nerineenkalk-Formation (D) / Calcaires à Nérinées (F) / Vellerat-Formation (CH): Dickbankige Kalksteine mit geringen Mergelstein-Zwischenlagen, überwiegend weißgrau, hellgrau oder gelblich. Im oberen Abschnitt feinkörnige Kalksteine, lagenweise mit Gastropoden und Onkoiden.

Darunter Korallenkalk-Formation (D) / Calcaires récifaux jurassien (F) / St. Ursanne-Formation (CH): feinkörnige und bioklastische, teilweise oolithische Kalksteine mit Hornsteinknollen, nach unten Korallen führend. Die Korallenkalk-Formation schließt an der Basis wenige Meter Mergelsteine mit Korallen mit ein.

Seismische Charakteristik

In der Seismik eng gescharte und meist deutliche parallele Reflektoren guter Konnektivität. Geringe Unterschiede zu den tieferen Abschnitten des Mesozoikums.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität, Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet keine Porositäts- und Permeabilitätswerte vor.

Wärmeleitfähigkeit

Für die geothermische Einheit und die Modelleinheit Oberjura liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 13 Messwerte für 10 Proben an 3 Messstellen vor, welche sich allerdings ausschließlich auf den südöstlichen Teil des Projektgebietes beschränken. Die Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei relativ geringen 2,2





W/(m*K) im trockenen und bei etwa 2,4 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 2,0 bis 2,5 W/(m*K) im trockenen Zustand und 1,6 bis 2,9 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Auffallend ist die Tatsache, dass diese mit einem Median von lediglich 2,1 W/(m*K) auf einem äußerst geringen Niveau und deutlich unter den gemessenen Wärmeleitfähigkeitswerten der anderen Messpunkte im trockenen Zustand liegen. Inwieweit dies auf die lithologische Gesteinsausbildung oder auf das gewählte Korrekturverfahren zurück zu führen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht fest machen. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} Werte liegt bei 2,85 W/(m*K). In der Darstellung der Messwerte in den einzelnen Probenahmepunkten wurden die TC_{eff} Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung aufgenommen.

Die verhältnismäßig niedrigen Werte sind für reine Karbonatgesteine atypisch und deuten auf eine mergelige bzw. tonigere Ausbildung der Proben hin.

Einen Einfluss durch Wasseraufsättigung ist in den Messungen erkennbar, was durch einen gewissen Hohlraumanteil zu erklären ist.

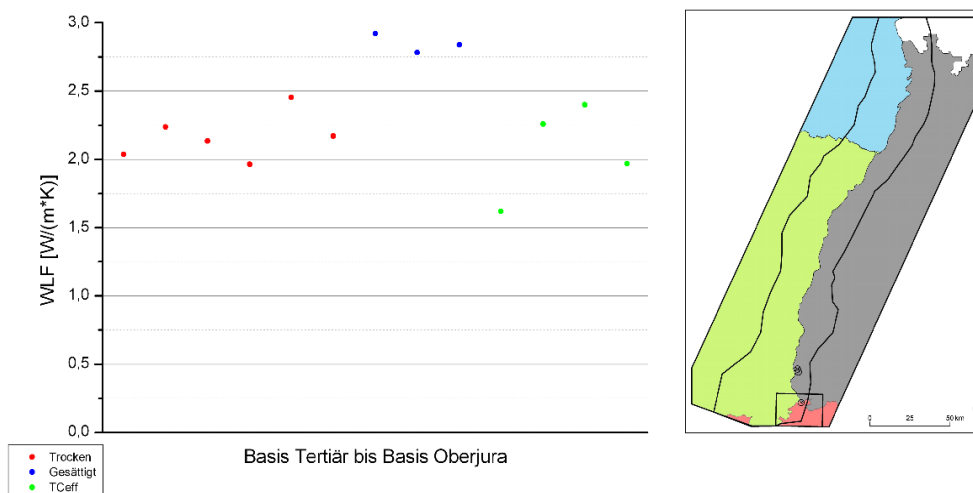


Abb. 2.2.1.6-01: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Geothermische Einheit und Modelleinheit Oberjura).

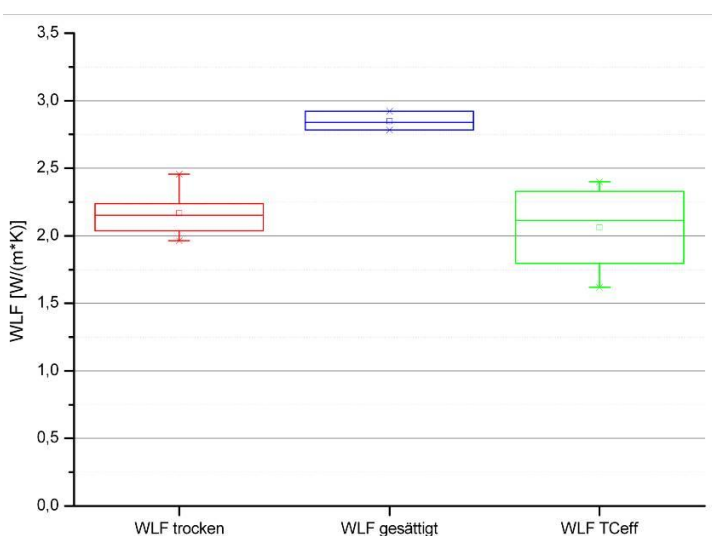


Abb. 2.2.1.6-02: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Geothermische Einheit und Modelleinheit Oberjura).



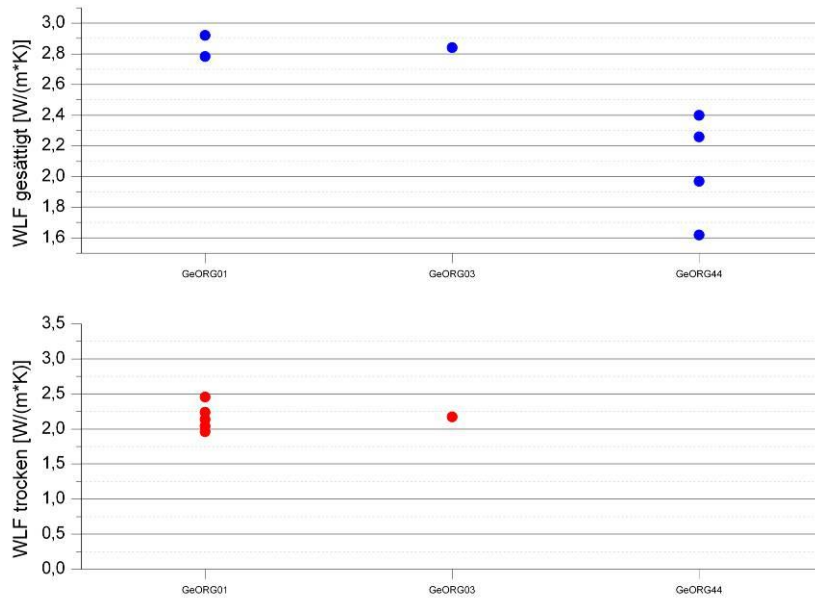


Abb. 2.2.1.6-03: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Geothermische Einheit und Modelleinheit Oberjura) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Literaturhinweise, Externe Links

Kabelac 1955, Gygi 1986, Gygi 1995, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.2.4

Atlasblätter

2.5, 4.5, 5.10, 5.16, 6.3, 8.1, 8.2



2.2.1.7 Oberer Mitteljura, *Dogger supérieure*

Geopotenziale

Geothermie

Es besteht ein geothermisches Potenzial im Bereich der Mitteltiefen Geothermie für die Wärmegegewinnung zu Heiz- und Produktionszwecken anhand von erdgekoppelten Wärmetauschersystemen.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Der Obere Mitteljura ist überwiegend ein Grundwassergeringleiter. Eine geringe bis sehr Grundwasserführung kann an geklüftete Sandstein- und Kalksteinbänke gebunden sein. Der Obere Mitteljura ist für eine Mineral-/Thermalwassernutzung nicht von Bedeutung.

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzzone früher lokaler Abbau von Tonstein und Tonmergelstein.

Kurzbeschreibung

Basis Oberjura bis Top Hauptrogenstein: Graue Tonmergelsteine mit Kalksteinbänken und -knollen, im unteren Abschnitt zwei eisenoolithische Mergelstein- oder Kalksteinbänke, örtlich einzelne Sandsteinbänke. Oberer Dogger: Bathonium bis Frühes Oxfordium.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben zwischen Schwarzwald und Vogesen einschließlich Randschollenzzone und Randsenken, Tafeljura.

Im südlichen Graben meist 120–190 m. Nördlich von Schwarzwald und Vogesen wurde dieser Abschnitt mit dem übrigen Mitteljura zusammen erfasst, da der Hauptrogenstein dort nicht entwickelt ist (s. 2.2.1.8).

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Oben Kandern-Formation / Callovien marneux et Marnes à chailles: dunkelgraue Tonmergelsteine und Mergelsteine, im höheren Abschnitt mit z. T. kieseligen Kalksteinknollen, darunter Ornatenton-Formation: dunkelgraue, teilweise feinsandige Tonmergelsteine mit eisenoolithischen Mergelsteinhorizonten, unten Variansmergel-Formation / Marnes et calcaires d'Imbsheim: Wechselfolge von grauen Tonmergelsteinen mit bioklastischen Kalksteinbänken.

Seismische Charakteristik

In der Seismik wenige gut konnektive und meist schwache Reflektoren. Geringe Unterschiede zu den tieferen Abschnitten des Mesozoikums. Die Basis ist im südlichen Graben durch den Reflektor des Hauptrogensteins markiert.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegen 9 Messwerte (3 Mittelwerte, 3 Min-Werte, 3 Max-Werte) aus 2 Aufschlüssen vor. Der Parameter „Porosität“ ist somit für diesen Modellhorizont nur schlecht belegt. Die Messstellen befinden sich im südlichen Elsass.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu



können.

Die Mittelwerte schwanken hierbei auf einem verhältnismäßig geringen Niveau zwischen 1,7 und 9,5 % und sind für Tonsteine mit einem vergleichsweise mäßig ausgebildeten Kluftvolumen realistisch.

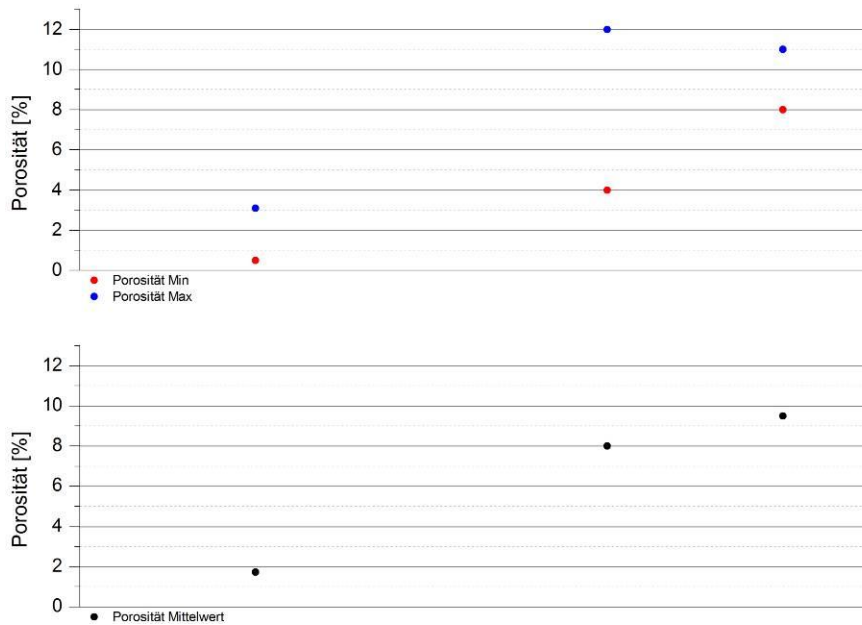


Abb. 2.2.1.7-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Oberer Mitteljura).

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen 2 Messwerte (1 Mittelwert, 1 Max-Wert) aus einem Aufschluss vor. Der Parameter „Permeabilität“ ist somit für das Projektgebiet nur schlecht belegt.

Der Mittelwert beträgt 0,57 mD und ist somit als äußerst gering einzuordnen, was für die Gesteinsdurchlässigkeit eines Tonsteines ohne ausgebildetes Trennflächengefüge einen realistischen Wert darstellt.

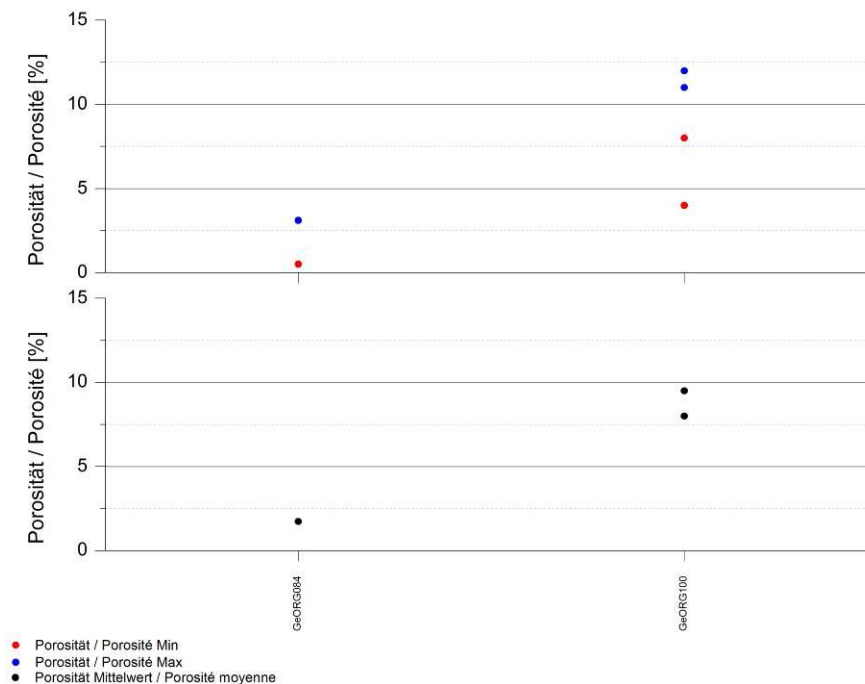


Abb. 2.2.1.7-02: Oberer Mitteljura: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).





Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet 7 Messwerte für 4 Proben vor, die alle aus einer Bohrung im südöstlichen Teil des Projektgebietes stammen. Die Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei relativ geringen 2,3 W/(m*K) im trockenen und bei etwa 2,72 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 1,9 bis 2,4 W/(m*K) im trockenen Zustand und 2,65 bis 2,85 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand.

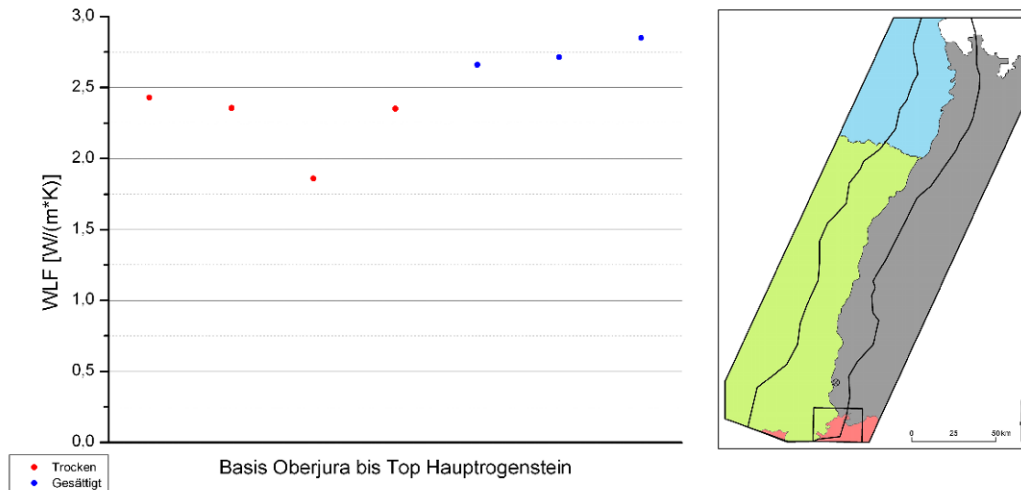


Abb. 2.2.1.7-03: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Oberer Mitteljura).

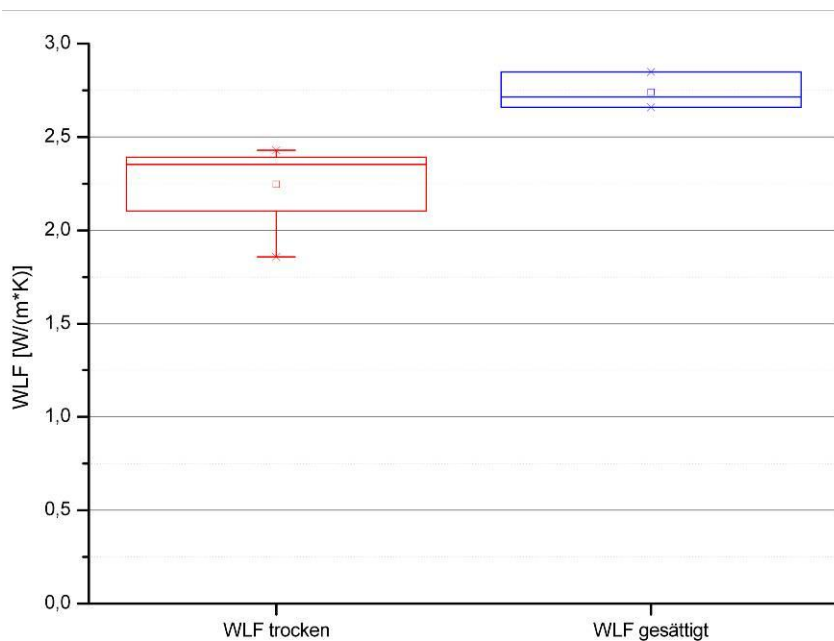


Abb. 2.2.1.7-04: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Oberer Mitteljura).



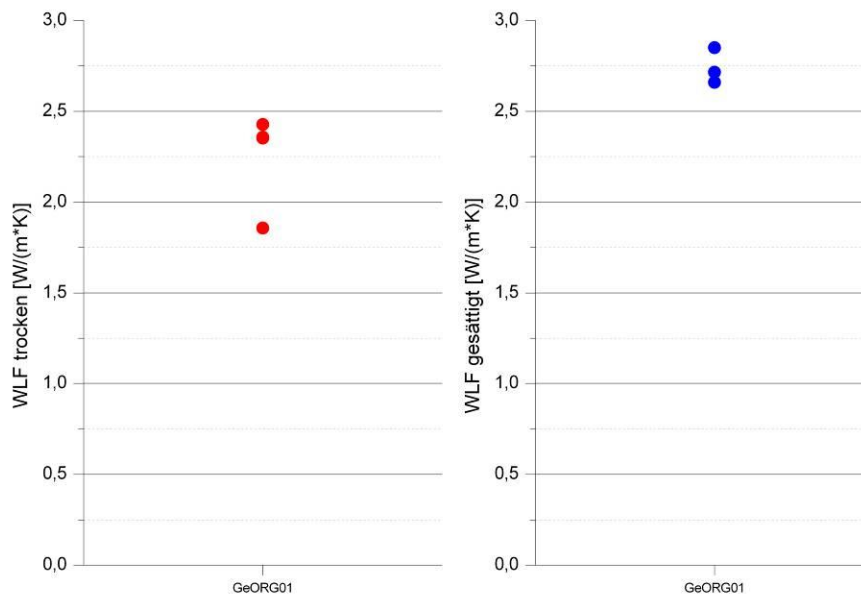


Abb. 2.2.1.7-05: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in der untersuchten Bohrung aus dem GeORG-Modellgebiet (Oberer Mitteljura) (Bezeichnung der Bohrung anonymisiert).

Literaturhinweise, Externe Links

Kabelac 1955, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.2.5.1, 2.2.2.5.2, 2.2.2.5.3

Atlasblätter

2.6, 4.4, 7.3, 8.1, 8.2





2.2.1.8 Mittlerer und Unterer Mitteljura, *Dogger inférieur et moyen*

Geopotenziale

Geothermie

Im oberen Abschnitt dieses Modellintervalls liegt die geothermische Einheit Haupttrogenstein (Kap. 2.4.6.2). Diese Einheit besteht aus Karbonatgesteinen, die lokal verkarstet sein können. Allerdings lässt sich der Grad der Verkarstung nicht vorhersagen, so dass für eine ausreichende Fündigkeit meist Störungssysteme erforderlich sind. Für ungestörte Gesteinsbereiche ist von einem verhältnismäßig hohen Fündigkeitsrisiko auszugehen.

Mineral- /Thermalwasser

In den oolithisch ausgebildeten Gesteinseinheiten des Haupttrogensteins ist in stärker gestörten und eventuell verkarsteten Bereichen mit einer mäßigen bis mittleren Grundwasserführung zu rechnen. In den tiefer liegenden Bereichen ist grundsätzlich von einer erhöhten bis hohen Mineralisation sowie von höheren Fluidtemperaturen auszugehen (Kap. 2.4.6.2.2, Atlasblatt 5.11.1).

Der Haupttrogenstein wird im südlichen Oberrheingraben bzw. an der Grabenrändern zwischen Freiburg und Müllheim zur Gewinnung von Mineralwasser bzw. zur Heil-/Thermalwassergewinnung (z. B. Bad Bellingen, fluoridhaltige Natrium-Calcium-Chlorid-Therme, Freiburg) genutzt (Kap. 2.4.9.4).

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzonen lokaler Abbau von Kalkstein, Sandstein, Eisenoolith, Tonstein, Abbau heute meist eingestellt.

Kurzbeschreibung

Top Haupttrogenstein bis Basis Mitteljura: Oben Kalkstein, oolithisch, hellgrau bis weiß, teilweise mit eisenoolithischen oder dolomitischen Horizonten, darunter graue Tonmergelsteine mit Kalksteinbänken, Sandsteinbänken und Eisenoolith, unten dunkelgrauer Tonstein; Unterer bis Mittlerer Dogger. Aalenium bis Bajocium.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen südlich etwa Wissembourg und Nußloch, Tafeljura.

Nördlich des Kaiserstuhls 200–250 m, nach Südwesten (Guebwiller) und Südosten (Hochrhein) auf 150 m abnehmend, südwestlich Basel wiederum auf 250 m ansteigend. Nördlich Karlsruhe erreicht der gesamte Mitteljura (Oberer bis Unterer Mitteljura) zwischen 400 und 450 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Oben Haupttrogenstein-Formation / Grande Oolithe: oolithische Kalksteine, gebietsweise mit Eisenoolith oder dolomitischen Abschnitten,

darunter Humphriesioolith-Formation / Marnes et calcaires de Griesbach: Kalksteinbänke mit Mergelstein-Zwischenlagen, im unteren Abschnitt teilweise eisenoolithische Kalksteine.

darunter Wedelsandstein-Formation: geringmächtige Tonmergelsteine und sandige Tonmergelsteine mit Sandstein- und sandigen Kalkstein-Einlagerungen.

darunter Murchisonae-Oolith-Formation / Marnes et grès de Schalkendorf: Wechselfolgen von Sandsteinen und Tonmergelsteinen, gebietsweise mit Eisenoolithen.

unten Opalinuston-Formation / Marnes de Gundershoffen: bis über 100 m mächtige eintönige Tonsteine mit wenigen Karbonatknollen.

Nördlich von Schwarzwald und Vogesen wird die Haupttrogenstein-Formation an einer Faziesgrenze von Tonmergelsteinen mit wenigen Kalksteinbänken abgelöst. Diese Tonmergel-Fazies des Bajocium wird im



Modell mit dem Oberen Mitteljura zusammengefasst.

Seismische Charakteristik

In der Seismik wenige gut konnektive Reflektoren, im Dachbereich ein bis drei stärkere Reflektoren (Haupttrogenstein), im unteren Abschnitt etwas verminderte Konnektivität (Opalinuston). Sonst geringe Unterschiede zu den höheren und tieferen Abschnitten des Mesozoikums.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für den geothermischen Nutzhorizont Haupttrogenstein liegen 606 Messwerte (427 Mittelwerte, 85 Min-Werte, 94 Max-Werte) aus 36 Messorten vor. Der Parameter ist somit für diese Einheit vergleichsweise sehr gut abgesichert. Die Messorte befinden sich im Norden an den östlichen Grabenschultern sowie im zentralen und südlichen Oberrheingraben.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei für Festgesteine hohen 11,2 %. Die Werte schwanken hierbei deutlich zwischen 0,02 und 25,5 %. Der Hohlraumanteil wird in den vorherrschend oolithisch ausgebildeten Festgesteinen maßgeblich durch die Matrixporosität bestimmt. Erhöhte Werte deuten auf ein ausgeprägtes Trennflächengefüge hin.

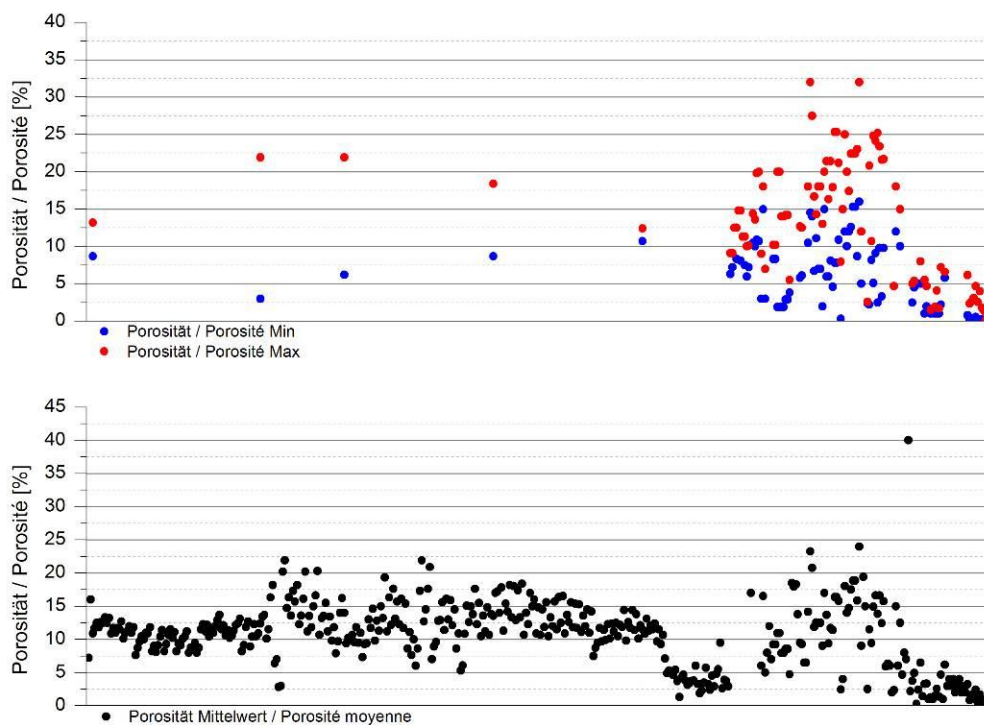


Abb. 2.2.1.8-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Haupttrogenstein).

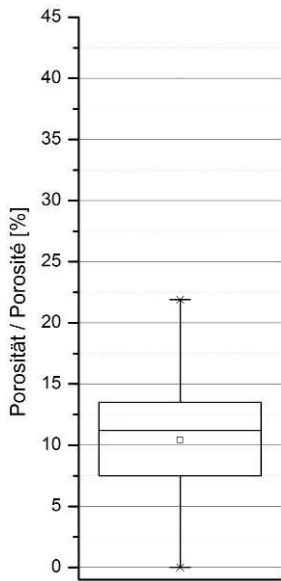


Abb. 2.2.1.8-02: Boxplot der Porositäten im Haupttrogenstein.

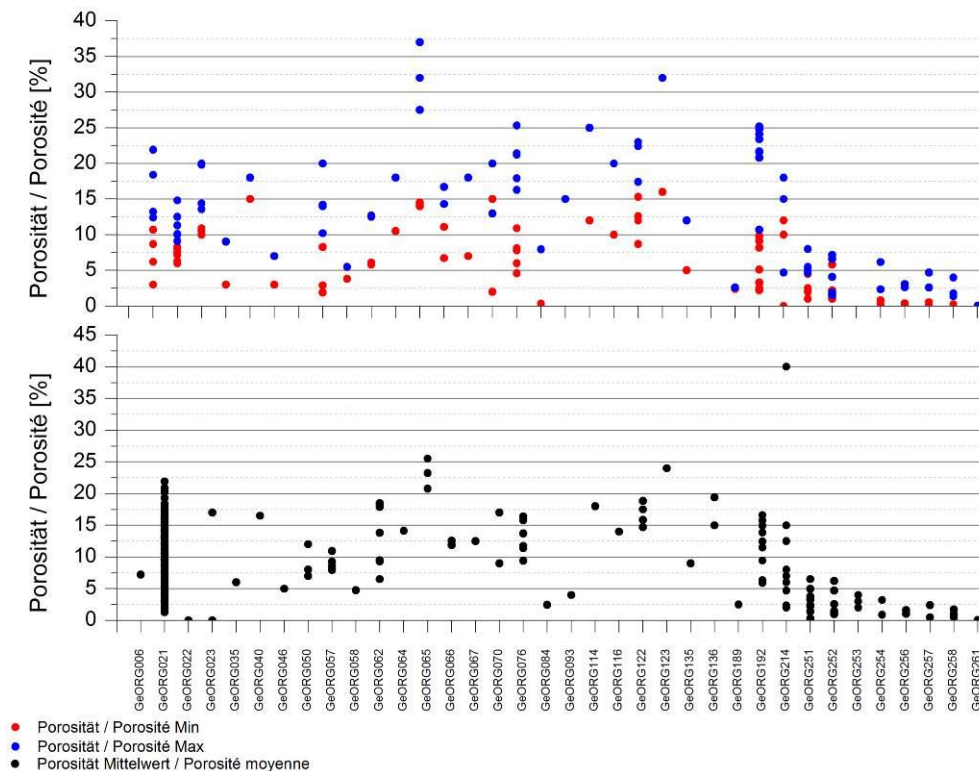


Abb. 2.2.1.8-03: Haupttrogenstein: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Permeabilität

Für die nutzbare Einheit Haupttrogenstein liegen 481 Messwerte (368 Mittelwerte, 44 Min-Werte, 69 Max-Werte) aus 31 Messorten vor. Der Parameter „Permeabilität“ ist somit für diese Einheit vergleichsweise sehr gut abgesichert.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen



Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Permeabilitätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei äußerst geringen 0,15 mD. Die Werte schwanken hierbei zwischen 0,01 und 770 mD. Die verhältnismäßig hohen Porositäten spiegeln sich somit nicht unmittelbar in den Durchlässigkeiten wieder.

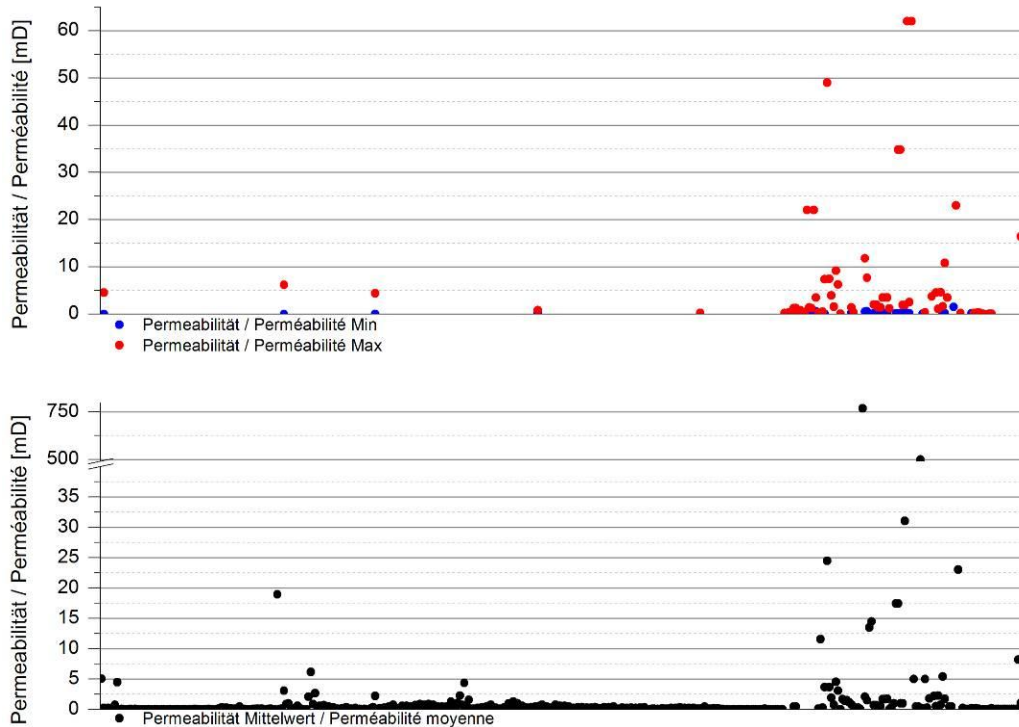


Abb. 2.2.1.8-04: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten (Hauptrogenstein).

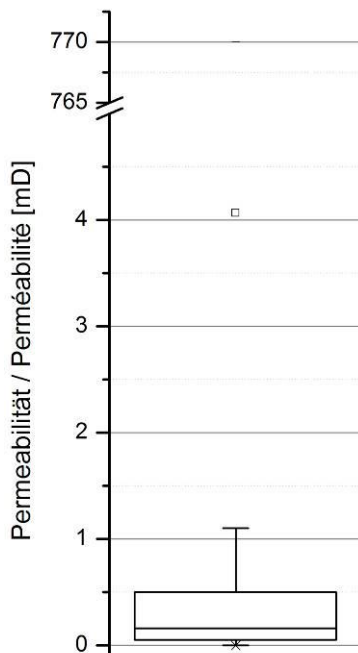


Abb. 2.2.1.8-05: Boxplot der Permeabilitäten im Hauptrogenstein.

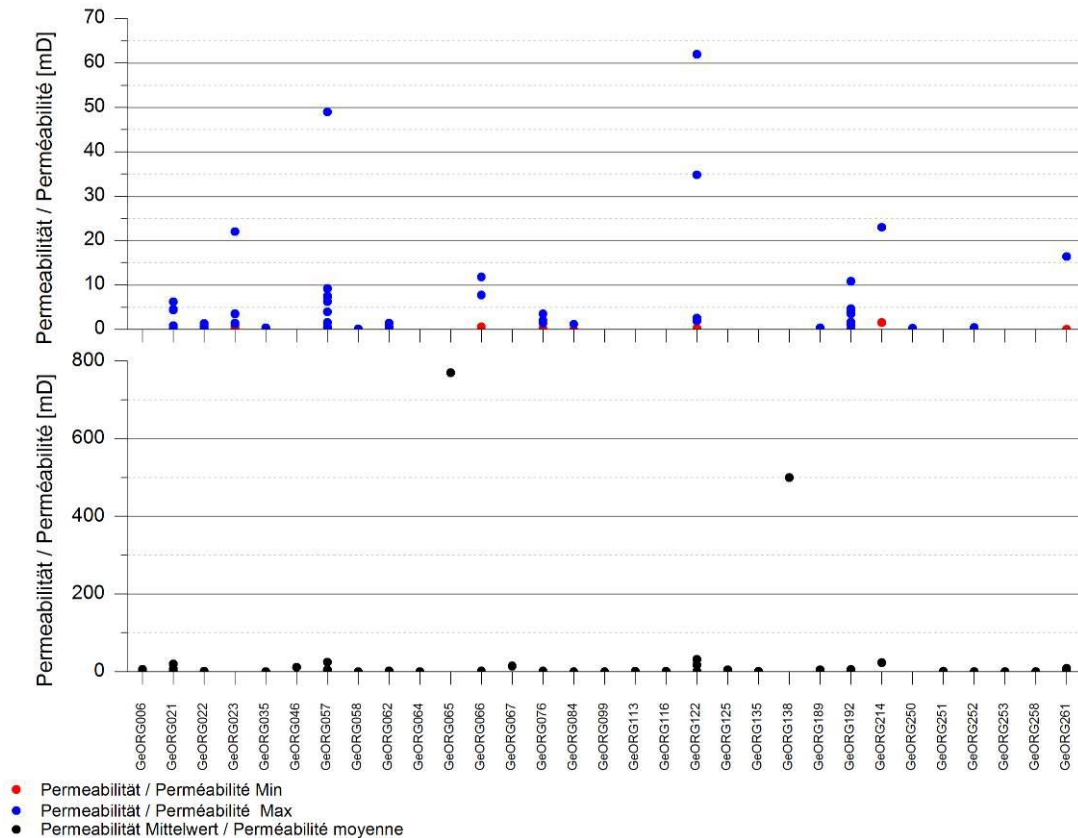


Abb. 2.2.1.8-06: Hauptrogenstein: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Wärmeleitfähigkeit

Für den geothermischen Nutzhorizont Hauptrogenstein liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 34 Messwerte für 21 Proben vor, welche jedoch lediglich aus insgesamt zwei Aufschlüssen in dem südöstlichen Teil des Projektgebietes entstammen. Die Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei relativ geringen 2,6 W/(m*K) im trockenen und bei etwa 3,1 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 2,4 bis 3,8 W/(m*K) im trockenen Zustand und 2,2 bis 4,1 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} -Werte liegt bei 2,6 W/(m*K). Zu beachten ist, dass in der Darstellung der Messwerte in den einzelnen Probenahmepunkten die TC_{eff} -Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung mit dargestellt wurden.

Die Messwerte liegen deutlich höher als die hangende Modelleinheit, was auf einen höheren Karbonat- bzw. Silikatgehalt der Proben hin deutet. Einen Einfluss durch Wasseraufsättigung lässt sich in den Messungen durchaus erkennen, was durch einen gewissen Hohlraumanteil zu erklären ist.



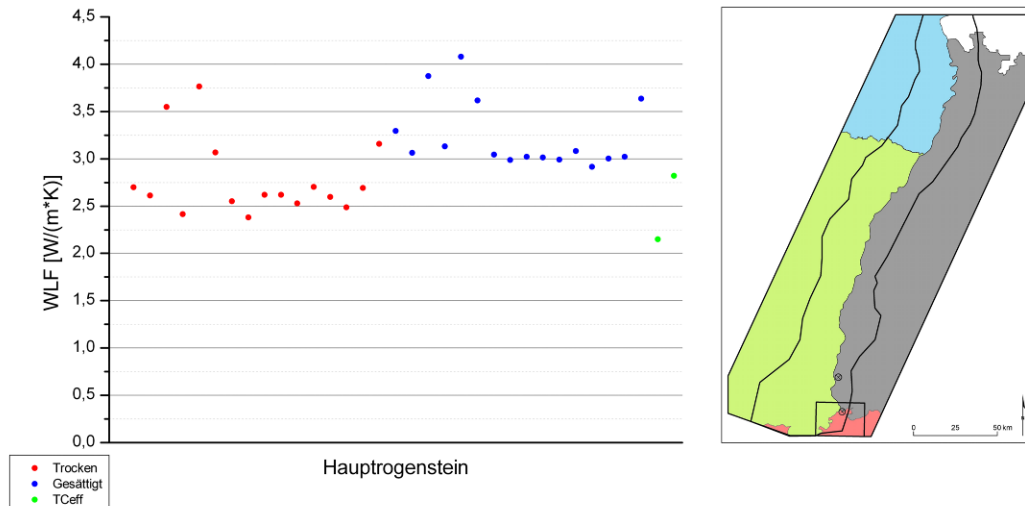


Abb. 2.2.1.8-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Geothermische Einheit Hauptrogenstein).

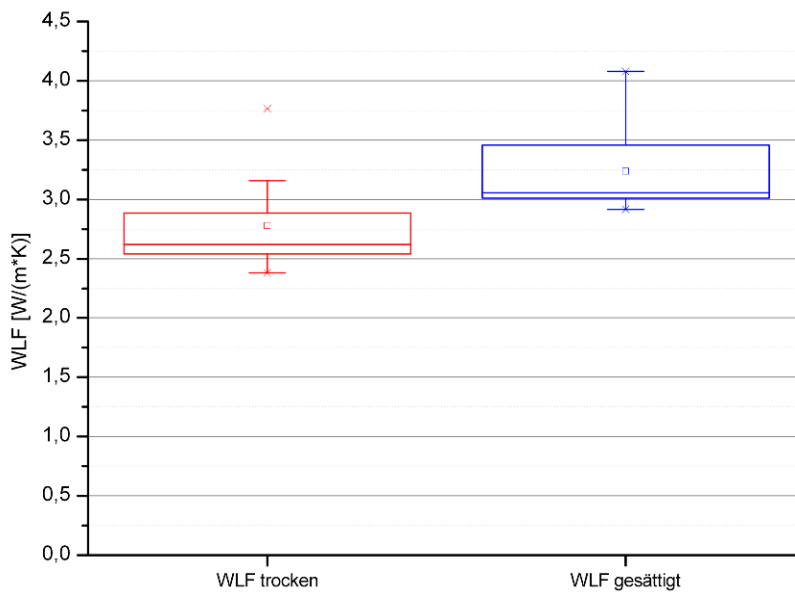


Abb. 2.2.1.8-08: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Geothermische Einheit Hauptrogenstein).

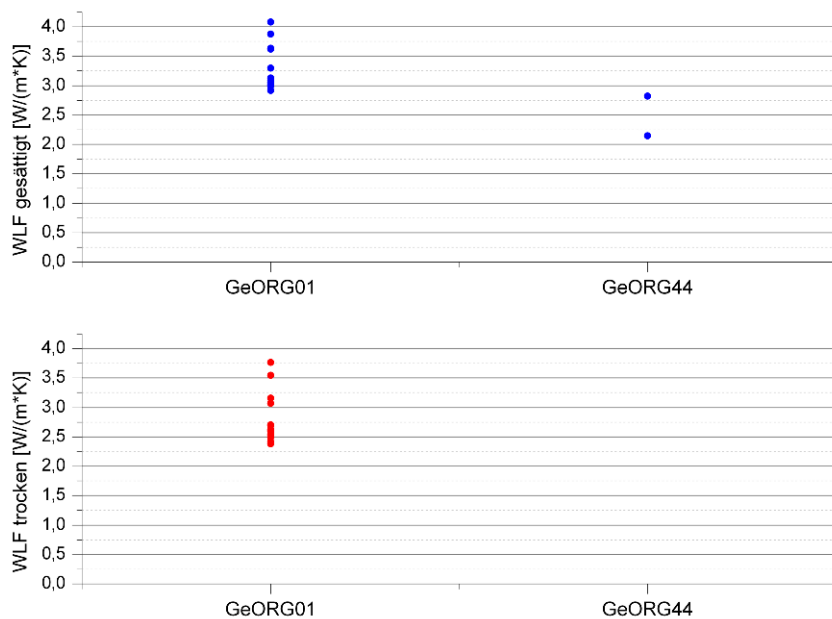


Abb. 2.2.1.8-09: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Geothermische Einheit Hauptrogenstein) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Literaturhinweise, Externe Links

Illies 1956, Ernst 1991, Franz & Nitsch 2009, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.2.5.4, 2.2.2.5.5, 2.2.2.5.6, 2.2.2.5.7, 2.2.2.5.8

Atlasblätter

2.6, 7.3, 3.3, 4.4, 4.5, 5.11.1, 5.17, 7.3, 8.1, 8.2



2.2.1.9 Unterjura, Lias

Geopotenziale

Geothermie

Es besteht ein geothermisches Potenzial im Bereich der Mitteltiefen Geothermie für die Wärmegewinnung zu Heiz- und Produktionszwecken mit erdgekoppelten Wärmetauschersystemen.

Mineral- /Thermalwasser

Mineral- und Thermalwasservorkommen sind in dieser Gesteinseinheit in den mergeligen Gesteinsabfolgen mit geringer Gesteinsdurchlässigkeit auf stärker gestörte Bereiche sowie auf lokal vorhandene Kalksteinbänke beschränkt. Grundsätzlich ist von einer geringen Ergiebigkeit und insbesondere in den tiefer liegenden Bereichen von einer erhöhten Lösungsfracht auszugehen.

Kurzbeschreibung

Basis Mitteljura bis Basis Unterjura: Graue bis schwarzgraue Tonmergelsteine und Mergelsteine mit Kalksteinbänken. Lias: Hettangium bis Toarcium.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen einschließlich Randsenken, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Nördlich Karlsruhe bis ca. 200 m, nach Süden auf etwa 100 m (Mackolsheim–Freiburg), weiter südlich bis auf 30 m (Hochrhein) abnehmend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Oben Jurensismergel-Formation / Marnes à *Lytoceras jurensis*: mehrere jeweils nur wenige Meter bis Zehner Meter mächtige Formationen: dunkelgraue Tonmergelsteine und Mergelsteine mit wenigen Kalksteinbänken. darunter Posidonienschiefer-Formation / Schistes cartons: schwarzgraue bituminöse Mergelsteine, feingeschichtet, einzelne Kalksteinbänke.

darunter Amaltheenton-Formation / Marnes à *Amaltheus margaritatus*: dunkelgraue schluffige Tonmergelsteine mit einer oder wenigen bioturbirten Kalksteinbänken am Top.

darunter Numismalmergel-Formation / Marnes à *Zeilleria numismalis*: graue bis dunkelgraue Mergelsteine mit Kalksteinbänken.

darunter Obtususton-Formation: schwarzgraue bis dunkelgraue Tonsteine bis Tonmergelsteine, schwach bituminös.

Unten Langenbrücken-Formation (nördlich von Schwarzwald und Vogesen): Wechselfolge von dunkelgrauen Kalksteinbänken und Tonmergelsteinen, lagenweise bituminöse schwarzgraue Mergelsteine. Zwischen Schwarzwald und Vogesen geht die Langenbrücken-Formation in eine geringmächtige Abfolge von Tonmergelsteinen und bioklastischen Kalksteinbänken über, die in Frankreich bisher als „Hettangien“ zusammengefasst wurde (oben einschließlich sinemurischer Anteile) und in Deutschland in Pylonotenton-, Angulatenton- und Arietenkalk-Formation gegliedert wird.

In der Schweiz wird der hier sehr geringmächtige Unterjura als Staffelegg-Formation zusammengefasst.

Seismische Charakteristik

In der Seismik wenige gut konnektive Reflektoren. Geringe Unterschiede zu den höheren und tieferen Abschnitten des Mesozoikums.





Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegen 150 Messwerte (60 Mittelwerte, 44 Min-Werte, 46 Max-Werte) aus 13 Aufschlüssen vor. Die Messstellen konzentrieren sich in Frankreich im Oberrheingraben, eine Messstelle befindet sich im nördlichen Teil des Projektgebietes an der östlichen Grabenschulter

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei 10,7 %. Die Werte schwanken hierbei zwischen 0,3 und 15,73 %. Die hohen Messwerte dürften hierbei auf stärker gestörte Bereiche in den Tonmergel- bis Mergelsteinen bzw. auf vereinzelt auftretende, geringmächtige, stärker gestörte/verkarstete/höher poröse Kalksteinbänke entfallen.

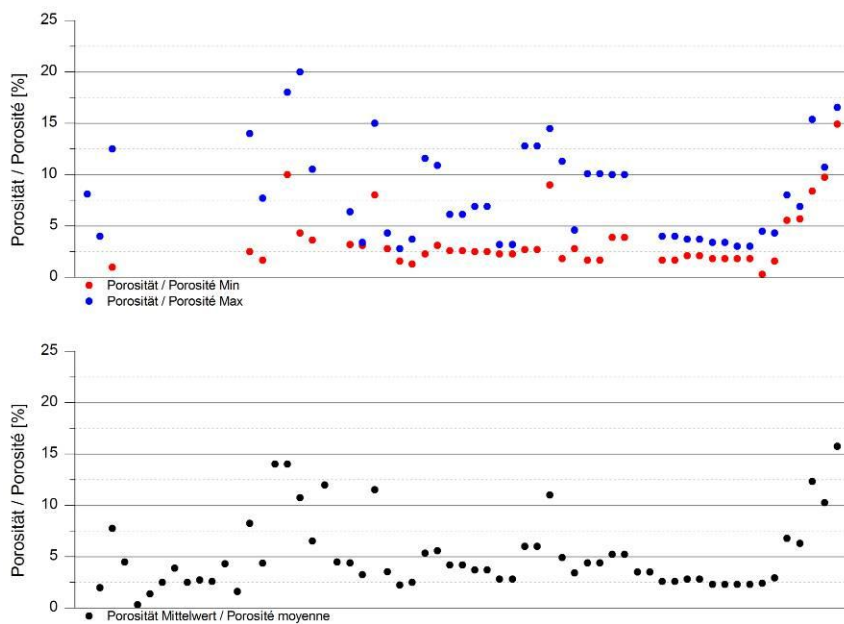


Abb. 2.2.1.9-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Unterjura).

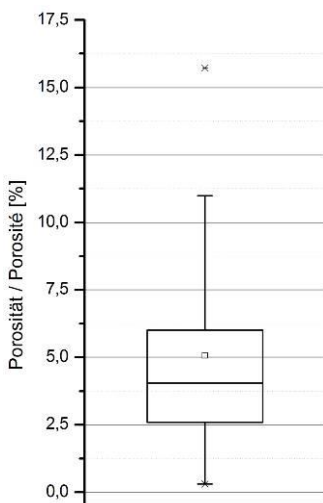


Abb. 2.2.1.9-02: Boxplot der Porositäten im Unterjura.



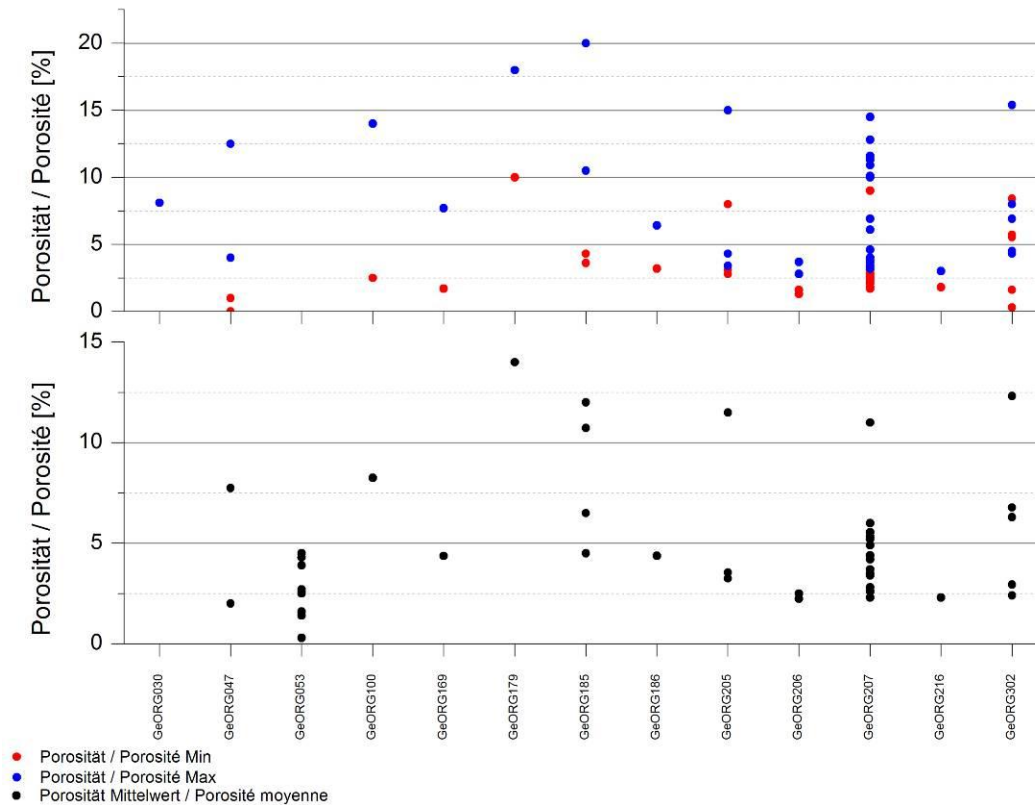


Abb. 2.2.1.9-03: Unterjura: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen 109 Messwerte (44 Mittelwerte, 31 Min-Werte, 34 Max-Werte) aus 10 Aufschlüssen vor.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Permeabilität vornehmen zu können

Die Permeabilitätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei äußerst geringen 0,37 mD. Die Werte schwanken hierbei zwischen äußerst geringen bis sehr geringen 0,003 und 8,8 mD. Inwiefern Kalksteinabschnitte innerhalb der Modelleinheit, wie zu vermuten, höhere Durchlässigkeiten im Vergleich zu den Tonmergeln und Mergeln aufweisen, lässt sich mangels Angaben zu den petrographischen Verhältnissen nicht bestätigen.

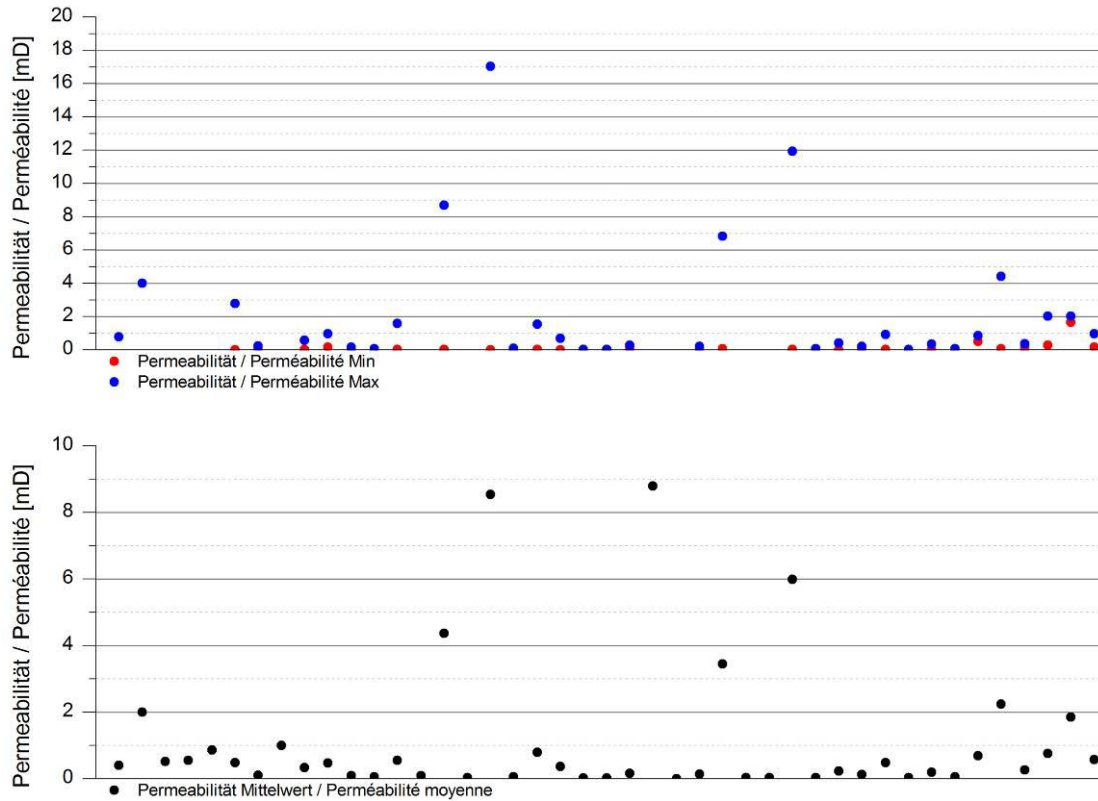
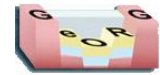


Abb. 2.2.1.9-04: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten (Unterjura).

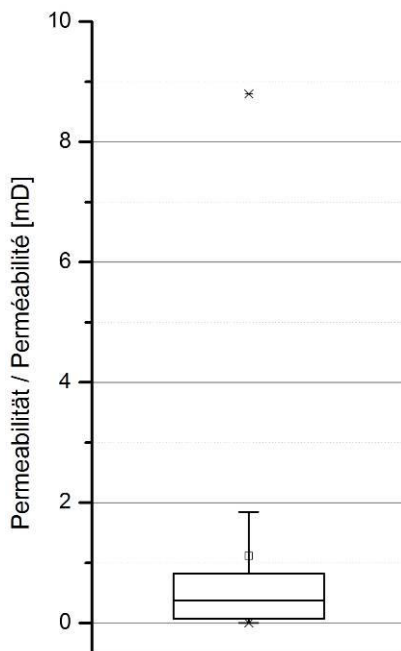


Abb. 2.2.1.9-05: Boxplot der Permeabilitäten im Unterjura.



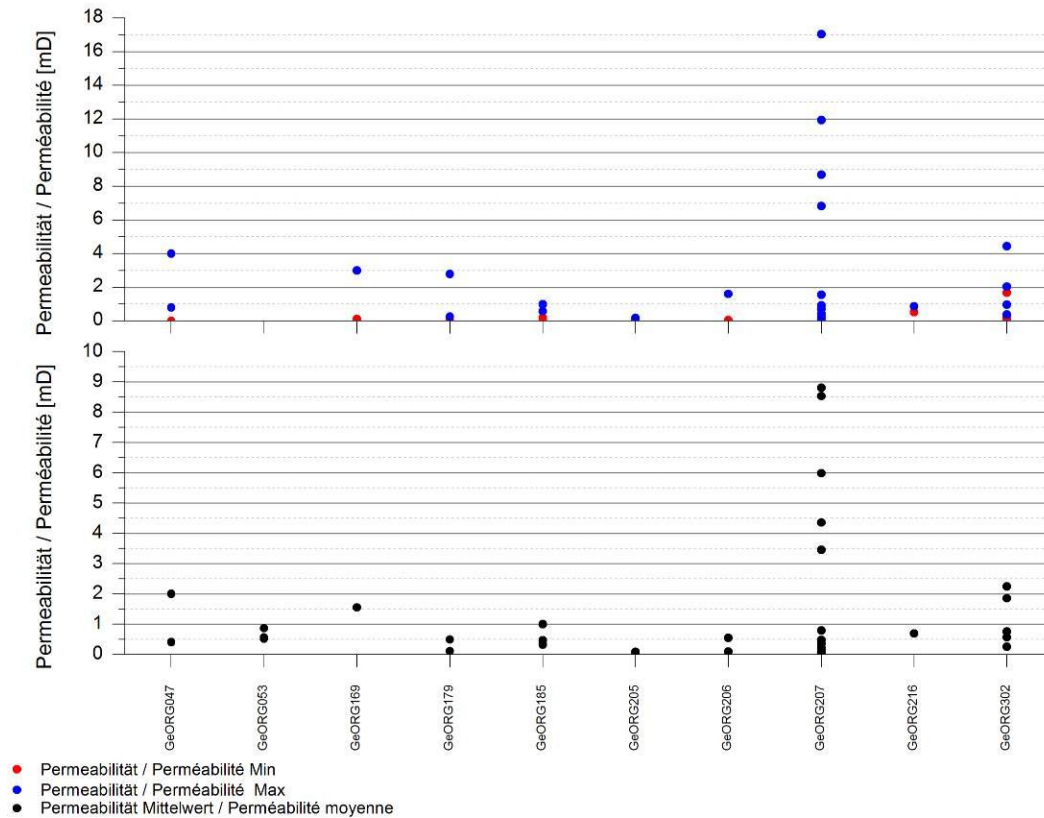


Abb. 2.2.1.9-06: Unterjura: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Wärmeleitfähigkeit

Für die mesozoische liegen lediglich jeweils ein Messwert im trockenen, wassergesättigten und aus dem Bohrklein korrigierten Zustand aus zwei Probenahmepunkten im zentralen nördlichen Teil sowie im äußersten südöstlichen Teil des Modellgebietes vor.

Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, so dass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Auffallend ist die Tatsache, dass diese Werte auf einem äußerst geringen Niveau deutlich unter dem gemessenen Wärmeleitfähigkeitswert des anderen Messpunktes im trockenen Zustand liegen. Inwieweit dies auf die lithologische Gesteinsausbildung oder auf das gewählte Korrekturverfahren zurück zu führen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht klären.

Die Messwerte liegen auf einem verhältnismäßig hohen Niveau, was auf einen höheren Karbonatgehalt hin deutet. Einen Einfluss durch Wasseraufsättigung ist in der Messung aus dem nördlichen Teil des Projektgebietes kaum erkennbar, was durch einen äußerst geringen Hohlraumanteil zu erklären ist.

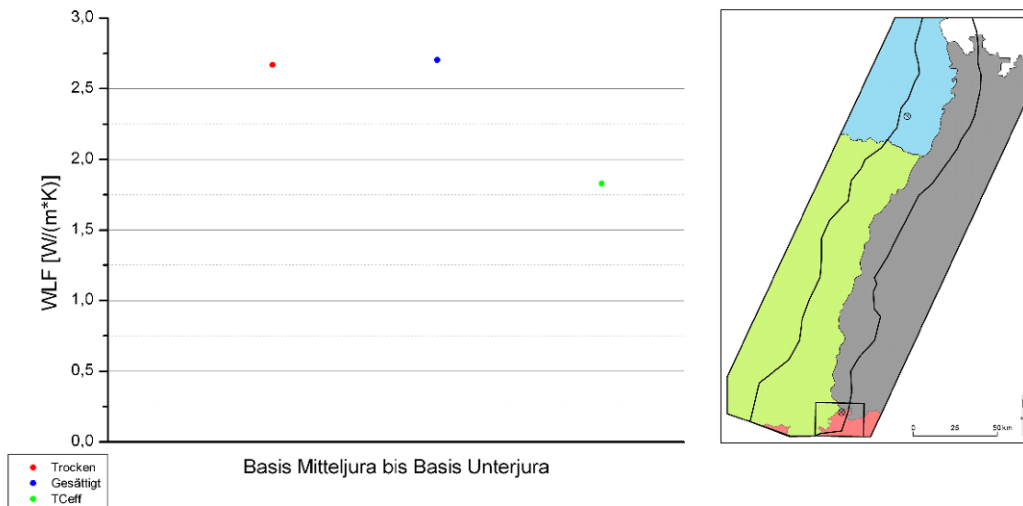
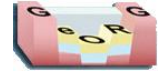


Abb. 2.2.1.9-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Unterjura).

Literaturhinweise, Externe Links

Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Reisdorf et al. 2011, Geyer et al. 2011
 Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.2.6

Atlasblätter

4.5, 4.6, 6.6



2.2.1.10 Keuper, Keuper

Geopotenziale

Geothermie

Es besteht grundsätzlich ein geothermisches Potenzial im Bereich der mitteltiefen Geothermie für die Wärmeengewinnung zu Heiz- und Produktionszwecken anhand von erdgekoppelten Wärmetauschersystemen.

Mineral- /Thermalwassernutzung

Mineral- und Thermalwasservorkommen sind auf stärker gestörte Bereiche sowie auf meist gering mächtige Kalk-, Dolomit- bzw. Sandsteinbänke innerhalb der überwiegend tonig mergeligen Abfolge beschränkt. Grundsätzlich ist von einer geringen Ergiebigkeit und insbesondere in den tiefer liegenden Bereichen von einer erhöhten Lösungsfracht auszugehen.

Aus dem Unterkeuper und Oberen Muschelkalk werden beispielsweise in der Langenbrückener Senke am östlichen Grabenrand bei Bad Schönborn mehrere Heil- bzw. Thermalwasservorkommen erschlossen. Die St. Lambertus-Quelle ist als fluoridhaltige Natrium-Chlorid-Soltherme, die Karl-Sigel-Quelle als fluorid- und iodidhaltige Thermal-Sole zu charakterisieren (Käß & Käß, 2008).

Kohlenwasserstoffe

Dolomitsteinbänke und Sandsteine des Unteren und des Oberen Keupers waren im Randschollengebiet in einzelnen Feldern als Speichergesteine von Kohlenwasserstoffen von Bedeutung.

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzzone früher lokaler Abbau von Sandstein, Tonstein, Gips.

Kurzbeschreibung

Basis Unterjura bis Basis Keuper: Bunte Tonsteine mit Dolomitsteinbänken, oben mit Einschaltungen von Sandstein, unten mit Anhydritstein oder Gips. Keuper einschließlich „Lettenkohle“ s. str.; Spätes Ladinium bis Rhätium.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberreingraben und Randschollenzzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Nördlich Karlsruhe bis über 300 m, in der Langenbrückener Senke bis ca. 370 m. Nach Süden abnehmend auf 140–180 m (Raum Strasbourg, Kaiserstuhl), weiter südlich wieder ansteigend auf 200–250 m (Basel).

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Oberer Keuper, Exter-Formation: Geringmächtige graugrüne und schwarze Tonsteine und kalkfreie Sandsteine.

Mittlerer Keuper, oben Löwenstein- und Arnstadt-Formation / Marnes irisées supérieures: bunte Tonsteine mit Dolomitsteinbänken und im mittleren und nördlichen Graben mit seitlich rasch wechselnden Sandstein-Einlagerungen.

darunter Mainhardt- und Steigerwald-Formation / Marnes irisées moyennes: rotbraune oder bunte Tonsteine mit Anhydrit oder Gips und wenigen Dolomitsteinbänken.

darunter Stuttgart-Formation / Grès à roseaux: graue bis grüne, im oberen Teil örtlich bunte sandige Schluffsteine und Tonsteine mit seitlich rasch wechselnden Einlagerungen von tonigen Sandsteinen und rasch wechselnden Mächtigkeiten.

unten Grabfeld-Formation / Marnes irisées inférieures: bunte und graue Tonsteine mit Anhydrit und Gips sowie Dolomitsteinbänken.





Unterer Keuper (Erfurt-Formation) / Lettenkohle: Wechselfolge aus grauen Tonsteinen und Dolomitsteinbänken, im Norden mit geringen Einlagerungen von Sandstein. In Frankreich wurden in manchen (nicht allen) Profilen Teile der liegenden Muschelkalk-Dolomite mit zur Einheit „Lettenkohle“ gerechnet, die ansonsten dem Unteren Keuper Deutschlands entspricht.

Seismische Charakteristik

In der Seismik wenige gut konnektive Reflektoren. Geringe Unterschiede zu den höheren und tieferen Abschnitten des Mesozoikums.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegen 171 Messwerte (106 Mittelwerte, 32 Min-Werte, 33 Max-Werte) aus 22 Aufschlüssen vor. Der Parameter ist somit für die Modelleinheit vergleichsweise gut belegt. Die Messstellen verteilen sich von Norden bis Süden im Oberrheingraben, einige weitere Messstellen konzentrieren sich zudem im Norden auf die östliche Grabenschulter.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei geringen 4,4 %. Die Werte schwanken hierbei zwischen 0,12 und 18,3 % stark, was auf die Heterogenität der Gesteinsabfolge hinweist. Stark geklüftete bzw. gestörte Gesteinsbereiche scheinen nicht beprobt worden zu sein.

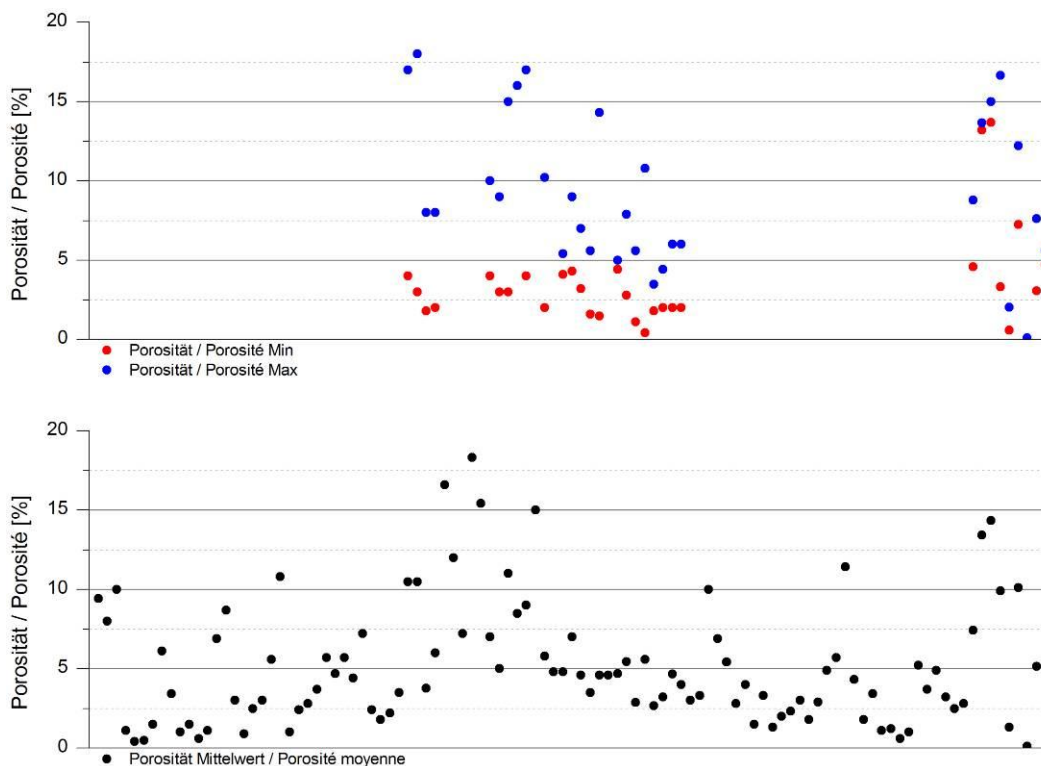


Abb. 2.2.1.10-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Keuper).



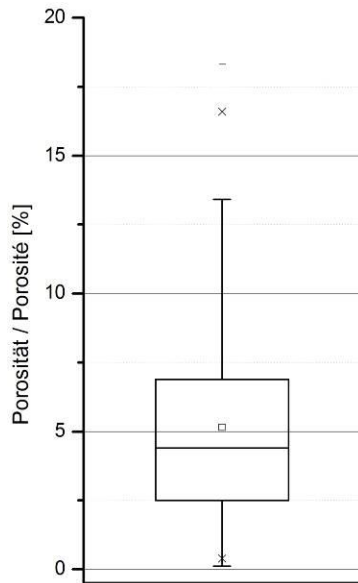


Abb. 2.2.1.10-02: Boxplot der Porositäten im Keuper.

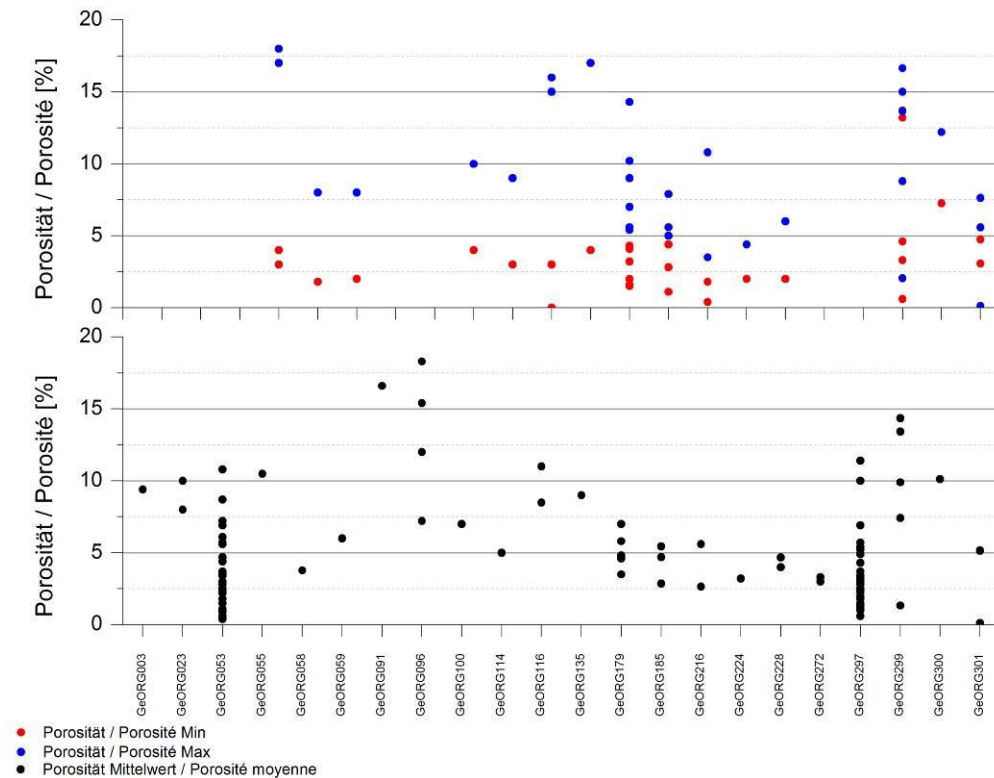


Abb. 2.2.1.10-03: Keuper: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen 77 Messwerte (47 Mittelwerte, 13 Min-Werte, 17 Max-Werte) aus 9 Aufschlüssen vor.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Permeabilität vornehmen





zu können.

Die Permeabilitätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei äußerst geringen 0,55 mD. Die Werte schwanken hierbei in einem auffällig kleinen Bereich zwischen 0,01 und 31,45 mD, was auf Grund der Heterogenität der Gesteinsausbildung in der Modelleinheit so nicht zu erwarten war. Höher durchlässige Bereiche mit einem ausgeprägten Trennflächengefüge scheinen nicht beprobt bzw. vermessen worden zu sein.

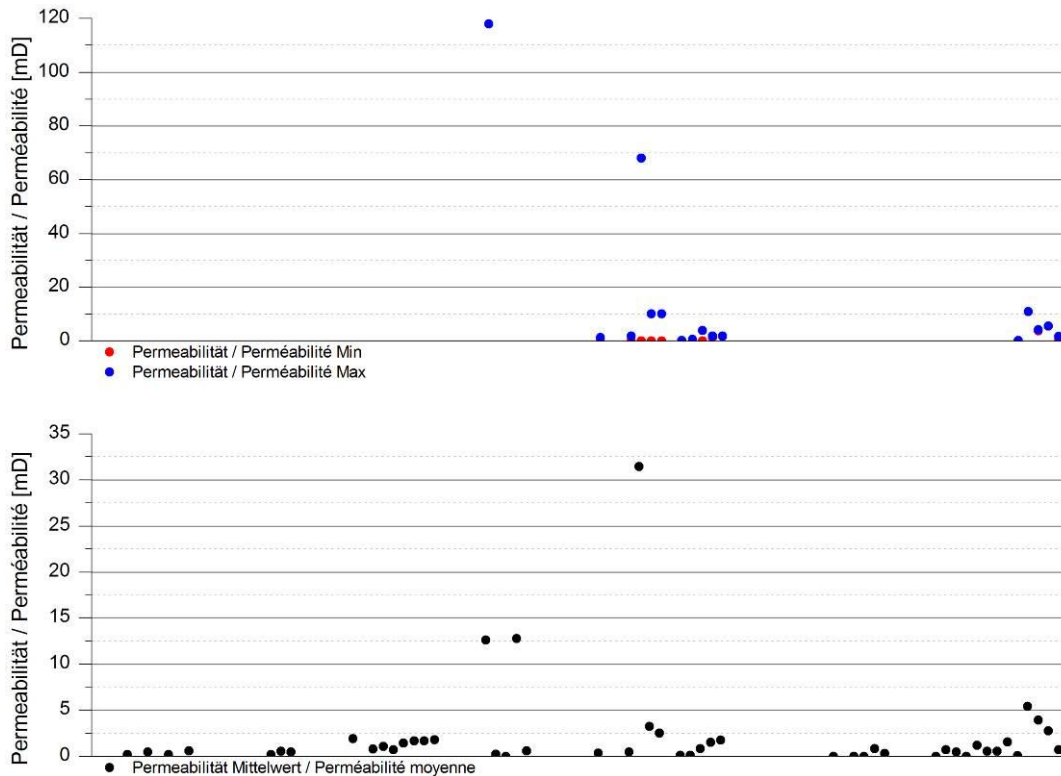


Abb. 2.2.1.10-04: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten (Keuper).

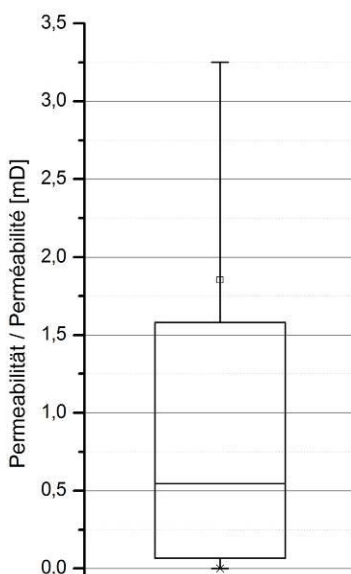


Abb. 2.2.1.10-05: Boxplot der Permeabilitäten im Keuper.



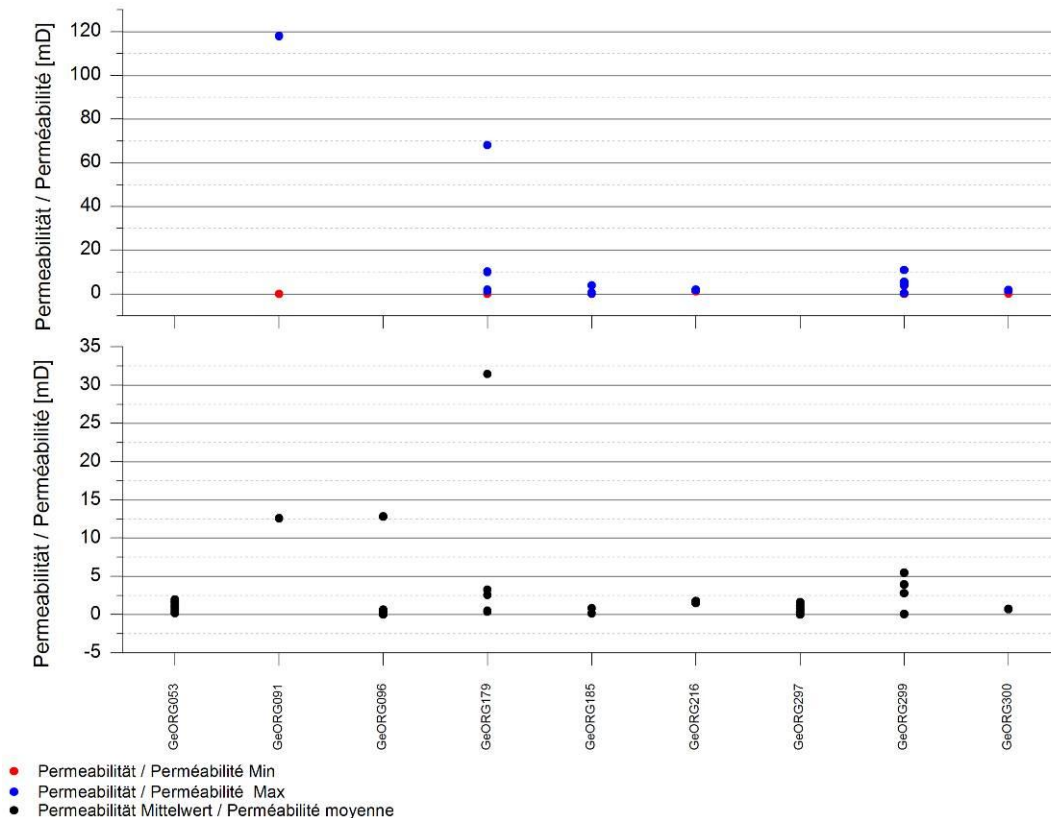


Abb. 2.2.1.10-06: Keuper: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 20 Messwerte für 19 Proben an 9 Messstellen vor; der mittlere Bereich des Oberrheingrabens wird jedoch nicht abgedeckt. Die vorliegenden Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei relativ geringen $3,1 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ im trockenen und bei etwa $2,9 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen $1,8$ bis $5,9 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ im trockenen Zustand und $3,3$ bis $6,1 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ im wassergesättigten Zustand.

Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Auffallend ist die Tatsache, dass diese mit einem Median von lediglich $1,9 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ auf einem äußerst geringen Niveau und deutlich unter den gemessenen Wärmeleitfähigkeitswerten der anderen Messpunkte im trockenen Zustand liegen. Inwieweit dies auf die lithologische Gesteinsausbildung oder auf das gewählte Korrekturverfahren zurück zu führen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht fest machen. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} - Werte liegt bei $4,7 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$. Zu beachten ist, dass in der Darstellung der Messwerte in den einzelnen Probenahmepunkten die TC_{eff} - Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung mit dargestellt wurden.

Die Messwerte liegen auf einem ausgesprochen hohen Niveau, was auf eine karbonatische bzw. silikatische Fazies der beprobten Gesteinseinheiten hin deutet. Einen Einfluss durch Wasseraufsättigung ist deutlich erkennbar, was durch einen hohen Hohlraumanteil zu erklären ist.

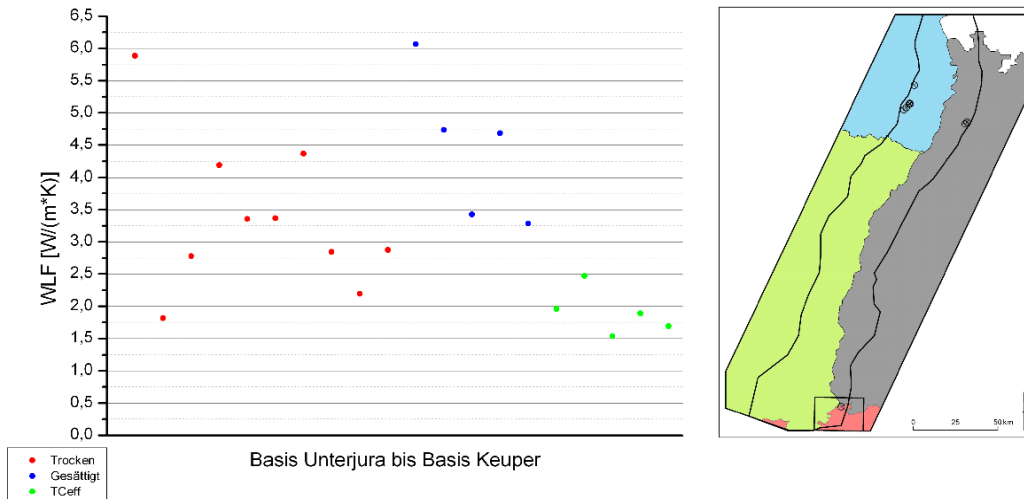


Abb. 2.2.1.10-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Keuper).

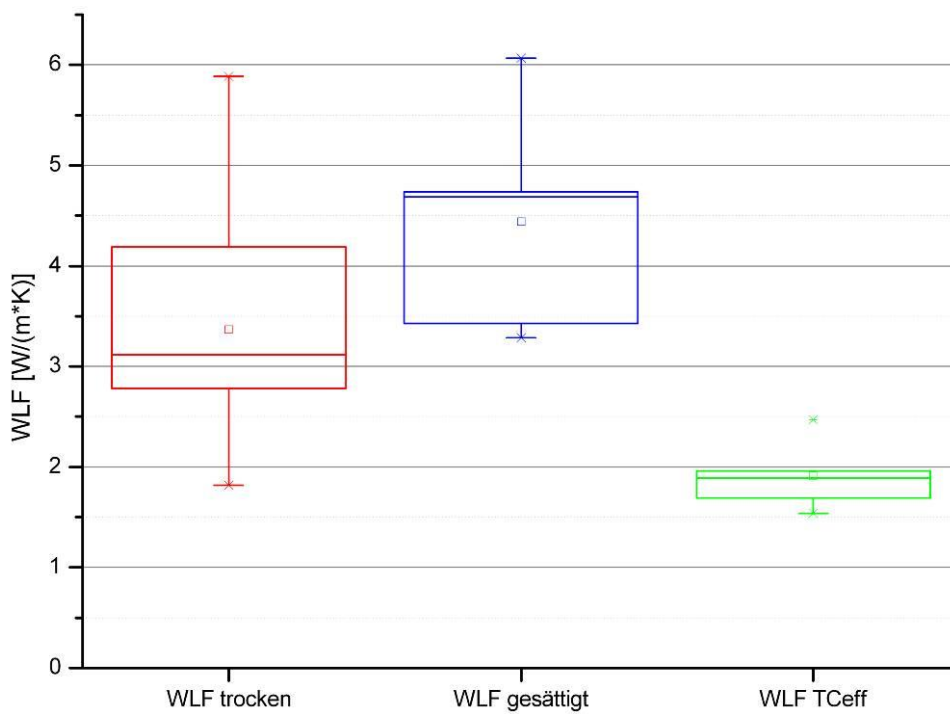


Abb. 2.2.1.10-08: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Keuper).



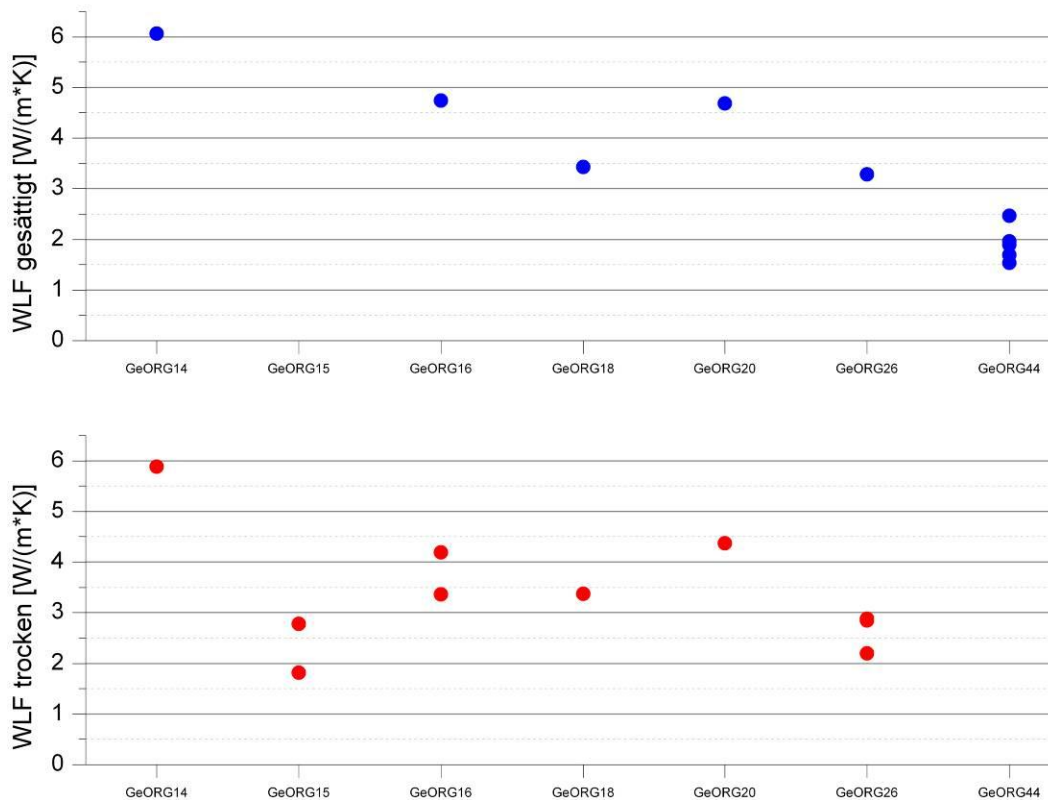


Abb. 2.2.1.10-09: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Keuper) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Literaturhinweise, Externe Links

Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.2.7

Atlasblätter

2.7, 4.6, 6.6, 7.4, 8.1, 8.2



2.2.1.11 Oberer Muschelkalk / *Muschelkalk supérieur*

Geopotenziale

Geothermie

Die Modelleinheit besteht aus Karbonatgesteinen, welche lokal verkarstet sein können. Bei ausreichender Versenkungstiefe und einem damit einhergehenden ausreichenden Temperaturniveau ist die Modelleinheit bei ausreichender Verkarstung bzw. Zerrüttung für eine geothermische Wärme- und Stromerzeugung grundsätzlich geeignet (z. B. in Riehen, Kap. 2.4.9.1). Allerdings lässt sich der Grad der Verkarstung nicht vorhersagen, so dass für eine ausreichende Fündigkeit meist Störungssysteme erforderlich sind. Für ungestörte Gesteinsbereiche ist von einem verhältnismäßig hohen Fündigkeitsrisiko auszugehen.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Der Obere Muschelkalk ist ein bedeutender Mineral- und Thermalwasser führender Grundwasserleiter. Lokal sind gute Wasserwegsamkeiten infolge starker Klüftigkeit und sekundär durch Verkarstungsvorgänge entstandener Hohlräume zu erwarten. Die hohe Mineralisation der Grundwässer geht z. T. auf Auslaugungsvorgänge im unterlagernden Mittleren Muschelkalk zurück. Heil-/Thermalwässer aus dem Oberen Muschelkalk werden z.B. in Freiburg, Bad Krozingen und Bad Bellingen im südlichen Oberrheingraben genutzt (Kap. 2.4.9.4).

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzone früher lokaler Abbau von Kalkstein.

Kurzbeschreibung

Basis Keuper bis Top Muschelkalk-Evaporite: Grauer Kalkstein und Dolomitstein, gebankt, mit nach Süden zunehmendem Dolomitstein-Anteil: In Deutschland und der Schweiz Oberer Muschelkalk und Diemel-Formation des Mittleren Muschelkalks bzw. Oberer Dolomit der Anhydritgruppe, in Frankreich Muschelkalk supérieur ohne Lettenkohle moyen et Dolomie limité; Spätes Anisium bis Frühes Ladinium.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Meist 70–100 m, im südlichen Alsace auf < 50 m abnehmend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Oberer Muschelkalk: Im Norden überwiegend grauer Kalkstein, geschichtet, mit Tonmergelstein-Zwischenlagen, am Top gebietsweise Dolomitstein. Südlich von Karlsruhe wird der obere Teil zunehmend von grauen bis gelblichen Dolomitsteinen ersetzt, die in Frankreich als Dolomie inférieur de Lettenkohle bezeichnet werden.

Unten Diemel-Formation des Mittleren Muschelkalks: mehrere Meter Dolomitstein, grau, gelbbraun verwitternd, örtlich mit Sulfatknollen. In Frankreich zum Oberen Muschelkalk gerechnet.

Seismische Charakteristik

In der Seismik wenige eng gescharte konnektive Reflektoren. Geringe Unterschiede zu den höheren Abschnitten des Mesozoikums.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit Oberer Muschelkalk und Diemel-Formation liegen 51 Messwerte (26 Mittelwerte, 13



Min-Werte, 13 Max-Werte) aus 11 Aufschlüssen vor. Die Messstellen konzentrieren sich auf den zentralen Bereich des Oberrheingrabens.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei einem auffallend geringem Wert von 2,7 %. Die Werte schwanken hierbei zwischen 1 und 17 %. Die geringen Porositätswerte weisen auf eine geringe/fehlende Verkarstung der Kalk- und Dolomitsteine sowie auf ein nur mäßig ausgebildetes Trennflächengefüge hin.

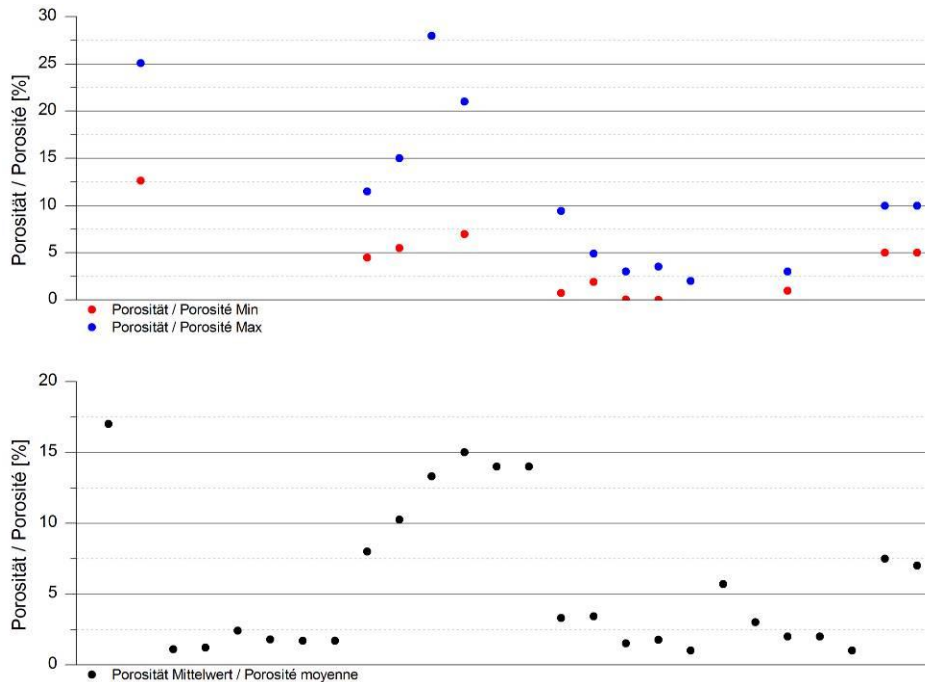


Abb. 2.2.1.11-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Oberer Muschelkalk).

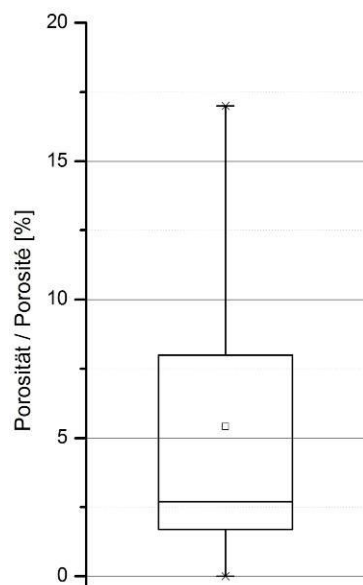


Abb. 2.2.1.11-02: Boxplot der Porositäten des Oberen Muschelkalks.

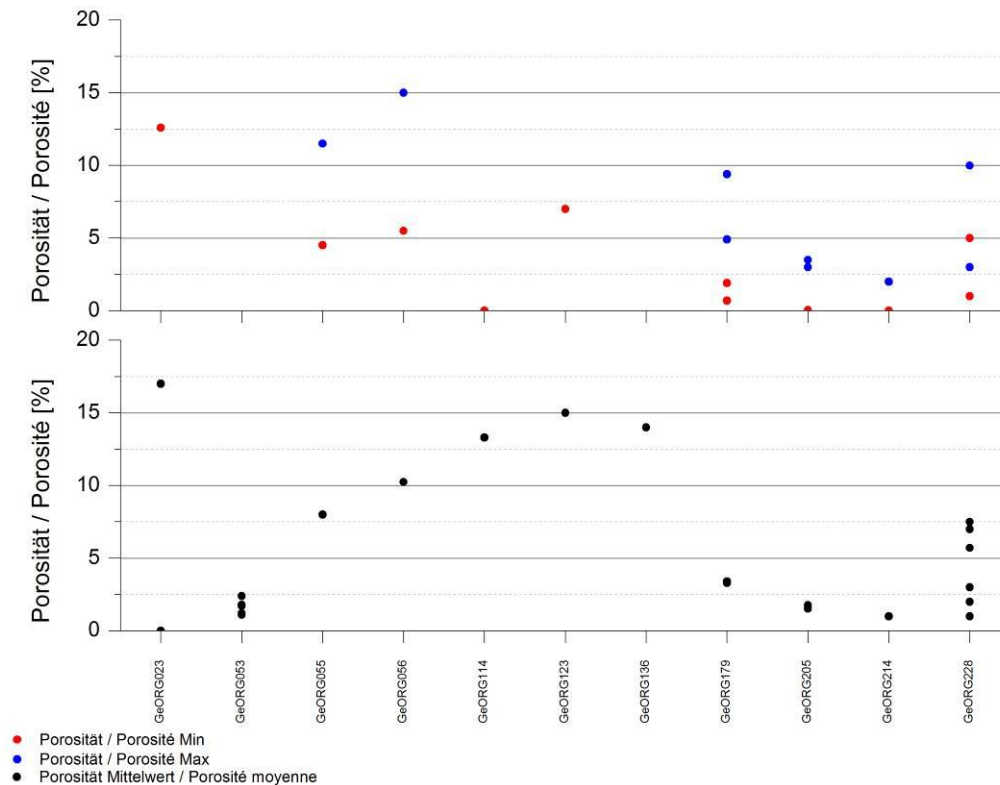


Abb. 2.2.1.11-03: Oberer Muschelkalk: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen 51 Messwerte (26 Mittelwerte, 13 Min-Werte, 13 Max-Werte) aus 11 Aufschlüssen vor. Die Messstellen konzentrieren sich auf den zentralen bis nördlichen Bereich des Oberrheingrabens.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Permeabilität vornehmen zu können.

Die Permeabilitätswerte liegen im Median bei äußerst geringen 1,311 mD. Die Werte schwanken hierbei nur geringfügig zwischen 0,03 und 2,5 mD. Die geringen Permeabilitäten sowie die geringe Schwankungsbreite weisen auf eine geringe Matrixporosität der Karbonatgesteine sowie im Falle von In-Situ-Tests auf geringe Gebirgsdurchlässigkeiten mit geringer/fehlender Verkarstung sowie auf ein nur mäßig ausgebildetes Trennflächengefüge hin.



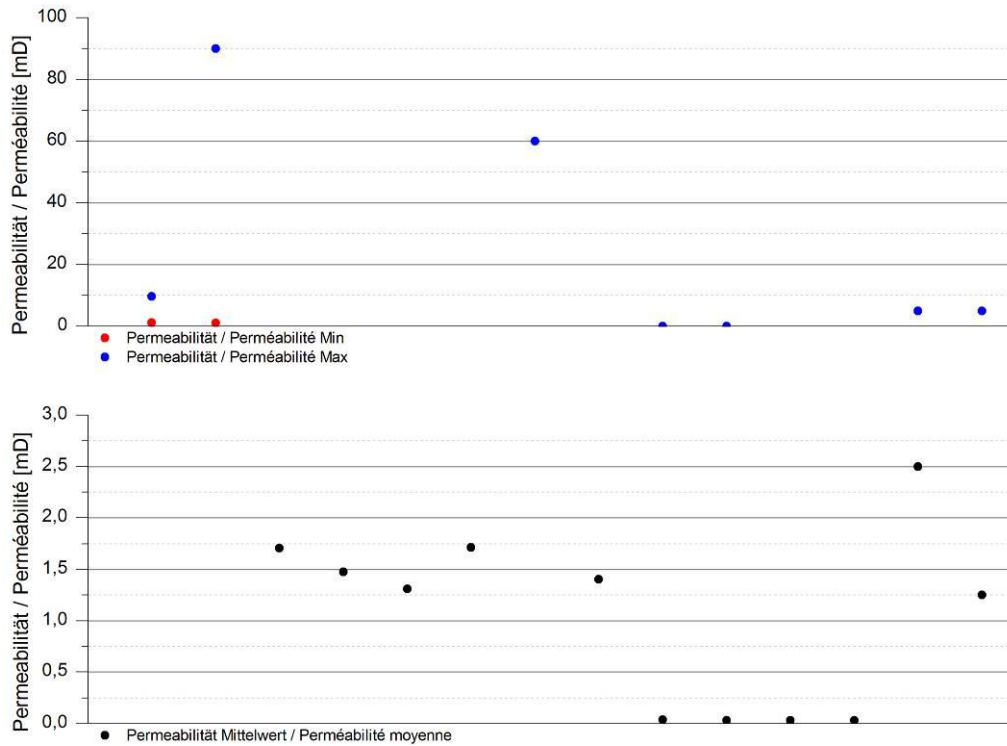


Abb. 2.2.1.11-04: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten (Oberer Muschelkalk).

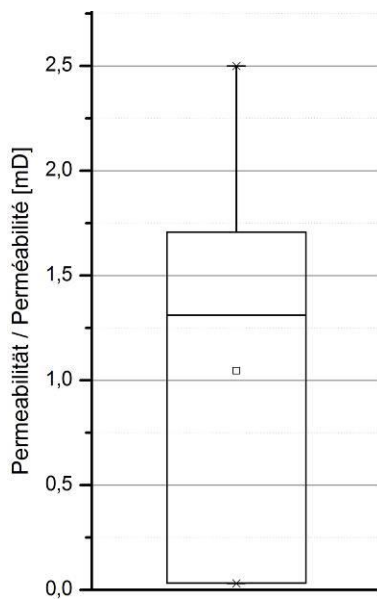


Abb. 2.2.1.11-05: Boxplot der Permeabilitäten des Oberen Muschelkalks.

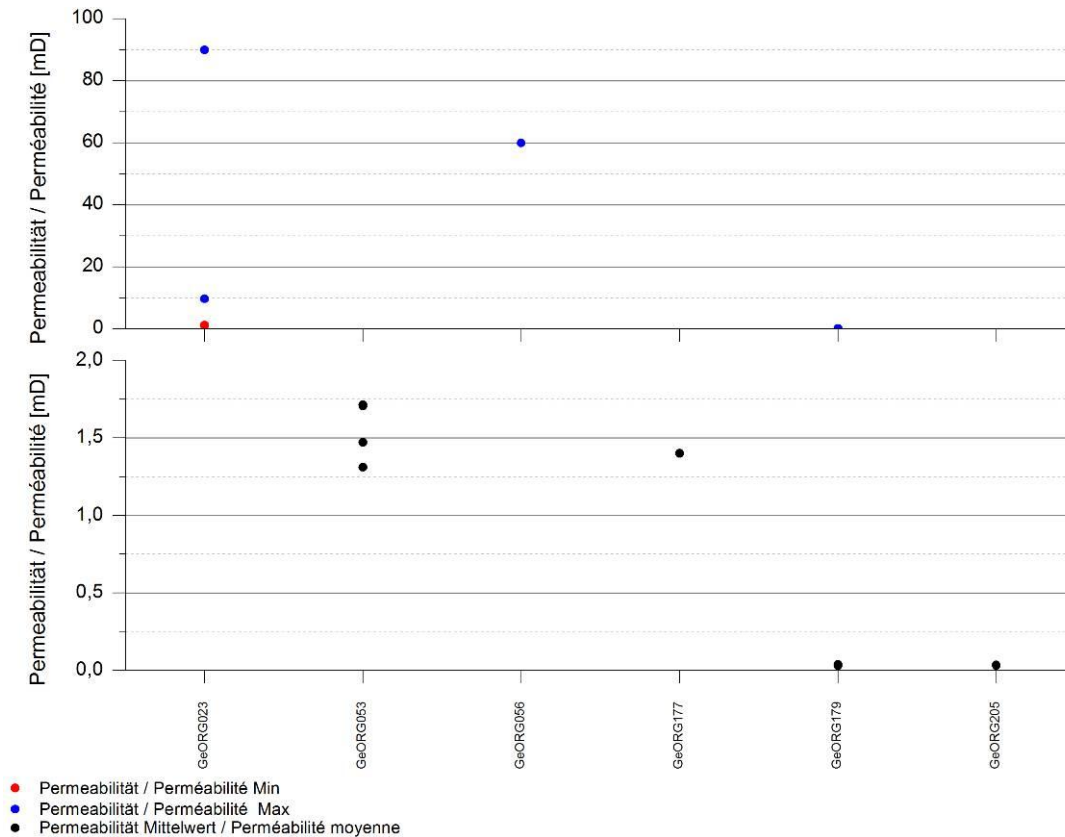


Abb. 2.2.1.11-06: Oberer Muschelkalk: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Wärmeleitfähigkeit

Für den geothermischen Nutzhorizont „Oberer Muschelkalk“ liegen aus dem Projektgebiet 13 Messwerte für 9 Proben aus insgesamt drei Probenahmestellen vor. Die vorliegenden Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei relativ geringen 2,5 W/(m*K) im trockenen und bei etwa 2,5 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die gemessenen Wärmeleitfähigkeiten liegen zwischen 2,4 und 2,6 W/(m*K) im trockenen Zustand und somit deutlich unter dem Wertebereich der hangenden Einheit. Im wassergesättigten Zustand schwanken die Werte stärker zwischen 1,9 und 3,7 W/(m*K) und liegen im Mittel auf einem deutlich höheren Niveau.

Die Schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Auffallend ist die Tatsache, dass diese mit einem Median von lediglich 2,0 W/(m*K) auf einem äußerst geringen Niveau und deutlich unter den gemessenen Wärmeleitfähigkeitswerten des anderen Messpunktes im trockenen Zustand liegen. Inwieweit dies auf die lithologische Gesteinsausbildung oder auf das gewählte Korrekturverfahren zurück zu führen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht fest machen. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} -Werte liegt bei 3,4 W/(m*K). Zu beachten ist, dass in der Darstellung der Messwerte in den einzelnen Probenahmepunkten die TC_{eff} -Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung mit dargestellt wurden.

Die Messwerte liegen auf einem geringeren Niveau als die Messwerte der hangende Modelleinheit was durch die tonige Fazies der Einheit zu erklären ist.

Einen Einfluss durch Wasserauf sättigung ist in der Messung erkennbar, was durch einen höheren Tongehalt der Gesteinseinheiten, aus welcher die Proben entstammen, zu erklären ist.



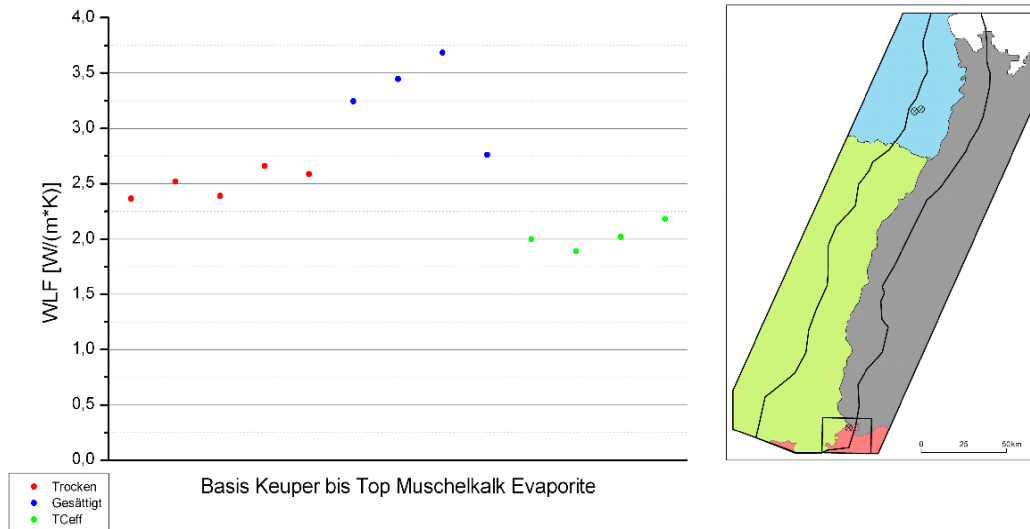


Abb. 2.2.1.11-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit und geothermische Einheit Oberer Muschelkalk).

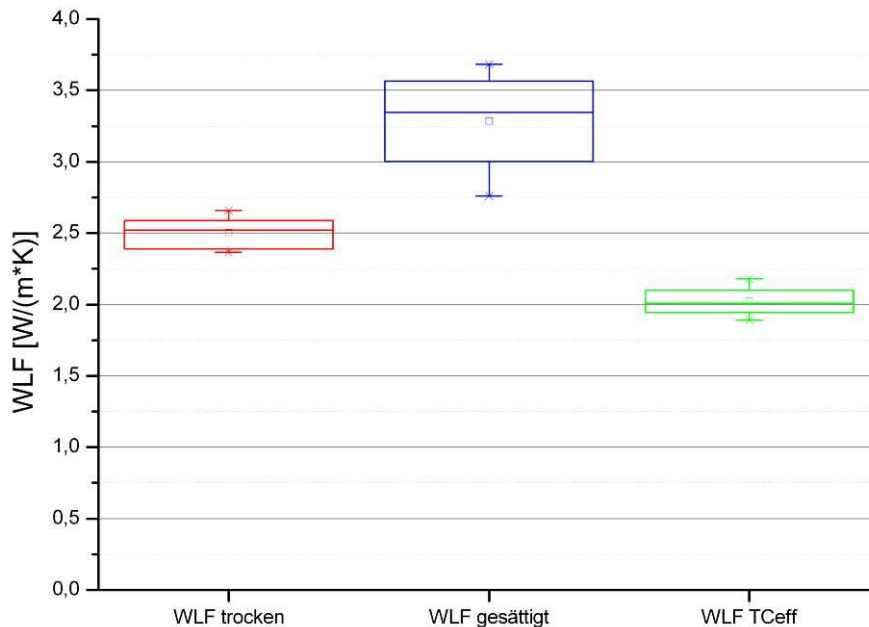


Abb. 2.2.1.11-08: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit und geothermische Einheit Oberer Muschelkalk).

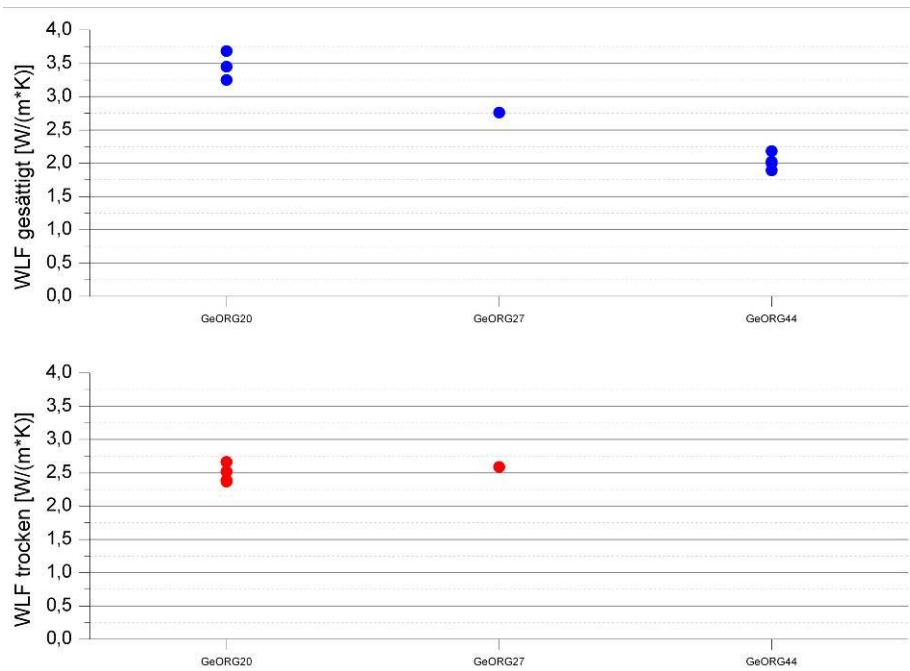
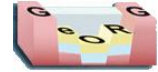


Abb. 2.2.1.11-09: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit und geothermische Einheit Oberer Muschelkalk) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Literaturhinweise, Externe Links

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.2.8.1, 2.2.2.8.2

Atlasblätter

2.8, 3.4, 4.6, 5.12, 5.18, 6.7, 7.4, 8.1, 8.2



2.2.1.12 Unterer und Mittlerer Muschelkalk, *Muschelkalk inférieur et moyen*

Geopotenziale

Geothermie

Es besteht ein geothermisches Potenzial im Bereich der mitteltiefen Geothermie für die Wärmeabgewinnung zu Heiz- und Produktionszwecken anhand von erdgekoppelten Wärmetauschersystemen.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Der Untere Muschelkalk ist ein geklüfteter, schichtig gegliederter, z.T. verkarsteter Kluffgrundwasserleiter mit überwiegend geringer, bei Verkarstung mäßiger bis mittlerer Grundwasserführung. In den tiefer liegenden Bereichen ist grundsätzlich von einer erhöhten bis hohen Mineralisation sowie von höheren Fluidtemperaturen auszugehen. Der Mittlere Muschelkalk ist im unausgelaugten Zustand ein Grundwassergeringleiter mit sehr geringer Grundwasserführung in Dolomitbänken und im Gipsauslaugungsrückstand.

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzone früher lokaler Abbau von Kalkstein.

Kurzbeschreibung

Top Muschelkalk-Evaporite bis Basis Muschelkalk: Oben Anhydritstein mit Lagen von Tonstein und Dolomitstein, darunter im südlichen Graben Wechselfolgen von Tonstein und Dolomitstein mit sandigen Einschaltungen, im nördlichen Graben zunehmend auch Kalkstein. Unterer und Mittlerer Muschelkalk (ohne Diemel-Formation); Anisium.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberreingraben und Randschollenzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes .

Meist 70–90 m, durch Auslaugung der Evaporite schwankend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Oben Heilbronn-Formation (D) / Muschelkalk moyen (F) / Anhydritgruppe ohne Obere Dolomite (CH): grauer Anhydrit- und Gipsstein mit tonig-schluffigen Zwischenlagen, örtlich Steinsalz, örtlich ausgelaugt zu Residualschluffen, darunter Karlstadt-Formation: graue bis gelbliche Dolomitsteinbänke mit dolomitischen Mergel-Zwischenlagen, in Frankreich und der Schweiz zum Unteren Muschelkalk gerechnet, unten Unterer Muschelkalk / Muschelkalk Inférieur: im Norden im oberen Teil graue Kalksteine mit welliger Schichtung und untergeordneten Mergellagen (D: Jena-Formation), darunter dunkelgraue dolomitische Tonmergelsteine mit örtlich sandigen Dolomitsteinbänken (D: Freudensstadt-Formation), die zwischen Schwarzwald und Vogesen den gesamten Unteren Muschelkalks vertreten oder an der Basis nach Westen in graue sandige Tonmergelsteine mit Sandstein-Einlagerungen und untergeordneten Dolomitsteinbänken übergehen (D: Udelfangen-Formation / F: Grès coquiller). Westlich des Rheins wird der tiefste Teil des rechtsrheinischen Unteren Muschelkalks faziell von roten Sandsteinen des Voltziensandsteins / Grès à Voltzia vertreten und dem Buntsandstein zugerechnet.

Seismische Charakteristik

In der Seismik wenige eng gescharte konnektive Reflektoren über den weniger konnektiven und weniger deutlichen Reflektoren der permotriassischen Sandsteine. Geringe Unterschiede zu den höheren Abschnitten des Mesozoikums.





Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegen 24 Messwerte (21 Mittelwerte, 1 Min-Wert, 2 Max-Werte) aus 7 Aufschlüssen vor. Die Messstellen verteilen sich in Frankreich im zentralen Bereich des Oberrheingrabens.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können.

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei sehr geringen 1,97 %. Die Werte schwanken hierbei zwischen 0,9 und 8,8 %. Die Evaporite und Karbonate sind somit als vergleichsweise dicht mit einer gering ausgebildeten Matrixporosität und, soweit die Messwerte anhand von In-situ-Messungen ermittelt, mit einem gering ausgebildeten Trennflächenvolumen zu interpretieren.

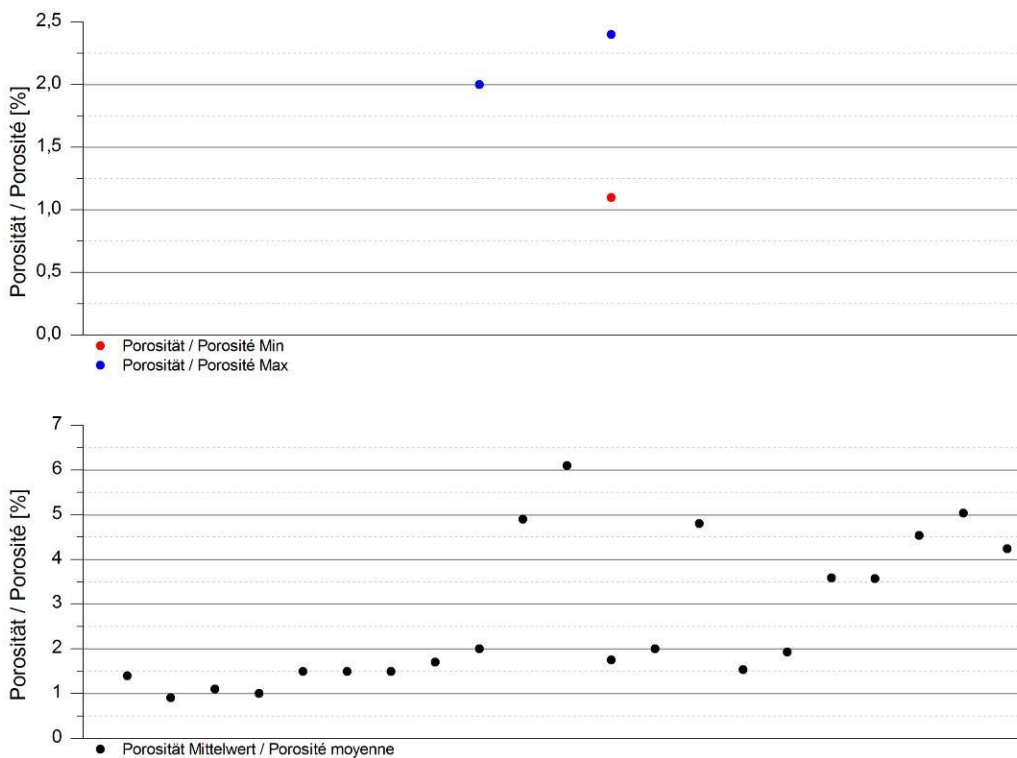


Abb. 2.2.1.12-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Unterer und Mittlerer Muschelkalk).



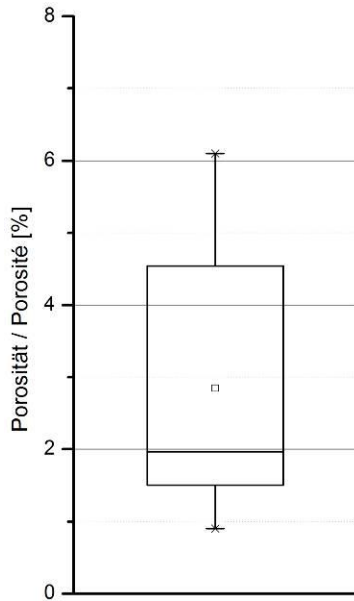


Abb. 2.2.1.12-02: Boxplot der Porositäten des Unteren und Mittleren Muschelkalks.

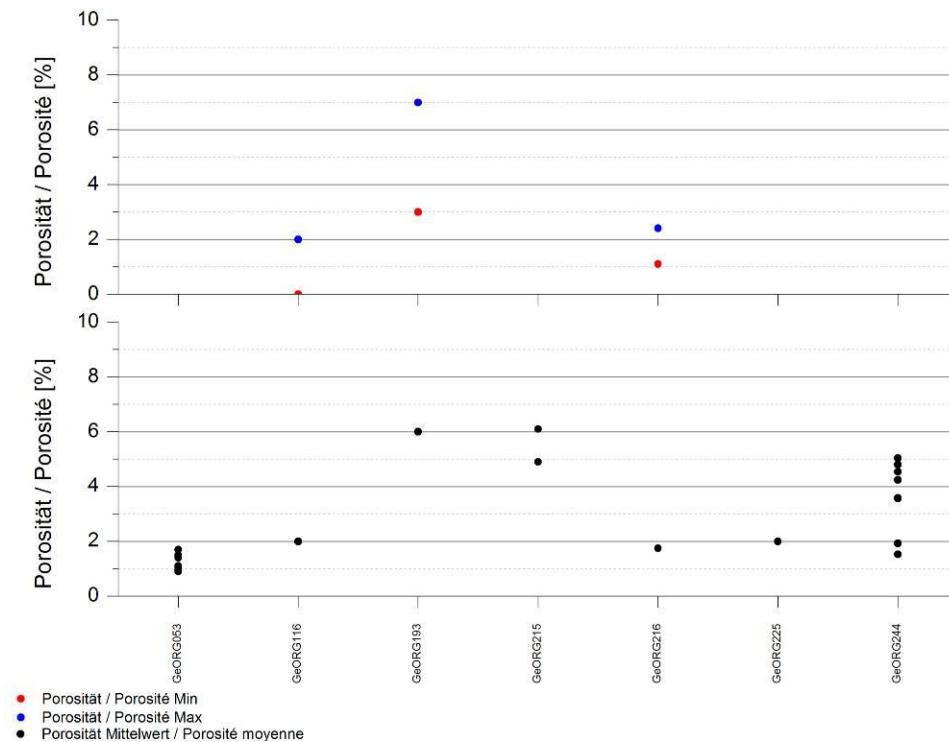


Abb. 2.2.1.12-03: Unterer und Mittlerer Muschelkalk: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen 13 Messwerte (11 Mittelwerte, 1 Min-Wert, 1 Max-Wert) aus 4 Aufschlüssen vor. Die Messstellen befinden sich im zentralen Bereich des Oberrheingrabens.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Permeabilität vornehmen



zu können.

Die Permeabilitätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei äußerst geringen 0,096 mD. Die Werte schwanken hierbei zwischen 0,034 und 21,267 mD. Die Evaporite und Karbonate sind somit als äußerst bis sehr gering durchlässig mit einer gering ausgebildeten Gesteinspermeabilität und, soweit In-Situ-Messverfahren durchgeführt wurden, mit einer geringen Gebirgsdurchlässigkeit zu interpretieren.

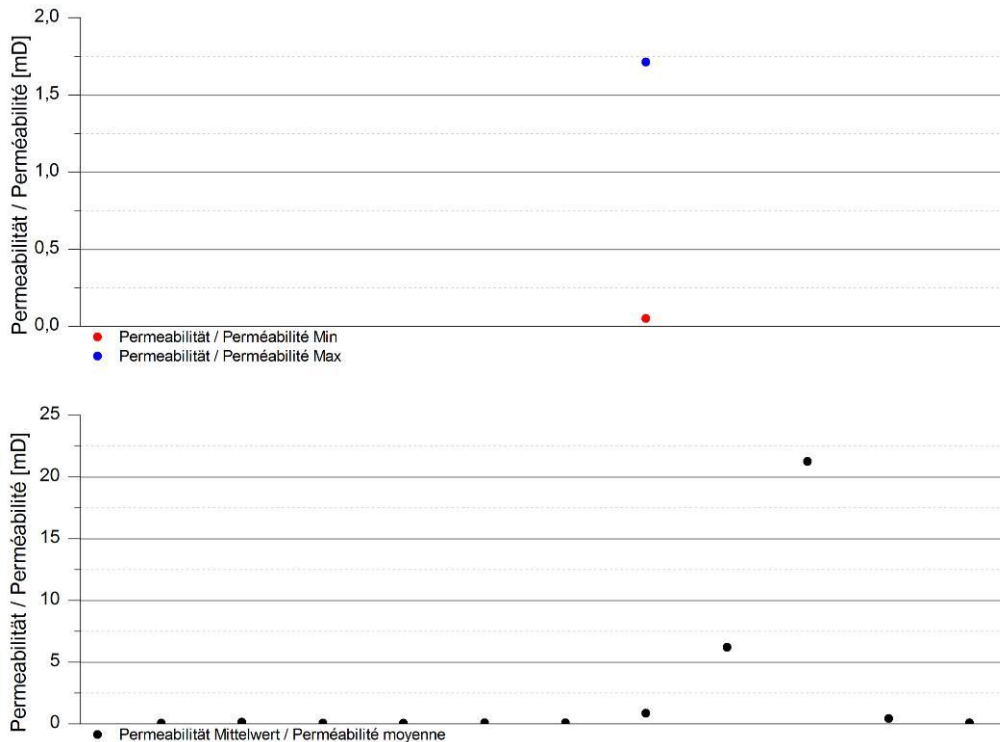


Abb. 2.2.1.12-04: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten (Unterer und Mittlerer Muschelkalk).

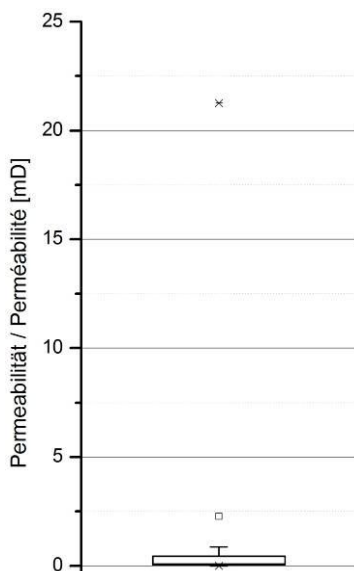


Abb. 2.2.1.12-05: Boxplot der Permeabilitäten des Unteren und Mittleren Muschelkalks.



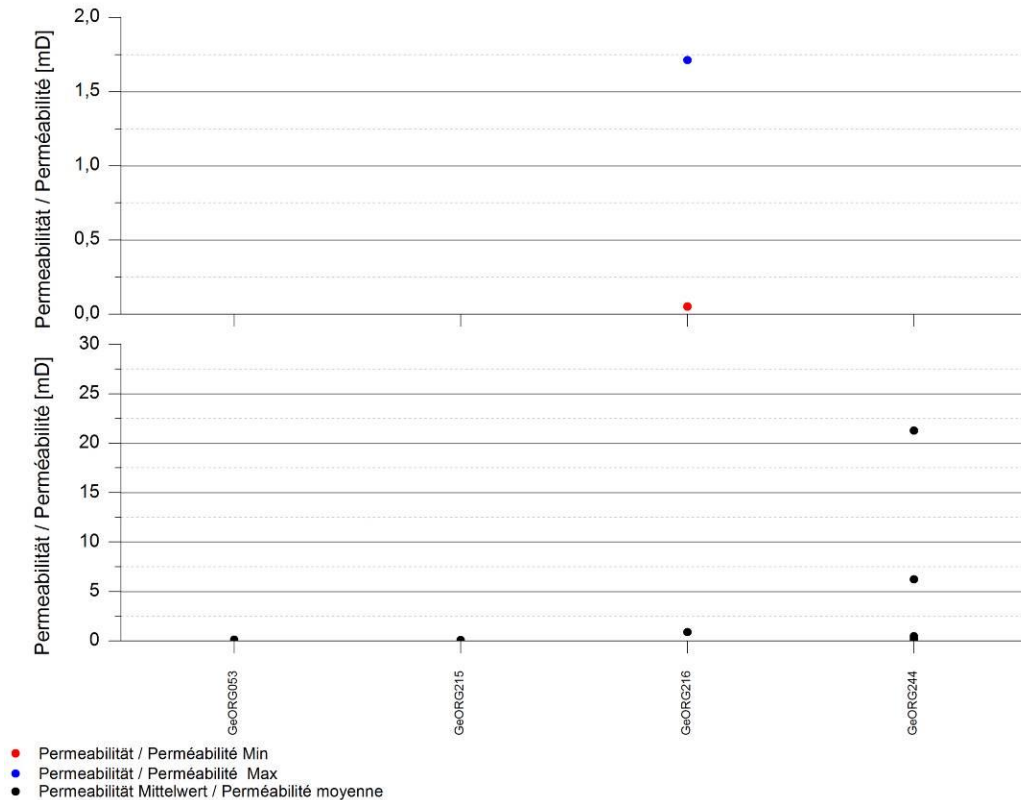


Abb. 2.2.1.12-06: Unterer und Mittlerer Muschelkalk: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilitäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet 6 Messwerte für 6 Proben aus einer Probenahmestelle im Schweizer Teil des Projektgebietes als errechnete effektive Wärmeleitfähigkeit vor. Sie sind systematisch den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeiten gleichzusetzen. Messwerte im trockenen Zustand liegen nicht vor. Eine regionalisierte Aussage ist daher nicht möglich. Die effektive Wärmeleitfähigkeit variiert ausgesprochen stark zwischen 1,1 W/(m*K) und 3,6 W/(m*K).

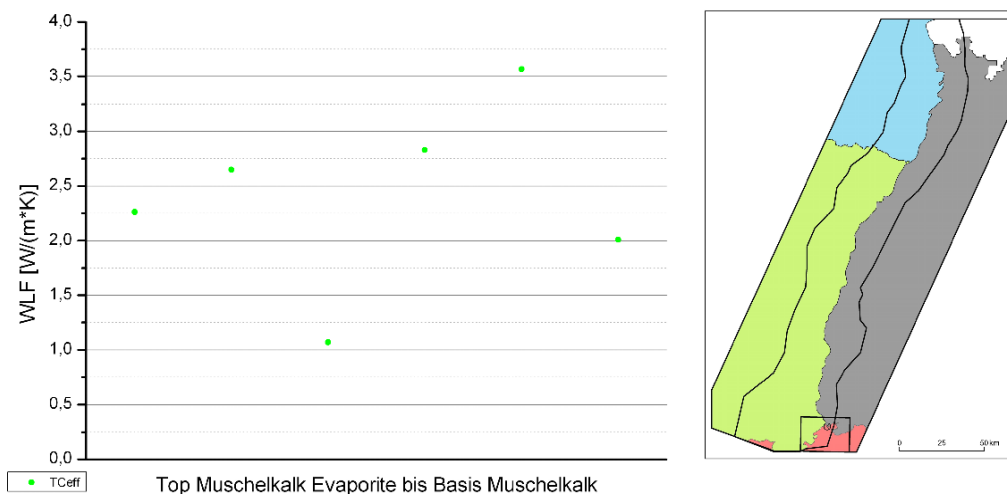


Abb. 2.2.1.12-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Unterer und Mittlerer Muschelkalk).

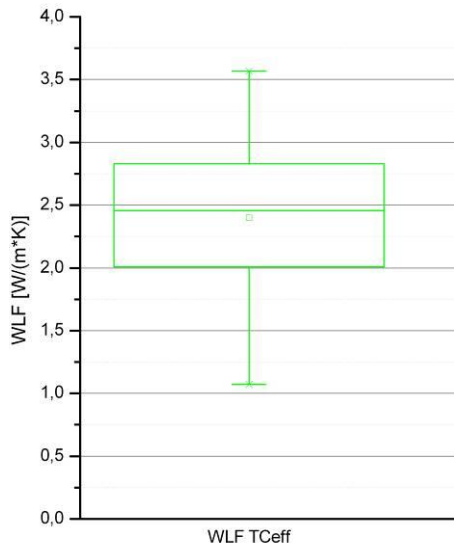
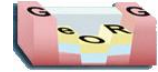


Abb. 2.2.1.12-08: Boxplot für Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Modelleinheit Unterer und Mittlerer Muschelkalk).

Literaturhinweise, Externe Links

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.2.8.3, 2.2.2.8.4, 2.2.2.8.5, 2.2.2.8.6

Atlasblätter

2.8, 2.9, 3.4, 4.6, 4.7, 6.8, 8.1, 8.2



2.2.1.13 Permotriassische Sandsteine, Grès permo-triassiques

Geopotenziale

Geothermie

Gemeinsam mit den unterlagernden permischen Sandsteinen stellt der Buntsandstein einen wichtigen hydrothermalen Nutzhorizont dar (Kap. 2.4.6.4). Im Grabeninneren sind die Gesteine bereichsweise bereits ausreichend tief abgesenkt, um einem der Stromerzeugung genügenden Temperaturniveau zu bewirken. Bei dieser Modelleinheit handelt es sich fast durchgängig um Sandsteine. Die Gesteinsdurchlässigkeit hängt entscheidend von der Korngrößenzusammensetzung, Kompaktion und Zementation ab, ist jedoch für eine hydrothermale Erdwärmennutzung allein nicht ausreichend. Die Gebirgsdurchlässigkeit in diesen kompetenten Gesteinsserien wird entscheidend vom Durchtrennungsgrad und dem hydraulischen Verhalten des Trennflächengefüges mit bestimmt. Die teilweise großen Versenkungstiefen gehen zumeist mit dem Auftreten hochsalinärer Tiefenwässer und damit besonderen Anforderungen an die ober- und untertägige Prozesstechnik einher.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Aus den am westlichen Grabenrand tiefer eingesunkenen Buntsandsteinschichten im Bereich der Haupttrandverwerfung stammen die Mineralwasservorkommen von Bad Dürkheim (Maxbrunnen) und Bad Bergzabern (Petronella-Brunnen). Ihr Auftreten wird durch den Einbruch des Oberrheingrabens entlang tieferreichender grabenparalleler Störungsflächen meist im Zusammenspiel mit einem Südwest-Nordost ausgerichteten Störungssystem bedingt. Gefördert werden die salinaren Thermalwässer aus Tiefbrunnen. Weitere Mineralwasservorkommen aus dem Buntsandstein sind z. B. aus Niederbronn (nordwestlich von Straßburg, westliche Grabenschulter) sowie aus Freiburg (Thermalwasserbohrung Zähringen) und Badenweiler (beide erschließen neben dem Buntsandstein auch Wässer aus dem Rotliegenden) bekannt (Kap. 2.4.9.4).

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzzone früher lokaler Abbau von Sandstein.

Kohlenwasserstoffe: Auf Grund der teilweise relativ hohen Porositäten sind die klastischen Gesteine des Buntsandsteins als Erdöl-speichergestein geeignet. Auch die unterlagernden spätpermischen Sandsteine erscheinen auf Grund der zu erwartenden Porositäten grundsätzlich geeignet. Voraussetzung ist die Migration von Kohlenwasserstoffen aus Erdölmuttergesteinen sowie die Existenz von abdichtenden Einheiten und Fallenstrukturen. Seit mehreren Jahren wird im Feld Römerberg bei Speyer aus mehreren Förderbohrungen Erdöl aus dem Buntsandstein gewonnen (Kap. 2.4.9.3).

Kurzbeschreibung

Basis Muschelkalk bis Basis Zechstein: Bunte, überwiegend rotbraune und hellgraue Sandsteine mit wechselnder Geröllführung und Einschaltungen rotbrauner Tonsteine, an der Basis im nördlichen Grabenabschnitt auch Dolomitstein, gebankt und teilweise sandig, mit Tonstein-Zwischenlagen. Buntsandstein und Zechstein (einschließlich spätpermischer Sandsteine); Spätes Perm (Lopingium) bis Mittlere Trias (Anisium).

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone, Ausstrichgebiete im Pfälzer Wald, nördliche Vogesen und Schwarzwald.

Bis über 500 m (Haguenau–Bruchsal), nach Norden auf ca. 400 m abnehmend (Neustadt–Heidelberg), weiter nördlich unter dem Tertiär auskeilend (Worms), Zwischen Schwarzwald und Vogesen meist 200–300 m, südlich etwa Colmar–Freiburg 100–200 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.





Stratigraphische Gliederung

Oberer Buntsandstein (D, CH) / Buntsandstein supérieur (F): Im Westen ist als oberstes Schichtglied des Oberen Buntsandsteins der Voltziensandstein (Grès à Voltzia) aus rotbraunen fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen und nach oben zunehmenden Schluffstein-Lagen entwickelt, der nach Osten faziell von den tiefsten Schichten des Unteren Muschelkalks ersetzt wird. Darunter von oben nach unten: im Westen bunte Glimmer führende Sandsteine mit Einlagerungen von Tonsteinen, nahe der Basis gebietsweise mit Geröllsandsteinen (Zwischenschichten / Couches intermédiaires), im Osten oben rotbraune sandige tonige Schluffsteine, örtlich mit Anhydrit- oder Gipsknollen (Rötton-Formation), darunter rotbraune und hellgraue Glimmer führende Fein- bis Mittelsandsteine (Plattensandstein-Formation).

Mittlerer und Unterer Buntsandstein (D, CH) / Buntsandstein moyen (F): zwischen Schwarzwald und Vogesen rotbraune, lagenweise auch graue oder violette Grobsandsteine, im oberen Abschnitt mit lateral rasch wechselnder und örtlich starker Geröllführung (Vogesensandstein-Formation / Grès vosgien), darunter geröllführende Grobsandsteine mit untergeordneten tonigen Zwischenlagen (Eck-Formation / Conglomérat inférieur). Nördlich davon besteht der Mittlere Buntsandstein aus teilweise geröllführenden Grob- bis Mittelsandsteinen und Konglomeraten in verschachtelten Rinnenfüllungen, die im Westen einen horizontal geschichteten geröllfreien Abschnitt enthalten (Hauptkonglomerat, Obere Felszone, Karlstal-Schichten), nach Osten und Süden in die nur schwer gliederbare Fazies der höheren Vogesensandstein-Formation übergehen. Der Untere Buntsandstein geht zwischen Karlsruhe und Wiesloch von der grobsandigen Fazies des Schwarzwaldes in rot-weiß gefleckte Fein- bis Mittelsandsteine (Miltenberg-Formation) und darunter liegende Mittel- bis Grobsandsteine (Eck-Formation) über. Nach Westen erfolgt im Gebiet des Oberrheingrabens der Übergang in schwach geröllführende Grobsandstein-Rinnenfüllungen mit Einschaltungen dünnschichtiger Sandsteine (Rehberg-Schichten) über massigen Geröllsandsteinen (Trifels-Schichten).

Spätpermische Sandsteine (D) / Buntsandstein inférieur (F): Die Perm-Trias-Grenze liegt nach heutiger Kenntnis annähernd an der Basis der Eck-Formation (Conglomérat inférieur) und Trifels-Schichten. Darunter folgen bunte spätpermische Sandsteine und Tonsteine ähnlicher Fazies (Zechstein-Randfazies in Deutschland / Buntsandstein inférieur in Frankreich / in der Schweiz nicht entwickelt oder geringmächtig). Im Raum Heidelberg–Landau–Bruchsal schalten sich im unteren Teil Dolomitsteine als Verzahnung zur Zechsteindolomit-Formation ein.

Speyerbach- und Annweiler-Formation / Grès d'Annweiler: in Norden oben rotbraune Tonstein-Sandstein-Wechselfolgen (Speyerbach-Formation), darunter am Haardtrand rotbraune Sandsteine (Annweiler-Formation / Grès d'Annweiler), die weiter südlich den gesamten spätpermischen Abschnitt vertreten.

Tigersandstein- und Wiesental-Formation: graue bis gelbliche Fein- bis Mittelsandsteine mit rotbraunen Schluffstein-Einschaltungen, nördlich des Schwarzwaldes nach Norden zunehmend von der Tonfazies der Langenthal-Formation ersetzt. Im Dinkelberggebiet arkosische graue Sandsteine mit Sulfatzement (Wiesental-Formation).

Basis spätpermische Sandstein bis Basis Zechstein: Um Heidelberg besteht dieser Abschnitt aus rotbraunen tonig-sandigen Schluffsteinen mit Sandlagen (Langenthal-Formation) über grauen Dolomit-Tonstein-Wechselfolgen (Zechsteindolomit-Formation). Nach Süden wird der höhere Abschnitt von der Tigersandstein-Formation ersetzt, unter der grobe Arkosen und Fanglomerate mit sandigen Dolomitstein-Krusten (Kirnbach-Formation) liegen. Nach Westen erfolgt ein Übergang in Sandstein der Annweiler-Formation, unter denen im Raum Landau graue sandige Dolomit- und Dolomitmergelsteine (Rothenberg-Formation) liegen. Im pfälzischen Grabenabschnitt werden unter der Rothenberg-Formation noch weitere fein- bis grobkörnige Sandsteine mit einer Einschaltung von Tonstein-Sandstein-Wechselfolgen (Queich-, Sarnstall- und Gräfenhausen-Formation), Im östlichen Dinkelberg-Gebiet graue dolomitische und anhydritische arkosische Sandsteine (Formation) zu den spätpermischen Sandsteinen gestellt.



Seismische Charakteristik

In der Seismik undeutliche parallele, aber wenig konnektive und überwiegend schwache Reflektoren unter den stärkeren und besser konnektiven Reflektoren des Muschelkalks.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Der Buntsandstein bildet zusammen mit den spätpermischen Sandsteinen eine geothermische Einheit.

Für den *Buntsandstein* liegen 330 Messwerte (254 Mittelwerte, 37 Min-Wert, 39 Max-Werte) aus 23 Aufschlüssen vor. Der Parameter ist somit für diese Modelleinheit verhältnismäßig gut belegt. Die Messstellen sind über den gesamten Oberrheingraben verteilt, im Norden und Süden ist die Messstellendichte jedoch geringer als im Zentrum des Projektgebietes.

Die Auswertung der Porositätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Porosität vornehmen zu können

Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei 9,51 %. Die Werte schwanken hierbei auffallend zwischen 1,4 und 24,2 %, was neben der unterschiedlichen Korngrößenzusammensetzung (Porenvolumen i.e.S.) wesentlich durch die Klüftigkeit der kompetenten und rigiden Sandsteinabfolgen bedingt sein dürfte.

Für die *spätpermischen Sandsteine* und den *marinen Zechstein* liegen für die Porosität keine Messwerte vor.

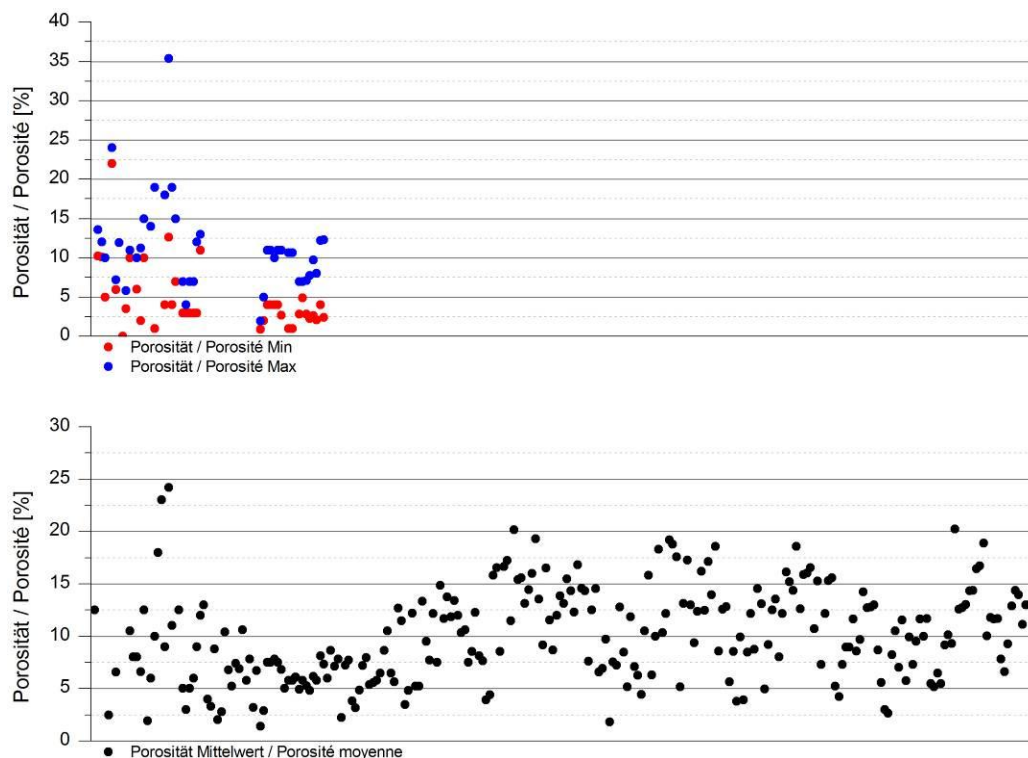


Abb. 2.2.1.13-01: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Porositäten (Buntsandstein).

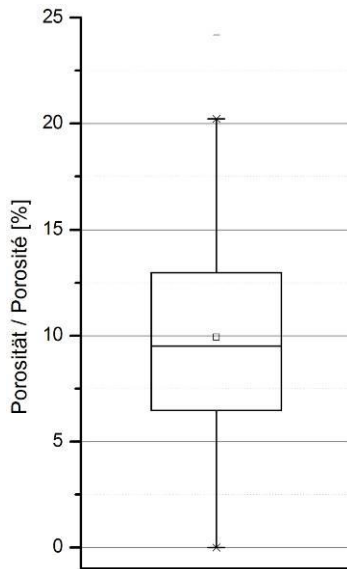


Abb. 2.2.1.13-02: Boxplot der Porositäten des Buntsandsteins.

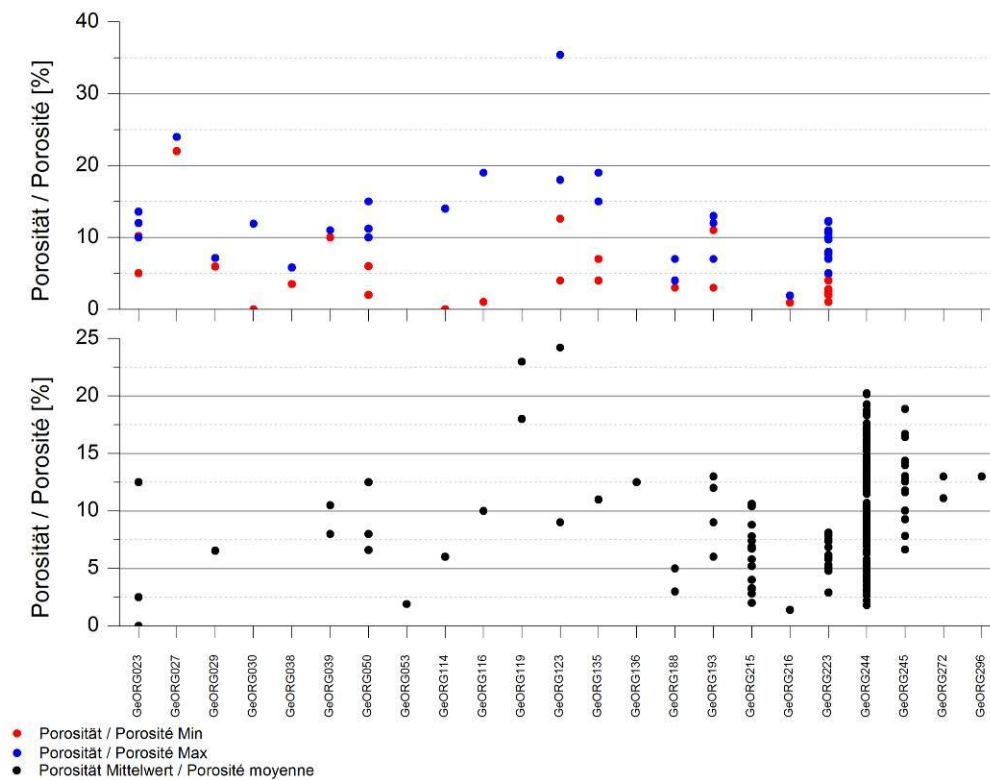


Abb. 2.2.1.13-03: Buntsandstein: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Porositäten in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Permeabilität

Der Buntsandstein bildet zusammen mit den spätpermischen Sandsteinen eine geothermische Einheit. Für den *Buntsandstein* liegen 251 Messwerte (211 Mittelwerte, 14 Min-Wert, 26 Max-Werte) aus 16 Aufschlüssen vor. Der Parameter ist somit für diese Modelleinheit verhältnismäßig gut belegt. Die Messstellen befinden sich im zentralen sowie vereinzelt im südlichen Bereich des Oberrheingrabens.

Die Auswertung der Permeabilitätsdaten wird anhand der Mittelwerte vorgenommen. Oftmals lässt sich der Mittelwert nicht aus den dazugehörigen Minimum- und Maximumwerten ableiten. Somit ist dessen Bildung



häufig nicht eindeutig nachvollziehbar. Die Minimum- und Maximumwerte sind in den statistischen Darstellungen enthalten, um im Falle fehlender Mittelwerte eine Einschätzung der Permeabilität vornehmen zu können

Die Permeabilitätswerte liegen im Median bei ca. sehr geringen 2,33 mD. Die Werte schwanken hierbei zwischen $1 \cdot 10^{-3}$ und 1524 mD, was die allgemein verhältnismäßig geringe Gesteinsdurchlässigkeit und die lokal durch Trennflächen deutlich erhöhte Gebirgsdurchlässigkeit wieder spiegelt.

Für die *spätpermischen Sandsteine* und den *marinen Zechstein* liegen für die Permeabilität keine Messwerte vor.

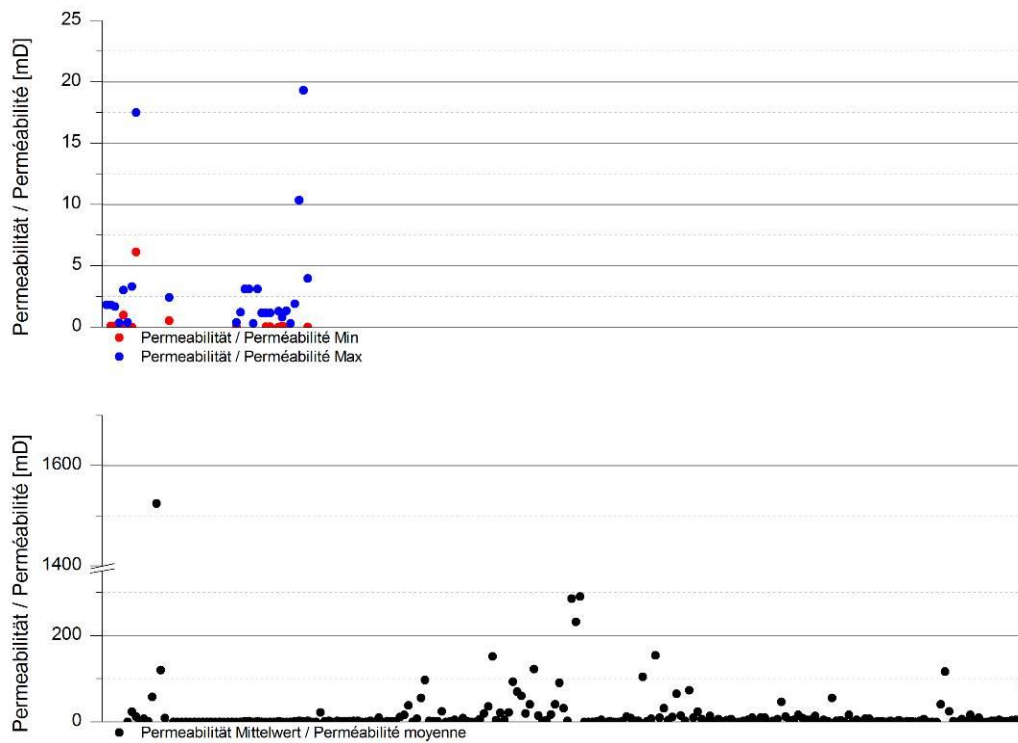


Abb. 2.2.1.13-04: Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie Mittelwerte (unten) der Permeabilität (Buntsandstein).

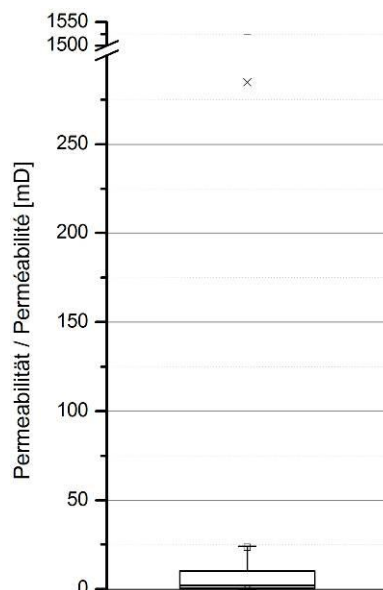


Abb. 2.2.1.13-05: Boxplot der Permeabilitäten des Buntsandsteins.

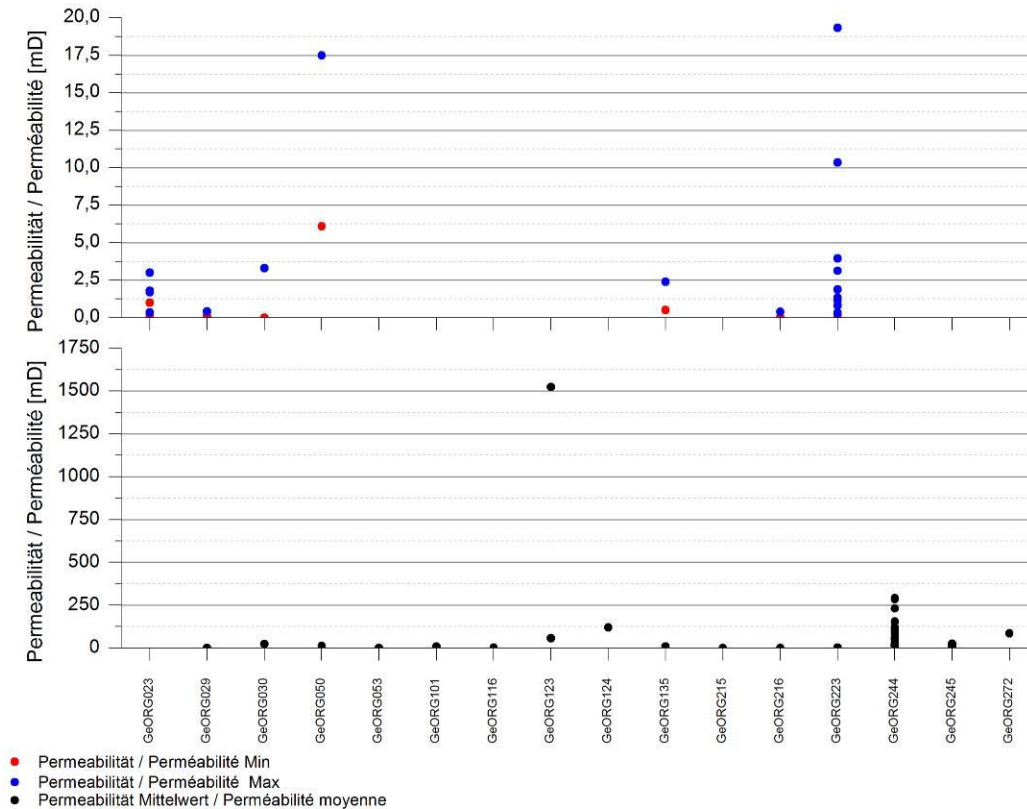


Abb. 2.2.1.13-06: Buntsandstein: Verteilung der Minimal- und Maximalwerte (oben) sowie der Mittelwerte (unten) der Permeabilität in den untersuchten Bohrungen aus dem Modellgebiet (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Wärmeleitfähigkeit

Der Buntsandstein bildet zusammen mit den spätpermischen Sandsteinen eine geothermische Einheit.

Für den *Buntsandstein* liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 281 Messwerte für 141 Proben an 20 Messstellen vor, welche sich allerdings hauptsächlich im nordwestlichen Teil des Projektgebietes konzentrieren. Für den mittleren und südlichen Teil liegen Messwerte von jeweils einer Messstelle vor. Die gemessenen Wärmeleitfähigkeiten liegen im Median bei relativ geringen 2,5 W/(m*K) im trockenen und bei etwa 3,7 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 1,2 bis 4,2 W/(m*K) im trockenen Zustand und 1,2 bis 6,0 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand.

Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} -Werte liegt bei 3,7 W/(m*K). Zu beachten ist, dass in der Darstellung der Messwerte in den einzelnen Probenahmepunkten die TC_{eff} -Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung mit dargestellt wurden.

Für die *spätpermischen Sandsteine* liegen keine Messwerte aus dem Projektgebiet vor

Für die Schichtenfolge „*Basis spätpermischer Sandsteine bis Basis Zechstein*“ (mariner Zechstein und hangende Tonsteine) liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 62 Messwerte für 16 Proben an 2 Messstellen vor, welche sich allerdings ausschließlich auf den nördlichen Teil des Projektgebietes beschränken. Die Wärmeleitfähigkeitswerte liegen im Median bei relativ geringen 2,1 W/(m*K) im trockenen und bei etwa 3,1 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 1,6 bis 2,8 W/(m*K) im trockenen Zustand und 2,3 bis 3,9 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand.



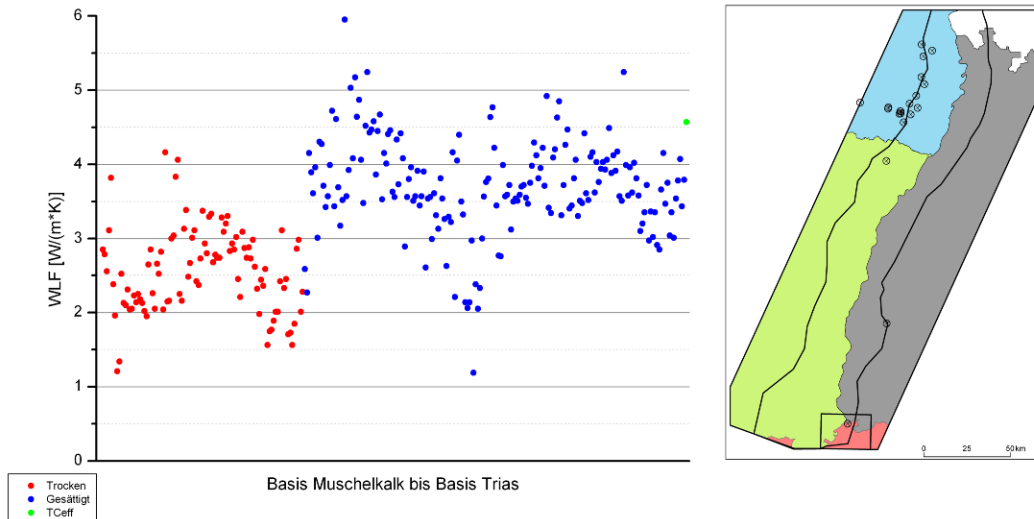


Abb. 2.2.1.13-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Buntsandstein, ohne permische Sandsteine).

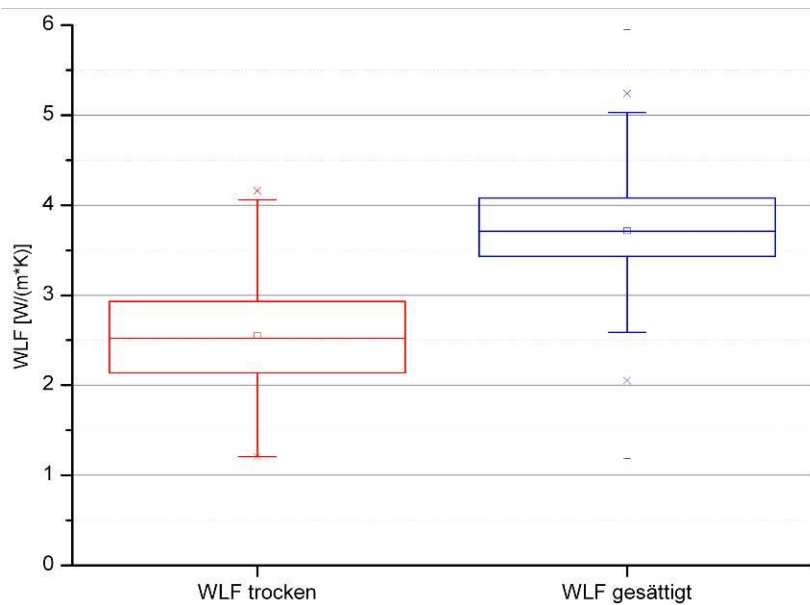


Abb. 2.2.1.13-08: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Buntsandstein, ohne permische Sandsteine).

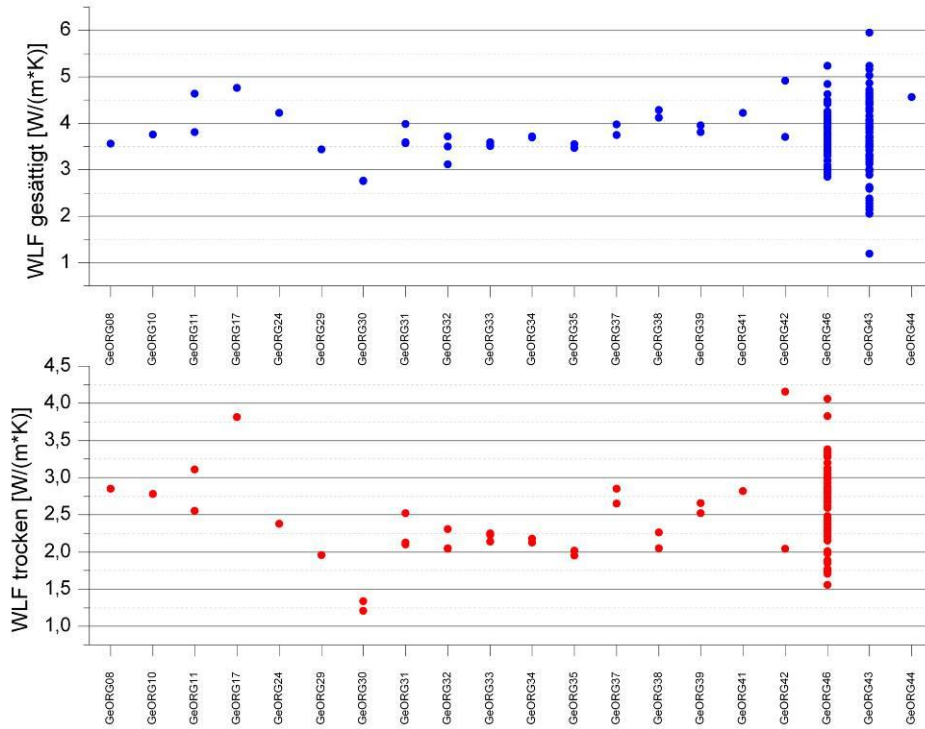


Abb. 2.2.1.13-09: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Buntsandstein ohne permische Sandsteine) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

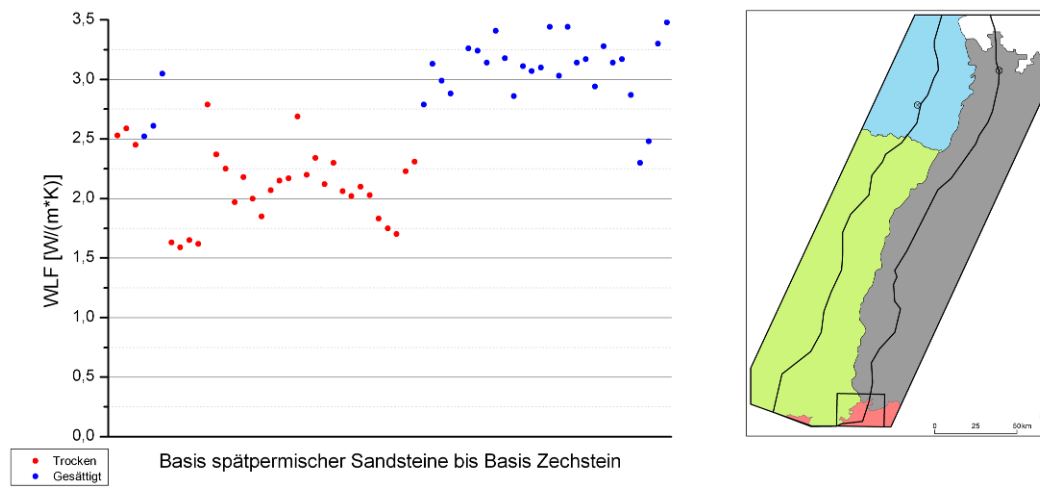


Abb. 2.2.1.13-10: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Schichtenfolge „Basis spätpermischer Sandsteine bis Basis Zechstein“).



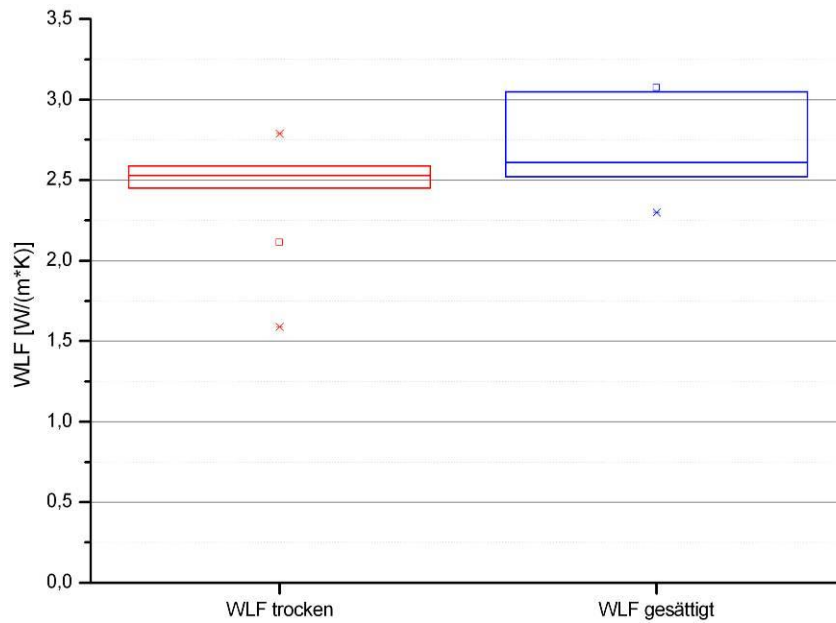


Abb. 2.2.1.13-11: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Schichtenfolge „Basis spätpermischer Sandsteine bis Basis Zechstein“).

Literaturhinweise, Externe Links

LGB-RLP 2005, Nitsch & Zedler 2008, Geyer et a. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.2.9

Atlasblätter

2.9, 3.5, 4.7, 5.13, 5.19, 8.1, 8.2





2.2.1.14 Permokarbon, Stéfano-Permien

Geopotenziale

Geothermie

Das Permokarbon stellt eine wesentliche Einheit für die hydrothermale geothermische Nutzung dar. Im Grabeninneren sind die Gesteine größtenteils ausreichend tief abgesenkt, um ein der Stromerzeugung genügendes Temperaturniveau zu erreichen. Bei dieser äußerst heterogen aufgebauten Modelleinheit handelt es sich größtenteils um Sandsteine, Konglomerate und Magmatite. Die Matrixporosität der Sandsteine und Konglomerate hängt entscheidend von der Korngrößenzusammensetzung, Kompaktion und Zementation ab. Die Gesteinsdurchlässigkeit reicht im Allgemeinen allein nicht für eine hydrothermale Erdwärmennutzung aus. In ungestörten Magmatiten ist von einer äußerst geringen Permeabilität auszugehen. Die Gebirgsdurchlässigkeit wird somit entscheidend vom Durchtrennungsgrad und dem hydraulischen Verhalten des Trennflächengefüges mit bestimmt. Die teilweise großen Versenkungstiefen gehen zumeist mit dem Auftreten hochsalinärer Tiefenwässer und damit besonderen Anforderungen an die unter- und obertägige Prozesstechnik einher.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Die Modelleinheit ist äußerst heterogen aufgebaut. Die Sandsteine und Konglomerate sind aufgrund ihrer Doppelporosität grundsätzlich als Grundwassergeringleiter bis Grundwasserleiter anzusprechen, wobei die schlecht sortierten Arkosen und Fanglomerate an den Beckenrändern geringere Durchlässigkeiten zeigen. Die Matrixporosität hängt von den Korngrößenzusammensetzung, Kompaktion und Zementation ab. Die Magmatite weisen im ungeklüfteten Zustand sehr geringe Permeabilitäten auf. Die Gebirgsdurchlässigkeit wird entscheidend vom Durchtrennungsgrad und dem hydraulischen Verhalten des Trennflächengefüges mit bestimmt. Mit zunehmender Versenkungstiefe ist mit einer Zunahme der Salinität bis hin zum Auftreten hochsalinärer Tiefenwässer zu rechnen.

Bergbau

Oberflächennah in der Randschollenzonen örtlich Abbau von Vulkaniten des Permokarbon. Der historische Bergbau auf Steinkohle in Schwarzwald und Vogesen ist eingestellt. Kohlenwasserstoffvorkommen sind bisher nicht bekannt.

Kurzbeschreibung

Basis Zechstein bis Basis Permokarbon: Rotbraune oder bunte Arkosen, Fanglomerate und tonige Schluffsteine, darunter gebietsweise saure Vulkanite und Pyroklastika, örtlich an der Basis graue, violette und rotbraune Arkosen und Schluffsteine mit geringmächtigen Steinkohlen. Rotliegend und Oberkarbon; Spätes Karbon und Frühes Perm.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhinggraben und Grabenschultern, in drei alten Beckenstrukturen: Südlich etwa Neustadt (Weinstraße) – Ladenburg bis etwa Obernai – Bühl, südlich Selestat-Offenburg bis etwa Colmar – Ettenheim und südlich Guebwiller – Emmendingen.

Stark schwankend, örtlich bis über 1000 m, gebietsweise wenige Meter oder fehlend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Im Gebiet der Beckenstrukturen oben Rotliegend-Sedimente: rotbraune oder bunte Arkosen, Fanglomerate und tonige Schluffsteine im Wechsel, örtlich mit Dolomitknollen (Formationsgliederung in den Sedimentbecken verschieden),

zwischen Vogesen und Schwarzwald und zwischen Odenwald und Pfälzer Wald örtlich Rotliegend-Vulkanite:



saure Vulkanite und Pyroklastika (mehrere Formationen), in manchen Becken an der Basis Oberkarbon: graue, teilweise auch violette und rotbraune Arkosen, Grauwacken, Konglomerate und Ton- oder Schluffsteine, örtlich mit geringmächtigen Steinkohlen (Verbreitung im Grabenbereich nur ungenügend bekannt).

Seismische Charakteristik

Seismisches Bild meist verrauscht, da meist unterhalb der Tiefenfokussierung. In einzelnen Linien sind unter dem Mesozoikum mehrere Bündel von gering konnektiven Reflektoren sichtbar, teilweise mit abweichendem Einfallen gegenüber Mesozoikum. Mangels hinreichend tiefer Bohraufschlüsse nicht eindeutig zu interpretieren.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit liegt ein Messwert vor. Die Porosität beträgt an diesem Messpunkt 6,5 %.

Permeabilität

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet keine Permeabilitätswerte vor.

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 111 Messwerte für 41 Proben an 5 Messstellen vor, welche sich ausschließlich auf den nördlichen und südlichen Teil des Projektgebietes beschränken. Für den mittleren Teil liegen keine Messwerte vor.

Die gemessenen Wärmeleitfähigkeiten liegen im Median bei relativ geringen 2,1 W/(m*K) im trockenen und bei etwa 2,9 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 1,4 bis 3,5 W/(m*K) im trockenen Zustand und 1,4 bis 4,3 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand.

Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Auffallend ist die Tatsache, dass diese mit einem Median von lediglich 1,8 W/(m*K) auf einem äußerst geringen Niveau und deutlich unter den gemessenen Wärmeleitfähigkeitswerten des anderen Messpunktes im trockenen Zustand liegen. Inwieweit dies auf die lithologische Gesteinsausbildung oder auf das gewählte Korrekturverfahren zurück zu führen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht fest machen. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} -Werte liegt bei 3,0 W/(m*K). In der Darstellung der Messwerte in den einzelnen Probenahmepunkten wurden die TC_{eff} -Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung mit dargestellt.

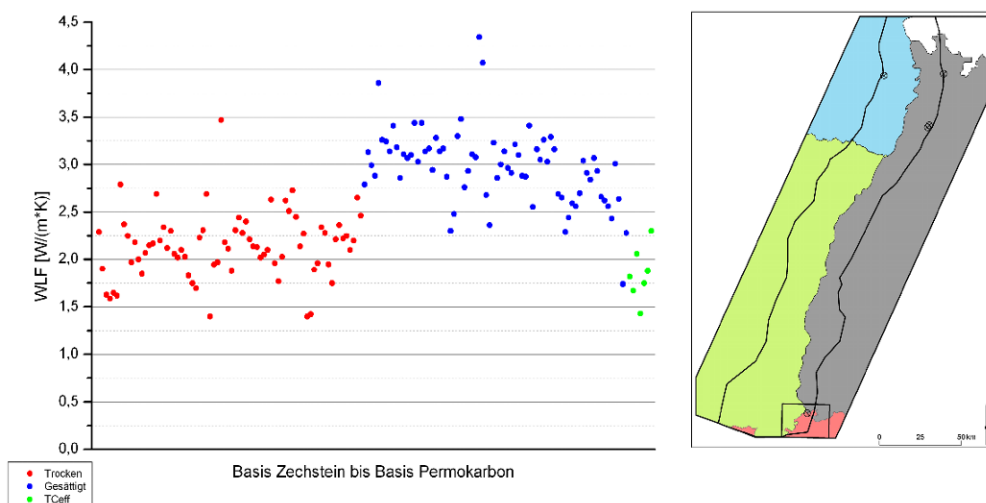


Abb. 2.2.1.14-01: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Permian).



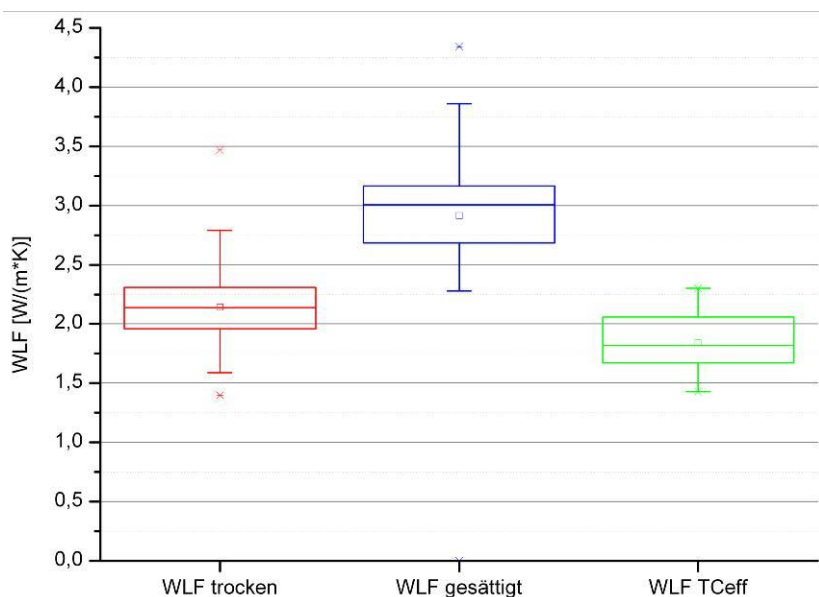


Abb. 2.2.1.14-02: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Permokarbon).

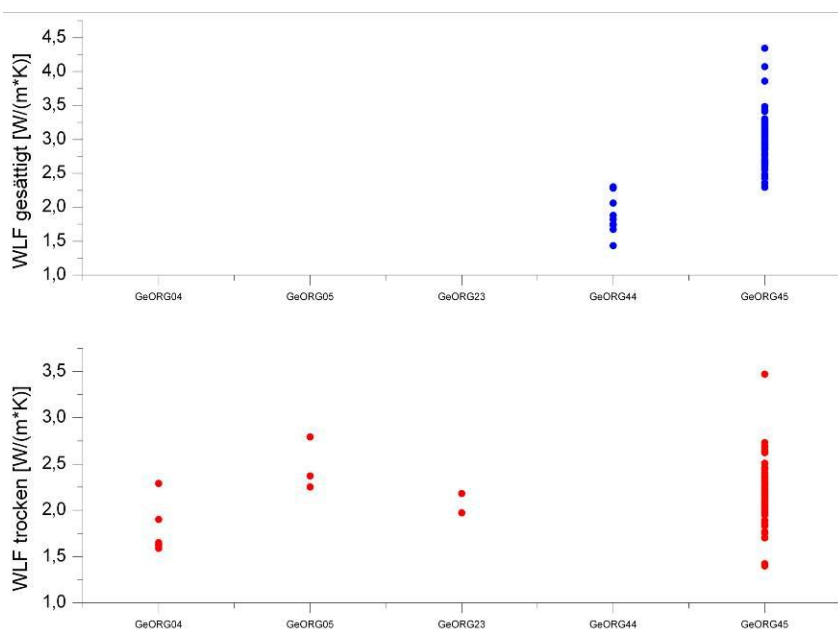


Abb. 2.2.1.14-03: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Permokarbon) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Literaturhinweise, Externe Links

LGB-RLP 2005, Nitsch & Zedler 2008, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.2.10

Atlasblätter

2.10, 4.8, 5.14, 6.10



2.2.1.15 Grundgebirge, *Socle hercynien*

Geopotenziale

Geothermie

Das Grundgebirge ist aufgrund seiner lithologischen und hydraulischen Eigenschaften grundsätzlich als petrothermischer Nutzhorizont geeignet. Die tatsächliche Eignung wird durch das Vorhandensein von primären und sekundären, künstlich erzeugten Wasserwegsamkeiten bestimmt.

Mineral-/Thermalwassernutzung

Das Grundgebirge (Granite, Granodiorite, Gabbros, Gneise) ist im unverwitterten und ungeklüfteten Zustand generell ein Grundwassergeringleiter. Im Auflockerungsbereich und bei tektonischer Beanspruchung kann eine geringe bis mäßige Grundwasserführung auf Klüften vorliegen, die generell mit der Tiefe abnimmt. Im Bereich tief reichender Störungen und Zerüttungszonen ist eine Wasserführung bis in größere Tiefen möglich. Mineralwässer aus dem Grundgebirge werden auf der östlichen Grabenschulter vielfach genutzt (z. B. Bad Peterstal, Bad Herrenalb, Bad Wildbad (Kap. 2.4.9.4)).

Bergbau

Oberflächennah in Schwarzwald und Vogesen Abbau von Granit und Ganggesteinen.

Kurzbeschreibung

Top Grundgebirge bis Modellbasis: Im Norden Gneis und Granit sowie Tonschiefer, Quarzite, Grauwacken und andere anchimetamorphe bis schwach metamorphe Gesteine, gefaltet, südlich Barr und Baden-Baden metamorphe und magmatische Kristallingesteine. Grundgebirge; Proterozoikum bis Karbon.

Verbreitung, Mächtigkeit

Gesamtes Modellgebiet.

Krustenmächtigkeit bis 26 km.

Eingangsdaten

Bohrdaten, wenige Oberflächenaufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung

Gliederung in mehrere tektono-stratigraphische Regionen: Nördlich etwa der Linie Wissembourg–Übstadt überwiegend Granit und Gneis mit Einlagerung anderer Metamorphite und Plutonite (Mitteleuropäische Kristallinzone). Südlich anschließend anchimetamorphe Tonschiefer mit Einlagerungen von Quarzit, Kalkstein und weitere Gesteinen (Nordbadisch-Fränkisches Schiefergebirge). Südlich Barr und Baden-Baden vorwiegend Granit und Gneis, mit Einlagerungen weiterer Metamorphite und Magmatite.

Seismische Charakteristik

Nördlich Baden-Baden zahlreiche kurze, sehr wenig konnektive seismische Reflektoren unterschiedlicher Orientierung bis in mehrere Sekunden TWT Tiefe. Sonst geringe bis nahezu fehlende Reflektivität, örtlich undeutliche, wenig konnektive Reflektoren unterschiedlicher Orientierung. Unterhalb ca. 5 s TWT stärkere, mäßig konnektive horizontale bis gering einfallende Reflektoren.

Gesteins- und Fluideigenschaften

Porosität

Für die Modelleinheit *Grundgebirge* liegen 66 Messwerte in Form von Mittelwerten für einen Aufschluss vor. Die Porositätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei geringen 1,18 %. Die Werte schwanken hierbei in einem geringen Wertebereich mit einzelnen Ausreißern zwischen 0,13 und 25,25 %. Die allgemein geringen Werte zeigen auf, dass von einer sehr geringen Matrixporosität der metamorph überprägten Gesteinsabfolgen auszugehen ist. Es ist zu erwarten, dass die erhöhten Werte durch vereinzelte Messung der Doppelporosität





anhand In-Situ-Bohrlochmessungen im Allgemeinen bedingt ist, und auf besonders gestörte Areale bzw. auf die obersten, vielfach zerrütteten Bereiche der Modelleinheit im Kontaktbereich zum Hangenden entfallen.

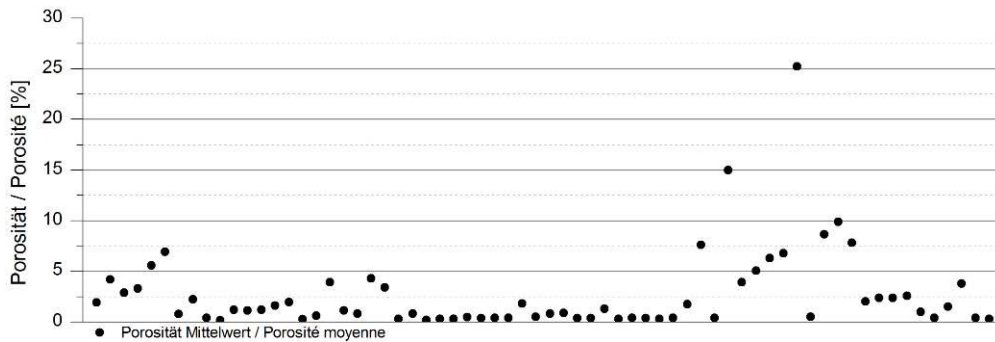


Abb. 2.2.1.15-01: Mittelwerte der Porositäten (Grundgebirge).

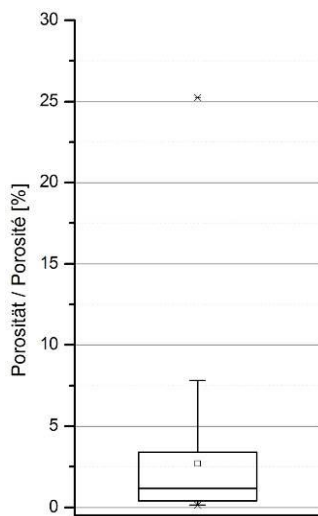


Abb. 2.2.1.15-02: Boxplot der Porositäten (Grundgebirge).

Permeabilität

Für die Modelleinheit *Grundgebirge* liegen 41 Messwerte in Form von Mittelwerten aus einem Aufschluss vor. Die Permeabilitätswerte (Mittelwerte) liegen im Median bei äußerst geringen $3,5 \cdot 10^{-3}$ mD. Die Werte schwanken hierbei grundsätzlich in einem äußerst geringen bis sehr geringen Niveau zwischen $9,18 \cdot 10^{-6}$ und 1,82 mD. Die sporadisch vorhandenen höheren Porositätswerte finden augenscheinlich nur geringen Niederschlag in den Permeabilitätswerten, was sich durch eine Messdurchführung lediglich im Laborbereich und somit im Wesentlichen der Ermittlung der Gesteinsdurchlässigkeit ohne Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit erklären ließe.



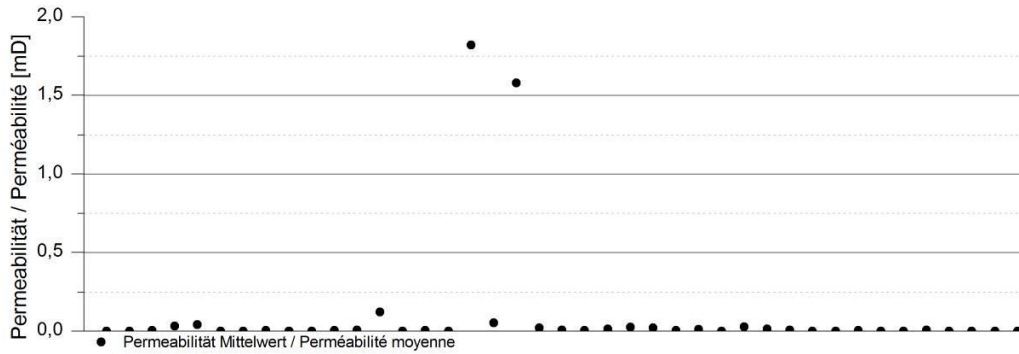


Abb. 2.2.1.15-03: Mittelwerte der Permeabilitäten (Grundgebirge).

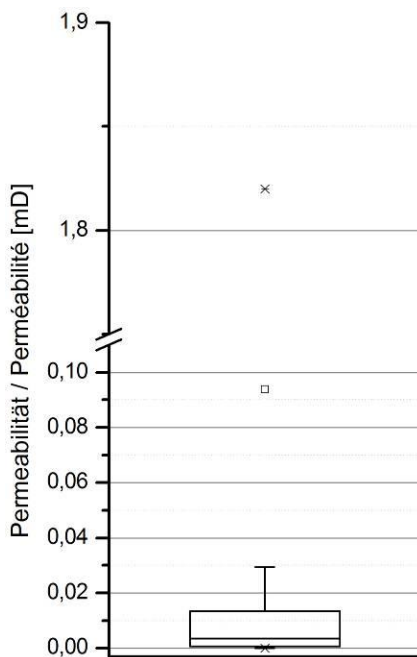


Abb. 2.2.1.15-04: Boxplot der Permeabilitäten (Grundgebirge).

Wärmeleitfähigkeit

Für die Modelleinheit liegen aus dem Projektgebiet insgesamt 149 Messwerte für 144 Proben an 3 Messstellen vor.

Die gemessenen Wärmeleitfähigkeiten liegen im Median bei 3,0 W/(m*K) im trockenen und bei etwa 2,8 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand. Die Werte schwanken hierbei zwischen 2,3 bis 4,3 W/(m*K) im trockenen Zustand und 2,0 bis 4,5 W/(m*K) im wassergesättigten Zustand.

Die schweizerischen Messwerte TC_{eff} wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert, sodass dieser Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung entspricht. Der Median liegt mit 2,6 W/(m*K) auf einem äußerst geringen Niveau und deutlich unter den gemessenen Wärmeleitfähigkeitswerten des anderen Messpunktes im trockenen Zustand. Inwieweit dies auf die lithologische Gesteinsausbildung oder auf das gewählte Korrekturverfahren zurück zu führen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht fest machen. Der Medianwert der Messwerte im wasseraufgesättigten Zustand ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} -Werte liegt bei 2,8 W/(m*K). In der Darstellung der Messwerte wurden in den einzelnen Probenahmepunkten die TC_{eff} -Werte bei den wassergesättigten Wärmeleitfähigkeitswerten ohne Differenzierung mit dargestellt.

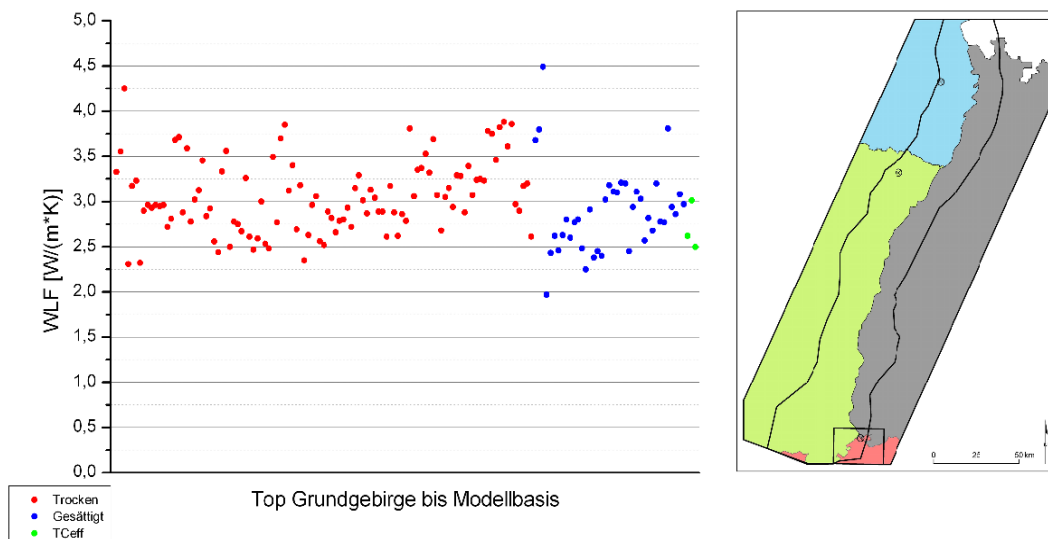


Abb. 2.2.1.15-05: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Grundgebirge).

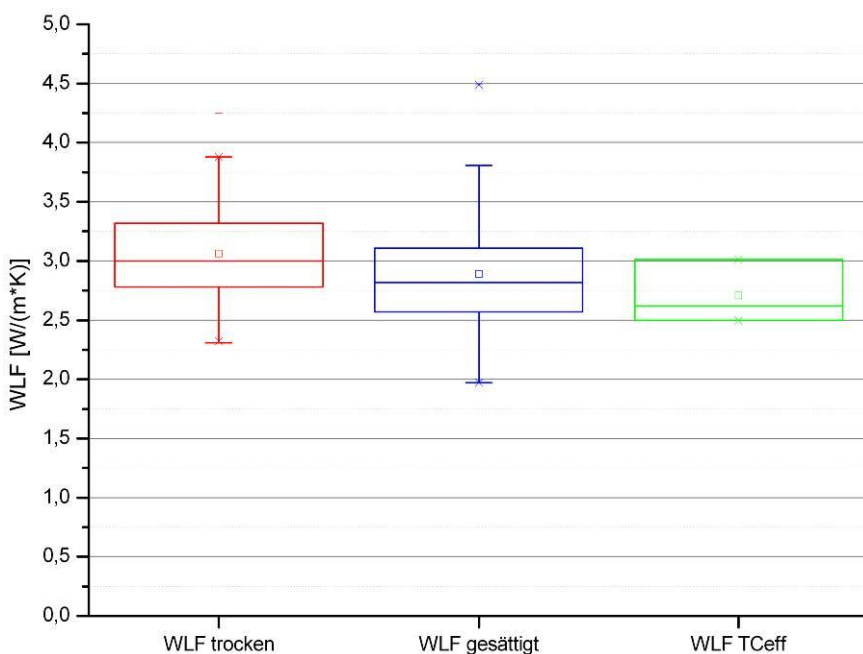


Abb. 2.2.1.15-06: Boxplots der Wärmeleitfähigkeiten aus dem GeORG-Modellgebiet (Grundgebirge).



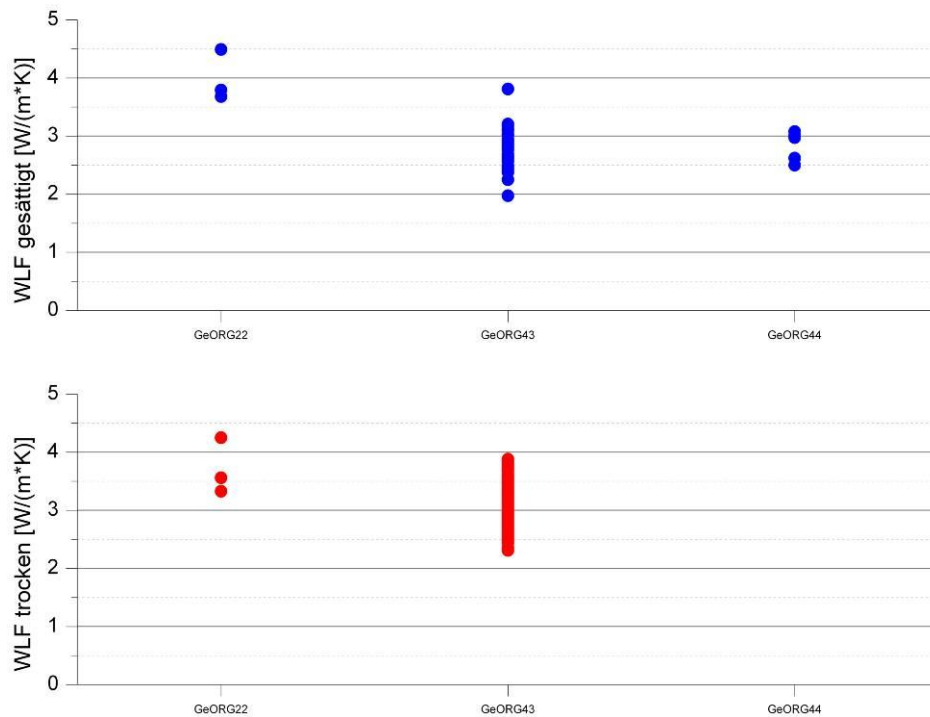


Abb. 2.2.1.15-07: Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen in den untersuchten Bohrungen aus dem GeORG-Modellgebiet (Grundgebirge) (Bezeichnung der Bohrungen anonymisiert).

Literaturhinweise, Externe Links

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.2.11

Atlasblätter

2.10, 4.8, 5.15, 5.20



2.2.2 Stratigraphische Einheiten

Ziel: Beschreibung der stratigraphischen Einheiten im Modellgebiet



2.2.2.1 Lockergesteine (D, CH) / Plio-Quaternaire (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Einheit umfasst alle weitgehend unverfestigten Sedimente des Quartärs und Pliozän, die vielfach diskordant auf den Ablagerungen des (älteren) Tertiärs und Mesozoikums liegen. Im nördlichen Oberrheingraben ist gebietsweise eine konglomeratische „Basisgrablage“ ausgebildet. Im Heidelberg-Becken folgen die Lockergesteine mit Schichtlücke über der Weiterstadt-Formation.

Kurzbeschreibung

Schotter und Sande mit Einschaltungen von Ton und Schluff, Auenmergel, Löß, Torf, am Grabenrand auch grobes Blockwerk.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen bis in die Täler der Grabenschultern. Die Basis der Lockergesteine stellt die Obergrenze der im Projekt bearbeiteten Gesteine dar.

Im nördlichen Grabenabschnitt bis über 800 m mächtig, nach Süden allgemein abnehmend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Aufschlüsse in den Randschollen.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben kalkhaltige Sande und Kiese des Rheins mit alpinen Komponenten, je nach Profilentwicklung und Korngröße in mehrere Formationen gegliedert, überwiegend grau; örtlich mit pliozänen Anteilen, sonst Quartär. Darunter kalkfreie Sande, Schluffe und Tone, teilweise bunt oder weiß gebleicht (Iffezheim-Formation); überwiegend Pliozän, gebietsweise mit frühpleistozänen Anteilen (diachrone Faziesgrenze zum Hangenden).

Alter: Pliozän bis Holozän.

Logcharakteristik

Meist stark und rhythmisch gegliedertes Gamma- und Widerstandslog mit deutlichem Unterschied zu den liegenden Tertiärablagerungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Die Einheit wurde im GeORG-Projekt nicht bearbeitet.

Nutzungsmöglichkeiten

Die Einheit wurde im GeORG-Projekt nicht bearbeitet.

Literaturhinweise

Bonvalot 1974, LGB-RLP 2005, Wirsing & Luz 2007, DSK 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.1

Atlasblätter

2.1, 3.1, 4.1, 7.1, 7.5





2.2.2.2 Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär / Tertiaire rhénan supérieur

Stratigraphische Grenzen

Die Einheit wird diskordant durch die Basis der Lockergesteine überlagert.

Die Basis der Einheit bilden die Foraminiferenmergel der Froidefontaine-Formation.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Basis der Froidefontaine-Formation bis zur Basis der Lockergesteine. Überwiegend Mergelsteine mit nach oben abnehmender Verfestigung und wechselnden Einschaltungen von Sandstein, Karbonaten und Evaporiten.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzone. Altersgleiche Ablagerungen in teilweise ähnlicher, teilweise abweichender Fazies und Formationsgliederung im Mainzer Becken und Hanauer Becken.

Im nördlichen Grabenabschnitt bis über 2500 m mächtig.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Aufschlüsse in den Randschollen.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Gliederung folgt der für das GeORG-Projekt definierten harmonisierten Nomenklatur:

Von oben nach unten Weiterstadt-Formation (nur am Nordrand des Projektgebiets), Groß-Rohrheim-, Landau- und Bruchsal-Formation (nur nördlich Wissembourg und Rastatt), Niederroedern- und Froidefontaine-Formation (beckenweit) sowie Lörrach-Formation und Grès d'Eguisheim (nur im Süden).

Alter: Frühes Oligozän bis Mittelmiozän.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise

Sittler 1965, Sittler & Schuler 1988, LGB-RLP 2005, DSK 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.2, 2.2.1.3, 2.2.2.2.1, 2.2.2.2.2, 2.2.2.2.3, 2.2.2.2.4, 2.2.2.2.5, 2.2.2.2.6, 2.2.2.2.7

Atlasblätter

2.3, 4.1, 8.1, 8.2



2.2.2.2.1 Weiterstadt-Formation / Formation de Weiterstadt

Stratigraphische Grenzen

Die Formation wird diskordant durch die Basis der Lockergesteine überlagert. Die Basis ist durch das Einsetzen durchgehend fluviabler Sedimente über den fluviolakustrinen Ablagerungen der Groß-Rohrheim-Formation definiert und weitgehend konkordant (ggf. mit lokalen Rinnenbildungen).

Kurzbeschreibung

Wechsel von kalkfreien und kalkhaltigen Sedimenten unter der Lockergesteinsbasis im Nordgraben.

Verbreitung, Mächtigkeit

Vorwiegend im nördlichen Grabenabschnitt nördlich des Projektgebietes. Bis über 100 m mächtig, nach Süden bei Heidelberg und nördlich von Landau auskeilend.

Eingangsdaten

Wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Wechselfolge von braunen kalkfreien Tonen und Sanden mit Mergeln und kalkigen Sandsteinen, örtlich Braunkohle.

Alter: Mittelmiozän.

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: „Pliozän“ teilweise, „Fluviatiles Jungtertiär II“ teilweise.
(in F und CH nicht vorhanden).

Nutzungsmöglichkeiten

Im Projektgebiet keine.

Literaturhinweise

Hottenrott 2011a

Kapitelverweise

2.2.1.2





2.2.2.2.2 Groß-Rohrheim-Formation / Formation de Groß-Rohrheim

Stratigraphische Grenzen

Nördlich Heidelberg konkordant von der Weiterstadt-Formation überlagert, sonst diskordant unter der Basis der Lockergesteine erodiert und von Iffezheim-Formation, in Randschollen z. T. von jüngerem Quartär überlagert.

An der Basis konkordante Auflagerung auf Landau-Formation.

Kurzbeschreibung

Bunte Süßwassermergel und Sande im obersten Abschnitt des Oberrheingraben-Tertiärs.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben nördlich Landau, Rülzheim und Bruchsal. Im Gebiet Heidelberg-Mannheim bis ca. 300 m, nach Süden auskeilend.

Eingangsdaten

Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Mergel und Tonmergel, graugrün, ockergelb und grau, mit weißen Kalkknollen, teilweise sandig, mit örtlich wechselnden Einlagerungen (Rinnenfüllungen) von Fein- bis Grobsand, teilweise Feinkies und umgelagerte Bohnerz-Körner, örtlich etwas Braunkohle, untergeordnet etwas Gips in Knollen. Einzelne Profile ohne Sandeinlagerungen.

Alter: Nach Lagerungsbeziehungen Miozän. Palynostratigraphische Befunde deuten auf Mittleres Miozän (Hottenrott 2011b).

Logcharakteristik

Das Widerstandslog zeigt unregelmäßige Ausschläge mittlerer und hoher Amplitude, die sich meist deutlich vom einheitlicheren Verlauf der liegenden Landau-Formation absetzen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Obermiozän, Miozän, Süßwasserschichten [über Hydrobienschichten], Obere Bunte Mergel, Fluviales Jungtertiär I. (in F und CH nicht vorhanden).

Nutzungsmöglichkeiten

Im Projektgebiet keine.

Literaturhinweise

Schad 1965, Hottenrott 2011b

Kapitelverweise

2.2.1.2

Atlasblätter

4.1



2.2.2.2.3 Landau-Formation / Formation de Landau

Stratigraphische Grenzen

Die Formation wird nördlich Landau-Rülzheim-Bruchsal konkordant von Groß-Rohrheim-Formation überlagert, südlich davon diskordant von der Basis der Lockergesteine (Iffezheim-Formation, am Grabenrand örtlich von jüngerem Quartär). Die Basis lagert konkordant auf den Evaporiten der Bruchsal-Formation.

Kurzbeschreibung

Eintönige Wechselfolge von Mergeln und Karbonatbänken, wenig Sandstein, überwiegend grau.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhein Graben nördlich Wissembourg und Karlsruhe.

Südlich Karlsruhe und Wissembourg gehen nach dem seismischen Befund die tieferen Teile der Landau-Formation unter Mächtigkeitsreduktion in eine bunte limnische Fazies über, die dort zur Niederroedern-Formation gerechnet wird.

Meist 100 bis 500 m, örtlich bis über 1100 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, kleine Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Tonmergelstein und Mergelstein im Wechsel, mittel- bis dunkelgrau, auch grüngrau, mit Bänken von Kalk- und Dolomitstein, nach unten zunehmend auch von Feinsandstein, kalkig. Örtlich laminiert und etwas bituminös. Nahe am Grabenrand z. T. in Randfazies übergehend, in der graue kalkige Feinsandsteine vorherrschen. Horizontweise sehr fossilreich (v. a. Ostrakoden, Mollusken, Fischreste). Randnah können kiesige Lagen mit umgelagerten Bohnerzen auftreten.

Alter: Spätes Oligozän (Chattium) bis Frühes Miozän (Burdigalium).

Logcharakteristik

Widerstandslog besonders im höheren Teil mit hochfrequenten hohen Ausschlägen mit vom Liegenden zum Hangenden langsam ansteigender Grundlinie, zeigt starke Spitzen an Sandsteinen im unteren Teil. Basis liegt über den letzten starken Ausschlägen der evaporitischen oberen Bruchsal-Formation. SP-Log zeigt Wechsel zwischen mittleren und hohen Amplituden.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Untere und Obere Hydrobienschichten (in Doebl 1958), Aquitan (in Schad 1964), Graugrüne Mergel (in Prell-Müssig 1965), Obere Cerithienschichten, Corbículaschichten / inflata- Schichten und Hydrobienschichten (in Doebl 1961, Grimm & Radke 2011).

F: Aquitanien, Couches à hydrobies, Couches à Corbicules et Couches à Cérithes (partim).
(in CH nicht vorhanden).

Nutzungsmöglichkeiten

nicht bekannt.

Literaturhinweise

Doebl 1958, 1961, Schad 1962, 1964, Prell-Müssig 1965, Geyer et al. 2011, Grimm & Radtke 2011a

Kapitelverweise 2.2.1.2

Atlasblätter 2.2, 4.1





2.2.2.2.4 Bruchsal-Formation / Formation de Bruchsal

Stratigraphische Grenzen

Konkordant überlagert durch Landau-Formation, Grenze an der Obergrenze der bankigen Evaporit-Einlagerungen oder der Bändermergel-Fazies.

Die Basis ist definiert durch das Einsetzen vorherrschend grauer geschichteter Mergelsteine über den bunten Gesteinen der Niederroedern-Formation.

Geht südlich Wissembourg und Karlsruhe in die sandige und bunte Fazies der Niederroedern-Formation über (DoebI & Geissert 1971).

Kurzbeschreibung

Überwiegend graue geschichtete Mergel mit nach oben zunehmendem Anteil an Sulfatgesteinen, um Worms mit Steinsalz, untergeordnet Kalkstein- und Sandsteinbänke.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen nördlich Wissembourg und Karlsruhe.

Bis etwa 900 m, meist 300-500 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben (Bändermergel-Member): bituminöse feinschichtige Tonsteine und Tonmergelsteine, mittel- bis dunkelgrau und schwarzgrau, mit kalkigen Schichtlamellen („Bändermergel“) und Kalkstein-Bänken und -Knollen. In mehreren Horizonten können Anhydritbänke auftreten (v. a. im Grabeninneren nördl. Bruchsal), um Worms mit mehreren Steinsalz-Lagern. Untergeordnet kalkige Feinsandsteine und feinsandige Mergelsteine (v. a. randnah); Fossilführung: Fischreste, Hydrobien, selten Ostrakoden und Foraminiferen.

Unten (Ostrakodenmergel-Member): Mergel- und Tonmergelsteine, grau bis graugrün oder graubraun, teilweise dolomitisch, undeutlich geschichtet, mit Kalkstein-Bänken und Anhydritknollen, wechselnder Anteil an Fein- und Mittelsandstein, kalkig, grau, örtlich Einschaltung von rotbraunen Tonmergeln; fossilreich (Ostrakoden, Fischreste, Foraminiferen), manche Schichtfläche dicht mit Ostrakoden belegt.

Alter: Spätes Oligozän (Chattium).

Logcharakteristik

Widerstands- und SP-Log zeigen überwiegend gleichmäßigen Verlauf mit hochfrequenten Ausschlägen niedriger Amplitude, die im Widerstandslog in unregelmäßigen Abständen von einzelnen oder wenigen Ausschlägen höherer Amplitude unterbrochen werden. Basis im Log mit Aussetzen der hohen Amplituden der Niederroedern-Formation. Nördlich Bruchsal häufen sich im oberen Teil der Bruchsal-Formation Spitzen hoher Amplitude (Evaporiteinlagerungen), die an der Obergrenze abrupt aussetzen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Cerithiensichten und Corbículaschichten (in DoebI 1958), Mittlere und Untere Cerithiensichten (z. B. Grimm & Radke 2011b), Bändermergel und Ostrakodenschichten (Prell-Müßig 1965).

F: Aquitanien, Couches à Cérites (partim). (in CH nicht vorhanden).

Nutzungsmöglichkeiten

nicht bekannt.

Literaturhinweise

Veit 1962, DoebI 1958, Schad 1962, 1964, Prell-Müßig 1965, Geyer et al. 2011, Grimm & Radtke 2011b





Kapitelverweise

2.2.1.2

Atlasblätter

2.2, 4.1



Das vorliegende Dokument ist Teil des „Fachlich-Technischen Abschlussberichts - Teil 2“ des INTERREG IV-Projekts „GeORG – Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“.

Der komplette Bericht (Teil 1-4) ist unter www.geopotenziale.eu zum Download bereit gestellt.



2.2.2.2.5 Niederroedern-Formation / Formation de Niederroedern

Stratigraphische Grenzen

An der Hangendgrenze setzen werden die teils bunten, teils grauen Sandstein-Mergelstein-Wechsel der Niederroedern-Formation konkordant von grauen bis grünlichen geschichteten Mergelsteinen der Bruchsal-Formation (nördlich Karlsruhe) oder diskordant durch Lockergesteine überdeckt. Die Farbgrünze zwischen bunt und grau kann von der lithologischen Formationsgrenze abweichen und schon innerhalb der Niederroedern-Formation liegen. Im Raum südlich Karlsruhe und Wissembourg verlieren sich die seismischen Reflektoren der Bruchsal-Formation und der tieferen Landau-Formation in Abfolgen, die faziell nach den Bohrbefunden der Niederroedern-Formation zugeordnet werden müssen. Offenbar verzahnt sich der höhere Teil der Niederroedern-Formation (F: Couches de Niederroedern supérieur) nach Norden mit der Graufazies dieser beiden Formationen. Auch am Grabenrand (Kraichgau) entsprechen die oberen Werrabronn-Schichten offenbar der Bruchsal-Formation der Beckenfazies.

Untergrenze: Konkordanter fazieller Übergang durch Einsetzen von sandigen Mergelsteinen und Sandsteinen auf den Oberen Karlsruhe-Mergeln der Froidefontaine-Formation. Die Farbgrünze von bunt (oben) nach grau (unten) kann an der Formationsgrenze oder einige zehner Meter höher liegen. Im südlichen Bruchschollengebiet setzt die sandige Fazies mit der Elsässer Molasse bereits als Altersäquivalent der Oberen Karlsruhe-Mergel („Cyrenenmergel“) ein und wird diachron nach Norden jünger.

Kurzbeschreibung

Bunte Mergel mit Sandstein-Einlagerungen, randlich Konglomerate, gebietsweise mit Süßwasserkalken oder Sulfatknollen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Ober rheingraben und Randschollenzonen.

Meist 200 bis 400 m, örtlich bis 1000 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Gliederung erfolgt vorwiegend in lateral ineinander übergehende Faziseinheiten: Im Grabeninneren herrschen die *Bunten Niederroedern-Schichten* vor, die aus bunten Tonmergel- und Mergelsteinen in rotbraunen, beige, grüngrauen, grauen oder fleckigen Färbungen bestehen. Die Ablagerungen sind oft ungeschichtet, führen vereinzelt Anhydrit- oder Gipsknollen. Sie sind teilweise sandig mit örtlich wechselnden Einlagerungen von fein- bis grobkörnigem Sandstein (mäßig bis schlecht sortiert, kalkig, grauweiß bis grün, häufig Glimmer führend, örtlich mit Geröllagen und umgelagertem Bohnerz).

Am Grabenrand bilden die *Werrabronn-Schichten* eine fazielle Vertretung der Bunten Niederroedern-Schichten und z. T. der Bruchsal-Formation: bunte, oft auch gefleckte Mergel bis Mergelsteine, mit wechselndem Sandgehalt und eingeschalteten Rinnenfüllungen und Bänken von Sandsteinen und Konglomeraten (mit Geröllen mesozoischer Gesteine und Bohnerz). Sie führen örtlich ebenfalls Gips, teilweise auch Karbonatknollen, und örtlich Braunkohle.

In der Umgebung des Kaiserstuhls und als Einschaltung in die Kaiserstuhl-Vulkanite bilden die *Sasbach-Schichten* den oberen Teil der Abfolge: bunte Mergel bis Mergelsteine ähnlich den Bunten Niederroedern-Schichten, teilweise aufgearbeitete Konglomerate und Sande aus Mergelstein-Intraklasten, mit Lagen und Rinnenfüllungen aus Vulkanit-Konglomeraten und Tuffit. Eine zuverlässige untere Abgrenzung der vulkanitführenden Sasbach-Schichten von den liegenden Bunten Niederroedern-Schichten ist aus den bisherigen Bohrbefunden außerhalb des Kaiserstuhlgebiets nicht möglich.

Südlich des Kaiserstuhls sind im mittleren Abschnitt die *Tülingen-Schichten* eingelagert: Wechsellagerung von dickbankigen Süßwasserkalksteinen mit Mergelsteinlagen, weiß-gelblich bis grau, fossilführend, Gips führend, teils sandig. Im oberen Teil tritt örtlich bituminöser Stinkkalkstein auf, daneben blaugraue kieselige



Kalksteine, oft kavernös, mit Lagen von honiggelb-grauen Kieselknollen. Nach dem Bohrbefund zwischen Kaiserstuhl und Tüllinger Berg werden die Tüllinger Schichten von Sedimenten in der Fazies der Bunten Niederroedern-Schichten überlagert und verzahnen sich auch lateral mit ihnen. Eine scharfe Grenzziehung gegen die übrige Niederroedern-Formation ist oft nicht möglich, die zeitweilige Abtrennung als eigenständige Formation ist daher hier aufgegeben.

Südlich Müllheim bildet die *Elsässer Molasse* die Basis der Niederroedern-Formation: Sie besteht aus teils glimmerreichen und kalkhaltigen, grauen bis beigefarbenen Feinsanden bis -sandsteinen im Wechsel mit tonig-schluffigen Feinsedimenten. Der tiefere Teil der Elsässer Molasse verzahnt sich gegen Norden (Wittelsheim-Buggingen-Becken) mit dem höheren Karlsruhe-Member der Froidefontaine-Formation und ist damit etwas älter als die Bunten Niederroedern-Schichten weiter nördlich.

Alter: Spätes Oligozän (spätes Rupelium bis Chattium), örtlich bis Miozän (Sasbach-Schichten).

Logcharakteristik

Widerstandslog zeigt unregelmäßige Wechsel zwischen mittleren und hohen Amplituden bei wechselnden Frequenzen. Basis nach Log am Übergang zu niedrigen Amplituden und ruhigem Logverlauf der Oberen Karlsruhe-Mergel.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Süßwasserschichten, Niederröederner Schichten; für Teilabschnitte: Werrabronner Schichten, Tüllinger Kalk, Tüllingen-Formation, Limberg-Schichten, Sasbach-Formation, Elsässer Molasse.

F: Couche de Niederroedern, Molasse Alsacienne.

CH: Elsässermolasse, Tüllinger Schichten.

Nutzungsmöglichkeiten

nicht bekannt.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, Jörg 1951, Prell-Müssig 1965, Wittmann 1965, DoebI & Geissert 1971, BRGM 1979, Sittler & Schuler 1988, LGB-RLP 2005, Roussé 2007, Geyer et al. 2011, Grimm 2011a

Kapitelverweise

2.2.1.3

Atlasblätter

4.1





2.2.2.6 Froidefontaine-Formation / Formation de Froidefontaine

Stratigraphische Grenzen

An der Hangendgrenze setzen sandig-mergelige Wechselfolgen der Niederroedern-Formation ein. In älteren Bohraufzeichnungen wurde die Obergrenze sehr uneinheitlich teils unter, teils über der Faziesgrenze zur Niederroedern-Formation gezogen, da die Farbgrößen gebietsweise schwanken und der Fossilinhalt unterschiedlich interpretiert wurde.

Scharfe Liegendgrenze an der Basis grauer mikrofossilreicher Foraminiferenmergel (marin) über den bunten Mergeln der Pechelbronn- oder Wittelsheim-Formation (fluviolakustrin mit Paläoböden). In der Randschollzone ist ein Übergreifen auf ältere Einheiten möglich.

Kurzbeschreibung

Graue Mergel, im mittleren und nördlichen Grabenabschnitt mit Sandsteinbänken, an der Basis fossilreiche z. T. bituminöse Mergel.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollzone, äquivalente Einheiten im Mainzer Becken und in der Bresse-Senke. Das Typusprofil liegt in der Franche-Comté

Im Mainzer Becken wird die Einheit von Bodenheim-, Stackeden- und unterster Sulzheim-Formation vertreten. Im Raum Basel-Lörrach-Mulhouse geht die unterste Froidefontaine-Formation mit diachroner Grenze in die sandige Lörrach-Formation über, der höhere Teil wird hier von der Elsässer Molasse der Niederroedern-Formation vertreten.

Meist zwischen 250 und 400 m, örtlich bis 1250 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau, Fossilgrabungen

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben Karlsruhe-Member aus grauen bis grünlichen Mergel- und Tonsteinen mit Pyrit, feinsandig. Im mittleren Abschnitt des Karlsruhe-Members schalten sich besonders im mittleren und nördlichen Oberrheingraben kalkige graue Feinsandsteine ein, als Fläsern, Lagen und bis mehrere Meter mächtige Bänke (Karlsruhe Kalksandsteine). Darüber und darunter liegen sandarme Ton- und Mergelsteine (Obere und Untere Karlsruhe-Mergel).

An der Basis liegen zwei charakteristischen Leithorizonte, der Frauenweiler-Fischschiefer (schwarzgraue bituminöse Tonmergelsteine) und darunter die Foraminiferenmergel (graue Mergelsteine mit reicher mariner Mikrofauna), die fast überall einen deutlichen Doppelreflektor in seismischen Profilen bilden.

Alter: Oligozän (mittleres bis spätes Rupelium, möglicherweise bis frühes Chattium).

Logcharakteristik

Die Oberen Karlsruhe-Mergel zeichnen sich durch ein wenig gegliedertes Widerstandslog bei niederohmigen Werten und sehr kleinen Amplituden aus, das sich meist deutlich von den Kurvenverläufen in den stark gegliederten Schichten der Niederroedern-Formation darüber und der Karlsruhe-Kalksandsteine darunter abhebt. In den Karlsruhe-Kalksandsteinen ist das Widerstandslog stark und unregelmäßig gegliedert durch Wechsel zwischen mittleren und hohen Amplituden in meist hoher Frequenz. Widerstandslog unten meist wenig gegliedert mit kleinen bis sehr kleinen Amplituden, regional zeigt sich deutlich der bituminöse „Fischschiefer“ als hochohmige Zone in der Mitte der Formation.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D, CH: Graue Schichtenfolge, Graue Mergel-Formation; für Teilabschnitte: Septarientone, „Bodenheim-Formation im Oberrheingraben“, Cyrenenmergel, Melettaschichten, Fischschiefer, Foraminiferenmergel,

F: Série grise, Stampien inférieur; für Teilabschnitte: Marnes à Cyrènes, Couches à Melettes, Schistes à





poisson, Marnes à foraminifères

Nutzungsmöglichkeiten

Ehemals wurden auf den Randschollen Tonsteine abgebaut. Die Sandsteine führen örtlich Kohlenwasserstoffe.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, BRGM 1979, Grimm & Hottenrott 2005, Grimm 2005, Roussé 2007, Geyer et al. 2011, Grimm & Grimm 2011

Kapitelverweise

2.2.1.3

Atlasblätter

2.3, 4.1





2.2.2.2.7 Lössach-Formation / Grès d'Eguisheim et Gompholites d'Ajoie

Stratigraphische Grenzen

Die Hangendgrenze ist eine transgressive Faziesgrenze in die Mergelsteine der Froidefontaine-Formation. Basis ist die Auflagerung auf bunten Mergelsteinen und Sandsteinen der Pechelbronn-Formation, auf Konglomerate der Küstenkonglomerat-Formation oder auf Mesozoikum.

Kurzbeschreibung

Fossilführende marine Sandsteine am südöstlichen Grabenrand.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südliche Randschollenzone im Gebiet der Rheintalflexur. Lössach-Formation nur aus dem Raum Lössach bekannt, mit ähnlichem „Meeressand“ in der angrenzenden Nordschweiz. Grès d'Eguisheim im Randschollenbereich der Vogesen südlich von Colmar.

Zum Grabeninneren hin Faziesgrenze gegen Mergelsteine der tieferen Froidefontaine-Formation.

Mächtigkeit bis 30 m.

Eingangsdaten

Kleine Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Sand oder Sandstein, weißgrau, grau, oder rotbraun, teilweise kiesig bis konglomeratisch, vielfach schräggeschichtet, fossilführend.

Alter: Oligozän (Frühes Rupelium).

Logcharakteristik

Es lagen keine Logs vor.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Meeressand. Bei Grimm (2011b) zur Alzey-Formation gerechnet.

Nutzungsmöglichkeiten

keine

Literaturhinweise

Wittmann 1967, BRGM 1979, Geyer et al. 2011, K. Grimm 2011, Roussé 2007

Kapitelverweise

2.2.1.3

Atlasblätter

4.1



2.2.2.3 Älteres Oberrheingraben-Tertiär / Tertiaire rhénan inférieur

Stratigraphische Grenzen

Konkordant überlagert durch die Froidefontaine-Formation.

Basis ist die Tertiärbasis (mit Schliengen-, Wittelsheim- oder Haguenau-Formation), diskordant auf permischen bis jurassischen Sedimenten oder Grundgebirge.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Basis der Froidefontaine-Formation bis zur Basis der Lockergesteine. Überwiegend Mergelsteine mit nach oben abnehmender Verfestigung und wechselnden Einschaltungen von Sandstein, Karbonaten und Evaporiten.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzone. Altersgleiche Ablagerungen in teilweise ähnlicher, teilweise abweichender Fazies und Formationsgliederung im Mainzer und Hanauer Becken.

Bis über 1000 m, im südlichen Grabenabschnitt bis über 2000 m mächtig.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Aufschlüsse in den Randschollen.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Gliederung folgt der für das GeORG-Projekt definierten harmonisierten Nomenklatur:

Von oben nach unten Pechelbronn- und Haguenau-Formation (im Norden und im Randschollengebiet) oder Wittelsheim-Formation (im Süden im Gebiet der Salzverbreitung), Küstenkonglomerat-Formation (am Grabenrand), Schliengen-Formation (lückenhaft verbreitet).

Alter: Mittleres Eozän bis Frühes Oligozän.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise

Maikovsky 1941, Schnaebele 1948, Sittler 1965, Sittler & Schuler 1988, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011, DSK 2011

Kapitelverweise

2.2.1.5, 2.2.2.3.1, 2.2.2.3.2, 2.2.2.3.3, 2.2.2.3.4, 2.2.2.3.5

Atlasblätter

2.4, 3.2, 4.2, 4.3, 7.3





2.2.2.3.1 Pechelbronn-Formation / Formation de Pechelbronn

Stratigraphische Grenzen

Konkordant überlagert durch graue fossilreiche Foraminiferenmergel der Froidefontaine-Formation.

Die Liegendgrenze ist durch das Einsetzen von Sandstein-Einlagerungen über den Mergel-Kalkstein-Wechselfolgen der Haguenau-Formation definiert und stellt damit eine über größere Entfernungen heterochrone Faziesgrenze dar. Im südlichen Randschollengebiet folgt die Pechelbronn-Formation teilweise unmittelbar auf die (kalkfreie) Schliengen-Formation durch Einsetzen kalkhaltiger Sandsteine und bunter Mergel.

Der laterale Übergang in die Wittelsheim-Formation des südlichen Beckeninneren erfolgt mit Einschaltung von Steinsalzlagerstätten. Zum Grabenrand hin verzahnt sich die Pechelbronn-Formation mit den Konglomeraten der Küstenkonglomerat-Formation.

Kurzbeschreibung

Bunte und graue Mergel mit Einlagerungen von Sandstein, randlich Konglomeratlagen, örtlich mit Karbonatbänken oder Sulfatknollen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen, altersgleiche und faziell ähnliche Einheiten im Mainzer und Hanauer Becken z. T. anders eingestuft.

Mächtigkeit: Meist 200 bis 400 m, gebietsweise bis 1100 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau

Stratigraphische Gliederung, Alter

Obere Pechelbronn-Formation: Dolomitische und teils sandige bunte oder graue Mergel- bis Tonmergelsteine mit Einschaltungen von Feinsandsteinen und Konglomeraten in Bänken und Rinnenfüllungen. In den bunten Gesteinen treten häufig pedogene Harnische und kleine Knollen von Anhydrit auf. In Subsidenzzentren (z. B. Rastatt-Becken) wird die Buntfazies abgelöst von dünnschichtigen und vorherrschend grauen Tonmergelsteinen, mit Lagen von Schluffstein bis Feinsandstein.

Mittlere Pechelbronn-Formation: graue bis braun- oder olivgraue Tonmergelsteine, teilweise feingeschichtet und schichtparallel gebändert, mit Bänken von hellgrauem Feinsandstein oder Sandstein-Rippeln als Linsenschichtung in Mergelsteinen. Die vorherrschende Graufazies wird gegen die Grabenränder zunehmend bunt oder rotbraun und geht in der Randschollenzonen gebietsweise in dünnschichtige Dolomitsteine („Plattendolomit“) über. Lagenweise fossilreich, mit marinen, limnischen und terrestrischen Faunen und Floren.

Untere Pechelbronn-Formation: Die Fazies ist ähnlich wie die der Oberen Pechelbronn-Formation, in Subsidenzzentren ebenfalls in eine geschichtete Graufazies übergehend. Im Südlichen Bruchschollengebiet beginnt die Fazies der Unteren Pechelbronn-Schichten teilweise als sandige Randfazies zur Haguenau-Formation unmittelbar über der Schliengen-Formation.

Alter: Eozän (Lutetium bis Priabonium) und frühes Oligozän (frühes Rupelium).

Logcharakteristik

SP- und Widerstands-Log unregelmäßig gegliedert mit wechselnd hohen und niedrigen Frequenzen und niedrigen bis hohen Amplituden. Im Widerstands-Log in unregelmäßigen Abständen einzelne stärkere Ausschläge, im obersten Abschnitt insgesamt hohe Werte, sonst mittlere, abschnittsweise niedrige Mittelwerte. Logentwicklung deutlich unruhiger als in Froidefontaine- und Haguenau-Formation.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D, CH: Pechelbronner Schichten, Pechelbronn-Gruppe, Streifige und Bunte Mergel





F: Couches de Pechelbronn, Sannoisien (partim).

Nutzungsmöglichkeiten

Speicher- und Barrierepotenziale grundsätzlich möglich. Führt örtlich Kohlenwasserstoffe.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, Fülöp 1960, Barth 1970a, BRGM 1979, Gaupp & Nickel 2001, Derer et al. 2003, Geyer et al. 2011, M. Grimm 2011b

Kapitelverweise

2.2.1.5

Atlasblätter

2.3, 4.2





2.2.2.3.2 Haguenau-Formation / Formation de Haguenau

Stratigraphische Grenzen

Konkordant an diachroner Faziesgrenze von ersten Sandsteinen der Pechelbronn-Formation überlagert, die gebietsweise der Unteren Pechelbronn-Formation, örtlich erst der Mittleren Pechelbronn-Formation angehören können. Der Farbumschlag von grau nach rot oder bunt kann mehr als 100 m unter der Formationsobergrenze erfolgen, insbesondere im Haguenau-Block (hier als Couche rouge abgegrenzt, Schnaebele 1948).

Konkordante, gebietsweise diskordante Auflagerung auf kalkfreien Tonsteinen oder Sandsteinen der Schliengen-Formation, auf Küstenkonglomerat-Formation oder unmittelbar auf Mesozoikum.

Kurzbeschreibung

Graue oder grüne Mergel mit Karbonatbänken, nach Süden zunehmend mit Sulfatknollen und -bänken.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhein Graben und Randschollenzonen.

Im südlichen Graben gegen die Depozentren hin mit Einsetzen von Steinsalzlagern Übergang in die Wittelsheim-Formation. Gegen die Grabenränder und insbesondere in der südlichen Randschollenzonen durch Einschaltung von Sandsteinbänken und -Rinnen fazieller Übergang in die Untere Pechelbronn-Formation.

Meist 50 bis 200 m, gebietsweise bis etwa 900 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, kleine Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Vorherrschend geschichtete Mergelsteine mit rhythmisch eingelagerten Kalksteinbänken und untergeordnet mit Anhydrit- oder Gipssteinen als Knollen und Lagen. Die Farben der Mergelsteine sind grün, graugrün oder grau, gebietsweise mit schwarzgrauen bituminösen Intervallen, im höheren Teil gebietsweise rotbraun oder bunt („Rote Leitschicht“, „Couche rouge“). Die Gesteine sind feingeschichtet bis laminiert, gebietsweise mit ungeschichteten Lagen von mehreren Metern Mächtigkeit, die pedogene Harnische aufweisen können. Teilweise sind Knollen aus Kalkstein, Dolomitstein oder Evaporiten eingelagert. Die Kalksteinbänke oder -lagen sind oft dolomitisch und werden gebietsweise von Dolomitsteinbänken abgelöst. Gegen den Übergangsbereich zu Wittelsheim-Formation treten auch mehrere Meter mächtige Anhydrit- bzw. Gipssteinbänke auf.

Gebietsweise sind mächtigere Intervalle von Kalkstein eingeschaltet, die in Schwellenlagen die Formation auch ganz vertreten können (Calcaire de Bouxwiller, „Planorbenkalk“, „Melanienkalk“, Ubstadt-Süßwasserkalk). Diese Kalksteine sind meist hellgrau oder gelblich, seltener dunkelgrau bis schwarz, und dabei oft brekziös bis zellig, mit Pisoiden oder mit Wurzelröhren. In Annäherung an den Beckenrand (und die tiefere Pechelbronn-Formation als Randfazies) teilweise Einschaltung sandiger Tonsteine. Fossilführung weitgehend beschränkt auf Charophytenreste, Süßwasser- und Landschnecken sowie Ostrakoden, gelegentlich Reste von Landpflanzen, Insekten, Fischen und Landwirbeltieren. Lokal treten Lagen mit Foraminiferen und Hystrichosphären auf.

Alter: Eozän (Lutetium bis Priabonium).

Logcharakteristik

Widerstands- und SP-Log zeigen gleichmäßigen Verlauf mit hochfrequenten Ausschlägen niedriger Amplitude, die im Widerstandslog in unregelmäßigen Abständen von einzelnen oder wenigen Ausschlägen höherer Amplitude unterbrochen werden.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D, CH: Grüne Mergel, Lymnäenmergel, Dolomit- und Anhydritzone, Kalkmergel- und Dolomitzone.





F: Sannoisien moyen et inférieur à Eocène, Zone dolomitique et Couches rouges

Nutzungsmöglichkeiten

Speicher- und Barrierepotenziale grundsätzlich möglich.

Literaturhinweise

Weber 1937, Schnaebele 1948, Wirth 1969, 1970, BRGM 1979, Geyer et al. 2011, M. Grimm 2011c

Kapitelverweise

2.2.1.5

Atlasblätter

4.2





2.2.2.3.3 Wittelsheim-Formation / Formation de Wittelsheim

Stratigraphische Grenzen

Bei ungestörter Lagerung konkordant durch graue Foraminiferenmergel der Froidefontaine-Formation überlagert. In Bereichen mit Salztektone dringt das Untere Steinsalz örtlich bis an die Basis der Lockergesteine auf.

An der Basis setzen die Mergelsteine der Wittelsheim-Formation über kalkfreien Tonsteinen und Sandsteinen der Schliengen-Formation oder diskordant auf Mesozoikum ein.

Kurzbeschreibung

Bunte und graue Mergel mit Steinsalzlager, untergeordnet Karbonat- und Sandsteinbänke. Im oberen Abschnitt gebietsweise Kalisalz.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südlicher Oberrheingraben südlich des Forêt de Haguenau, vorwiegend links des Rheins, mit mächtigen Steinsalzabfolgen im Strasbourg-, Colmar-, Wittelsheim-Buggingen- und Dannemarie-Becken. Die Formation geht lateral zum Grabenrand und nach Norden mit Aussetzen der Steinsalzführung in Haguenau- und Pechelbronn-Formation über.

Meist über 500 m, bis über 2000 m, durch Salzaufstieg örtlich stark schwankend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Rohstoffabbau, kleine Ausstrichgebiete

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Formation besteht aus einem Wechsel aus bis zu 200 m mächtigen Abfolgen von Steinsalz (Unteres, Mittleres und Oberes, nicht überall sind alle drei ausgebildet) und bis mehrere hundert Meter mächtigen, meist dolomitischen Mergelsteinen mit Anhydrit oder Gips. Nahe der Basis der oberen Salzfolge sind im Wittelsheim-Buggingen-Becken ein bis zwei Flöze von Kalisalz entwickelt. Die Farben der Mergel sind abschnittsweise grau, teilweise schwarzgrau und bituminös, oder rotbraun und grün, das Steinsalz ist meist weiß bis grau, lagenweise rot. Nahe der Randverwerfungen der Salzbecken treten sandige oder konglomeratische Lagen in unterschiedlichen Niveaus auf. Die Fossilführung ist auf wenige Mergelsteinlagen und meist auf Insekten, Landpflanzenreste, Charophytenreste sowie Land- und Süßwasserschnecken beschränkt, in der „Versteinerungsreichen Zone“ unter der Oberen Salzfolge treten lagenweise individuenreiche eingeschränkt-marine Mollusken- und Foraminiferenfaunen auf (Altersäquivalent der Mittleren Pechelbronn-Formation).

Alter: Eozän (Lutetium) bis frühes Oligozän (frühes Rupelium).

Logcharakteristik

Wechsel von Log-Intervallen von einerseits niedriger Amplitude bei hohen Frequenzen, in die unregelmäßig Ausschläge mittlerer und hoher Amplitude eingeschaltet sind (Mergel mit Anhydritbänken), und andererseits bis zu drei blockartig eingeschalteten Intervallen sehr hoher Amplitude und mittlerer bis hoher Frequenz (Steinsalzlager).

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Steinsalzführende Lymnäenmergel und Pechelbronn-Schichten, Anhydritzone, Zone anhydritique, Steinsalz-Formation, steinsalzführende Streifige Mergel und Bunte Mergel, Untere, Mittlere und Obere Bituminöse Zone.

F: Sannoisien, Latdorfien (/Lattorfien), Zone salifère inférieur à supérieur, Zone anhydritique (partim)





Nutzungsmöglichkeiten

Speicher- und Barrierepotenziale grundsätzlich möglich. Ehemals Abbau von Kalisalz und Steinsalz im Stollentiefbau. Abfalldeponien in aufgelassenen Bergbauhohlräumen.

Literaturhinweise

Wagner 1929, 1955, Maikovsky 1941, Gunzert 1961, 1962, Kötter 1966, BRGM 1979, Roussé 2007, Cendón et al. 2008, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.5

Atlasblätter

2.3, 2.4, 4.2





2.2.2.3.4 Küstenkonglomerat-Formation / Conglomérats côtiers

Stratigraphische Grenzen

Im Hangenden Überlagerung durch sandige und tonig-mergelige Sedimente der Pechelbronn-, Froidefontaine- oder Lörrach-Formation, im Strasbourg-Becken auch durch Haguenau-Formation. Die Basis ist durch die Auflagerung grober Konglomerate auf Mesozoikum oder Sedimenten der Schliengen-Formation definiert.

Kurzbeschreibung

Grobe Konglomerate und Sandsteine des älteren Oberrheingraben-Tertiärs nahe den Grabenrändern.

Verbreitung, Mächtigkeit

Randschollenzone des Oberrheingrabens und randnahe Bereiche der Becken, dort meist von Formationen der Beckenfazies überlagert. Die grabenwärtige Verbreitungsgrenze ist durch die Verzahnung mit Mergel- und Sandsteinen der Pechelbronn-Formation gegeben.

Meist 40-100 m, örtlich über 250 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau, Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Konglomerate und Blockkonglomerate mit Korngrößen bis über 0,5 m, in aufgestapelten, bis mehrere Meter mächtigen Rinnenfüllungen. Stellenweise sind rotbraune und grüne, schluffig-tonige Feinsedimente mit pedogenen Harnischen oder Wurzelspuren zwischen den Konglomeraten erhalten. Linsenartig können geröllarme bis -freie Sandsteine in mehreren Metern Mächtigkeit und mehreren hundert Metern Ausdehnung eingeschaltet sein (z. B. Pfaffenweiler). Stark zementierte Konglomerate im basalen Abschnitt werden als „Steingang“ bezeichnet. Bohne-Konglomerat am Kraichgau-Rand mit zahlreichen Jura-Geröllen, Schönberg-Konglomerat am Schwarzwaldrand meist von Hauptrogenstein-Geröllen beherrscht, weitere Einheiten in Frankreich am Rand der Vogesen und des Horstes von Mulhouse, teilweise mit stromatolithischen Bildungen. Alter: Eozän bis frühes Oligozän.

Logcharakteristik

Widerstandslog mit unregelmäßigen Wechseln mittlerer und hoher Amplituden meist niedriger Frequenz. Gammalog zeigt Grundlinie niedriger API-Werte mit Gruppen von Ausschlägen mittlerer Intensität.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D, CH: Tertiärkonglomerat, Oligozänkonglomerat, Küstenkonglomerat

F: Zone conglomératique, Conglomérats de bordure de bassin

Nutzungsmöglichkeiten

Speicher- und Barrierepotenziale grundsätzlich möglich. In den Ausstrichgebieten örtlich Steinbrüche.

Literaturhinweise

Kessler 1909, BRGM 1979, Düringer 1988, 1995, Düringer & Gall 1994, Groschopf et al. 1996, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.5

Atlasblätter: 4.2



2.2.2.3.5 Schliengen-Formation / Formation de Schliengen

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze: Dicht am Grabenrand wird die kalkfreie Schliengen-Formation durch kalkige Konglomerate der Küstenkonglomerat-Formation überlagert. Zum Grabeninneren hin werden sie von sandig-mergeliger Pechelbronn- oder mergelig-kalkiger Haguenau-Formation abgelöst, deren Kalkgehalt und geringere Durchwurzelung eine Abgrenzung gegen die Schliengen-Formation erlaubt. Im südlichen Oberrheingraben folgen in den Senkungszentren Mergel und Evaporite der Wittelsheim-Formation.

Die Liegendgrenze stellt die Tertiärbasis auf verwitterten Sedimentgesteinen des Mesozoikums dar, häufig mit deutlicher Diskordanz. Auf Kalksteinen (Hauptrogenstein, Oberjura-Kalksteine) ist teilweise noch eine geringmächtige Lage Kalkverwitterungslehm erhalten. In Karstspalten mesozoischer Kalksteine eingespülte Vorkommen zeigen kleinräumig starke Höhenunterschiede der Liegendgrenze.

Kurzbeschreibung

Bunte kalkfreie Ton- und Sandsteine an der Basis des Oberrheingraben-Tertiärs.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen, lückenhaft verbreitet, insbesondere im südlichen und im nördlichen Teil. Lateral gebietsweise unter kalkhaltigen jüngeren Sedimenten auskeilend.

Meist wenige Meter bis über 30 m. Ältere hohe Mächtigkeitsangaben bis über 70 m enthalten oft rotbunte, aber kalkhaltige Abfolgen der Randfazies von Haguenau- bzw. Pechelbronn-Formation.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau

Stratigraphische Gliederung, Alter

Keine stratigraphische Untergliederung. Die Formation besteht aus kalkfreien rotbunten, ockerfarbenen, gelben und weißen Tonsteinen und kalkfreien Sandsteinen und Sanden („Huppersande“). Lokal auftretender Kalkgehalt ist meist an umgelagertes Juramaterial gebunden. Vorkommen in Karsttaschen der Jurakalke enthalten teilweise Kalkstein-Klasten des Nebengesteins oder ausgewitterte Kieselfossilien. Häufig sind in den Sandsteinen Wurzelspuren, in den Tonsteinen pedogene Harnische zu erkennen sowie violette, braune oder andersfarbige Flecken oder netzartige Risse. In örtlich wechselndem Umfang sind Sesquioxid-Konkretionen anzutreffen, insbesondere aus Eisenmineralen („Bohnerze“), die umgelagert und örtlich angereichert sein können (Bohnerz tritt umgelagert auch in den übrigen Formationen des Oberrheingraben-Tertiärs auf). Huppersande, Basiston und früher z. T. „Boluston“ genannte rote Kaolintonsteine sind lokale Faziesseinheiten, die keine bestimmten stratigraphischen Niveaus einhalten.

Alter: Älter als die darüber lagernden mittel- bis späteozänen Sedimente, eine direkte Datierung war bisher nicht möglich.

Logcharakteristik

Im Widerstandslog unregelmäßige Wechsel zwischen hohen und mittleren Amplituden unterschiedlicher Frequenz, dadurch meist deutlich von gleichmäßigerem Logbild der hangenden Haguenau-Formation und vom Liegenden Mesozoikum abgrenzbar. SP-Log mit niedrigen Amplituden.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D, CH: Siderolithikum, Huppererde, Bohnerzton, Bohnerz-Formation, Übergangsschichten, Eozäner Basiston
F: Sidérolithique (Bohnerz), Zone de transition, Eocène

Nutzungsmöglichkeiten

Speicher- und Barrierepotenziale grundsätzlich möglich. Ehemals Abbau von Eisenerz (Bohnerz) in Gruben und Stollen. Örtlich Nutzung als Keramikrohstoff.





Literaturhinweise

Wittmann 1955, 1977, BRGM 1979, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.5

Atlasblätter

4.2



2.2.2.4 Oberjura (D, CH) / Malm (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Gruppe wird im Oberrheingraben diskordant durch Känozoikum überlagert.

Basis der modellierten Einheit ist das Einsetzen von dickbankigen bis massigen Kalksteinen über den Mergel- und Tonsteinen des Mitteljura, was der Abgrenzung in Frankreich und der Schweiz entspricht. Die Basis der Korallenkalk-Formation (D) liegt etwas tiefer an der Basis der Korallen führenden Thamnastreenmergel.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge unter der Basis des Tertiärs bis zur Basis der Oberjura-Kalksteine. Überwiegend Kalkstein im mächtigen Bänken und massigen Gesteinskörpern.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südlicher Oberrheingraben und Randschollenzonen südlich etwa Mulhouse – Bad Bellingen.
In Bohrungen bis über 200 m, gebietsweise unter der Tertiärbasis auskeilend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben sind im Süden die Bankkalke der Nerineenkalk-Formation (D) / Calcaires à Nérinées (F) / Vellerat-Formation (CH) erhalten, darunter folgen die Korallenkalke der Korallenkalk-Formation (D) / Calcaires récifaux jurassien (F) / obere Bärschwil- und St.-Ursanne-Formation (CH)

Alter: Mittleres bis spätes Oxfordium.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise, Links

Kabelac 1955, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

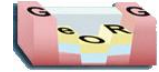
Kapitelverweise

2.2.1.6, 2.2.2.4.1, 2.2.2.4.2, 2.2.2.4.3, 2.2.2.4.4, 2.2.2.4.5

Atlasblätter

2.5, 4.4, 5.10, 5.16





2.2.2.4.1 Courgenay-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Im Hangenden liegt im Faltenjura die Formation de Reuchenette und im Liegenden die Vellerat-Formation. Im Osten geht die Courgenay-Formation von einer flachmarinen Fazies in die Schwellenfazies der Balsthal-Formation über.

Kurzbeschreibung

Mikritischer Kalkstein, nach oben massive, oolithische Kalksteine.

Verbreitung, Mächtigkeit

In der Ajoie, an der Südgrenze bzw. im südlichsten Teil des Oberheingrabens, gebietsweise unter der Tertiärbasis ausgehend.

Bis 45 m mächtig

Eingangsdaten

Austrichgebiete, Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Sie gliedert sich in das Porrentury Member oben und das de La May Member unten.

Alter: Spätes Oxfordium bis Frühes Kimmeridgium

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

–

Nutzungsmöglichkeiten

Nicht untersucht.

Literaturhinweise

Gygi 1995

Kapitelverweise

2.2.1.6



2.2.2.4.2 Balsthal -Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Im Hangenden liegt im Faltenjura die Formation de Reuchenette und im Liegenden die Vellerat-Formation bzw. Wildegg-Formation. Nach Westen verzahnt sich die Balsthal-Formation (flachmarine Schwellenfazies) mit der Courgenay-Formation (flachmarine Beckenfazies) und nach Osten, im oberen Bereich mit der Villigen-Formation und im unteren Bereich mit der Wildegg-Formation (beide flachmarine Beckenfazies).

Kurzbeschreibung

Vorwiegend oolithische bis onkolithische Kalksteine, unten gut geschichtet, oben massiv, selten kleine Korallen-Bioherme.

Verbreitung, Mächtigkeit

Im Falten- und Tafeljura südlich des Oberheingrabens, Nordwestschweiz, östlich der Ajoie und westlich des Aargaus.

Bis 70 m mächtig

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Untergliedert ist die Balsthal-Formation von oben nach unten in das Verena-Member: Massive, oolithische Kalksteine, Laufen-Member: geschichtete Kalksteine, Steinebach-Member: schräggeschichtete Oosparite, und Günsberg-Member (teilweise auch als eigene Formation ausgeschieden): Oolithische Kalksteine mit Korallen-Biohermen. Das Günsberg-Member entspricht im Alter der Nerineenkalk-Formation.

Alter: Spätes Oxfordium bis Frühes Kimmeridgium

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

–

Nutzungsmöglichkeiten

Gebietsweise als Grundwasserleiter genutzt.

Literaturhinweise, Externe Links

Gygi 1986, 2000

Lithostratigraphisches Lexikon der Schweiz –<http://www.stratigraphie.ch>

Kapitelverweise

2.2.1.6





2.2.2.4.3 Wildegg-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Im Hangenden grenzt sie an die Villigen-Formation (außerhalb des Projektgebiets) und im Liegenden an die Herznach-Formation (CH). Sie geht nach Westen in das Günsberg-Member der Balsthal-Fm. über.

Kurzbeschreibung

Graue Mergel- und Kalkmergelsteine, teilweise gebankte mikritische mergelige Kalksteine.

Verbreitung, Mächtigkeit

Verbreitung südöstlich des Gempenplateaus und außerhalb des Modellgebietes.

Mächtigkeit bis 265m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Sie gliedert sich von oben nach unten in das Effingen-Member aus grauen Mergelsteinen mit einzelnen mergeligen Kalksteinbänken, und das Birnenstorf-Member aus Kalkstein-Mergelstein-Wechselfolgen mit kleinen Schwamm-Biohermen.

Sie stellt das als „Argovische Fazies“ bezeichnete offenmarine Äquivalent zu den spätjurassischen Riffkalken des Oberrheingebietes (Keltische Fazies) dar.

Alter: Mittleres bis Spätes Oxfordium

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

–

Nutzungsmöglichkeiten

Örtlich Abbau als Zementrohstoff.

Literaturhinweise

Gygi 1969

Kapitelverweise

2.2.1.6



2.2.2.4.4 Nerineenkalk-Formation (D) / Calcaires à Nérinées (F) / Vellerat-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Die Formation wird im Oberrheingraben diskordant durch Känozoikum überlagert.

Basis ist das Einsetzen von Bankkalken über den dickbankigen bis massigen Kalksteinen der Korallenkalk-Formation.

Kurzbeschreibung

Hellgraue Bankkalke.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südlicher Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich etwa Mulhouse – Bad Bellingen.

In Bohrungen bis über 120 m, gebietsweise unter der Tertiärbasis auskeilend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Hellgraue gebankte Kalksteine, im höheren Teil mit Zwischenlagen aus Kalkmergelstein. Einzelne Bänke sind fossilreich (insbesondere Gastropoden). Gelegentlich sind umgelagerte Korallen eingelagert. Im Gebiet von Mulhouse sind im unteren Bereich mehrere zehner Meter Mergelsteine mit Kalksteinbänken ausgebildet.

Alter: Mittleres bis spätes Oxfordium.

Logcharakteristik

Im Widerstandslog mittlere Amplituden im mittleren Skalenbereich bei niedrigen Frequenzen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Malm 3

F: Séquanien, Astartien

CH: Günsberg-Formation (s. auch Balsthal-Formation, 2.2.2.4.1)

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung bei hinreichender Tiefenlage und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich. In der Randschollenzzone Gewinnung von Kalkstein.

Literaturhinweise, Links

Kabelac 1955, Gygi 2000, Geyer et al. 201

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.6





2.2.2.4.5 Korallenkalk-Formation (D) / Calcaires récifaux jurassien (F) / St.-Ursanne-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Im Hangenden konkordant von den Bankkalken der Nerineenkalk-Formation überlagert oder diskordant von Känozoikum.

Die Basis bilden Korallen führende Kalksteine über den Korallen führenden Mergelsteinen der obersten Bärschwil-Formation (CH), die in Deutschland als Thamnastreenmergel bereits zur Korallenkalk-Formation gerechnet, in Frankreich nicht von den Marnes à Chailles abgetrennt werden. Darunter folgen Mergelsteine mit Kalkstein-Knollen (D: Kandern-Formatoin, F: Marnes à Chailles, CH: Sornetan-Member der Bärschwil-Formation).

Kurzbeschreibung

Korallen führende Kalksteine des Oberjura.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südlicher Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich etwa Mulhouse – Bad Bellingen.

Bis über 100 m, gebietsweise unter der Tertiärbasis diskordant ausgeilend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Weißer bis hellgraue massige und grob gebankte Kalksteine mit Korallen, teilweise oolithisch, in der Schweiz in mehrere Member gegliedert;

Alter: Mittleres Oxfordium.

Logcharakteristik

Im Widerstandslog abschnittsweise klotzig mit niedrigen Amplituden im mittleren bis hohen Skalenbereich, teilweise in mittlere Amplituden bei niedrigen Frequenzen übergehend.

Im Gammalog wenig gegliederte Sequenz niedriger Strahlungswerte mit sehr niedrigen Amplituden.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Malm 2

F: Rauracien

CH: Pichoux-Formation

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung bei hinreichender Tiefenlage und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich. In der Randschollenzzone Gewinnung von Kalkstein.

Literaturhinweise, Links

Kabelac 1955, Bollinger & Burri 1970, Gygi 2000, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.6



2.2.2.5 Mitteljura (D, CH) / Dogger (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Basis Korallen führender Mergel- und Kalksteine der Korallenkalk-Formation (D) bzw. an den Kalksteinen der St-Ursanne-Formation (CH) einschließlich des Liesberg-Members. Chronostratigraphisch gehört der mittlere bis obere Teil dieser Abfolge zum Späten Jura (Frühes Oxfordium), lithostratigraphisch aber noch zur Mergelabfolge des Mitteljura.

Untergrenze des lithostratigraphischen Mitteljura ist die Basis der Opalinuston-Fazies, die chronostratigraphisch gebietsweise diachron zwischen Frühem Jura (Spätes Toarcium) und Mittlerem Jura (Aalenium) schwankt.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Basis der Oberjura-Kalksteine bis zur Basis der Opalinuston-Formation / Marnes à Leioceras opalinus. Überwiegend Tonsteine und Tonmergelsteine, im unteren Teil mit Einlagerungen von Sandstein und Kalksteinbänken, in der Mitte im südlichen Oberrheingraben mit oolithischen Kalksteinen, darüber Tonsteine und Tonmergelsteine mit Kalkstein- und Eisenoolithbänken.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen südlich etwa Landau – Heidelberg.

Bis über 600 m, gebietsweise unter der Tertiärbasis auskeilend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Gliederung in Deutschland, Frankreich und der Schweiz in unterschiedliche Formationen, deren Grenzen teilweise übereinstimmen.

D: (von oben) Kandern-, Ornatenton-, Variansmergel-, Hauptrogenstein-, Humphriesoolith-, Wedelsandstein-, Murchisonae-Oolith- und Opalinuston-Formation;

F: Marnes à Chailles, Marnes callovo-oxfordiennes, Calcaires à Reineckeia anceps, Marnes à Macrocephalites macrocephalus, Marnes à Rhynchonella alemannica, Marnes et calcaires d'Imbsheim, Grande Oolithe, Marnes et calcaires de Griesbach, Marnes et grès de Schalkendorf, Marnes de Gundershoffen;

CH: Bärschwil-Formation, Ornatenton, Variansmergel, Hauptrogenstein, Passwang-Formation, Opalinuston.

Alter: Spätes Toarcium bis Frühes Oxfordium.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise, Links

Schnaebeler 1948, Kabelac 1955, Gygi 2000, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.7, 2.2.1.8, 2.2.2.5.1 - 2.2.2.5.8





Atlasblätter

2.6, 4.4, 4.5, 5.11, 5.17



2.2.2.5.1 Kandern-Formation (D) / Marnes callovo-oxfordienne et Marnes à chailles (F) / Bärschwil-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Basis Korallen führender Mergel- und Kalksteine der Korallenkalk-Formation (D) bzw. an den Kalksteinen der St-Ursanne-Formation (CH) einschließlich des Liesberg-Members. Chronostratigraphisch gehört der mittlere bis obere Teil dieser Abfolge zum Späten Jura (Frühes Oxfordium), lithostratigraphisch aber noch zur Mergelabfolge des Mitteljura.

Basis ist die Obergrenze des Anceps-Ooliths der Ornatenton-Formation.

Kurzbeschreibung

Dunkelgraue Ton- und Mergelsteine an der Grenze von Mittel- und Oberjura, im oberen Teil mit kalkig-kieseligen Konkretionen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südlicher Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich etwa Guebwiller – Breisach – Freiburg.

In Bohrungen 80–140 m mächtig.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben Thamnastreenmergel der Korallenkalk-Formation (D) bzw. Liesberg-Member der Bärschwil-Formation (CH): Graue Korallen führende Mergel- und Kalksteine, wenige Meter bis max. 20 m mächtig. Das Liesberg-Member wird von manchen Autoren zur St.-Ursanne-Formation gerechnet.

darunter D: Terrain à Chailles der Kandern-Formation, F: Marnes à Chailles, CH: Sornetan-Member der Bärschwil-Formation: Graue Tonmergelsteine mit kieseligen Kalksteinknollen („Chailles“).

Darunter D: Renggeriton der Kandern-Formation, F: Marnes callovo-oxfordienne, CH: Renggeri-Member der Bärschwil-Formation: Graue bis dunkelgraue Tonsteine und Tonmergelsteine, Pyrit führend, teilweise feinsandig.

Alter: Callovium bis Frühes Oxfordium.

Logcharakteristik

Im Widerstandslog niedrige Werte mit sehr niedrigen Amplituden mittlerer bis hoher Frequenz. Im oberen Teil nehmen die Skalenwerte und Amplituden geringfügig zu. Obergrenze zur Korallenkalk-Formation ist durch ein deutliches Minimum im Widerstand und ein schwaches Zwischenmaximum im GR-Log gekennzeichnet, die Untergrenze über dem Anceps-Oolith ist meist gut erkennbar.

Im Gammalog durchgehend hohe Werte mit etwas unregelmäßigen Schwankungen niedriger Amplitude und hoher Frequenz. Im oberen Teil (Terrain à Chailles) abnehmender Mittelwert und Übergang in mittlere Amplituden.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

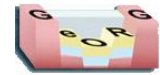
D: Malm 1, Pholadomyenmergel,

F: Oxfordien, Callovo-Oxfordien marneux et Oxfordien à Chailles, Oxfordien marneux, Callovien marneux (partim).

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. In der Randschollenzzone ehemals Abbau in Tongruben.





Literaturhinweise, Links

Kabelac 1955, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.7

Atlasblätter

2.5, 4.4





2.2.2.5.2 Ornatenton-Formation (D) / Marnes à M. macrocephalus et Calcaire à R. anceps (F) / Herznach-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze bildet das Dach des Anceps-Ooliths.

Die Basis ist die Basisfläche des Macrocephalenooliths.

Kurzbeschreibung

Graue Tonmergelsteine des oberen Mitteljura, mit eisenoolithischen Kalk- oder Mergelsteinen an Basis und Top.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen südlich etwa Karlsruhe und Wissembourg sowie außerhalb des Projektgebiets.

Mächtigkeit bis etwa 40–45 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Überwiegend graue bis dunkelgraue Tonmergelsteine. Oben bis 15 m mächtige eisenoolithische Mergelsteine oder Kalksteine (Anceps-Oolith). An der Basis eisenoolithische Kalkstein- oder Mergelsteinbank (Macrocephalenoolith).

Alter: Callovium

Logcharakteristik

Im Widerstandslog oben mittlere Amplituden des Anceps-Ooliths, darunter wenig gegliedertes Intervall mit niedrigen Werten über den hohen Amplituden der Variansmergel-Formation.

Im Gammalog unten hohe Werte mit niedrigen Amplituden hoher Frequenz, im Bereich des Anceps-Ooliths etwas niedrigere Werte mit deutlichen Minima.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Calloviens marneux (partim), Bathonien marneux et Calloviens calcaire

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Contini 1967, Groschopf et al. 1996, Gygi 2000, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.7

Atlasblätter

4.4





2.2.2.5.3 Variansmergel-Formation (D) / Marnes et calcaires à *Rynchonella alemanica* et marnes à *Belemnopsis canaliculatus* (F)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist die Basis des eisenoolithischen Macrocephalen-Ooliths.

Basis ist die Dachfläche des eisen- und teilweise kalkoolithischen Ferrugineus-Ooliths.

Kurzbeschreibung

Wechselfolge von Mergeln und Kalksteinbänken im oberen Mitteljura.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben und Randschollenzone südlich etwa Karlsruhe und Wissembourg sowie außerhalb des Projektgebiets.

Mächtigkeit 20 bis 40 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete

Stratigraphische Gliederung, Alter

Wechselfolge von grauen, schwach feinsandigen Mergelsteinen und bioklastischen, teilweise auch tonigen Kalksteinbänken.

Alter: Bathonium

Logcharakteristik

Im Widerstandslog hohe bis mittlere Amplituden mittlerer bis hoher Frequenz im mittleren Skalenbereich. Der liegende Ferrugineus-Oolith zeichnet sich durch eine starke Logspitze darunter aus.

Im Gammalog nach oben abnehmende Werte, wenig gegliedert durch niedrige Amplituden hoher Frequenz.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Bathonien calcaire (partim), Marnes de Bouxwiller, Couches à Varians

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, Contini 1967, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.7

Atlasblätter

4.4



2.2.2.5.4 Hauptrogenstein-Formation (D) / Grande Oolithe et Marnes et calcaires d'Imbsheim (F) / Hauptrogenstein (CH)

Stratigraphische Grenzen

Die Basis ist durch das Einsetzen oolithischer Bankkalke über den Kalkstein-Mergelstein-Wechselfolgen der Humphriesi-Oolith-Formation definiert.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberreingraben zwischen Schwarzwald und Vogesen einschließlich Randschollenzzone und Randsenken.
Mächtigkeit 50–100 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten, Rohstoffabbau.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Das Dach der Einheit bildet eine bis 12 m mächtige Abfolge eisenoolithischer Kalksteine und Mergelsteine (Ferrugineus-Oolith, Marnes et calcaires d'Imbsheim) über den darunter liegenden geschlossenen Kalkoolithen (Hauptrogenstein i.e.S., Grande Oolithe).

Überwiegend hellgraue oolithische Kalksteine mit wenigen geringmächtigen Mergelstein-Zwischenlagen, besonders im unteren und oberen Abschnitt. Die Kalkoolithe bilden teilweise metermächtige schräggeschichtete Bänke. Einzelne Lagen sind fossilreich. Im Elsass treten dolomitische Abschnitte auf.

Alter: Bajocium bis frühes Bathonium.

Logcharakteristik

Im Widerstandslog mittlere bis hohe Werte mit wechselnd niedrigen bis hohen Amplituden mittlerer Frequenz. Unterer Teil gelegentlich sägezahnartig ansteigend bis zu einer Logspitze in der Mitte der Formation. Oben über einem deutlichen Minimum eine starke Logspitze (Ferrugineus-Oolith).

Im Gammalog wenig gegliedertes Intervall niedriger Werte mit niedrigen Amplituden, am Ferrugineus-Oolith Anstieg zu mittleren Werten ähnlich der hangenden Variansmergel-Formation.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Oolithe miliaire

Nutzungsmöglichkeiten

Wichtiger Aquifer. Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich. In Randschollenzzone Abbau von Kalkstein.

Literaturhinweise

Schnaebeler 1948, Illies 1956, Contini 1967, BRGM 1979, Ernst 1991, Gonzalez & Wetzel 1996, Groschopf et al. 1996, Wetzel et al. 1997, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.8

Atlasblätter

2.6, 4.4, 5.11, 5.17





2.2.2.5.5 Tonfazies des Bajocium

Stratigraphische Grenzen

Ober- und Untergrenze unsicher, da selten vollständig durchteuft.

Kurzbeschreibung

Dunkelgraue Tonmergelsteine als nördliche Faziesvertretung des Haupttrogensteins.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben im Raum Karlsruhe–Wissembourg, nördlich der Haupttrogenstein-Verbreitung, nach Norden diskordant unter dem Tertiär abgetragen. Vertritt möglicherweise auch Teile der Variansmergel-Formation. Mächtigkeit bis mehr als 100 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Dunkelgraue, schwach feinsandige Tonmergelsteine mit einzelnen Kalksteinbänken.
Alter: Bajocium bis Bathonium.

Logcharakteristik

Im Widerstandslog mittelohmige Ausschläge wechselnder Frequenz mit einzelnen stärkeren Spitzen. Der Mittelwert liegt etwas höher als in der hangenden Variansmergel-Formation / Marnes à R. alemannica und niedriger als das Maximum im Top der Humphriesoolith-Formation / Marnes et calcaires de Griesbach.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Subfurcaten- und Parkinsoniensichten.
F: Bajocien inférieur (partim).

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Contini 1967, Wetzel et al. 1997, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.8

Atlasblätter

2.6, 4.4



2.2.2.5.6 Wedelsandstein- und Humphriesoolith-Formation (D) / Marnes et Calcaires de Griesbach (F) / obere Passwang-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze ist mit dem Einsetzen der Oolithkalke der Hauptrogenstein-Formation definiert.

Die der Humphriesoolith-Formation liegt unter der ersten eisenoolithischen Bank auf der Dachfläche der Demissusbänke der Wedelsandstein-Formation.

Die Basis der Wedelsandstein-Formation bzw. von Griesbach- und Passwang-Formation liegt unter der eisenoolithischen Sowerbyi-Bank bzw. dem Unteren Erzband der Sowerbyi-Schichten.

Kurzbeschreibung

Oben Wechselfolgen von Kalksteinbänken und Tonmergelsteinen, an der Basis mit Eisenoolithen, darunter sandige Tonmergelsteine mit wenigen Sandsteinbänken, im Oberrheingebiet geringmächtig.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich Karlsruhe und Wissembourg, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Die Mächtigkeit schwankt zwischen 25 und ca. 60 m, wobei auf Humphriesoolith-Formation 5–30 m, auf Wedelsandstein-Formation 20–30 m entfallen.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben Humphriesoolith-Formation: Wechselfolgen von mergeligen, vereinzelt auch oolithischen Kalksteinbänken mit Tonmergelsteinen (Blagdenischichten), an der Basis Eisenoolithe oder eisenoolithische Kalk- und Mergelsteine (Gosheim-Subformation).

Unten Wedelsandstein-Formation: Im Oberrheingebiet dunkelgraue, teilweise sandige Tonmergelsteine, Glimmer führend, mit wenigen Bänken von dunkel- bis schwarzgrauem kalkigem Feinsandstein oder sandigem Kalkstein.

Alter: Bajocium.

Logcharakteristik

Im Gammalog an der Basis steiler Anstieg der Strahlung gegenüber Murchisonae-Oolith-Formation, dann allmählicher Abfall mit Schwankungen niedriger Amplituden. Im Dach der Wedelsandstein-Formation häufig ein oder zwei Gammapeaks unter einem Minimum an der Basis der Humphriesoolith-Formation, darüber nach einem Anstieg der Strahlungswerte langsame Abnahme des Mittelwerts bei mittleren Amplituden hoher Frequenz.

Widerstandslog zeigt Wechsel von Ausschlägen mittlerer und hoher Amplitude bei mittlerer bis niedriger Frequenz. Stärker gegliedert als im Hauptrogenstein. An der Basis der Humphriesoolith-Formation höhere Amplituden als in der Wedelsandstein-Formation. Die Wedelsandstein-Formation zeigt im oberen Teil eine oder wenige mittel- bis hochohmige Schichten, ist aber darunter meist wenig gegliedert mit kleinen Amplituden; die Basis ist über den hochfrequenten hochohmigen Ausschlägen der Murchisonae-Oolith-Formation oft deutlich.

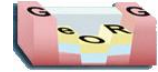
Synonyme / Ältere Bezeichnungen

F: Bajocien inférieur

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.





Literaturhinweise

Schnaebeler 1948, Contini 1967, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.8

Atlasblätter

4.5





2.2.2.5.7 Murchisonaeoolith-Formation (D) / Marnes et grès de Schalkendorf (F) / untere Passwang-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist die Basis des Sowerbyi-Ooliths bzw. des Unteren Ringsheimer Erzbandes.

Untergrenze ist die Basis der Liegenden Sandkalke, der ersten Sandsteinbänke der Murchisonaesandsteine oder, wo vorhanden, etwas tiefer die Basis der Comptumbank.

Kurzbeschreibung

Im südlichen Oberrheingraben Kalksandsteine mit Einschaltungen von sandigen Tonmergelsteinen und lokal bis mehrere Meter mächtigen Linsen von Eisenoolith. Im Norden und Süden des Projektgebietes sandige Tonmergelsteine und Tonsteine mit Sandsteinbänken und einzelnen Kalksteinbänken.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich Karlsruhe und Wissembourg, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Bis über 80 m, meist jedoch 20–40 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Rohstoffgewinnung, Aufschlüsse.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die stärker tonige Nord- und Südfazies ist fast nur aus Bohrungen bekannt und lithostratigraphisch nicht gegliedert. Die Sandfazies mit Eisenoolithen gliedert sich in eine obere Sandstein-Abfolge (Concavasandstein) mit einer Kalksteinbank (Concavabank), einem Mergelhorizont (Gryphitenmergel) und an der Basis eine Abfolge von sandigen Kalksteinen bis Kalksandsteinen, die unterschiedlich stark eisenoolithisch sein können (Liegende Sandkalke). Im Dach der Liegenden Sandkalke treten gebietsweise bis über 10 m mächtige Eisenoolithe (Erzlager) auf.

Alter: Spätes Aalenium.

Logcharakteristik

Gammalog zeigt mittlere, nach oben abnehmende Strahlungswerte mit hochfrequenten Ausschlägen wechselnd niedriger und mittlerer Amplitude mit einzelnen starken Spitzen. Untergrenze zeigt einen Übergang zu kleineren Amplituden im Opalinuston / Marnes de Gunderhoffen. Obergrenze gegen Wedelsandstein-Formation / Marnes et calcaires de Griesbach zeigt eine starke Spitze (Sowerbyi-Oolith?) und einen raschen Anstieg der Strahlungswerte.

Widerstandslog zeigt mittlere Mittelwerte mit abwechselnden Intervallen kleiner und mittlerer bis hoher Amplituden in den Sandsteinzonen, besonders im unteren und oberen Teil.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Braunjura Beta.

F: Grès calcaire à Ludwigia murchisonae.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. Früher wurden an mehreren Stellen die Eisenerze abgebaut.

Literaturhinweise, Links

Schnaebele 1948, Contini 1967, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Franz & Nitsch 2009, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>





Kapitelverweise

2.2.1.8

Atlasblätter

4.5





2.2.2.5.8 Opalinuston-Formation (D) / Marnes de Gundershoffen (F) / Opalinuston (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist die Basis der Sandsteine und sandigen Mergel der Murchisonae-Oolith-Formation (und Äquivalente).

Untergrenze ist das Aussetzen von Kalksteinbänken und Mergelsteinen unter den Tonsteinen oder schwach kalkigen Tonsteinen des Opalinustons.

Kurzbeschreibung

Mächtige ungegliederte Tonsteinserie an der Basis des Mittleren Jura.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich Wiesloch und Speyer, Langenbrückener Senke, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit meist 80–120 m, örtlich größer oder geringer (evtl. tektonisch bedingt).

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete, Rohstoffabbau

Stratigraphische Gliederung, Alter

Tonstein, dunkelgrau, im unteren Teil gebietsweise schwach kalkhaltig, im oberen Abschnitt zunehmend schluffig und teilweise ebenfalls kalkhaltig.

Alter: Frühes Aalenium, teilweise ab spätem Toarcium.

Logcharakteristik

Wenig gegliederte Gamma- und Widerstandskurven mit mittel- bis hochfrequenten Ausschlägen geringer Amplitude bei schwach gewölbtem Verlauf der Mittelwerte: gegenüber unten etwas höhere Strahlungs- und etwas geringere Widerstandswerte in der Mitte der Abfolge, nach oben nur wenig verändert.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Braunjura Alpha, Untere Braunjuratone.

F: Marnes à nodules à Leioceras opalinum

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. Oberflächennah früher Rohstoffgewinnung.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, Contini 1967, BRGM 1979, Ohmert et al. 1996, Groschopf et al. 1996, Franz & Nitsch 2009, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.8

Atlasblätter

4.5





2.2.2.6 Unterjura (D, CH) / Lias (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Basis der Opalinuston-Fazies, die chronostratigraphisch gebietsweise diachron zwischen Frühem Jura (Spätes Toarcium) und Mittlerem Jura (Aalenium) schwankt. Untergrenze ist die Basis der Pylonotenbank oder ihrer Äquivalente auf den meist kalkfreien Ablagerungen des Mittleren oder Oberen Keuper.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Basis der Opalinuston-Formation / Marnes à Leioceras opalinus bis zur Jurabasis. Überwiegend graue Tonsteine und Tonmergelsteine, Mergelsteine und Kalksteinbänke.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen südlich etwa Landau – Heidelberg.
Bis über 200 m, nach Süden auf unter 30 m abnehmend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

In Deutschland und Frankreich gleich abgegrenzte, aber unterschiedlich benannte Formationen, in der Schweiz zu einer Formation zusammengefasst.

D: (von oben) Jurensismergel-, Posidonienschiefer-, Amaltheenton-, Numismalimergel-, Obtususton- und Langenbrücken-Formation, im Süden als Vertretung letzterer Arietenkalk-, Angulatenton- und Pylonotenton-Formation;

F: Marnes à *Lytoceras jurensis*, Schistes carton, Marnes à *Reineckeia anceps*, Marnes à *Amaltheus margaritatus*, Marnes à *Zeilleria numismalis*, Marnes d'Obermodern, Calcaires et marnes de Hochfelden;

CH: Staffelegg-Formation.

Alter: Spätes Toarcium bis Frühes Oxfordium.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise, Links

Schnaebeler 1948, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.9, 2.2.2.6.1 - 2.2.2.6.7

Atlasblätter

4.5



2.2.2.6.1 Jurensismergel-Formation (D) / Marnes à *Lytoceras jurensis* (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze bildet der Übergang in die kalkarmen bis kalkfreien Tonsteine der Opalinuston-Formation bzw. Marnes d'Obermodern. Die Faziesgrenze kann lokal undeutlich und über mehrere Profilmeter fließend sein. Die Basis ist die Obergrenze der bituminösen Mergelsteine der Posidonienschiefer-Formation bzw. Schistes carton. In der Schweiz abgelöst von Teilen der Staffelegg-Formation.

Kurzbeschreibung

Graue Mergelsteine mit Kalksteinbänken, gebietsweise mit Kalkstein- und Phosphoritknollen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen südlich Wiesloch und Speyer, Langenbrückener Senke, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit schwankend, weniger als 5 m bis über 20 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Keine lithologische Gliederung. Die Formation umfasst biostratigraphisch mehrere Ammonitenzonen.

Alter: Spätes Toarcium.

Logcharakteristik

In Gamma- und Widerstandslog meist nur wenige Ausschläge höherer Frequenz und mittlerer Amplitude im Übergang von den hohen Strahlungs- und Ohmwerten des Posidonienschiefers / Schistes carton zu den geringeren und gleichmäßigen Werten des Opalinustons / Marnes d'Obermodern.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Schwarzjura Zeta.

F: Marnes argileuses, Couches à *Lytoceras jurensis* et Marnes à *Pleydellia aalensis*, Toarcien moyen et supérieur.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.9

Atlasblätter

4.5





2.2.2.6.2 Posidonienschiefer-Formation (D) / Schistes carton (F)

Stratigraphische Grenzen

Ober- und Untergrenze sind durch Ein- und Aussetzen von bituminösen Mergelsteinen gegen graue, meist bioturbirte Mergelsteine und Kalksteinbänke der hangenden Jurensismergel-Formation bzw. der Marnes à *Lytoceras jurense* bzw. der liegenden Amaltheenton-Formation bzw. Marnes à *Amaltheus margaritatus*.

In der Schweiz abgelöst von Teilen der Staffelegg-Formation.

Kurzbeschreibung

Schwarzgraue bituminöse Mergelsteine und Kalksteinbänke mit Pyrit, meist feingeschichtet und blättrig aufspaltend.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben und Randschollenzone südlich Wiesloch und Speyer, Langenbrückener Senke, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit bis über 10 m, schwankend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Keine lithologische Gliederung. Die Formation umfasst biostratigraphisch mehrere Ammonitenzonen.

Alter: Frühes Toarcium.

Logcharakteristik

In Gamma- und Widerstandslog mittel- bis hochfrequenten Ausschläge mittlerer Amplitude bei höheren Mittelwerten als die Schichten im Hangenden und Liegenden, oft mit scharfer Untergrenze und deutlichem Anstieg und nach oben sägezahnartig abfallenden Mittelwerten. Im basalen Anstieg ist gelegentlich der Costatenkalk der liegenden Amaltheenton-Formation als Zwischenspitze integriert.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Schwarzjura Epsilon

F: Schistes à Posidonies, Toarcien inférieur.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.9

Atlasblätter

4.5



2.2.2.6.3 Amaltheenton-Formation (D) / Marnes à *Amaltheus margaritatus* (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze liegt über den Kalksteinbänken bzw. der Kalksteinbank des Costatenkalks an der Basis der bituminösen Gesteine der Posidonienschiefer-Formation bzw. der Schistes carton.

Die Untergrenze ist am Fazieswechsel von den stärker kalkigen Mergelsteinen der Numismalismergel-Formation bzw. Marnes à Zeilleria numismalis in die Tonmergelsteine des Amaltheentons definiert.

In der Schweiz abgelöst von Teilen der Staffelegg-Formation.

Kurzbeschreibung

Dunkelgraue schluffige Tonmergelsteine mit einzelnen Kalksteinbänken und sideritisch-kalkigen Konkretionen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Ober rheingraben und Randschollenzonen südlich Wiesloch und Speyer, Langenbrückener Senke, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit bis über 40 m, nach Süden abnehmend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Im Dach der Formation ist ein höchstens wenige Meter mächtiger, schwach feinsandiger Horizont mit einer oder wenigen hellgrauen bioturbierten Kalksteinbänken ausgebildet, der Costatenkalk bzw. Calcaire gréseux à *Pleuroceras spinatum*.

Darunter besteht der Hauptteil der Formation aus eintönigen dunkelgrauen schluffigen, teilweise schwach feinsandigen Tonmergelsteinen, in die vereinzelt Kalksteinbänke und -knollen sowie schalig verwitternde sideritisch-kalkige Konkretionen („Toneisenstein-Geoden“, „ovoïdes“) eingelagert sind.

Alter: Spätes Pliensbachium.

Logcharakteristik

Im Gammalog stellt die Formation ein Intervall mittlerer Strahlungswerte bei niedrigen Amplituden wechselnder Frequenz dar. Die Werte liegen höher als in der liegenden Numismalismergel-Formation / Marnes à Zeilleria numismalis und niedriger als in der hangenden Posidonienschiefer-Formation / Schistes carton. Unmittelbar unter dem Costatenkalk / Calcaire à *Pleuroceras spinatum* ist lokal eine Zone stärkerer Ausschläge entwickelt, während der untere Teil der Formation meist wenig gegliedert ist.

Im Widerstandlog stellt die Formation ein Intervall niedriger Werte zwischen den stärkeren Ausschlägen der Numismalismergel-Formation / Marnes à Zeilleria numismalis und Posidonienschiefer-Formation / Schistes carton dar.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Schwarzjura Delta, Mittlere Schwarzjuratone.

F: Domérien, Marnes à ovoïdes = Domérien inférieur, Calcaire gréseux à *Pleuroceras spinatum* = Domérien supérieur

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Schnaebelé 1948, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011.





Kapitelverweise

2.2.1.9

Atlasblätter

4.5



2.2.2.6.4 Numismalimergel-Formation (D) / Marnes à Zeilleria numismalis (F)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist der Faziesübergang in weniger kalkhaltige Tonmergelsteine der Amaltheenton-Formation / Marnes à *Amaltheus margaritatus*. Gebietsweise erfolgt der Fazieswechsel unmittelbar über der Davoeibank / Calcaire à *Productylioceras davoei*, in anderen Gebieten jedoch erst etwas höher.

Untergrenze ist die Basis grauer kalkig-mergeliger Sedimente über den kalkarmen schwarzgrauen Tonsteinen der Obtususton-Formation / Marnes d'Obermodern.

In der Schweiz abgelöst von Teilen der Staffelegg-Formation.

Kurzbeschreibung

Graue bis dunkelgraue schluffige Mergelsteine mit Kalksteinbänken, meist deutlich bioturbiert.

Verbreitung, Mächtigkeit

Ober rheingraben und Randschollenzonen südlich Wiesloch und Speyer, Langenbrückener Senke, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit schwankend von unter 5 m bis über 10 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Abgesehen von einzelnen stratigraphisch leitenden Kalksteinbänken keine lithologische Gliederung. Die Formation umfasst biostratigraphisch mehrere Ammonitenzonen.

Alter: Frühes Pliensbachium

Logcharakteristik

Im Gamma- und Widerstandslog stellt die Formation ein auf wenige Meter begrenztes Intervall mit niedrigen Strahlungs- und hohen Widerstandswerten zwischen den tonigeren Abfolgen im Liegenden und Hangenden dar, das teils blockige, teils glockenförmige Form aufweist und meist durch einige hochfrequente Ausschläge niedriger Amplitude gegliedert erscheint.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Schwarzjura Gamma.

F: Marnes de Zinswiller, Carixien.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.9

Atlasblätter

4.5





2.2.2.6.5 Obtususton-Formation (D) / Marnes d'Obermodern (F)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist das Einsetzen bioturbierter Mergelsteine der Numismalimergel-Formation / Marnes à *Zeilleria numismalis* über den Tonmergelsteinen der Obtususton-Formation / Marnes d'Obermodern bzw. einer darin eingelagerten Obliquabank / Calcaire à *Echioceras raricostatum*.

Untergrenze ist die Basis der feinsandigen Tonmergelsteine der Formation über den Tonmergelstein-Kalkstein-Wechselfolgen der Langenbrücken-Formation und Äquivalenten / Marnes de Hochfelden.

In der Schweiz abgelöst von Teilen der Staffelegg-Formation.

Kurzbeschreibung

Dunkelgraue, meist feinsandige Tonmergelsteine, an der Obergrenze gebietsweise mit einer bis metermächtigen Kalksteinbank.

Verbreitung, Mächtigkeit

Ober rheingraben und Randschollenzonen südlich Wiesloch und Speyer, Langenbrückener Senke, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit bis über 50 m, nach Süden abnehmend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Abgesehen von der nur im südlichen Oberrheingraben entwickelten Obliquabank / Calcaire à *Echioceras raricostatum* keine lithologische Gliederung. Die Formation umfasst biostratigraphisch mehrere Ammonitenzonen.

Alter: Spätes Sinemurium.

Logcharakteristik

In Gamma- und Widerstandslog kaum durch Ausschläge niedriger Amplitude gegliedertes Intervall hoher Strahlungs- und niedriger Widerstandswerte.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Schwarzjura Beta.

F: Lotharingien, Marnes grises.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise

Schnaebele 1948, BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.9

Atlasblätter

4.5



2.2.2.6.6 Langenbrücken-Formation und Äquivalente (D) / Calcaire et marnes de Hochfelden (F)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist die Basis der geschlossenen Tonsteinabfolge der Obtususton-Formation / Marnes d'Obermodern.

Untergrenze ist das Einsetzen von Kalksteinbänken und Tonmergelsteinen über den kalkfreien oder dolomitischen Gesteinen des Keupers.

In der Schweiz abgelöst von Teilen der Staffelegg-Formation.

Kurzbeschreibung

Wechsellagerung von Tonmergelsteinen oder Mergelsteinen mit Kalksteinbänken, nach Norden zunehmend mit bituminösen Horizonten.

Verbreitung, Mächtigkeit

Ober rheingraben und Randschollenzonen südlich Wiesloch und Speyer, Langenbrückener Senke, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit 20–45 m, südlich des Kaiserstuhls auf wenige Meter abnehmend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Nördlich des Kaiserstuhls lithologisch ungegliederte Wechselfolgen von Kalksteinbänken und Mergelsteinen, lagenweise stark bituminös.

Im südlichen Grabenabschnitt Übergang in oberen kalkigen Abschnitt (D: Arietenkalk-Formation) und untere tonmergelige Schichtfolge (D: Pilonotenton-Formation und Angulatenkalk).

Alter: Hettangium bis frühes Sinemurium.

Logcharakteristik

In typischer Ausbildung der Langenbrücken-Formation Intervall mit mittel- bis hochfrequenten Ausschlägen geringer Amplituden bei mittleren Strahlungswerten (Gammalog) bzw. höherem Widerstand. Im Norden teilweise hoher Widerstand nahe der Basis, mit hohen Amplituden, und nach oben sägezahnartig abnehmend.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Schwarzjura Alpha.

F: Hettangien, Hettangien-Sinemurien s.str., Calcaires et marnes à Gryphées.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise, Links

Schnaebeler 1948, BRGM 1979, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

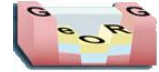
Kapitelverweise

2.2.1.9

Atlasblätter

4.5





2.2.2.6.7 Staffelegg-Formation (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist der Übergang zur Opalinuston-Formation.

Untergrenze ist die Basis kalkhaltiger Gesteine über den dolomitischen oder Karbonatfreien Gesteinen des Keupers.

Kurzbeschreibung

Schluff-, Mergel- und Tonmergelsteine mit Kalksteinbänken als geringmächtige Ausbildung des gesamten Unterjura in der Schweiz.

Verbreitung, Mächtigkeit

Nordschweiz, zwischen der Doubs und dem Weisenstein im Westen und dem Randen-Gebiet nördlich von Schaffhausen im Osten

Mächtigkeit: 25–50m

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Überwiegend Tonmergelsteine und Tonsteine, abschnittsweise bituminös, mit eingeschalteten Kalksteinbänken oder Schluffsteinen. Gliederung in mehrere lithologisch unterscheidbare Member von unterschiedlicher regionaler Verbreitung, die teilweise den Formationen des übrigen Oberrheingrabens entsprechen (s. Reisdorf et al. 2011).

Alter: Hettangium bis Toarcium.

Logcharakteristik

Nicht bearbeitet.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Zahlreiche lokale Bezeichnungen für Teilabschnitte (Reisdorf et al. 2011).

Nutzungsmöglichkeiten

Im Projektgebiet keine.

Literaturhinweise

Reisdorf et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.9

Atlasblätter

4.5



2.2.2.7 Keuper

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Basis der Pilonotenbank oder ihrer Äquivalente. Untergrenze ist die Basis der Erfurt-Formation (D), des Lettenkeupers (CH) und der Lettenkohle moyen (F) auf den Dolomitsteinen des Oberen Muschelkalks bzw. des Dolomie inférieure der Lettenkohle (F).

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Jurabasis bis zur Basis der Erfurt-Formation und ihrer Äquivalente. Überwiegend bunte, unten und oben auch graue Tonsteine mit Dolomitsteinbänken, im oberen und mittleren Abschnitt mit Sandsteinbänken, in der Mitte und unten mit Anhydrit oder Gips.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheinigraben und Randschollenzonen südlich etwa Neustadt a.d.W. – Ladenburg.
Bis über 300 m, nach Süden abnehmend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Gliederung in Deutschland und Frankreich

D: (von oben) Exter-, Arnstadt- oder Trossingen- und Löwenstein, Mainhardt- und Steigerwald-, Stuttgart-, Grabfeld- und Erfurt-Formation.

F: Rhétien, Marnes irisées supérieures, Marnes irisées moyennes, Marnes irisées inférieures, Lettenkohle supérieur et moyen.

CH: Oberkeuper, Steinmergelkeuper, Schilfsandstein, Gipskeuper, Lettenkeuper.

Alter: Spätes Ladinium bis Rhätium.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise, Links

Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.10, 2.2.2.7.1, 2.2.2.7.2, 2.2.2.7.3, 2.2.2.7.4, 2.2.2.7.5, 2.2.2.7.6, 2.2.2.7.7

Atlasblätter

4.6





2.2.2.7.1 Exter-Formation (D) / Rhétien (F) / Oberkeuper (CH)

Stratigraphische Grenzen

Überlagerung durch Kalksteine und kalkige Tonmergelsteine der Pylonotenton- oder Langenbrücken-Formation.

Transgressive Auflagerung von grauen Ton-, Sand- oder Dolomitsteinen auf rotbraunen und bunten Tonsteinen der Trossingen- oder Arnstadt-Formation.

Kurzbeschreibung

Graue oder grüne Tonsteine und Sandsteine des Oberen Keupers.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich etwa Landau–Heidelberg (einschließlich Randsenken), Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Im mittleren und nördlichen Oberrheingebiet bis 18 m, im südlichen Grabenbereich auf wenige Dezimeter reduziert. Kann örtlich auskeilen.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben graue bis grüngraue und schwarzgraue kalkfreie Tonsteine, gebietsweise sandig oder mit dünnen Sandsteinlagen.

Darunter besonders im Norden graue oder gelbliche Sandsteine, fein- bis mittelkörnig, örtlich mit grobkörnigen Lagen. Die Sandsteine keilen nach Süden aus und fehlen zwischen Schwarzwald und Vogesen weitgehend.

Im Raum Karlsruhe-Bruchsal können an der Basis graue Dolomitsteine oder Tonstein-Dolomitstein-Wechselagerungen auftreten.

Alter: Rhätium.

Logcharakteristik

Im Norden zeigt sich die Zweiteilung in „Rhättone“ (oben) und „Rhätsandstein“ (unten) durch ein U-förmiges Minimum der Widerstandskurve unter dem Unterjura und darunter einigen Ausschlägen mittlerer bis hoher Amplitude, nach unten abnehmend, über den niedrigeren Amplituden des Mittleren Keupers. Im Südgraben zwischen Schwarzwald und Vogesen ist nur das U-förmige Intervall der Tonsteine ausgebildet, deren Gammalog teilweise eine stufige Zweiteilung in oben höhere und unten mittlere Strahlungswerte zeigt. Einzelheiten s. Lutz & Etzold (2003).

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D, CH: Rhät, Rhätkeuper, Rhätsandstein und Rhätton.

F: Couches à Rhaetavicula contorta, Argiles de Levallois, Marnes grès et argiles de Reichshoffen

Nutzungsmöglichkeiten

Mächtiger Sandsteinbänke wurden örtlich als Erdöl-Speichergestein angetroffen.

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.10





Atlasblätter

4.6





2.2.2.7.2 Arnstadt-Formation (D) / Marnes irisées supérieures (F) / Oberer Steinmergelkeuper (CH)

Stratigraphische Grenzen

Die Arnstadt-Formation wird von geringmächtiger Exter-Formation oder direkt und flach diskordant von Unterjura überlagert.

Die Basis ist mit dem Einsetzen dolomitischer Tonsteine und toniger Dolomitsteine über der Diskordanz definiert. Im Liegenden finden sich gebietsweise rotbraune Tonsteine der Roten Wand (Steigerwald-Formation / Marnes irisées moyennes / Obere Bunte Mergel der Schweiz), gebietsweise unmittelbar Dolomitsteine des Hauptsteinmergels bzw. Dolomie d'Elie de Beaumont (CH: Gansingen-Dolomit).

Nach Norden und Osten geht die Formation mit zunehmendem Anteil von Sandstein-Einlagerungen in Löwenstein- und Trossingen-Formation über.

Kurzbeschreibung

Bunte dolomitische Tonsteine mit Dolomitsteinbänken, diskordant auf älteren Keuperschichten gelagert.

Verbreitung, Mächtigkeit

In typischer Ausbildung im Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich etwa Emmendingen – Selestat sowie außerhalb des Projektgebietes. In Frankreich werden die Sandstein führenden Bereiche nicht als gesonderte Formation abgetrennt. Nach Norden durch zunehmenden Sandstein-Einschaltungen in die Löwenstein-Formation übergehend. Am Hochrhein geht die Arnstadt-Formation im Raum Bad Säckingen nach Osten ebenfalls in die Löwenstein-Formation über (Stubensandstein in Hochrheinfazies).

Mächtigkeit: 10–30 m.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Dolomitische Tonsteine mit tonigen Dolomitsteinbänken, rotbraun und grün bis grüngrau.

Alter: Norium

Logcharakteristik

Im Gammalog wenig gegliedertes Intervall mit mittleren Strahlungswerten, im unteren Teil örtlich höhere Werte, niedrige Amplituden.

Widerstandslog zeigt niedrigohmiges Intervall mit geringen Ausschlägen. Mit Einschaltung von Sandsteinen treten besonders im unteren Bereich Spitzen mit hoher Amplitude hinzu. Einzelheiten s. Lutz & Etzold (2003).

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Steinmergelkeuper (teilweise), Steinmergel, Oberer Gipskeuper.

F: Keuper supérieur (partim).

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.10

Atlasblätter

4.6



2.2.2.7.3 Löwenstein- und Trossingen-Formation (D)

Stratigraphische Grenzen

Die Trossingen-Formation stellt den oberen Abschnitt dieses Intervalls und wird durch graue oder grüne Ton- und Sandsteine der Exter-Formation überlagert, wobei unter der Grenze eine geringmächtige grüne Entfärbungszone auftreten kann. Die Grenze der Trossingen-Formation zur liegenden Löwenstein-Formation ist durch die Oberfläche von deren obersten Sandsteinen definiert.

Die Basis der Löwenstein-Formation liegt diskordant auf tieferen Einheiten des Keupers, im Norden auf der Mainhardt-Formation (F: Argiles de Chanville), Südlich etwa Bühl auf der Steigerwald-Formation (F: Marnes rouges, Dolomie d'Elie de Beaumont; CH: Obere Bunte Mergel, Gansingen-Dolomit).

Kurzbeschreibung

Rotbraune oder bunte Tonsteine und sandig-schluffige Tonsteine mit örtlich wechselnden Einlagerungen von Sandsteinen, untergeordnet mit Karbonatbänken.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzonen nördlich etwa Selestatt – Emmendingen und südlich etwa Landau–Heidelberg (einschließlich Randsenken), Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes. Nach Süden durch Aussetzen der Sandsteinbänke Übergang in Arnstadt-Formation.

Nördlich des Schwarzwaldes zusammen bis > 90 m, davon Trossingen-Formation ca. 30–35 m. Die Mächtigkeit des Abschnitts nimmt im Raum Karlsruhe nach Süden rasch ab auf meist 20–30 m zwischen Karlsruhe und dem Kaiserstuhl.

Eingangsdaten

Bohrdaten, kleine Ausstrichgebiete am Grabenrand.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben Trossingen-Formation: Sandfreie rotbraune, violette und grünfleckige Tonsteine mit einzelnen Dolomitsteinknollen.

Darunter Löwenstein-Formation: rotbraune oder bunte schluffige Tonsteine, sandige Tonsteine und lateral stark wechselhafte Einlagerungen von Sandstein, fein- bis grobkörnig. Besonders im nördlichen Gebiet lagenweise Dolomit- und Kalksteinbänke oder Karbonatknollen. In den untersten Metern können Anhydritknollen auftreten.

Alter: Norium.

Logcharakteristik

Im Gammalog oben mittlere bis hohe Strahlungswerte bei wechselnden Frequenzen und mittleren bis niedrigen Amplituden, unten mit Einsetzen der Sandsteine rasche starke Wechsel zwischen hohen und niedrigen Strahlungswerten.

Im Widerstandslog oben mittlere und wechselhafte Amplituden wechselnder Frequenz (Trossingen-Formation), die nach unten in mittel- bis hochfrequente hochohmige Ausschläge übergehen (Löwenstein-Formation). Einzelheiten s. Lutz & Etzold (2003).

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Steinmergelkeuper, Stubensandstein, Oberer Gipskeuper;

In Frankreich zu den Marnes irisées supérieures gerechnet.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.





Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011
Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.10

Atlasblätter

4.6



2.2.2.7.4 Mainhardt- und Steigerwald-Formation (D) / Marnes irisées moyennes (F) / Unterer Steinmergelkeuper (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze dieses Intervalls ist die Diskordanz an der Basis der Löwenstein- und Arnstadt-Formation bzw. der Marnes irisées supérieures oder des Oberen Steinmergelkeupers der Schweiz.

Im Raum Bruchsal-Wiesloch bilden mehrere tonige Anhydritsteinbänke (aus Sulfatknollen) mit geringen Tonstein-Zwischenlagen das Dach der Mainhardt-Formation (Heldburg-Sulfathorizont). Südlich von Karlsruhe ist die Mainhardt-Formation teilweise, südlich Bühl vollständig unter der hangenden Diskordanz erodiert, südlich Emmendingen sind oft nur basale Teile der Steigerwald-Formation erhalten.

Basis ist die Untergrenze des Beaumont-Horizonts (Beaumont-Dolomit bzw. Hauptsteinmergel im südlichen Oberrheingraben, Beaumont-Sulfat nördlich des Schwarzwaldes) über den Dunklen Mergeln (= Schweiz: „Untere Bunte Mergel“) der Stuttgart-Formation.

Kurzbeschreibung

Bunte Tonsteine mit Anhydritknollen und -bänken, oberflächennah mit Gips, an der Basis (im Süden) und im höheren Teil (im Norden) mit Dolomitsteinbänken, besonders südlich Karlsruhe diskordant unter dem höheren Keuper reduziert.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich etwa Landau–Heidelberg (einschließlich Randsenken), sowie außerhalb des Projektgebietes.

Nördlich des Schwarzwaldes bis > 60 m, im Raum Karlsruhe nach Süden rasch abnehmend auf wenige Meter.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete außerhalb des Oberrheingrabens.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben, soweit vorhanden, die Mainhardt-Formation (ungefähr: Argiles de Chanville in Frankreich): Wechselfolgen von Tonsteinen, Dolomitsteinbänken, Anhydritknollen und tonigen und knolligen Anhydritsteinbänken.

Die liegende Steigerwald-Formation besteht aus rotbraunen Tonsteinen mit Anhydritknollen (Rote Wand bzw. Untere Bunte Mergel in Deutschland; in der Schweiz: Obere Bunte Mergel, in Frankreich Marnes rouges) und einem mehrere Meter mächtigen Paket aus Dolomitsteinbänken an der Basis (Beaumont-Dolomit bzw. Hauptsteinmergel in Deutschland, Dolomit d'Elie de Beaumont in Frankreich, Gansingen-Dolomit in der Schweiz), der nach Norden in Anhydritsteine (Beaumont-Sulfat) übergeht. In vollständigen Profilen (mit erhaltener Mainhardt-Formation) treten auch im Dach der Steigerwald-Formation dünne Dolomit- und (im Norden) massive Anhydritbänke auf.

Alter: Karnium.

Logcharakteristik

Gammalog im Südgraben mit mittleren bis niedrigen Amplituden hoher Frequenz und von unten nach oben ansteigenden Strahlungswerten. Im Norden nicht untersucht.

Widerstandslog im Norden stark gegliedert durch sehr hochohmige Anhydrit Horizonte unten, in der Mitte und oben, zwischen denen niedrigohmige Tonstein-Intervalle mit einzelnen Spitzen mit mittlerer bis hoher Amplitude liegen. Im Süden ist das Log meist niedrigohmig und wenig gegliedert (Tonfazies, wenig Anhydrit). Einzelheiten s. Lutz & Etzold (2003).

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Bunte Mergel, Rote Mergel (Kraichgau: mit höherer Obergrenze),





F: Dolomie-moellon (für Dolomit d'Elie de Beaumont).

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes.

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011
Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.10

Atlasblätter

4.6





2.2.2.7.5 Stuttgart-Formation (D) / Grès à roseaux (F) / Schilfsandstein (CH)

Stratigraphische Grenzen

Das Dach der Formation wird von der Basis des Beaumont-Dolomits oder -Sulfats der Steigerwald-Formation, des Dolomite d' Elie de Beaumont bzw. des Gansingen-Dolomits gebildet.

Die Untergrenze ist diskordant in die liegenden Tonsteine und Anhydritsteine der Grabfeld-Formation eingeschnitten und stellt ein Paläorelief aus flachen Taleinschnitten dar.

Kurzbeschreibung

Lateral rasch wechselnde Abfolgen von grauen und rotbunten schluffigen Tonsteinen und Glimmer führenden Fein- bis Mittelsandsteinen. Die Mächtigkeit kann über wenige Kilometer Entfernung erheblich schwanken.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzone südlich etwa Landau–Heidelberg (einschließlich Randsenken), Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Die Mächtigkeit schwankt kleinräumig stark zwischen < 10 m und > 30 m (Auffüllung von flachen Talformen im Dach der Grabfeld-Formation).

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

In den obersten Metern sind verbreitet violette bis bunte Tonsteine und sandige Tonsteine entwickelt (D: Dunkle Mergel; CH: Untere Bunte Mergel; in Frankreich teilweise als Marnes irisées moyennes bezeichnet, was teilweise auch auf die höheren Schichten bezogen wurde).

Schluff- und Tonstein, teilweise sandig, dunkelgrau, violett oder rotbraun in engem seitlichen und vertikalem Wechsel mit Sandstein, fein- bis mittelkörnig, tonig oder anhydritisch gebunden, grau, grün oder rotbraun, lokal in größeren Mächtigkeiten. Örtlich sind schluffige Kohlebänke oder geringmächtige Dolomitsteinlagen eingeschaltet.

Alter: Karnium.

Logcharakteristik

Entsprechend der lateral sehr wechselhaften Fazies sehr unterschiedlich, teils wenig, teils stark gegliederte Gamma- und Widerstandslogs. Auch in benachbarten Bohrungen oft unterschiedlich, wodurch sich dieses Intervall von den besser korrelierbaren Bereichen darunter und darüber abhebt.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Schilfsandstein-Formation, Schilfsandstein.

F: Grès à roseaux et Marnes irisées moyennes (z. B. in BRGM 1979)

CH: Schilfsandstein und Untere Bunte Mergel.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. Gebietsweise wurde in den Sandsteinen Erdöl angetroffen. In den Ausstrichgebieten historische Bausteingewinnung (heute nur außerhalb des Projektgebietes).

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise 2.2.1.10

Atlasblätter 4.6





2.2.2.7.6 Grabfeld-Formation (D) / Marnes irisées inférieures (F) / Gipskeuper (CH)

Stratigraphische Grenzen

Diskordant überlagert durch graue Tonsteine und Sandsteine der Stuttgart-Formation. Die Grenzfläche stellt ein Erosionsrelief dar, dessen Talzüge bis über 30 m in die Schichten der Grabfeld-Formation eingeschnitten sein können.

Die Basis wird von 20–30 m mächtigen Anhydritsteinen („Grundgipsschichten“) über dem Grenzdolomit (F: Dolomie limité) bzw. den Grünen Mergeln der Erfurt-Formation bzw. des Lettenkeupers (F: Lettenkohle) gebildet.

Kurzbeschreibung

Wechselfolge von bunten und grauen Ton- und Anhydritsteinen, oberflächennah mit Gips, untergeordnet Dolomitsteinbänke.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberreingraben und Randschollenzzone südlich etwa Landau–Heidelberg (einschließlich Randsenken), Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit im Projektgebiet meist zwischen 100 und 130 m, durch das Erosionsrelief unter der Stuttgart-Formation kleinräumig schwankend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Abfolge ist durch Leithorizonte mit Dolomitsteinbänken sowie wechselnde Anteile von Anhydrit und das Auftreten von Paläoböden mit Anhydritknollen zyklisch gegliedert, was in Deutschland und der Schweiz zu einer Einteilung in drei Member herangezogen wird.

Alter: Ladinium bis Karnium.

Logcharakteristik

Gamma- und Widerstandslog stark gegliedert durch hochfrequente Ausschläge mittlerer und hoher Amplitude. Mehrere hochohmige Intervalle mit niedrigen Strahlungswerten im Bereich massiver Anhydritzone, teilweise Einzelspitzen an Dolomitsteinbänken, dazwischen höhere Strahlungswerte mit niedrigem Widerstand in den Tonsteinabschnitten. Oberflächennahe Vorkommen zeigen teilweise weniger stark gegliederte Logs.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Gipskeuper-Formation, Gipskeuper, Unterer Gipskeuper

F: Gîte salifère, Keuper inférieur

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. In den Ausstrichgebieten örtlich Gipsabbau oder Verwendung der Tonsteine zur Bodenverbesserung.

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise 2.2.1.10

Atlasblätter4.6



2.2.2.7.7 Erfurt-Formation (D) / Lettenkohle moyen et supérieur (F) / Lettenkeuper (CH)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze ist durch die Basis der mehrere Meter mächtigen Anhydritabfolge der Grundgipsschichten der Grabfeld-Formation definiert.

Die Basis bildet die Dachfläche der Kalksteine oder feinkristallinen Dolomitsteine des Muschelkalks. Die Abgrenzung der elsässischen „Lettenkohle“ als Teil des Oberen Muschelkalks erfolgte in einigen Profile ähnlich, meistens jedoch tiefer innerhalb der Muschelkalk-Dolomite, aus denen ein „Dolomie inférieure“ der Lettenkohle abgetrennt wurde (hier als Teil des Muschelkalks aufgefasst).

Kurzbeschreibung

Wechselfolge von grauen Tonsteinen mit Dolomitsteinbänken. Besonders im Norden sind untergeordnet Feinsandsteine in lateral rasch wechselnder Mächtigkeit eingeschaltet. Kohlige Gesteine sind im Oberrheingebiet unbedeutend.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzzone südlich etwa Landau–Heidelberg (einschließlich Randsenken), Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes.

Mächtigkeit nördlich des Schwarzwaldes bis > 30 m, nach Süden auf ca. 10 m am Hochrhein abnehmend.

Eingangsdaten

Bohrdaten, kleine Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Graue dolomitische Tonsteine mit Dolomitsteinbänken, im mittleren Teil örtlich wechselnde Einlagerungen von braungrauem oder gelblichem, fein- bis mittelkörnigem Sandstein. Besonders in der oberen Hälfte können Anhydritknollen und eine Anhydritbank auftreten (oberflächennah in Gips umgewandelt).

Alter: Ladinium.

Logcharakteristik

Gammalog mit starken Ausschlägen besonders unten und oben, hohe Amplituden mit mittlerer bis hoher Frequenz, Muster in der oberen Hälfte lokal wechselhaft. Im Log liegt die Basis am Beginn des Anstiegs der unteren GR-Spitze.

Widerstandslog mit niedrigohmigen Werten und wechselnd niedrigen bis mittleren Amplituden mittlerer Frequenz.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Kohlenkeuper, Lettenkohle.

F: Lettenkohle (partim: ohne Dolomie inférieure, nur Marnes bariolées und Dolomie limite).

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. Örtlich wurde in den klüftigen Dolomitsteinbänken und Sandsteinen Erdöl angetroffen.

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, Lutz & Etzold 2003, DSK 2005, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise 2.2.1.10

Atlasblätter 4.6





2.2.2.8 Muschelkalk

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Basis der Erfurt-Formation (D), des Lettenkeupers (CH) und der Lettenkohle moyen (F) auf den Dolomitsteinen des Oberen Muschelkalks bzw. des Dolomie inférieure der Lettenkohle (F).

Untergrenze des lithostratigraphischen Mitteljura ist die Basis mariner grauer Sandsteine oder Karbonate über roten oder bunten Sandsteinen oder Tonsteinen des Buntsandsteins.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Basis der Erfurt-Formation und ihrer Äquivalente bis zur Basis Muschelkalk. Überwiegend graue Kalksteine, Dolomitsteine und Mergelsteine, in der Mitte mit Anhydrit oder Gips und gebietsweise mit Steinsalz. An der Basis treten im Westen des Grabens geringmächtige graue Sandsteine auf.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrrheingraben und Randschollenzonen südlich etwa Neustadt a.d.W. – Ladenburg.

Bis über 250 m, nach Süden abnehmend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Gliederung in Unteren, Mittleren und Oberen Muschelkalk erfolgt in Deutschland, Frankreich und der Schweiz in jeweils mehrere Formationen. Der Dolomie inférieure der französischen Lettenkohle entspricht in der Schweiz und Deutschland annähernd dem Trigonodusdolomit (bzw. Rottweil-Formation) des Oberen Muschelkalks, der übrige Teil der Lettenkohle wird hier als Erfurt-Formation bzw. Lettenkeuper zu Keuper gerechnet.

Der Mittlere Muschelkalk ist in Frankreich teilweise auf die evaporitische Abfolge beschränkt worden, was in Deutschland der Heilbronn-Formation entspricht. Die ‚Oberen Dolomite der Anhydritgruppe‘ (CH) bzw. Diemel-Formation (D) wurden in Frankreich teilweise jedoch auch als Dolomies cavernouses ebenfalls dem Muschelkalk moyen zugerechnet (BRGM 1979). Die Dolomitsteine und Dolomitmergel der ‚Orbicularisschichten‘ (CH) bzw. Dolomie à Myophoria orbicularis (F) werden in Deutschland als Karlstadt-Formation zum Mittleren, in Frankreich und der Schweiz zum Unteren Muschelkalk gerechnet.

An der Basis des Muschelkalks sind im westlichen Teil des Oberrrheingrabens (Frankreich, Rheinland-Pfalz) wenige Meter graue Sandsteine mit marinen Fossilien ausgebildet, die als Grès coquillier bzw. Udelfangen-Formation angesprochen werden. Die Sandfazies ist östlich des Rheins nur vereinzelt anzutreffen und verzahnt sich hier mit dem unteren Teil des Unteren Muschelkalks. Der tiefste Abschnitt des Muschelkalks in Baden-Württemberg und der Schweiz wird in Frankreich und Rheinland-Pfalz durch die terrestrische Fazies des Voltziensandsteins / Grès à Voltzia vertreten, der zum obersten Buntsandstein gerechnet wird.

D: (von oben) Oberer Muschelkalk (Rottweil-Formation, Meißner-Formation, Trochitenkalk-Formation), Mittlerer Muschelkalk (Diemel-Formation, Heilbronn-Formation, Karlstadt-Formation), Unterer Muschelkalk (Jena-Formation, Freudenstadt-Formation, Udelfangen-Formation).

F: Muschelkalk supérieur (Lettenkohle, Couches à Ceratites, Calcaires à entroques), Muschelkalk moyen (Dolomies cavernouses, Marnes gréseuses bariolées à gypse), Muschelkalk inférieur (Dolomie à Myophoria orbicularis, Zone marno-dolomitique, Grès coquillier).

CH: Oberer Muschelkalk (Trigonodus-Dolomit, Nodosus-Kalk, Trochitenkalk), Mittlerer Muschelkalk (Dolomit der Anhydritgruppe, Obere Sulfatzone, Steinsalzzone, Untere Sulfatzone), Unterer Muschelkalk (Orbicularis-Mergel, Wellenmergel, Wellendolomit).

Alter: Spätes Ladinium bis Rhätium.





Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme/ Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise

Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.11, 2.2.1.12, 2.2.2.8.1, 2.2.2.8.2, 2.2.2.8.3, 2.2.2.8.4, 2.2.2.8.5

Atlasblätter

4.6





2.2.2.8.1 Oberer Muschelkalk (D, CH) / Muschelkalk supérieur s. str. (F)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist die Grenze zwischen grobkörnigen Dolomitsteinen der Rottweil-Formation (D) / Dolomie inférieure de Lettenkohle (F) / Trigonodusdolomit (CH) und den hangenden Tonstein-Dolomitstein-Wechselfolgen der Erfurt-Formation (D) / Lettenkeuper (CH) bzw. den Marnes bariolées de Lettenkohle (F).

Untergrenze ist die Basis der Kalksteine über den Dolomitsteinen der Diemel-Formation (D) / Dolomies cavernouses (F) / Dolomitzone der Anhydritgruppe (CH).

Kurzbeschreibung

Graue Kalksteine mit marinen Fossilien, im Süden im höheren Teil in graue bis braune Dolomitsteine übergehend.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben und Randschollenzzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes

Mächtigkeit: 50–80 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben graue bis braune oder gelbbraune, gebankte, mittel- bis grobkörnige Dolomitsteine, teilweise verkarstet: Trigonodus-Dolomit der Rottweil-Formation (D), Dolomie inférieure de Lettenkohle (F), Trigonodusdolomit (CH).

Darunter im Süden graue bis bräunliche, feinkörnige oder Schill führende Dolomitsteinbänke mit Mergel-Zwischenlagen: Plattendolomit der Rottweil-Formation (D), in Frankreich und der Schweiz nicht von Kalkstein-Fazies unterschieden,

im Norden Kalksteinbänke mit Mergelstein-Zwischenlagen: Meißner-Formation (D), Couches à Ceratites (F), Nodosus-Kalk (CH).

Unten graue Bankkalksteine, lagenweise mit Crinoidenresten, gebietsweise mit oolithisch: Trochitenkalk-Formation (D), Calcaire à entroques (F), Trochitenkalk (CH).

Alter: Anisium bis Ladinium.

Logcharakteristik

Gammalog zeigt generell niedrige Strahlungswerte mit niedrigen bis mittleren Amplituden mittlerer bis hoher Frequenz. Der obere dolomitische Abschnitt stellt unverwittert ein blockartiges Intervall niedriger Werte dar, zeigt verkarstet jedoch unregelmäßige Ausschläge wechselnder Amplitude. Das Log zeigt häufig im oberen Drittel des Oberen Muschelkalks ein schwaches Maximum bei mittleren Strahlungswerten.

Widerstandslog zeigt hochfrequente hochohmige Ausschläge bei hohem Mittelwert, im oberen Abschnitt etwas nachlassend.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Trochitenschichten und Ceratitenschichten.

Nutzungsmöglichkeiten

Zusammen mit Diemel-Formation wichtiger Aquifer („Oberer Muschelkalk“ im weiteren Sinne). Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich. In den Ausstrichgebieten Kalksteinabbau, örtlich Dolomitsteingewinnung.





Literaturhinweise

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.11

Atlasblätter

4.6





2.2.2.8.2 Diemel-Formation (D) / Dolomies caverneuses de Muschelkalk moyen (F) / Dolomitzone der Anhydritgruppe (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist das Einsetzen von Kalksteinen der Trochitenkalk-Formation des Oberen Muschelkalks. Die Basis liegt an den ersten Dolomitsteinbänken über der oberen Sulfatschichten des Mittleren Muschelkalks.

Kurzbeschreibung

Graue bis braune Dolomitsteine, teilweise mit Sulfatknollen. Im Elsass sind die Dolomitsteine teilweise sandig und können in dolomitische Sandsteine übergehen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben und Randschollenzzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes
Mächtigkeit meist 10–15 m, örtlich zwischen 5 m und 20 m schwankend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Ungegliedert.

Alter: Anisium

Logcharakteristik

Gammalog ähnlich dem des Oberen Muschelkalks, jedoch oft mit höheren Amplituden und geringfügig höheren Mittelwerten.

Widerstandslog zeigt meist geringere Mittelwerte und größere Amplituden als der Obere Muschelkalk und geringere Mittelwerte als die Evaporitabfolge im Liegenden. Die Ausbildung der Logs ist jedoch regional etwas uneinheitlich und auch vom Auslaugungs- bzw. Verwitterungsgrad abhängig.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Obere Dolomite des Mittleren Muschelkalks, Obere-Dolomit-Formation.

Nutzungsmöglichkeiten

Bildet Zusammen mit dem Oberen Muschelkalk Teil des Aquifers „Oberer Muschelkalk“ i.w.S. Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.11

Atlasblätter

4.6



2.2.2.8.3 Heilbronn-Formation (D) / Muschelkalk moyen: Marnes gréseuses bariolées à gypse (F) / Anhydritgruppe: Steinsalz- und Sulfatzonen (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze sind die ersten Dolomitsteine der Diemel-Formation (D) / Dolomies cavernouses de Muschelkalk moyen (F) / Dolomitzone der Anhydritgruppe (CH).

Basis ist das Einsetzen von geschichteten Anhydrit- oder Gipssteinen (lokal unmittelbar von Steinsalz) über den Dolomitsteinen der Karlstadt-Formation (D) / Dolomie à Myophoria orbicularis (F) / Orbicularisschichten (CH).

Kurzbeschreibung

Anhydrit- oder Gipssteine mit grauen schluffig-tonigen Zwischenlagen, nach Westen zunehmend sandig und mit rotbraunen Lagen. Im Norden und Süden des Projektgebiets Steinsalz in örtlich mehreren Horizonten.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberreingraben und Randschollenzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, sowie außerhalb des Projektgebietes

Mächtigkeit: Im Projektgebiet bis > 80 m (Hochrhein), sonst je nach Erhaltung der Evaporite geringer (min. 30–50 m).

Eingangsdaten

Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

In Gebieten mit Steinsalz (Hochrhein, Kraichgau) ist die Formation in Obere Sulfatschichten (mit einem Zwischendolomit), darunter liegende Steinsalzschiefer und basale geringmächtige Untere Sulfatschichten gegliedert (D, CH). Bei fehlendem Steinsalz oder in ausgelaugten Profilen ungliedert.

Alter: Anisium.

Logcharakteristik

Gammalog lokal wechselhaft, abhängig vom Erhaltungszustand der Evaporite. Unverwittert (mit Anhydrit, Steinsalz) Intervall mit niedrigen Strahlungswerten und hochfrequenten Ausschlägen niedriger bis mittlerer Amplitude. Teilweise subdierte Profile (ohne Steinsalz, Anhydrit und / oder Gips) meist unten und oben niedrige Mittelwerte mit mittleren Amplituden, in der Mitte höhere Mittelwerte und hohe Amplituden mittlerer bis hoher Frequenz. Stärker subdierte Profile zeigen unregelmäßige Wechsel zwischen hohen und mittleren bis niedrigen Amplituden wechselnder Frequenz.

Widerstandslog zeigt hochohmiges Intervall mit mittleren bis hohen Amplituden hoher Frequenz, dessen Mittelwerte mit zunehmender Subrosion abnehmen, in der Mitte (Steinsalzzone) zuerst.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Salinar-Formation.

F: Muschelkalk moyen (auf dieses Intervall beschränkt).

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. Im Hochrheingebiet Solegewinnung aus dem Steinsalz. Lokal historischer Gipsabbau in Oberflächenvorkommen.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011





Kapitelverweise

2.2.1.12

Atlasblätter

4.6





2.2.2.8.4 Karlstadt-Formation (D) / Dolomie à Myophoria orbicularis (F) / Orbicularisschichten (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist das Einsetzen von geschichteten Anhydrit- oder Gipssteinen der Heilbronn-Formation (D) / Marnes gréseuses bariolées à gypse (F) / Steinsalz- und Sulfatzonen (CH).

Untergrenze ist die Basis der „Orbicularisschichten“ mit eben geschichteten Dolomit- und Mergelsteinen über den Wellenkalken der Jena- bzw. den sandigen Tonmergelsteinen der Freudenstadt-Formation.

Kurzbeschreibung

Dolomitmergelsteine und Dolomitsteinbänke an der Basis des Mittleren Muschelkalks, örtlich untergeordnet mit Anhydrit oder Gips.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrheingraben und Randschollenzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes

Mächtigkeit: 5–12 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Formell im Oberrheingebiet ungliedert. Eine Anhydritbank im mittleren Teil wird östlich des Schwarzwalds als Geislingen-Bank bezeichnet und zur Gliederung in Untere und Obere Orbicularisschichten verwendet.

Alter: Anisium.

Logcharakteristik

Im Gammalog hohe Strahlungswerte mit Ausschlägen hoher Amplitude und Frequenz, mit einem Minimum an der Anhydritbank in der Mitte. Grenze gegen den Unteren Muschelkalk undeutlich.

Im Widerstandslog hochohmige Ausschläge hoher Frequenz, ähnlich dem hangenden evaporitischen Intervall. An der Basis deutlicher Wechsel zu niedrigeren Amplituden des unteren Muschelkalks.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Orbicularis- und Cementschichten, Orbicularismergel und Untere Dolomite, Geislingen-Formation.

Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. Früher örtlich Zementrohstoffgewinnung im Ausstrichgebiet.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.12

Atlasblätter

4.6





2.2.2.8.5 Jena- und Freudenstadt-Formation (D) / Zone marno-dolomitique (F) / Wellenmergel und Wellendolomit (CH)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze dieses Intervalls ist der Übergang in sandfreie graue bis gelbliche Dolomitsteine und schwach bituminöse Tonmergelsteine der Karlstadt-Formation (D), Dolomie à *Myophoria orbicularis* (F), Orbicularisschichten (CH).

Untergrenze ist die Auflagerung auf rotbunten oder grünen karbonatfreien Klastika des Oberen Buntsandsteins oder auf dolomitischen Sandsteinen der Udelfangen-Formation (D) bzw. des Grès coquillier (F).

Kurzbeschreibung

Wechsel zwischen dunkelgrauen dolomitischen Tonmergelsteinen und Dolomitsteinbänken, lagenweise sandig, im Westen mit Sandsteinbänken. Im Norden und Süden des Gebiets geht der obere Teil in Kalkmergelsteine und Kalksteine über.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben und Randschollenzzone (einschließlich Randsenken) südlich etwa Landau–Heidelberg, sowie außerhalb des Projektgebietes

Mächtigkeit: über 30 m, bis 65 m im Norden.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

In Deutschland und der Schweiz Gliederung in zwei Formationen, die jeweils die Kalkstein- und Dolomitfazies darstellen.

Kalkstein-Fazies (im Norden und Süden des Gebiets, meist nur im oberen Teil) – graue Kalksteine und wellige Kalkmergelsteine: Jena-Formation (D) bzw. Wellenmergel (CH).

Zwischen Schwarzwald und Vogesen ist die Kalksteinfazies vollständig oder weit gehend durch die Dolomitfazies ersetzt, die im Norden und Süden nur den unteren Teil einnimmt.

Dolomitfazies – Dunkelgraue, teilweise sandige Dolomitmergelsteine mit Dolomitsteinbänken: Freudenstadt-Formation (D), Zone marno-dolomitique (F), Wellendolomit (CH).

In den östlich vom Oberrhingraben gelegenen Ausstrichgebieten ist eine Gliederung nach Leitbänken üblich (Geyer et al. 2011), die sich nur bedingt in den Bohrdaten anwenden lässt.

Alter: Anisium.

Logcharakteristik

Im Gammalog mittlere bis hohe Strahlungswerte mit wechselnd niedrigen, mittleren und hohen Amplituden hoher Frequenz. Ähnlich den Schichten im Liegenden und Hangenden, jedoch unregelmäßiger im Kurvenverlauf.

Widerstandslog mit hochfrequenten Ausschlägen mittlerer Amplitude bei mittleren bis gehobenen Mittelwerten, wobei die hochohmigen Werte der hangenden Karlstadt-Formation / Dolomie à *M. orbicularis* / Orbicularismergel nicht erreicht werden. Grenze zur liegenden Udelfangen-Formation / Grès coquillier nicht immer deutlich im Logmuster erkennbar. Die Grenze zum Buntsandstein im östlichen Graben lag nicht im Log vor.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Wellengebirge, Wellenkalk und Wellendolomit.





Nutzungsmöglichkeiten

Teil eines potentiellen Barrierekomplexes. In den Ausstrichgebieten örtlich Rohstoffabbau in der Jena-Formation.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Groschopf et al. 1996, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.12

Atlasblätter

4.6





2.2.2.8.6 Udelfangen-Formation (D) / Grès coquiller (F)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist das Aussetzen der marinen Sandsteine gegen die hangenden Dolomit- und Mergelsteine. Untergrenze sind die ersten dolomitischen grauen Sandsteine über den bunten Sandsteinen des Oberen Buntsandsteins (Voltziensandstein / Grès à Voltzia).

Kurzbeschreibung

Graue dolomitische Sandsteine, oft mit marinen Fossilien, mit Zwischenlagen von dolomitischen Mergelsteinen und Dolomitsteinen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südwestlicher Oberrheingraben, besonders im Elsass, auch in Rheinland-Pfalz und lokal in den Süden von Baden-Württemberg übergreifend, sowie außerhalb des Projektgebiets.

Mächtigkeit: Bis 20 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Ungegliedert. Graue bis braune, meist fein- bis mittelkörnige Sandsteine mit marinen Fossilien im Wechsel mit grauen dolomitischen Tonsteinen und einzelnen sandigen Dolomitsteinbänken.

Alter: Anisium.

Logcharakteristik

Im Gammalog geringfügig höhere Strahlungswerte als im liegenden Buntsandstein und im hangenden Muschelkalk, bei gleichzeitiger Wende von ansteigenden zu fallenden Mittelwerten.

Im Widerstandslog teilweise ähnlich dem hangenden Unteren Muschelkalk, Ausschläge mittlerer bis niedriger Amplitude jedoch etwas regelmäßiger.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Muschelsandstein.

Nutzungsmöglichkeiten

In Ausstrichgebieten örtlich Sandsteingewinnung.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Lutz & Cleintuar 1999, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.12

Atlasblätter

4.6



2.2.2.9 Permotriassische Sandsteine (Buntsandstein s. I.) und Zechstein

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Basis mariner grauer Sandsteine oder Karbonate über roten oder bunten Sandsteinen oder Tonsteinen des Buntsandsteins.

Untergrenze dieses Abschnitts ist die Basisdiskordanz der spätpermischen Sedimente (Zechstein und sandige Äquivalente der alluvialen Randfazies) über Grundgebirge und Rotliegend-Becken.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Basis Muschelkalk bis zur Basis Spätpermischer Sandsteine (im Süden) oder Basis Zechstein (zwischen Schwarzwald und Kraichgau). Überwiegend rote und bunte, abschnittsweise graue Sandsteine mit eingeschalteten Tonsteinen. Die Sandsteine sind in mehreren Niveaus konglomeratisch.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben und Randschollenzonen südlich etwa Worms.

Bis über 450 m, nach Süden abnehmend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Gliederung in Deutschland und Frankreich

D: oben Buntsandstein, darunter im Westen Speyerbach- und Annweiler-Formation, im Nordosten Langenthal- und Zechsteindolomit-Formation, südlich davon Tigersandstein- und Wiesental-Formation.

F: Buntsandstein einschließlich Grès d'Annweiler.

CH: Buntsandstein, spätpermische Sandsteine nicht sicher bekannt, Ausläufer der Wiesental-Formation sind aber möglich.

Alter: Spätes Perm (Lopingium) bis Anisium.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, Lutz & Cleintuar 1999, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.13, 2.2.2.9.1, 2.2.2.9.2, 2.2.2.9.3, 2.2.2.9.4, 2.2.2.9.5

Atlasblätter

4.7





2.2.2.9.1 Oberer Buntsandstein (D, CH) / Buntsandstein supérieur: Grès à Voltzia et Couches intermédiaires (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze bildet die erste Kalk-, Dolomit- oder Mergelsteinbank des Unteren Muschelkalks oder der erste dolomitische Sandstein mit marinen Fossilien.

Die Untergrenze bildet die Dachfläche des Karneol-Dolomit-Horizontes („VH2“) des Mittleren Buntsandsteins bzw. die Basis der Plattensandstein-Formation oder der „Übergangsschichten“.

Kurzbeschreibung

Rote und graue, meist Glimmer führende Sandsteine, überwiegend mittelkörnig, und rotbraune Tonsteine.

Verbreitung, Mächtigkeit

Oberrhingraben und Randschollenzonen (einschließlich Randsenken) südlich etwa von Mannheim, Kraichgau, sowie außerhalb des Projektgebietes

Mächtigkeit bis über 70 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die oberste Einheit ist der Voltziensandstein bzw. Grès à Voltzia, der nur westlich des Rheins auftritt und sich nach Osten mit den untersten Karbonaten und Mergeln des unteren Muschelkalks verzahnt. Die Einheit besteht aus fein- bis mittelkörnigen rotbraunen Sandsteinen mit rotbraunen Schluff- und Tonstein-Zwischenlagen, die nach oben an Bedeutung zunehmen. In verschiedenen Niveaus können dünne graue, dolomitisch-mergelige Zwischenlagen als Ausläufer der Muschelkalk-Fazies eingeschaltet sein.

Darunter folgen westlich des Rheins Wechsellagerungen aus teilweise geröllführenden Sandsteinen und sandigen Schluff- und Tonsteinen (Zwischenschichten, Couches intermédiaires), die nach Osten in Glimmer führende Mittelsandsteine mit sandig-tonigen Intervallen (Plattensandstein-Formation) und im oberen Teil in rotbraune schluffige Tonsteine mit Anhydritknollen (Rötton-Formation) übergehen.

Alter: Anisium.

Logcharakteristik

Gammalog zeigt hochfrequente Ausschläge hoher Amplitude mit nach oben ansteigendem Mittelwert. Die Obergrenze zum Muschelkalk ist durch einen Wendepunkt zu fallenden Mittelwerten gekennzeichnet, meist mit markanten Spitzen an den basalen Bänken des Muschelkalks. An der Basis teilweise blockiger Logverlauf durch massive Plattensandsteine.

Widerstandslog zeigt wechselnde hohe und mittlere Amplituden bei mittlerem oder schwach ansteigendem Mittelwert, ohne deutliche Grenze zum Mittleren Buntsandstein. Die Obergrenze ist mit einem Übergang in ein Intervall mit hohen Amplituden im basalen Muschelkalk verbunden.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

F: Grès bigarré (partim)

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Lutz & Cleintuar 1999, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011





Kapitelverweise

2.2.1.13

Atlasblätter

4.7





2.2.2.9.2 Mittlerer und Unterer Buntsandstein (D, CH) / Buntsandstein moyen: Conglomérat principal, Grès vosgien et Conglomérat inférieur (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze bildet die Dachfläche des Karneol-Dolomit-Horizontes („VH2“) des Mittleren Buntsandsteins bzw. die Basis der Plattensandstein-Formation oder der „Übergangsschichten“/Couches inférieurs.

Die Basis ist die Basis der Eck-Formation, der Trifels-Schichten und des Conglomérat inférieur.

Kurzbeschreibung

Überwiegend rotbraune und graugelbe Grob- und Mittelsandsteine mit Einschaltungen rotbrauner Schluff- und Tonsteine. Im unteren und höheren Abschnitt sind die Sandsteine zunehmend geröllführend.

Verbreitung, Mächtigkeit

Untergrund des Oberrheingrabens und in dessen Randschollen sowie im Gebiet der Grabenschultern (z. B. Vogesen, Schwarzwald, Pfalz, Kraichgau) und darüber hinaus.

Eingangsdaten

Bohrdaten, Aufschlüsse im Gebiet der Grabenschultern.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Obergrenze dieses Abschnitt bildet im größten Teil des Projektgebiets und darüber hinaus eine bis wenige Meter mächtige Zone pedogener Überprägung, vielfach mit Karneol führenden pedogenen Dolomitkrusten (Karneol-Dolomit-Horizont, Violette Grenzzone, Zone limitée violette).

Darunter liegen im Süden (Vogesen, Schwarzwald) geröllführende Grobsandsteine und Konglomerate, die nach unten in geröllfreie Grobsandsteine im Wechsel mit Schluffstein-Lagen übergehen (Vogesensandstein-Formation, Conglomérat principal et Grès vosgien). Im Nordwesten schalten sich sowohl in die oberen geröllführenden Grobsandsteine als auch in den geröllfreien unteren Abschnitt horizontal geschichtete äolische Mittel- bis Grobsandsteine ein, die für den Pfälzerwald eine Gliederung in mehrere Einheiten erlauben (Hauptkonglomerat, Obere Felszone, Oberre Karlstal-Schichten, Karlstal-Felszone, Schlossberg-Schichten, Rehberg-Schichten; s. LGB-RPF 2005). Nach Nordosten (Odenwald) gehen die oberen Geröllsandsteine in geröllarme Grobsandsteine im Sandstein-Schluffstein-Wechselfolgen über (Solling-, Hardeggen-, Detfurth- und Volpriehausen-Formation), während die unteren geröllfreien Grobsandsteine des Schwarzwaldes in Mittel- bis Feinsandsteine übergehen (Miltenberg-Formation).

An der Basis liegen geröllführende Grobsandsteine, die nach Nordosten zunehmend in geröllarme bis -freie Sandsteine übergehen (Eck-Formation in Schwarzwald und Odenwald, Conglomérat inférieur in den Vogesen, Trifels-Schichten im Pfälzerwald).

Südlich des Kaiserstuhls keilen die basalen Geröllsandsteine und die geröllfreien Sandsteine nach Süden aus und die Geröllsandsteine des Mittleren Buntsandsteins liegen mit Schichtlücke auf älteren Gesteinen. In der Schweiz ist dieser Abschnitt nur gebietsweise als „Diagonalschichtiger Sandstein“ vorhanden und fehlt teilweise ganz.

Die Abfolge wird in Deutschland als Unterer und Mittlerer Buntsandstein, in Frankreich als Buntsandstein moyen eingestuft.

Alter: Frühe Trias (Indusium bis Olenekium).

Logcharakteristik

Gammalog zeigt hochfrequente Ausschläge mittlerer bis hoher Amplitude, meist blockartig und wenig gegliedert, jedoch mit geringerem Mittelwert als die liegenden und hangenden Schichten. An der Grenze zum Oberen Buntsandstein Wechsel zu größeren Amplituden und ansteigendem Mittelwert. Widerstandlogs lagen nicht zur Auswertung vor.





Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Hauptbuntsandstein

F: Grès bigarré (partim)

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich. Im Untergrund örtlich Speichergestein für Kohlenwasserstoffe. In den Randschollen Natursteinabbau.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Lutz & Cleintuar 1999, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.13

Atlasblätter

4.7, 5.19, 6.9





2.2.2.9.3 Annweiler- und Speyerbach-Formation (D) / Grès d'Annweiler (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze bildet im Norden die Überlagerung durch geröllführende Grobsandsteine der Trifels-Schichten (Unterer Buntsandstein), in den Vogesen die Überlagerung durch geröllführende Grobsandsteine des Conglomérat inférieur (Conglomérat d'Eck) des Buntsandstein moyen (F).

Die Untergrenze ist das Einsetzen rotbrauner Sandsteine, im Norden über den Tonsteinen und Dolomitsteinen der Rothenberg-Formation, im Süden über Arkosen des Rotliegenden oder Grundgebirge.

Nach Osten etwa entlang des Oberrheingrabens Faziesübergang in graue dolomitische Sandsteine der Tigersandstein-Formation (im Süden) oder rotbraune Tonsteine der Langenthal-Formation (im Norden).

Kurzbeschreibung

Rotbraune Sandsteine (Annweiler-Formation / Grès d'Annweiler), im Raum Landau überlagert von geringmächtigen rotbraunen und violetten Tonsteinen (Speyerbach-Formation).

Verbreitung, Mächtigkeit

Westlicher Oberrheingraben und Randschollenzonen nördlich etwa von Colmar sowie außerhalb des Projektgebiets.

Mächtigkeit bis 60 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben im Raum Landau–Annweiler 5–12 m mächtige rotbraune und violette Tonsteine der Speyerbach-Formation, die sich lateral mit der obersten Annweiler-Formation verzahnen.

Darunter dickbankige rotbraune feldspatreiche Sandsteine der Annweiler-Formation (D) bzw. des Grès d'Annweiler (F), mit nur untergeordneten Zwischenlagen von Ton- und Schluffsteinen.

Die Einheit wird in Frankreich als Buntsandstein inférieur eingestuft, in Deutschland als Zechstein-Randfazies.

Alter: Spätes Perm.

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Annweiler Sandstein, Annweiler Schichten, Oberer Leberschiefer.

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich. In der Randschollenzonen früher Natursteingewinnung.

Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.13

Atlasblätter

4.7, 5.19, 6.9



2.2.2.9.4 Tigersandstein- und Wiesental-Formation (D)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze der Tigersandstein-Formation bildet die Überlagerung durch geröllführende Grobsandsteine der Eck-Formation (Unterer Buntsandstein).

Die Untergrenze bildet im Norden die Faziesgrenze zu den Schluff- und Tonsteinen der Langenthal-Formation, im Schwarzwald die Auflagerung auf Arkosen mit Krustenkarbonaten der Kirnbach-Formation oder unmittelbar das Grundgebirge.

Die Formation wird nördlich Karlsruhe von der Langenthal-Formation faziell vertreten und keilt im Raum Freiburg nach Süden aus. Nach Westen geht sie unter dem Oberrheingraben in die Rotfazies der Annweiler-Formation bzw. des Grès d'Annweiler über.

Die Wiesental-Formation wird unter einer Schichtlücke von Mittlerem Buntsandstein überdeckt und überlagert mit einem Anhydrit-Dolomit-Horizont Rotliegend.

Kurzbeschreibung

Graue dolomitische, überwiegend mittelkörnige Sandsteine mit Einschaltungen rotbrauner Schluffsteine.

Verbreitung, Mächtigkeit

Östlicher Oberrheingraben etwa zwischen Freiburg und Karlsruhe (Tigersandstein-Formation) sowie südlich des Schwarzwaldes und mit ungenügend bekannter und offenbar lückenhafter Verbreitung unter dem Südgraben (Wiesental-Formation).

Mächtigkeit: bis über 40 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Weder Tigersandstein noch Wiesental-Formation sind untergliedert. An der Basis der Tigersandstein-Formation treten örtlich Feinkonglomerate auf, an der Basis der Wiesental-Formation Krustenkarbonate mit Anhydrit. Die Sandsteine sind meist dolomitisch oder anhydritisch zementiert und führen gebietsweise Dolomitknollen, die nach Verwitterung dunkle Flecken hinterlassen.

Alter: Spätes Perm.

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Unterer Buntsandstein (vor 1993).

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich. Ehemaliger Rohstoffabbau.

Literaturhinweise, Links

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.13

Atlasblätter

4.7, 5.19, 6.9





2.2.2.9.5 Basis spätpermische Sandsteine bis Basis Zechstein (D)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze: Im Süden überlagert durch Sandsteine der Tigersandstein-Formation, im Gebiet des Odenwalds unmittelbar durch Buntsandstein überlagert.

Die Basis des Abschnitts ist eine überregionale Diskordanz über Rotliegend und Kristallin des Grundgebirges.

Kurzbeschreibung

Unter den spätpermischen Sandsteinen liegen im nördlichen Grabenabschnitt gebietsweise unterschiedliche Abfolgen aus bunten Schluff- und Tonsteinen, grauen Dolomitsteinen und basalen Sandsteinen und Arkosen diskordant über Rotliegend und Kristallin.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südlicher Odenwald und Untergrund des Kraichgaus, Haardt und Pfälzer Wald, Oberrheingraben zwischen Mannheim und Rastatt.

Die höheren Abschnitte werden nach Süden zunehmend durch die Tigersandstein- bzw. Annweiler-Formation faziell vertreten.

Mächtigkeit: bis ca. 50 m, bei Einbeziehung von Sarnstall- und Gräfenhausen-Formation bis ca. 90 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die fazielle Gliederung unterscheidet sich westlich und östlich des Oberrheingrabens. Im Osten besteht die Abfolge oben aus rotbraunen schluffig-sandigen Tonsteinen der Langenthal-Formation, darunter aus grauen Wechselfolgen von Dolomitsteinbänken und dolomitischen schluffigen Tonsteinen der Zechsteindolomit-Formation, deren unterer Teil nach Süden faziell durch Arkosen und Krustenkarbonate der Kirnbach-Formation ersetzt wird. Nach Westen geht die Zechsteindolomit-Formation in die geringmächtige Rothenberg-Formation aus schluffigen grauen bis violetten Tonsteinen mit sandigen Dolomitsteinbänken über. Darunter liegen die massigen rotbunten Sandsteine der Queich-Formation diskordant über dem tieferen Untergrund. Die darunter folgenden rotbraunen Schluff- und Sandsteine der Sarnstall-Formation und die Sandsteine der Gräfenhausen-Formation werden neuerdings ebenfalls noch als Äquivalent des Zechsteins aufgefasst.

Alter: Spätes Perm.

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Bröckelschiefer, Schieferletten (für Langenthal-Formation), Oberer Sandstein (für Queich-Formation), Oberer Rötelschiefer (für Sarnstall-Formation), Unterer Sandstein (für Gräfenhausen-Formation).

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung und Speicherpotenziale grundsätzlich möglich.

Literaturhinweise, Links

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise 2.2.1.13

Atlasblätter 4.7



2.2.2.10 Permokarbon

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Basisdiskordanz der spätpermischen Sedimente über Grundgebirge und Rotliegend-Becken.

Untergrenze dieses Abschnitts ist die Oberfläche des Grundgebirges.

Kurzbeschreibung

Schichtenfolge von der Basis Spätpermischer Sandsteine (im Süden) oder Basis Zechstein (zwischen Schwarzwald und Kraichgau) bis zum Top Grundgebirge. Oben überwiegend rote Arkosen, Fanglomerate, Sandsteine und Tonsteine, an deren Basis mächtige Vulkanite auftreten können. Darunter vorherrschend graue, teilweise auch rotbraune oder violette Arkosen, Sandsteine und Konglomerate mit Einschaltungen von Schluff- und Tonsteinen, Tuffen und untergeordneten Kohleflözen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Ober rheingraben, Randschollenzone und Grabenschultern, beschränkt auf vier das Oberrheingebiet schräg querende Beckenstrukturen.

Bis über 1500 m, zwischen den Beckenstrukturen auskeilend.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Gliederung in Deutschland und Frankreich

D: Rotliegend und Oberkarbon, Formationsgliederung s. LGB-RPF 2005, Nitsch & Zedler 2008.

F: Rotliegende und Carbonifère supérieur, Formationsgliederung s. Laubacher & Eller 1966, Hollinger 1970.

CH: Rotliegend und Oberkarbon, keine formelle Formationsgliederung.

Alter: Spätes Karbon bis Frühes Perm (Cisuralium).

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise, Links

Laubacher & Eller 1966, Hollinger 1970, LGB-RPF 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.14, 2.2.2.10.1, 2.2.2.10.2

Atlasblätter

4.8





2.2.2.10.1 Rotliegend (D, CH) / Rotliegende (F)

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze bildet eine überregionale Diskordanz unter den spätpermischen Sandsteinen bzw. dem Zechstein.

Die Untergrenze bilden besonders nahe der Ränder der Rotliegend-Becken saure Vulkanite, die teils auf Grundgebirge, teils auf Oberkarbon liegen und im Geröllbestand der folgenden Rotliegend-Sedimente auftreten. Wo keine Vulkanite auftreten (besonders im Süden) wird die Grenze zum überwiegend grauen Oberkarbon im Liegenden meist am Fazieswechsel zu rotbraunen, schlecht sortierten Fanglomeraten und Arkosen gezogen.

Kurzbeschreibung

Rotbraune, untergeordnet graue Fanglomerate, Arkosen, Sandsteine und Tonsteine, teilweise mit Vulkanitgeröllen, an der Basis mit überwiegend sauren Vulkaniten und Pyroklastika.

Verbreitung, Mächtigkeit

Im Oberrheingebiet queren mehrere SW–NE streichende Rotliegend-Sedimentbecken den jüngeren Oberrheingraben. Das nördlichste des Projektgebiets ist der Südrand des Saar-Nahe-Beckens nördlich etwa einer Linie Landau-Viernheim. Im Gebiet der südlich anschließenden Haardt-Odenwald-Schwelle fehlt Rotliegend unter dem Zechstein. Südlich schließt sich das Kraichgau-Becken an (etwa Heidelberg–Nordvogesen–Selestat–Kehl–Baden-Baden). Eine weitere Schwelle ohne Rotliegend-Sedimente (örtlich möglicherweise mit Rotliegend-Vulkaniten) streicht von den Nordvogesen unter dem Oberrheingraben in den Nordschwarzwald. Ein kleineres, offenbar lokal begrenztes Rotliegend-Becken am Schwarzwaldrand bei Offenburg endet möglicherweise unter dem Oberrheingraben; die Verbreitung dieser wenig mächtigen Sedimente ist nur ungenügend bekannt. Weiter südlich sind Rotliegend-Sedimente wieder südlich einer Linie etwa von Herbolzheim über Guebwiller nachgewiesen (Ronchamp-Breisgau-Becken). Rotliegend-Vulkanite treten örtlich als Gänge oder Schloten im Grundgebirge auch außerhalb dieser Sedimentbecken auf.

Mächtigkeit bis >1500 m, unter Basel bis > 800 m.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Oben meist rotbraune grobklastische Sedimente mit Vulkanitgeröllen. In mächtigeren Vorkommen schalten sich Abfolgen aus rotbraunen Feinarkosen, Schluff- und Schlufftonsteinen ein. Einzelne Lagen können grau oder violett gefärbt sein. Vulkanite treten vorwiegend im unteren Teil des Rotliegenden auf. Es sind meist Rhyolithe oder hydrothermal überprägte Rhyolitoide (Quarzporphyre) und deren Tuffe und andere Pyroklastika. Die Gliederung in Formationen erfolgt in den einzelnen Becken unterschiedlich.

Alter: örtlich im Späten Karbon beginnend, sonst Frühes Perm (Cisuralium).

Logcharakteristik

Im Oberrheingebiet nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Saxonien, Thuringien (teilweise).

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung und Speicher- und Barrierepotenziale grundsätzlich möglich.





Literaturhinweise, Links

BRGM 1979, LGB-RLP 2005, Nitsch & Zedler 2008, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.14

Atlasblätter

2.10, 4.8, 5.14, 6.10





2.2.2.10.2 Oberkarbon (D, CH)/ Carbonifère supérieur (F)

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist die Basis der Rotliegend-Vulkanite oder die Basis der Rotliegend-Sedimente (meist mit Vulkanitgeröllen).

Die Basis der Sedimente liegt diskordant auf Grundgebirge.

Kurzbeschreibung

Graue, violettgraue, untergeordnet auch rotbraune Arkosen und Schluffsteine mit konglomeratischen Einlagerungen und einzelnen Tufflagen, lokal Steinkohle.

Verbreitung, Mächtigkeit

Im Oberrheingebiet mehrere kleinräumig begrenzte Vorkommen im Liegenden der Rotliegend-Becken.

Mächtigkeit kleinräumig Schwankend, bis über 100 m.

Eingangsdaten

kleine Ausstrichgebiete in Schwarzwald und Vogesen, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Überwiegend graue Arkosen und Grauwacken im Wechsel mit Schluff- und Tonsteinen, lokal Steinkohle. Im höheren Teil der Abfolge schalten sich lokal rotbraune Ablagerungen ein. Gebietsweise können Tuffe eingelagert sein. Im Bereich alter Störungszonen lokal verkieselt und hydrothermal alteriert. Die Gliederung in Formationen erfolgt in den einzelnen Becken unterschiedlich.

Alter: Spätes Karbon, örtlich Bashkirium-Moskovium (Namur-Westphal), sonst Kazimovium-Gzhelium (Stefan).

Logcharakteristik

Im Gammalog unregelmäßige Wechsel der Frequenzen und Amplituden, schluffige und arkosische Abschnitte schwer unterscheidbar. Lokal starke Ausschläge wegen Uranführung möglich.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

D: Namur-Westfal-Schichten, Steinkohlengebirge, Unterrotliegend (des Schwarzwaldes).

F: Namuro-Westphalien, Westphalien.

CH: Stefan, Autun, Saxon (teilweise).

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung und Speicher- und Barrierepotenziale grundsätzlich möglich. Historischer Kohlebergbau in den Randschollenzonen.

Literaturhinweise

BRGM 1979, LGB-RLP 2005, Nitsch & Zedler 2008, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.14

Atlasblätter

2.10, 4.8



2.2.2.11 Grundgebirge

Stratigraphische Grenzen

Die Obergrenze dieses Abschnitts liegt an der Obergrenze metamorpher und magmatischer Gesteine unter den unmetamorphen Sedimenten des Permokarbon oder jüngerer Einheiten.

Der Abschnitt ist Teil der oberen Erdkruste, eine Untergrenze ist daher nicht definiert.

Kurzbeschreibung

Variskisch deformiertes magmatisch-metamorphes Grundgebirge. Überwiegend Gneis und Granit mit Einlagerungen anderer metamorpher und magmatischer Gesteine, zwischen Schwarzwald, Vogesen und Odenwald auch anchimetamorphe bis niedrig metamorphe Tonschiefer, Quarzite, Grauwacken und andere Gesteine.

Verbreitung, Mächtigkeit

Allgemein verbreitet.

Nach Tiefenseismik keine Wesentliche Änderung der Gesteinszusammensetzung bis in mehr als 10 km Tiefe.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Die Gliederung erfolgt nach tektonostratigraphischen Einheiten: Im Norden die Mitteleuropäische Kristallinzone, südlich anschließend jeweils das Kraichgau-Nordvogesen-Schiefergebirge, Vogesen-Schwarzwald-Kristallin und Südschwarzwald-Kristallin.

Alter: Ausgangsgesteine der Metamorphite Proterozoikum bis Karbon, Magmatite und Metamorphose überwiegend karbonisch.

Logcharakteristik

Siehe Einzelbeschreibungen.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Siehe Einzelbeschreibungen.

Nutzungsmöglichkeiten

Siehe Einzelbeschreibungen.

Literaturhinweise, Links

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Litholex – <http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>

Kapitelverweise

2.2.1.15, 2.2.2.11.1, 2.2.2.11.2, 2.2.2.11.3, 2.2.2.11.4

Atlasblätter

4.8





2.2.2.11.1 Mitteleuropäische Kristallinzone

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist Strukturdiskordanz über zu auflagernden unmetamorphen Sedimenten des Permokarbon oder Mesozoikum.

Liegendgrenze unbekannt, unterhalb des Modellbereichs.

Kurzbeschreibung

Kristallines Grundgebirge, überwiegend Plutonite mit Einlagerung Metamorpher Gesteine.

Verbreitung, Mächtigkeit

Grundgebirge des Odenwalds und der Haardt: Untergrund des Oberrheingrabens und Randschollenzzone nördlich etwa Bad Bergzabern und Wiesloch. Ausstrichgebiete im Odenwald und im östlichen Pfälzer Wald (Albersweiler, Edenkoben, Waldhambach).

Im Süden tektonisch gegen das Nordbadische Schiefergebirge abgesetzt. Der Verlauf und die Ausbildung der Grenze ist nur durch geophysikalische Messungen eingrenzbar und nicht aufgeschlossen.

Mehrere Kilometer mächtig.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Überwiegend batholithische Granitstöcke, eingelagert sind örtlich Gneise und Schiefer unterschiedlicher Zusammensetzung, Amphibolite, Eklogite, untergeordnet Glimmerschiefer, Marmor und Quarzit, Metasomatite unterschiedlicher Zusammensetzung, magmatische und hydrothermale Ganggesteine.

Alter: Intrusion der Magmatite im Devon und Frühen Karbon, dabei Metamorphose der begleitenden Nebengesteine.

Logcharakteristik

Widerstands-Log zeigt unregelmäßige Wechsel zwischen niedrigen und hohen Amplituden bei überwiegend niedriger Frequenz. Gamma-Log ist wenig gegliedert bei überwiegend hohen Strahlungswerten und unregelmäßig wechselnden Amplituden.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Haardt-Odenwald-Schwelle.

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung an Bruchsystemen, Rohstoffgewinnung in den Randschollen und Grabenschultern.

Literaturhinweise

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.15

Atlasblätter

4.8



2.2.2.11.2 Kraichgau-Nordvogesen-Schiefergebirge

Stratigraphische Grenzen

Obergrenze ist Strukturdiskordanz gegen auflagernde nicht metamorphe Sedimente oder Vulkanite des Permokarbon.

Liegendgrenze unbekannt, unterhalb des Modellbereichs.

Kurzbeschreibung

Gering metamorphes Grundgebirge, lokal mit magmatischen Intrusionen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Untergrund des Oberrheingrabens und Randschollenzonen zwischen Barr und Bad Bergzabern sowie zwischen Sinzheim und Wiesloch. Aufschlüsse zwischen Baden-Baden und Gaggenau, möglicherweise auch in den Schiefen und Grauwacken von Neustadt (Weinstr.), Burrweiler und Hambach.

Tektonischer Kontakt an steil stehenden Scherzonen nach Norden gegen das Kristallin von Odenwald und Haardt und nach Süden gegen das Kristallin von Vogesen und Schwarzwald.

Mehrere Kilometer mächtig.

Eingangsdaten

Bohrdaten außerhalb des Grabens, Ausstrichgebiete.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Anchimetamorphe bis grünschieferfazielle Metasedimente und Metavulkanite, an den tektonischen Grenzen auch höher metamorphe Gesteine. Aus dem Grabenbereich keine Bohraufschlüsse bekannt. In Bohrungen 50-100 km östlich des Oberrheingrabens sind Tonschiefer, Quarzit, Marmor und Diabas angetroffen worden. Örtlich ist mit hydrothermalen oder magmatischen Ganggesteinen zu rechnen.

Alter: Metamorphose im Frühen Karbon aus älteren paläozoischen Sedimenten und Vulkaniten.

Logcharakteristik

Logcharakteristik nicht untersucht.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Alte Schiefer, Saxothuringikum, Socle hercynien

F: Socle pré-Carbonifère Supérieur

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung an Bruchsystemen, Rohstoffgewinnung in den Randschollen und Grabenschultern.

Literaturhinweise

LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.15

Atlasblätter

4.8





2.2.2.11.3 Vogesen-Schwarzwald-Kristallin

Geopotenziale (tiefer Untergrund)

Obergrenze ist Strukturdiskordanz zu auflagernden unmetamorphen Sedimenten des Permokarbon oder Mesozoikum.

Liegendgrenze unbekannt, unterhalb des Modellbereichs.

Kurzbeschreibung

Metamorphes Grundgebirge mit Granitintrusionen.

Verbreitung, Mächtigkeit

Untergrund des Oberrheingrabens und Randschollenzone südlich Barr und Sinzheim.

Im Norden von der steil stehenden Lalaye-Lubin-Baden-Baden-Störungszone tektonisch gegen das Nordbadisch-Unterelsässische Schiefergebirge abgesetzt. Im Süden taucht das Grundgebirge gemeinsam mit dem überlagernden Deckgebirge unter die Aufschiebungen des Faltenjura ab. Nach West und Ost setzt sich die Einheit im Grundgebirge von Vogesen und Schwarzwald fort.

Mehrere Kilometer mächtig.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten

Stratigraphische Gliederung, Alter

Überwiegend graue Gneise und batholithische Granitstöcke, eingelagert sind örtlich Gneise unterschiedlicher Zusammensetzung, Amphibolite, Eklogite, untergeordnet Glimmerschiefer, Marmor und Quarzit, Metasomatite unterschiedlicher Zusammensetzung, magmatische und hydrothermale Ganggesteine. Örtlich können sehr schwach bis nicht metamorphe Sedimente und Vulkanite des Karbons eingeschuppt sein (Diersburg, Roderen, Badenweiler).

Alter: Metamorphose im Frühen Karbon aus Gesteinen mit spätproterozoischen bis frühkarbonischen Bildungsaltern. Intrusion der Magmatite im Frühen Karbon.

Logcharakteristik

Gamma-Log ist wenig gegliedert bei überwiegend hohen Strahlungswerten und unregelmäßig wechselnden Amplituden.

Widerstands-Log zeigt unregelmäßige Wechsel zwischen niedrigen und hohen Amplituden bei überwiegend niedriger Frequenz.

Synonyme / Ältere Bezeichnungen

Oberrheinische Massive, Moldanubikum, Socle hercynien

F: Socle pré-Carbonifère Supérieur

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung an Bruchsystemen, Rohstoffgewinnung in den Randschollen und Grabenschaltern.

Literaturhinweise

BRGM 1979, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

2.2.1.15

Atlasblätter

4.8



2.2.2.11.4 Südschwarzwald-Kristallin

Stratigraphische Grenzen

Das Südschwarzwald-Kristallin grenzt entlang der Zone von Badenweiler-Lenzkirch im Norden an das Schwarzwald-Vogesen-Kristallin. Die Fortsetzung der Zone von Badenweiler-Lenzkirch unter dem Oberrheingraben ist nicht bekannt. Sie ist wahrscheinlich im Westen stark südwärts versetzt und unter dem Permokarbonbecken von Ronchamp oder südlich davon zu vermuten.

Kurzbeschreibung

Gneise und Migmatite mit Einlagerungen ultramafischer und ultrabasischer Gesteine, in mehreren Kristallindecken. Stark durchsetzt von granitischen Plutoniten.

Verbreitung, Mächtigkeit

Südschwarzwald südlich der Badenweiler-Lenzkirch-Zone, Hotzenwald und Untergrund des Tafeljura. Mehrere Kilometer mächtig.

Eingangsdaten

Ausstrichgebiete, wenige Bohrdaten.

Stratigraphische Gliederung, Alter

Im Südschwarzwald werden drei tektonische Decken als Formationen unterschieden (s. Geyer et al. 2011). Alter: Metamorphose im Frühen Karbon aus Gesteinen mit spätproterozoischen bis paläozoischen Bildungsaltern. Intrusion der Magmatite im Frühen Karbon.

Logcharakteristik

Nicht untersucht.

Nutzungsmöglichkeiten

Geothermische Nutzung an Bruchsystemen, Rohstoffgewinnung in den Randschollen und Grabenschultern.

Literaturhinweise

Hanel et al. 2001, Geyer et al. 2011

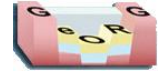
Kapitelverweise

2.2.1.15

Atlasblätter

4.8





2.3 Tektonischer Bau

Kurzbeschreibung

Beschreibung der tektonischen Regionen im Oberrheingraben (2.3.1) und Beschreibung der geologischen Verhältnisse in 500 m bis 5000 m unter Geländeoberfläche in Schritten von 500 m Tiefenabstand (2.3.2).

Kapitelverweise

2.2.1, 2.2.2



2.3.1 Tektonische Baueinheiten

Kurzbeschreibung

Der Oberrheingraben lässt sich in mehrere *tektonische Regionen* gliedern. Ein NNW–SSE streichender nördlicher Grabenabschnitt zwischen Odenwald und Mainzer Becken grenzt an der Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone gegen den NNE–SSW streichenden mittleren und südlichen Oberrheingraben. Dessen zentrale Struktur ist die Illfurth-Bruchsal-Störungszone, die ein westliches Schollengebiet von der östlichen Randschollenzonen trennt. Vor dem Südrand des Oberrheingrabens, der durch die Überschiebungen des Faltenjura gebildet wird, liegt ein südliches Bruchschollengebiet mit eigenständigem Strukturbau.

Strukturtyp

Sinistral-transversiver Schergraben (wrench-rift).

Eingangsdaten

Reflektionsseismik (2D), geologisches 3D-Modell, Bohrdaten.

Beschreibung

Der Oberrheingraben gliedert sich in mehrere Abschnitte mit unterschiedlichem tektonischem Bau. Den Norden des Projektgebiets nimmt der etwa NNW–SSE streichende nördliche Grabenabschnitt ein, der sich nach Norden über die Grenzen des Projektgebiets hinaus fortsetzt. Dieser Abschnitt ist vorwiegend von listrischen Abschiebungen und hohen Mächtigkeiten des Jüngeren Oberrheingraben-Tertiärs und der Lockergesteine geprägt. Im Süden grenzt die NW–SE streichende Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone als fast ebene Trennfläche den nördlichen Grabenabschnitt gegen den stärker von geradlinigen jüngeren Scherzonen geprägten, NNE–SSW streichenden mittleren bis südlichen Oberrheingraben ab.

Verbindende Struktur dieses mittleren bis südlichen Grabenabschnittes ist die Illfurth-Bruchsal-Scherzone, eine über 220 km lange und im Süden bis über 30 km breite Großstruktur, die in weiten Teilen unmittelbar unter dem Rheinlauf liegt und daher erst nach Verbindung der reflektionsseismischen Teilprofile beiderseits des Rheins erkennbar wurde. Westlich der Illfurth-Bruchsal-Scherzone gliedern Sekundärstörungen dieser Großstruktur den Grabenbereich, einschließlich der angrenzenden Randschollen von Saverne und am Haardtrand, in mehrere tektonische Domänen eines westlichen Schollengebiets, deren Störungsmuster sich aus den vorhandenen Daten nicht über die Domänengrenzen hinweg korrelieren ließen. Auch östlich der Illfurth-Bruchsal-Scherzone liegen staffelartig zum Grabeninneren hin abgesenkte östliche Randschollen, von denen die westlichsten meist unter geringer känozoischer Bedeckung liegen, die östlichen jedoch geomorphologisch bereits Teil von Schwarzwald und Kraichgau und damit der (morphologischen) Grabenschulter sind.

Am Kaiserstuhl-Block erfolgt südwärts nochmals ein Wechsel des tektonischen Stils, wobei sich die Illfurth-Bruchsal-Scherzone stark verbreitert und die westliche Schollenzonen an Bedeutung verliert. Dagegen schließt sich im Süden an die östlichen Randschollen ein stark erweitertes südliches Bruchschollengebiet zwischen den Überschiebungen des Faltenjura im Süden und dem Südrand des Schwarzwalds an, das gegenüber den Verhältnissen im übrigen Graben gebietsweise eine stark reduzierte Tertiärbedeckung trägt, teilweise als Mittelgebirge aus mesozoischen Gesteinen über den Oberrheingraben herausragt und ihn nach Süden und Südosten begrenzt.

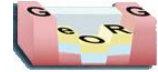
Heutiger Spannungszustand

Hauptspannungsrichtungen im Norden und in der Mitte NW–SE, im Südosten des Oberrheingrabens NNE–SSW (Heidbach et al. 2008).

Altersbeziehungen

Älteste Grabensedimente aus dem Eozän, zeitgleich mit Vulkanismus in den Randschollen (Eozän–Oligozän), lokale Diskordanzen im älteren Oligozän, Unterbrechung der Sedimentation und Vulkanismus (Kaiserstuhl) im mittleren Miozän, neu einsetzende Sedimentakkumulation im Pliozän.





Aus Mächtigkeitsverteilungen der permisch-mesozoischen Sedimente im Grabenbereich und aus Altersdatierungen an Mineralisationen und Vulkaniten der Grabenschultern ergeben sich Hinweise, dass Teilabschnitte der tertiären Störungssysteme ältere Bruchstrukturen des Grundgebirges reaktiviert und in ein neues Bruchmuster eingebunden haben.

Literaturhinweise, Externe Links

Siehe Einzelbeschreibungen.

Kapitelverweise

3.2.1.1, 3.2.1.2, 3.2.1.3, 3.2.1.4, 3.2.1.5, 3.2.1.6, 2.3.1.2

Atlasblätter

1.5, 2.2–2.10, 8.2



2.3.1.1 Der nördliche Grabenabschnitt

Tiefenlage Tertiärbasis

Innerhalb des Projektgebiets zwischen ca. 250 m unter NN (Grünstadt-Randschollen) und mehr als 4400 m unter NN (Heidelberg-Becken). Im Mainzer Becken örtlich bis über 100 m über NN ansteigend.

Kurzbeschreibung

Als nördlicher Grabenabschnitt wird hier das Segment des Oberrheingrabens bezeichnet, das nördlich der Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone annähernd in Richtung NNW-SSE streicht. Der tektonische Bau ist in diesem Abschnitt vorwiegend von listrischen Abschiebungen geprägt, zu denen lediglich nahe den Grabenrändern gerade streichende transtensive Abschiebungen treten. Innerhalb des nördlichen Grabenabschnitts lassen sich im Westen die Grünstadt-Randschollen von den tiefer abgesenkten Worms-Zwischenschollen unterscheiden, die eine steile Abschiebungstreppe gegen das Mannheim-Becken im Zentrum des Grabenabschnittes bilden. Nach Osten geht das Mannheim-Becken in das Heidelberg-Becken über, wobei in dieser Richtung die Mächtigkeiten des älteren Oberrheingraben-Tertiärs ab- und jene der Lockergesteine zunehmen.

Strukturtyp

Extensiv mit geringer transtensiver Komponente.

Eingangsdaten

Reflektionsseismik (2D), geologisches 3D-Modell, Bohrdaten.

Beschreibung

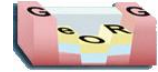
Nördlich der Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone wird der tektonische Bau des Grabens überwiegend von großen listrischen Abschiebungssystemen beherrscht, die im Projektgebiet lediglich unmittelbar am Rand des Oberrheingrabens, im Bereich der Grünstadt-Randschollen, von annähernd gerade streichenden Scherzonen abgelöst werden. Östlich der Grünstadt-Randschollen ist im Untergrund der Rheinebene mit den Worms-Zwischenschollen eine ostfallende Abschiebungstreppe gegen das tertiäre Subsidenzzentrum des Mannheim-Beckens und das östlich anschließende plio-pleistozäne Heidelberg-Becken ausgebildet, die offenbar antithetisch an die Heidelberger Biegung des Odenwald-Grabenrandes gebunden sind. Das südöstliche Ende der Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone, die bisher nur aus der Korrelation seismischer Profile im Grabeninneren bekannt ist, fällt annähernd mit dem Nordrand der Langenbrücken-Randschollenzone zusammen oder stößt nur wenige Kilometer südwärts davon auf die Heidelberg-Grabenrandstörung.

Westlich der Grünstadt-Randschollen schließt sich an den nördlichen Grabenabschnitt das Mainzer Becken an, in dem – verglichen mit den Verhältnissen im Oberrheingraben – nur geringmächtige tertiäre Sedimente in einer (nördlich des Projektgebiets) bis annähernd 30 km breiten Randschollenzone erhalten sind. Das Mainzer Becken war nicht Gegenstand des GeORG-Projekts, weshalb hierzu auf die umfangreiche Literatur verwiesen werden muss (Schäfer 2012). Im Süden erscheint in streichender Verlängerung des Mainzer Beckens der herausgehobene Bad-Dürkheim-Block als Nordrand des Pfälzerwaldes. Dessen westliche Randstörung setzt sich nach Norden in die westliche Randstörung des Mainzer Beckens fort, biegt im Süden aber offenbar in ein NW-SE-Streichen um. Sie erscheint daher wie eine um etwa 6 km am Grabenrand nach Süden versetzte Fortsetzung der Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone.

Altersbeziehungen

Die jüngsten aus der Schichtlagerung des Untergrundes datierbaren Störungen versetzen die Basis der Lockergesteine; aus Aufschlüssen am Grabenrand sind auch Störungen in oberflächennahen Ablagerungen bekannt. Diskordanzen über stärker gestörtem oder verstelltem Untergrund zeigen sich an der Basis der Lockergesteine und lokal an der Basis der Froidefontaine-Formation, insbesondere im Bereich der Randschollen.





Literaturhinweise

Schad 1962, GLA 1981, LGB-RLP 2005, Geyer et al. 2011, Schäfer 2012

Kapitelverweise

3.2.1.2, 3.2.1.3

Atlasblätter

1.5, 2.2–2.10, 8.2





2.3.1.2 Die Illfurth–Bruchsal-Störungszone

Tiefenlage Tertiärbasis

Zwischen ca. 600 m unter NN (Rhinau-Zwischenschollen) und mehr als 4700 m unter NN (Rastatt-Becken).

Kurzbeschreibung

Die Illfurth-Bruchsal-Störungszone stellt das zentrale tektonische Element des NNE–SSW streichenden mittleren und südlichen Oberrheingrabens dar. Sie verbindet den Südwestrand des Oberrheingrabens bei Belfort mit den Randschollen von Langenbrücken. Die Störungszone besteht aus mehreren gestaffelt angeordneten Elementen, von denen das Rastatt-Becken im mittleren Graben sowie Wittelsheim-Buggingen- und Dannemarie-Becken im südlichen Graben die größten Tertiärmächtigkeiten aufgenommen haben. Zwischen diesen Beckenstrukturen besteht die Störungszone aus mehreren hoch liegenden, en-echelon gestaffelten Leistenschollen, dem Niederroedern-Block, dem Kehl-Block und den Rhinau-Zwischenschollen. Der Kaiserstuhl-Block nimmt eine Sonderstellung am Rande der Illfurth-Bruchsal-Störungszone ein, da sich hier WNW–ESE streichende Störungen der Freiburg-Bonndorf-Bodensee-Störungszone mit der rheinisch streichenden Scherzone vergittern. Die Struktur im Untergrund dieses Blocks konnte aufgrund der vorhandenen Seismik nicht hinreichend konstruiert werden und wurde daher nicht modelliert.

Strukturtyp

Sinistral transtensiv, südlich des Kaiserstuhls zunehmend extensiv mit abnehmender transtensiver Komponente.

Eingangsdaten

Reflektionsseismik (2D), geologisches 3D-Modell, Bohrdaten.

Beschreibung

Die Illfurth-Bruchsal-Störungszone ist ein Komplex aus geometrisch und offenbar auch kinematisch miteinander verbundenen Störungszone, die sich in den seismischen Profilen von der Illfurth-Störungszone zwischen Faltenjura und Mulhouse im Süden bis in die Randschollen von Malsch im westlichen Kraichgau über mehr als 200 km verfolgen lässt. Die Scherzone folgt annähernd dem Ostrand der Rheinebene und reicht mit einer Breite von mehr als 10 km vom Rand der badischen Vorbergzone bis unter das östliche Elsass. Sie besteht aus mehreren parallelen oder durch nord-südliche Quersprünge miteinander verbundenen Störungszone. Nach der Tiefe konvergieren die im Westen vorherrschend ostwärts, im Osten westwärts einfallenden Störungszone, und dürften – in der Seismik nicht mehr sichtbar – im Grundgebirge in eine gemeinsame Wurzel münden. Zwischen den konvergierenden Störungszone herrscht fast überall Dehnungstektonik, wobei einige der größten Sprunghöhen und zwei Subsidenzzentren der tertiären Grabenfüllung (Rastatt-Becken, Wittelsheim-Buggingen-Becken) in diesem Bereich liegen. Vereinzelt deuten die seismischen 2D-Profile auf lokale Aufschiebungen kleinerer Schollen hin, doch lassen sich diese Strukturen nicht über größere Strecken verfolgen.

Das geometrische Bild entspricht einer großen sinistralen Duplexstruktur, d. h. eines fiederartig gegliederten Bruchsystems nach linksseitiger horizontaler Scherbewegung. Dabei setzt sich keine Einzelne der beteiligten Störungszone über die gesamte Scherzone hinweg fort. Die einzelnen Störungszone bilden vielmehr für eine gewisse Strecke ein Segment der Gesamtstruktur, um schließlich in eine andere Störung einzumünden oder in streichender Fortsetzung die Scherzone als Nebenstörung zu verlassen, während eine benachbarte Scherzone die Rolle als Hauptdeformationsbahn übernimmt. Zu den am weitesten verfolgbar Störungszone gehören die Faille d'Illfurth, die vom Rand des Faltenjura bis Mulhouse die Ostrandstörung des Dannemarie-Beckens bildet, und deren Fortsetzung in den Salzmauern des Wittelsheim-Buggingen-Beckens, die sich als Faille de Meyenheim und Faille de Marckolsheim über annähernd 80 km verfolgen lassen.

Die Illfurth-Bruchsal-Scherzone ist am Kaiserstuhl-Block in zwei strukturell unterschiedliche Abschnitte geteilt. Nördlich des Kaiserstuhls setzt sie sich aus mehreren leistenartigen Schollen zusammen, die unterschiedlich





tief abgesenkt wurden. Die stärkste Einsenkung bildet hierbei das Rastatt-Becken, in dessen Untergrund das Grundgebirge nach Auswertung der seismischen Daten offenbar örtlich bis in mehr als 5 km Tiefe versenkt wurde. Unmittelbar östlich schließen sich mit Sprunghöhen von meist mehreren Kilometern die östlichen Randschollen als strukturelle Hochlagen an. Nördlich Bruchsal findet sich annähernd in streichender Verlängerung der Illfurth-Bruchsal-Scherzone eine post-triassisch mehrfach aktive Struktur, die Ubstadt-Walldürn-Störungszone, an der die Randschollenzone von Langenbrücken im Süden begrenzt ist. Jungkretazische bis paleozäne Vulkanite in Sekundärstörungen dieser Struktur deuten auf ein wenigstens spätmesozoisches Alter dieser Störungen hin, doch belegen verstellte Schollen mit eozänem Ubstadt-Süßwasserkalk (der Haguenau-Formation) zumindest nahe am Grabenrand auch jüngere Bewegungen.

Südlich und westlich des Kaiserstuhls vergittern sich die NNE-SSW streichenden Störungen der Illfurth-Bruchsal-Scherzone mit NW-SE streichenden Querstörungen, die als reaktivierte Fortsetzung der Grundgebirgsstrukturen der Freiburg-Bonndorf-Bodensee-Störungszone gelten können. Das Senkungsgebiet der Illfurth-Bruchsal-Scherzone verbreitert sich hier zum Wittelsheim-Buggingen-Becken (Bassin de Wittelsheim-Buggingen). Mächtige eozäne und früholigozäne Steinsalz und Kalisalz führende Ablagerungen belegen eine frühe Anlage dieser Beckenstruktur, die jedoch durch die sich im späten Oligozän und Miozän verstärkende Blattverschiebungsbewegungen überprägt wurde. Mehrere Salzstrukturen drangen als Salzmauern oder kleinere Diapire bevorzugt in die steil stehenden Störungszonen ein und deformieren dabei die hangenden Schichten bis unter die Basisdiskordanz der plio-pleistozänen Lockersedimente.

Etwa zwischen Mulhouse und Thann leitet das Wittelsheim-Buggingen-Becken ohne scharfe Grenze in das Dannemarie-Becken (Bassin de Dannemarie) über, in dem wiederum NNE-SSW streichende Hauptstörungen vorherrschen. Zwischen den Subsidenzzentren der beiden Beckenstrukturen ist hier nur eine schwach ausgeprägte Schwellenzone entwickelt, die offenbar nicht an größere Störungen gebunden ist und sich lediglich aus der Schichtlagerung ableiten lässt.

Zwischen Colmar und Freiburg erhebt sich das Massiv des Kaiserstuhls als Ruine eines miozänen Vulkankomplexes. Innerhalb der tektonischen Gliederung des Oberrheingrabens, soweit sie im Rahmen der geologischen Modellierung sichtbar wurde, befindet sich der Kaiserstuhl an der Grenze zwischen der Illfurth-Bruchsal-Scherzone und den östlichen Randschollen genau an jener Stelle, an der sich die Illfurth-Bruchsal-Scherzone nach Süden in das breite Wittelsheim-Buggingen-Becken als Extensionsstruktur öffnet.

Über den Bau des Untergrundes dieses Blocks ließ sich aus den vorhandenen Daten kein genaueres Bild erstellen, weshalb der Bereich unter dem Kaiserstuhl im Rahmen des Projekts bei der Modellierung nicht berücksichtigt wurde. Es liegen nur wenige Informationen aus Bohrungen tiefer 100 m vor, die das Liegende der Eruptiva nicht erreicht haben. Die bisherigen reflektionsseismischen Messungen im Kaiserstuhlgebiet zeigen unter den flächenhaft verbreiteten Vulkaniten große, unregelmäßig begrenzte Schollen mit horizontalen bis wenig verstellten Reflektoren an. Ob es sich dabei um mesozoische oder känozoische Einheiten handelt und bis in welche Tiefe Laven und Pyroklastika an diesen offenbar geschichteten Gesteinen beteiligt sind, bleibt jedoch unklar.

Heutiger Spannungszustand

Nördlich des Kaiserstuhls ergaben Spannungsmessungen (zusammengestellt bei Heidbach et al. 2008) einheitlich eine NW-SE orientierte Hauptspannungsrichtung mit geringen Schwankungen in der Orientierung. Der Winkel zum Generalstreichen der Struktur beträgt überwiegend zwischen 50° und 70° und impliziert sinistrale Bewegungen in der Grabenlängsachse und starke transtensive Dehnung an N-S und NNW-SSE orientierten Bruchsystemen (z. B. am SW-Ende des Rastatt-Beckens).

Im Kaiserstuhl-Block ist lokal eine stark abweichende Orientierung des Hauptspannungsfeldes (SW-NE) festgestellt worden. Sollte sich diese Orientierung in weiteren Messungen bestätigen, unterstreicht dies die Sonderstellung des rautenförmigen Kaiserstuhl-Blocks innerhalb der Scherzone.

Südlich des Kaiserstuhl-Blocks sind im Wittelsheim-Buggingen- und Dannemarie-Becken an mehreren Stellen angenähert N-S orientierte Hauptspannungen gemessen worden, die eine E-W gerichtete Dehnung dieser Becken nahelegen. Der Winkel zu den Hauptstrukturen innerhalb der Scherzone beträgt ungefähr 20° bis 45°. Ob ein Zusammenhang der heutigen Orientierung des Spannungsfeldes mit den lokalen transpressiven Strukturen am Vogesenrand und mit der nur hier auftretenden Salztektunik besteht, ist noch unklar.



Altersbeziehungen

Die jüngsten aus der Schichtlagerung des Untergrundes datierbaren Störungen versetzen die Basis der Lockergesteine. Die Basis der Lockergesteine weist entlang der Illfurth–Bruchsal-Scherzone eine Einsenkung auf, die auf anhaltende Bewegungen hindeutet. Über Salzdiapiren ist die Basis der Lockergesteine teilweise angehoben bzw. höher als im Gebiet der umgebenden Salzabwanderungssenken. Die Salzdiapire durchstoßen dabei das Jüngere Oberrheingraben-Tertiär oder deformieren es, wobei jedoch in einigen Fällen Mächtigkeitsreduktionen in Richtung des Salzdoms zu erkennen sind, die auf bereits synsedimentäre Bewegungen hinweisen.

Diskordanzen über stärker gestörtem oder verstelltem Untergrund zeigen sich an der Basis der Lockergesteine und lokal an der Basis der Froidefontaine-Formation, insbesondere im Bereich der eigentlichen Randschollen. Die in den seismischen Linien erkennbaren Störungen enden aufwärts in unterschiedlichen stratigraphischen Niveaus und stellen daher wahrscheinlich unterschiedliche Generationen von Störungssystemen dar. Die häufigsten Terminationen finden sich im Niveau der Diskordanzen sowie an der Basis des Tertiärs, doch finden sich einzelne Terminationen auch in den Niveaus dazwischen oder innerhalb der Lockergesteine.

Mächtigkeitsmaxima sowohl des Älteren wie auch des Jüngeren Oberrheingraben-Tertiärs vom Rastatt- bis in das Wittelsheim-Buggingen-Becken und die Kaiserstuhl-Vulkanite belegen deh nende Bewegungen entlang dieser Scherzone vom späten Eozän bis in das Miozän. Im Dannemarie-Becken ist nur für das Ältere Oberrheingraben-Tertiär ein Mächtigkeitsmaximum belegt, während das Jüngere Oberrheingraben-Tertiär heute weitgehend abgetragen ist.

Die Basis des Tertiärs liegt über größere Gebiete diskordant auf kleinteilig gestörtem Mesozoikum und greift lokal randlich auf Grundgebirge über. Hinweise auf prätertiäre Bewegungen im Bereich der Illfurth–Bruchsal-Scherzone finden sich vorwiegend nördlich der Faille de Meistratzheim in Form von Mächtigkeitsmaxima oder deutlichen Mächtigkeitsgradienten von Trias und Jura. Dieses Gebiet fällt annähernd mit dem Westrand des permokarbonen Kraichgau-Beckens und wahrscheinlich mit dem Südrand der Mitteleuropäischen Kristallinzone zusammen und könnte daher auf eine variskische Tiefenstruktur zurückzuführen sein.

Weiter südlich sind nach den bisherigen Daten keine eindeutigen Beziehungen zwischen der Verbreitung oder Mächtigkeitsverteilung mesozoischer oder älterer Einheiten und den tertiären Strukturen rekonstruierbar. Die prä-eozänen Blockbewegungen, die sich in der Strukturdiskordanz unter der Tertiärbasis zu erkennen geben, müssen wohl vorwiegend oder ganz mit dem Beginn der Grabenbildung im mittleren Eozän in Verbindung gebracht werden.

Literaturhinweise

Gunzert 1962, Esslinger 1976, GLA/BRGM 1979, GLA 1981, Lutz & Cleintuar 1999, Wimmenauer 2003, Le Carlier de Veslud et al. 2005, Ford et al. 2007, Rotstein & Schaming 2008, 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

3.2.1.1, 3.2.1.3, 3.2.1.4, 3.2.1.5

Atlasblätter

1.5, 2.2–2.10, 8.2





2.3.1.3 Die westlichen Schollenfelder (Alsace–Pfalz)

Tiefenlage Tertiärbasis

Zwischen ca. 300 m über NN (Saverne-Schollenfeld) und tiefer als 4700 unter NN (Speyer-Reilingen-Schollenfeld).

Kurzbeschreibung

Westlich der Illfurth-Bruchsal-Störungszone leiten Bruchstufen und verstellte Blöcke der westlichen Schollenfelder in die tektonischen Hochlagen der Grabenschultern über. Die Grundgebirgsoberfläche fällt in dieser Zone an zahlreichen Störungen von den Grabenschultern (100 m bis über 1400 m über NN) um 2000 bis über 4000 m in den Grabenbereich ab (4700 m unter NN). Das Gebiet besteht aus mehreren tektonischen Domänen mit unterschiedlichem strukturellem Bau: Über dem Oberrheinischen Tiefland treten die nur wenig abgesenkten Haardtrandschollen und Bergzabern-Neustadt-Randschollen, das halbmondförmige Saverne-Schollenfeld mit seinen Tertiärrelikten und am Vogesenrand der Guebwiller-Block morphologisch als Teil der Grabenschultern hervor. Unter dem Oberrheinischen Tiefland liegen unter Bedeckung von Lockergesteinen und unterschiedlich mächtigem Tertiär weitere Schollenfelder, die an Querstörungen gegeneinander abgesetzt erscheinen: die Colmar-Randschollen vor dem Vogesenrand und der etwa dreieckige Haguenau-Block sind vergleichsweise wenig abgesenkt und weisen geringere Tertiärmächtigkeiten auf als das angrenzende Strasbourg-Becken (> 3000 m Tertiär) oder das Landau-Schollenfeld (bis > 2500 m), das in das tief abgesenkte Speyer-Reilingen-Schollenfeld (> 3000 m) überleitet. Südlich des Strasbourg-Beckens liegt der nach Süden verkippte Sélestat-Erstein-Block, auf dem die Tertiärmächtigkeit von einigen hundert Metern im Bereich der Erstein-Schwelle im Norden des Blocks auf mehr als 2000 m im Sélestat-Becken an dessen Südrand ansteigt.

Strukturtyp

Mosaikartiger Wechsel von tektonischen Domänen mit vorherrschend transtensivem und extensivem Charakter.

Eingangsdaten

Reflektionsseismik (2D), geologisches 3D-Modell, Bohrdaten.

Beschreibung

Südlich der Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone schließt sich im Westen des Oberrheingrabens eine zunächst fast 50 km, weiter südlich meist 20–30 km breite und heterogen gebaute Schollenzone an, in der NNW-SSE streichende gewellte und listrische Abschiebungen mit NNE-SSW streichenden transtensiven Blattverschiebungen und SW-NE streichenden Querstörungen interferieren.

Die westlichsten Schollenfelder liegen geomorphologisch außerhalb des Grabenbereichs (Haardtrandschollen und Bergzabern-Neustadt-Randschollen, Saverne-Schollenfeld, Guebwiller-Randschollen). Sie tragen keine oder nur noch geringe Relikte tertiärer Sedimente. Die meist kleinen Vorkommen (z. B. Bastberg bei Bouxwiller im Saverne-Schollenfeld) und das teilweise Fehlen einer Randfazies (z. B. für die Froidefontaine-Formation) nördlich der Vogesen legen nahe, dass diese äußeren Randschollenzonen zumindest zeitweise in den Sedimentationsraum des Grabens eingebunden waren. Anders als das Mainzer Becken haben sie ihre tertiäre Bedeckung jedoch später wieder weitgehend verloren.

Die Grenze dieser morphologisch zu den Grabenschultern gehörenden tektonischen Felder gegen die Oberrheinische Tiefebene bildet ein Lineament aus miteinander verbundenen Bruchflächen, das in Frankreich als Faille rhénane, in Deutschland als Haardtrandstörung zusammengefasst wird.

Grundgebirge und Mesozoikum sind innerhalb der Randschollen kleinräumig in kilometergroße und kleinere Blöcke zerlegt, zwischen denen Sprunghöhen von mehreren hundert Metern auftreten können. Dies gilt, nach den reflektionsseismischen Profilen, ähnlich auch für den Untergrund der stärker abgesenkten und von Tertiär bedeckten Schollen östlich der Haardtrandstörung / Faille rhénane.

Innerhalb des Tertiärbeckens ist das westliche Schollengebiet durch SW–NE oder NNW–SSE streichende



Störungen in mehrere tektonische Domänen gegliedert, die sich in Bau und Absenkungsgeschichte etwas voneinander unterscheiden. Unmittelbar südlich der Kallstadt-Schwetzingen-Störungszone schließt sich das Speyer-Reilingen-Schollenfeld an, das eine hufeisenförmige Senkungsstruktur um eine zentrale Hochlage (den Speyer-Horst) darstellt. Die Tertiärmächtigkeit erreicht hier im Grenzbereich zur Illfurth-Bruchsal-Störungszone Werte von über 3100 m.

Nach Südwesten nimmt die Tertiärmächtigkeit an der Bruchterrasse des Landau-Schollenfeldes allmählich auf etwa 1000 m ab. Dieses Schollenfeld verbindet mit zahlreichen etwa NNW–SSE streichenden und mehrfach verzweigten Abschiebungsstufen die Tieflage des Speyer-Reilingen-Schollenfeldes mit der Hochlage des etwa dreieckigen Haguenau-Blocks.

Südlich der NE-SW streichenden Faille de Hochstett steigen die Tertiärmächtigkeiten abrupt in das Strasbourg-Becken an. Nach den bisherigen reflektionsseismischen Befunden lässt sich innerhalb dieses Beckens in den tertiären Ablagerungen nur eine geringe Gliederung durch einige NNE-SSW und NNW-SSE streichende Y-Strukturen erkennen. Die Strukturen enden offenbar an der Faille de Hochstett und lassen sich nicht mit den Strukturen des Haguenau-Blocks korrelieren. Wie die Interaktion dieser Strukturen an dieser auffälligen Domänengrenze in ihren geometrischen Einzelheiten aussieht, ließ sich aus dem Netz von 2D-Seismikprofilen wegen zu großer Profildistanzen von mehreren Kilometern nicht näher bestimmen und ist im Modell daher schematisch dargestellt.

Das Becken wird im Süden durch die ebenfalls NE–SW streichende Faille de Meistratzheim gegen die Hochlage der Erstein-Schwelle begrenzt. Zwischen der Faille de Meistratzheim und der Faille de Hessenheim liegt ein weiteres Schollenfeld als tektonisch einheitliche Domäne, deren Tertiärbasis jedoch von der nördlichen Erstein-Schwelle nach Süden in das Sélestat-Becken stark einfällt. Auch der Sélestat-Erstein-Block ist durch mehrere etwa N–S streichende und verzweigte Bruchzonen gegliedert, doch sind die Informationen hier bislang nicht ausreichend für ein geschlossenes Bild.

Südlich der Faille de Hessenheim wird die tektonische Situation zunehmend komplex. Während die Randschollenzonen von Colmar und Guebwiller teils über und teils unter der heutigen Oberrheinebene liegen, schließen sich unmittelbar östlich bereits die ersten Tiefschollen des Wittelsheim-Buggingen-Beckens an, mit dem sich die Illfurth-Bruchsal-Scherzone stark nach Westen ausdehnt. Die Zuordnung der schmalen Bruchschollen zwischen der antithetischen Bruchstufe von Colmar und der von Salzdiapiren als Aufstiegsweg benutzten Faille de Mackolsheim zur Illfurth-Bruchsal-Störungszone erfolgte hier wegen der höheren Tertiärmächtigkeiten, die eine Einbeziehung in das Wittelsheim-Buggingen-Becken angebracht erscheinen lassen. Nach der Schichtlagerung des Mesozoikums könnte dieser Bereich zwischen den WSW–ENE streichenden Störungen von Hessenheim und Hettenschlag mit gleichem Recht als Teil der westlichen Randschollen aufgefasst werden.

Weiter südlich leiten zahlreiche grabenparallele Störungen in den Südvogesen in die Transferzone über, die den Oberrheingraben mit dem südwestlich gelegenen Bresse-Graben verbindet. Einzelne lokale Aufschiebungen am südlichen Vogesenrand wurden bereits früher beobachtet und stehen möglicherweise mit der Einengung im Gefolge der Alpenkollision und der Nähe der alpinen Deformationsfront (Faltenjura) in Zusammenhang.

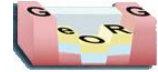
Heutiger Spannungszustand

Nach den vorliegenden Spannungsmessungen (Heidbach et al. 2008) ist die Hauptspannungsrichtung mit nur geringen Schwankungen einheitlich NW–SE orientiert. Für grabenparallele NNE–SSW streichende Störungszonen impliziert dies eine sinistral-transpressive Scherkomponente, während an N–S und NNW–SSE orientierte Störungszonen vorwiegend extensive Deformation anzunehmen ist. Die etwa ENE–WSW streichenden und fast saiger einfallenden Störungen von Hessenheim, Meistratzheim und Hochstett stehen annähernd senkrecht zur heutigen Einengung und dürften inaktiv sein.

Altersbeziehungen

Die jüngsten aus der Schichtlagerung des Untergrundes datierbaren Störungen versetzen die Basis der Lockergesteine. Diskordanzen über stärker gestörtem oder verstelltem Untergrund zeigen sich an der Basis der Lockergesteine und lokal an der Basis der Froidefontaine-Formation, insbesondere im Bereich der





eigentlichen Randschollen. Die Basis des Tertiärs liegt über größere Gebiete diskordant auf kleinteilig gestörtem Mesozoikum und greift lokal randlich auf Grundgebirge über.

Die für die bislang rekonstruierten tertiären und auch das heutige Spannungsfeld ungewöhnlichen Orientierungen der WSW–ENE streichenden Domänengrenzen (Hochstedt, Meistratzheim und Hessenheim) lässt für diese bisher nur im Känozoikum beobachteten Störungen vermuten, dass es sich um reaktivierte Grundgebirgsstrukturen handelt. Störungen vergleichbarer Orientierung finden sich jedenfalls mehrfach im Kristallin der Vogesen. Das westliche Ende der Faille de Meistratzheim liegt dabei nur etwa 6 km nördlich des Ausstrichs der paläozoischen Faille de Lalaye-Lubin und könnte damit einen Hinweis auf den Betrag der sinistralen Scherung an der Faille rhénane geben.

Literaturhinweise

Schnaebelé 1948, Théobald 1953, Schad 1962, Stellrecht 1971, Hirlemann 1974, GLA/BRGM 1979, Bergerat 1987, Villemin & Bergerat 1987, Stapf 1988, 1996, Chorowicz et al. 1989, Chorowicz & Deffontaines 1993, Lutz & Cleintuar 1999, Maurin & Niviere 2000, Dezayes et al. 2009, LGB-RLP 2005, Rotstein & Schaming 2008, 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

3.2.1.1, 3.2.1.2

Atlasblätter

1.5, 2.2–2.10, 8.2





2.3.1.4 Die östlichen Randschollen (Grabenrand Schwarzwald–Kraichgau)

Tiefenlage Tertiärbasis

Zwischen ca. 100 m über NN (Malsch-Rot-Randschollen) und 500 bis 1000 m unter NN, örtlich mehr als 2000 m unter NN (Teile der Lahr-Achern- und Weingarten-Randschollen), einige Schollen frei von Tertiär.

Kurzbeschreibung

Zwischen den tiefer abgesenkten Bereichen der Illfurth-Bruchsal-Störungszone und den gehobenen Gebieten der Grabenschultern (Schwarzwald und Kraichgau) liegt eine Zone weniger abgesenkter Schollen von meist langgestrecktem Umriss. Östlich und westlich werden diese Randschollen von Störungen mit beträchtlichen Sprunghöhen (bis mehrere Kilometer) begrenzt, die abschnittsweise als Innere und Äußere Grabenrandstörung bezeichnet wurden. Einige dieser Randschollen ragen über die Oberrheinische Tiefebene als Vorbergzone hinaus und tragen auf den mesozoischen Gesteinen keine oder nur unbedeutende Tertiärrelikte, insbesondere die Langenbrücken-Senke, die Emmendingen-Randschollen, der Freiburg-Block, der Kandern-Block und das Schopfheim-Bruchfeld. Westlich schließen sich daran Schollen an, die mehrere hundert Meter Tertiär tragen und teilweise nach Norden oder Süden gegen die Tertiärbecken der Illfurth-Bruchsal-Störungszone verkippt sind, wie die Malsch-Rot-Randschollen, Weingarten-Randschollen, Rust-Schutterwald-Randschollen und Lahr-Achern-Randschollen.

Strukturtyp

Sinistral-transtensives System aus Leistenschollen mit starker extensiver Komponente.

Eingangsdaten

Reflektionsseismik (2D), geologisches 3D-Modell, Bohrdaten.

Beschreibung

Östlich der Illfurth-Bruchsal-Scherzone begleitet den geomorphologischen Grabenrand eine 10 bis 30 km breite Randschollenzone, in der die Grundgebirgsoberfläche gegenüber der Grabenschulter weniger stark abgesenkt ist als in der Illfurth-Bruchsal-Scherzone. Die tiefer abgesenkten westlichen Schollen tragen meist eine geringmächtige Bedeckung aus tertiären und quartären Sedimenten, während in den östlichen Randschollen Mesozoikum und teilweise das Grundgebirge ausstreicht und Vorberge bildet.

Am Nordende der Illfurth-Bruchsal-Störungszone bilden die Langenbrücken-Randschollen den Grabenrand. Gesteine des Jura und des höheren Keupers bilden hier ein etwa dreieckiges Schollenfeld zwischen Ubstadt-Walldürn-Störungszone und Grabenrandverwerfung. Westlich schließen sich die Malsch-Rot-Randschollen als Bruchstapel mit geringer Tertiärbdeckung an. Südlich davon begleiten die Weingarten-Randschollen, ebenfalls mit geringmächtigem Tertiär, den morphologischen Grabenrand. Der Anstieg in das Hügelland des Kraichgau wird von weiteren Randschollen gebildet, deren Begrenzung wegen der weit verbreiteten Lößbedeckung nur abschnittsweise bekannt ist.

Ähnlich ist die Situation bei den Randschollen im Nordschwarzwald, die landschaftlich ganz zum Schwarzwald gehören und in denen an grabenparallel streichenden Ruschelzonen das Grundgebirge nur geringfügig gegen die Hochlagen des zentralen Nordschwarzwalde abgesenkt ist. Da hier das mesozoische Deckgebirge weitgehend abgetragen ist, lässt sich deren Abgrenzung und tektonische Position nur ungefähr einschätzen. Dagegen tragen die Lahr-Achern-Randschollen, westlich der Grabenrandverwerfung und landschaftlich Teil der Oberrheinischen Tiefebene, über den mesozoischen Gesteinen meist noch lückenhaft Reste von Tertiär und fast flächendeckend Lockergesteine. Zwischen Offenburg und dem Kaiserstuhl schließen sich westlich noch die ebenfalls von känozoischen Sedimenten nur geringmächtig bedeckten Rust-Schutterwald-Randschollen an, während westlich die Emmendingen-Randschollen vor dem Bergland des Schwarzwaldes Vorberge aus mesozoischen Gesteinen bilden.

Nördlich des Kaiserstuhls vergittern sich die vorherrschenden grabenparallelen Störungsscharen mit Querstörungen unterschiedlicher Richtungen. Die wichtigsten sind NE–SW streichende Elemente, die sich teilweise auf alte Grundgebirgsstrukturen des Schwarzwalds beziehen lassen und N–S streichende





Sekundärstörungen der Illfurth-Bruchsal-Scherzone.

Östlich und südlich des Kaiserstuhls stellt der Freiburg-Block zwischen den Vorbergzonen der Emmendingen-Randschollen und des Kandern-Blocks einen stärker abgesunkenen Bereich dar, der ebenfalls geringmächtige tertiäre und quartäre Ablagerungen trägt. In diesem Bereich trifft die NW–SE streichende Freiburg-Bonndorf-Bodensee-Störungszone auf den Oberrheingraben. Aus der Vergitterung dieser Störungszone mit den NNE–SSW streichenden Bruchsystemen des Grabens ergeben sich komplexe Bruchmuster, die bereits an die Verhältnisse im südlichen Bruchschollengebiet erinnern und zu diesen überleiten.

In der östlichen Randschollenzone sind Grund- und Deckgebirge im allgemeinen kleinräumig zerlegt. Einzelne ungestörte Schollen erstrecken sich selten über mehr als wenige Kilometer, oft nur über wenige hundert Meter. Die vertikalen Sprunghöhen zwischen diesen Kleinschollen betragen häufig mehrere zehn Meter, teilweise auch mehrere hundert Meter. An den grabenparallel streichenden Störungen zeigen sich in der Randschollenzone vielfach abschiebende Bewegungsindikatoren, doch sind sie häufig von sinistralen Bewegungen überprägt oder ausgelöscht worden.

Heutiger Spannungszustand

Nach den vorliegenden Spannungsmessungen (Heidbach et al. 2008) ist die Hauptspannungsrichtung mit nur geringen Schwankungen einheitlich NW-SE orientiert, wobei die dokumentierten Orientierungen Winkel zwischen 50° und 60° zum Grabenrand einnehmen. Für die vorherrschenden grabenparallelen Störungszonen ist daher eine sinistrale Scherkomponente anzunehmen, wobei angesichts der großen Scherwinkel neben transtensiver Dehnung auch örtlich mit transpressiver Einengung gerechnet werden muss.

Altersbeziehungen

Die jüngsten aus der Schichtlagerung des Untergrundes datierbaren Störungen versetzen die Basis der Lockergesteine. Diskordanzen über stärker gestörtem oder verstelltem Untergrund zeigen sich an der Basis der Lockergesteine und lokal an der Basis der Froidefontaine-Formation, insbesondere im Bereich der eigentlichen Randschollen. Das Ältere Oberrheingraben-Tertiär kann lokal ausfallen, ist auf einigen Schollen jedoch als geringmächtige und konglomeratische Randfazies entwickelt. Die Basis des Tertiärs ist durchgehend diskordant auf kleinteilig gestörtem Mesozoikum. An mehreren Stellen sind in den Randschollen Diatreme eozäner bis miozäner Vulkanite (Tuffschlote und -spalten) bekannt.

Literaturhinweise

Richwien 1955, Genser 1959, Stellrecht 1963, Barth 1970b, Kessler & Leiber 1980, 1994, Bergerat 1987, Groschopf & Schreiner 1996, Groschopf et al. 1996, Werner & Franzke 2001, Wimmenauer 2003, Behmann et al. 2003, Timar-Geng et al. 2006, Rupf & Nitsch 2008, Kessler 2010, Rotstein & Schaming 2011, Geyer et al. 2011

Kapitelverweise

3.2.1.2, 3.2.1.5

Atlasblätter

1.5, 2.2–2.10, 8.2



2.3.1.5 Das südliche Bruchschollengebiet Freiburg–Mulhouse–Basel

Tiefenlage Tertiärbasis

Zwischen ca. 200 m über NN im Süden und annähernd 1000 m unter NN im Norden und in abgesenkten Blöcken.

Kurzbeschreibung

Südlich Mulhouse und Müllheim und östlich des Dannemarie-Beckens bzw. der Illfurth-Störung liegt ein komplex gebautes Bruchschollenfeld aus tektonischen Gräben, Halbgräben und Horstschollen. Nord-südliche Richtungen sind hier mit NW–SE-, NE–SW- und NNE–SSW-orientierten Bruchzonen vergittert. Die Tertiärmächtigkeiten nehmen vom hoch liegenden Altkirch-Block nach Osten zunächst gegen den keilförmigen Rixheim-Block und den Sierentz-Allschwil-Block zu, verringern sich auf dem weniger abgesenkten Basel-Block jedoch wieder und reduzieren sich östlich der Rheintalflexur im Tafeljura-Dinkelberg-Block auf wenige lokale Relikte. Nordöstlich davon liegt hinter der Schwelle des Istein-Blocks die grabenartige Bamlach-Dinkelberg-Bruchzone, die nur in ihrem westlichen Segment (Bamlach-Graben) nennenswerte Tertiärmächtigkeiten aufweist.

Strukturtyp

Schollenmosaik mit extensiven und transtensiven Komponenten.

Eingangsdaten

Reflektionsseismik (2D), geologisches 3D-Modell, Bohrdaten.

Beschreibung

Südlich des Wittelsheim-Buggingen-Beckens und östlich des Dannemarie-Beckens liegt zwischen Faltenjura und Schwarzwald eine Zone komplexer Blocktektonik, in der sich N–S, NE–SW, NW–SE, NNE–SSW und NNW–SSE streichende Störungen überlagern und gegenseitig beeinflussen. Die Nordostgrenze dieses Gebietes stellt eine NW–SE streichende grabenartige Bruchzone dar, die im Streichen nochmals an Querstörungen in relative Hoch- (Dinkelberg-Graben im SE) und Tieflagen (Bamlach-Graben im NW) gegliedert ist. Südlich davon stellen die westlichsten und östlichsten Gebiete dieses Bruchschollenfeldes strukturelle Hochlagen dar, die in der Literatur als Mulhouse-Horst und Tafeljura bekannt sind. Zwischen diesen Hochlagen befinden sich abgesenkte Bereiche, die früher als Grabenbruch gedeutet wurden („Sierentz-Graben“), nach den seismischen Querprofilen jedoch eher als zerblockter Halbgraben aufgefasst werden müssen.

Von West nach Ost lassen sich innerhalb des südlichen Bruchschollengebiets mehrere tektonische Blöcke unterscheiden, die an wichtigen Störungszonen aneinander grenzen. Südlich des Dannemarie-Beckens ragt noch ein Anteil des Westlichen Tafeljura in das Projektgebiet hinein. Mesozoische Gesteine erheben sich hier in struktureller Hochlage über das Niveau der känozoischen Sedimente. Dagegen ist der östlich anschließende Altkirch-Block größtenteils von geringmächtigen tertiären und quartären Sedimenten bedeckt. Er stellt das Kerngebiet der früher als „Mulhouse-Horst“ bekannten Zone mit tertiärer Schwellenfazies dar. Nach Westen grenzt der Altkirch-Block an die Störungssysteme der Faille d'Ilfurth, in denen die mesozoischen und tertiären Sedimente teilweise stark verstellt und geschleppt sind. Auch innerhalb des Altkirch-Blocks zeigen sich in der Reflektionsseismik mehrere Störungszonen, die wahrscheinlich als Sekundärstörungen zur Illfurth-Bruchsal-Scherzone aufgefasst werden müssen.

In den östlich anschließenden Blöcken von Rixheim und Sierentz-Allschwil fällt das Deckgebirge allmählich nach Osten ein. Es erreicht im Bereich der Allschwil-Störungszone ein Strukturteuf und die regional größten Tertiärmächtigkeiten. Lediglich der Istein-Block stellt eine horstartige Hochscholle innerhalb dieses Gebietes dar. Demgegenüber ist der östlich anschließende Basel-Block, trotz gleichsinnigen Einfallens des Deckgebirges, weniger abgesenkt als der Ostrand des Sierentz-Allschwil-Blocks und stellt damit gewissermaßen eine Bruchstaffel vor der Rheintalflexur dar.

Östlich schließt sich die Hochlage des Tafeljura-Dinkelberg-Blocks an. Er wird im Westen durch die





Rheintalflexur und im Norden durch die Rheinfeldens-Störungszone begrenzt, die die Südgrenze der Bamlach-Dinkelberg-Bruchzone darstellt. Südlich des Modells bildet der Faltenjura eine strukturelle Grenze, während im Osten außerhalb des Projektgebiets die Zeiningen-Störungszone als Verlängerung der Wehr-Störung die Grenze zum Aargauer Tafeljura bildet. Der Tafeljura-Dinkelberg-Block ist charakterisiert durch teilweise engständige N–S bis NE–SW streichende Graben- und Horststrukturen. Südlich der Rheinfeldens-Störungszone folgen dabei weitere dazu parallele Querbrüche, welche die Gräben und Horststrukturen weiter unterteilen. Knapp nördlich des Rheins streicht die Grenzach-Wyhlen-Störung in Richtung WNW–ESE bis in den Raum Kaiseraugst und endet vermutlich an einer N-S streichenden Struktur. Die Aspenrain-Störung quert etwa von Münchenstein die Rheintalflexur von WNW nach ESE und streicht in den Tafeljura, wo sie im Ergolztal von der Gempfen-Bruchzone durchtrennt wird. Ob sich die Aspenrain-Struktur östlich des Ergolztals noch fortsetzt, ist unklar.

Die Gempfen-Bruchzone streicht von Dornach in nordöstlicher Richtung über die Rheintalflexur und geht außerhalb des GeORG-Modellgebietes vermutlich in die Zeiniger-Störung über. Südwestlich von Dornach findet sie vermutlich im Faltenjura eine Fortsetzung im Gebiet der Blauen-Falte, die an ihr durchtrennt und versetzt wird. Die Gempfen-Bruchzone lässt sich als Transferzone mit sinistralen Schersinn deuten. Innerhalb der Gempfen-Bruchzone und vor allem südöstlich von ihr finden sich NE–SW streichende Graben- und Horststrukturen, die der Zeiniger Bruchzone zugerechnet werden können. Nördlich der Gempfen-Bruchzone streichen die Graben- und Horststrukturen vorwiegend in NNE–SSW Richtung parallel zur Rheintalflexur.

Die Schichtlagerung ist im Tafeljura generell flach mit 3°–10° gegen S bis SE gerichtet. In einzelnen Bruchschollen, kann sie bis 30° in unterschiedliche Richtungen verstellt sein. Insbesondere die NE–SW und NW–SE streichenden Querstörungen reichen unmittelbar bis in das Grundgebirge, während die Störungen der NNE–SSW streichenden Graben- und Horststrukturen teilweise in den Salz- und Anhydrit-Schichten des Mittleren Muschelkalks wurzeln.

Der strukturelle Bau aus vergitterten NW–SE- und NNE–SSW-Elementen setzt sich nördlich des Bamlach-Grabens in das östliche Wittelsheim-Buggingen-Becken hinein fort. Nach dem tektonischen Stil könnte dieser Abschnitt (Buggingen-Bruchfeld) dementsprechend auch dem südlichen Bruchschollengebiet zugeordnet werden, wird hier aber als Teil des Tertiärbeckens der Illfurth-Bruchsal-Störungszone betrachtet.

Heutiger Spannungszustand

Nach den vorliegenden Spannungsmessungen (Heidbach et al. 2008) ist die Hauptspannungsrichtung mit nur geringen Schwankungen NW-SE orientiert. Die Hauptscherzonen zeigen hierzu Winkel von 40° bis 60° in beide Richtungen, was auf sinistrale (NE-SW) und dextrale (NW-SE) Scherkomponenten hindeutet. Einen Sonderfall bildet der keilförmige Altkirch-Block an der Grenze zum Dannemarie-Becken, doch ist über die dortige lokale Spannungsrichtung bislang nichts bekannt.

Altersbeziehungen

Die jüngsten aus der Schichtlagerung des Untergrundes datierbaren Störungen versetzen die Basis der Lockergesteine. Diskordanzen über stärker gestörtem oder verstelltem Untergrund zeigen sich an der Basis der Lockergesteine und lokal an der Basis der Froidefontaine- und Lörrach-Formation, insbesondere im Bereich der Rheintalflexur. Die relative Absenkung der einzelnen Blöcke spiegelt sich nicht nur in der Tertiärmächtigkeit, sondern bereits vom Eozän an in dessen Fazies wieder. Horstschollen (Altkirch-Block, Istein-Block, Tafeljura-Dinkelberg-Block) zeigen eozäne und oligozäne Ablagerungen vielfach in Flachwasser- (palustrine Süßwasserkalke) oder Randfazies (Konglomerate, marine Küstensande). Die Basis des Tertiärs ist diskordant auf kleinteilig gestörtem Mesozoikum.

Hinweise auf ein komplexes Bruchschollenmosaik im Gebiet der südlichen Randschollen finden sich bereits in den Mächtigkeitsverteilungen des Mesozoikums. Inwieweit diese mesozoischen Strukturen oder das nur unzureichend bekannte Nordschweizer Permokarbon-Becken die Struktur dieses Gebiets mitbestimmt haben, bleibt unklar.





Literaturhinweise

Wittmann 1969, 1988, Sprecher & Müller 1986, Bergerat 1987, Laubscher 1987, 2004, 2008, Ustaszewski 2004, Rotstein et al. 2005, Spottke et al. 2005, Allenbach & Wetzel 2006, Hinsken et al. 2007, Geyer et al. 2011.

Kapitelverweise

3.2.1.2, 3.2.1.4, 3.2.1.6

Atlasblätter

1.5, 2.2–2.10, 8.2





2.3.1.6 Faltenjura

Tiefenlage Tertiärbasis

Nicht bearbeitet

Kurzbeschreibung

Der Faltenjura stellt den Südrand des Oberrheingrabens dar. Die Einheit besteht aus gefalteten und überschobenen Abfolgen des mesozoischen Deckgebirges, die nach Süden (außerhalb des Projektgebiets) unter das Tertiär der Voralpenmolasse abtauchen. Der Nordrand des Faltenjura wird von Aufschiebungen gebildet, wobei zu den nordvergenten eigentlichen Nordrandstörungen örtlich antithetische südvergente Aufschiebungen im Tertiär des Oberrheingrabens auftreten können.

Strukturtyp

Falten- und Überschiebungsgürtel. Ob die spätmiozäne bis frühpliozäne Faltungsphase an Abscherflächen im Deckgebirge („thinskinned“) oder im Grundgebirge („thickskinned“) gebunden ist, wird noch diskutiert (Ustaszewski & Schmid 2007, Madritsch et al. 2008).

Eingangsdaten

Reflektionsseismik (2D), geologisches 3D-Modell, Bohrdaten.

Beschreibung

Der Nordrand des Faltenjura streicht, aus der Region nördlich von Zürich kommend, bis an den Südrand des Projektgebietes, das er noch in einem nordwärtigen Bogen erreicht und endet, weiter nach SW streichend, im Raum Chambéry.

Der Faltenjura besteht aus mehreren annähernd parallel streichenden Falten mesozoischen Deckgebirges. Sie liegen über einem basalen Abscherhorizont innerhalb des Mittleren Muschelkalkes. Insbesondere südlich des Oberrheingrabens werden sie von NNE streichenden Querstörungen durchtrennt und dabei meist sinistral versetzt.

Den Südrand des Schweizer Teilmodells bildet die Blauen-Antikline. Nördlich der Blauen-Antikline begrenzt die Landskron-Monokline (Flexur) den Oberrheingraben. Südlich von Leymen knickt die Landskronstruktur markant nach Süden ab. Weiter im Westen, zwischen Oltingue und Courtavon findet sich die Ferrette-Antikline, als südliche Modellbegrenzung.

Heutiger Spannungszustand

Im Projektgebiet sind generell NW–SE orientierte Hauptspannungen dokumentiert (Heidbach et al. 2008).

Altersbeziehungen

Der Faltenjura wurde gemäß der Fernschubhypothese während der alpinen Orogenese gebildet.

Literaturhinweise

Laubscher 1961, 1987, Bitterli 1992, Ustaszewski 2004, Ustaszewski & Schmid 2006, 2007, Madritsch et al. 2008

Kapitelverweise

3.2.1.5

Atlasblätter

1.5, 2.2–2.10, 8.2





2.3.2 Tektonischer Bau nach Tiefenstufen

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse in 500 m bis 5000 m unter Geländeoberfläche in Schritten von 500 m Tiefenabstand (Atlasblätter 2.11 bis 2.20).

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells.

Beschreibung

In Kapitel 2.3.2 werden die Geologischen Karten Atlasblätter 2.11 bis 2.20 kurz erläutert. Die Karten stellen Schnittflächen durch das geologische 3D-Modell dar, die einen festen Tiefenabstand zur Geländeoberfläche einhalten.

Kapitelverweise

2.3.1, 2.3.2.1, 2.3.2.2, 2.3.2.3, 2.3.2.4, 2.3.2.5, 2.3.2.6, 2.3.2.7, 2.3.2.8, 2.3.2.9, 2.3.2.10, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20





2.3.2.1 Geologie bei 500 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 500 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Tertiäre Einheiten beherrschen das Kartenbild. Im Norden ist zudem bei 500 m unter Gelände mit Lockergesteinen die jüngste Modelleinheit angeschnitten. In den westlichen und östlichen Randschollen sowie im gesamten südlichen Grabenbereich östlich der Illfurth-Störungzone treten neben den tertiären Einheiten auch mesozoische Gesteine auf. Prämesozoische Gesteine sind ausschließlich im Nordwesten in den Grünstadt-Randschollen und im Südosten im Tafeljura-Dinkelberg-Block zu finden.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen: Permokarbon, im Süden untergeordnet auch Buntsandstein

Worms-Zwischenschollen: Oberrheingraben-Tertiär 2

Mannheim-Becken, Heidelberg-Becken: Lockergestein, im Süden auch Oberrheingraben-Tertiär 2

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Keuper dominiert, untergeordnet auch Muschelkalk und Unterjura

Weingarten-Randschollen: im Süden Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Norden Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 500 m unter Gelände mesozoische Einheiten (Muschelkalk bis Mitteljura) sowie Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

Illfurth-Bruchsal-Störungzone

Rastatt-Becken: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1, im Depozentrum Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2

Niederrödern-Block, Kehl-Block, Rhinau-Zwischenschollen: hauptsächlich Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1; in den Rhinau-Zwischenschollen untergeordnet auch Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Wittelsheim-Buggingen-Becken: Älteres Oberrheingraben-Tertiär, in mehreren Depozentren Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Dannemarie-Becken: in den randlichen Bereichen jurassische Sedimente und Älteres Oberrheingraben-Tertiär; im Depozentrum dominiert Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Die Schollenfelder nördlich des Strasbourg-Beckens schneiden bei 500 m unter Gelände von SW nach NE zunehmend jüngere Einheiten an:

Hagenau-Block: von West nach Ost: Keuper, Unterjura, Älteres Oberrheingraben-Tertiär und Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Neustadt-Randschollen und Landau-Schollenfeld: vorrangig Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2, im Süden und in den Neustadt-Randschollen auch Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär

Strasbourg-Becken: peripher Älteres Oberrheingraben-Tertiär, ansonsten Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Sélestat-Erstein-Block: zweigeteilter tektonischer Bau; im Norden im Bereich des Erstein Hochs Älteres





Oberrhingraben-Tertiär, nach S zum Sélestat-Becken hin und in dessen Depozentrum Jüngerer Oberrhingraben-Tertiär 1
Colmar-Randschollen: jurassische Einheiten, nach Osten hin Älteres Oberrhingraben-Tertiär

Südliches Bruchschollengebiet

Bamlach-Bruchzone, Dinkelberg-Bruchzone und Rixheim-Block: jurassische Einheiten, untergeordnet auch Älteres Oberrhingraben-Tertiär

Istein-Block: im Zentrum Unterjura, in randlichen Bereichen Mitteljura

Altkirch-Block: wird von jurassischen Sedimenten dominiert, im Südosten auch Älteres Oberrhingraben-Tertiär und Jüngerer Oberrhingraben-Tertiär 1

Sierentz-Allschwil-Block: im nördlichen Bereich Mittlerer und Unterer Mitteljura sowie Hauptrogenstein, nach Süden und Osten hin tertiäre Einheiten (Älteres Oberrhingraben-Tertiär und Jüngerer Oberrhingraben-Tertiär 1)

Basel-Block: jurassische Einheiten sowie Älteres Oberrhingraben-Tertiär, lokal auch Jüngerer Oberrhingraben-Tertiär 1; komplexer geologischer Internbau

Tafeljura-Dinkelberg-Block: im Norden Kristallin, im Süden Permokarbon und mesozoische Einheiten bis zum Unterjura

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.11





2.3.2.2 Geologie bei 1000 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 1000 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Tertiäre Einheiten beherrschen das Kartenbild. In den westlichen und östlichen Randschollen sowie im gesamten südlichen Grabenbereich östlich der Illfurth-Störungszone treten hauptsächlich mesozoische Gesteine auf. Kristallin und Permokarbon sind im Nordwesten in den Grünstadt-Randschollen und im Südosten im Tafeljura-Dinkelberg-Block zu finden.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen: Kristallin und Permokarbon

Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken, Heidelberg-Becken: Oberrheingraben-Tertiär 1

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Buntsandstein

Weingarten-Randschollen: im Süden Unterjura, im Norden Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 1000 m unter Gelände mesozoische Einheiten (Buntsandstein bis Unterjura) untergeordnet auch Permokarbon und Kristallin; der komplizierte Interbau der Blöcke sorgt für lokal stark wechselnde geologische Verhältnisse

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

Illfurth-Bruchsal-Störungszone

Rastatt-Becken: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1, im Depozentrum Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2

Niederrödern-Block, Kehl-Block, Rhinau-Zwischenschollen: hauptsächlich Älteres Oberrheingraben-Tertiär; in den Rhinau-Zwischenschollen untergeordnet auch jurassische Einheiten

Wittelsheim-Buggingen-Becken: Älteres Oberrheingraben-Tertiär, in mehreren Depozentren Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Dannemarie-Becken: in den randlichen Bereichen triassische und jurassische Sedimente; im Depozentrum dominiert Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Kaiserstuhl-Block

Magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Die Schollenfelder nördlich des Strasbourg-Beckens schneiden bei 1000 m unter Gelände von SW nach NE zunehmend jüngere Einheiten an:

Neustadt-Randschollen: triassische Einheiten (Buntsandstein bis Keuper)

Hagenau-Block: von West nach Ost: Trias, Unterjura, Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Landau-Schollenfeld: vorrangig Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1, im Süden noch Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1, in Depozentren auch Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2

Strasbourg-Becken: peripher Älteres Oberrheingraben-Tertiär, in den störungsgebundenen Depozentren Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Sélestat-Erstein-Block: zweigeteilter tektonischer Bau; im Norden im Bereich des Erstein Hochs Unterjura,





nach S zum Sélestat-Becken hin Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Depozentrum Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1
Colmar-Randschollen: triassische Einheiten, nach Osten hin auch Unterjura

Südliches Bruchschollengebiet

Bamlach-Dinkelberg-Bruchzone und Rixheim-Block: Keuper und jurassische Einheiten

Istein-Block: im Zentrum Buntsandstein, in randlichen Bereichen Muschelkalk und Keuper

Altkirch-Block: wird von Keuper und jurassischen Sedimenten dominiert

Sierentz-Allschwil-Block: im nördlichen Bereich Muschelkalk und Keuper, nach Süden und Osten hin jurassische Einheiten (bis Oberjura)

Basel-Block: jurassische Einheiten und lokal auch Älteres Oberrheingraben-Tertiär; komplexer geologischer Internbau

Tafeljura-Dinkelberg-Block: im Norden Kristallin, im Süden Permokarbon

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.12





2.3.2.3 Geologie bei 1500 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 1500 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Auffälligstes Element der Darstellung zur Geologie 1500 m unter Geländeoberfläche sind die mit tertiären Einheiten gefüllten Beckenstrukturen des Mannheim-, Heidelberg-, Rastatt-, Strasbourg-, Sélestat-, Wittelsheim-Buggingen-Beckens sowie des Dannemarie-Beckens. Daneben sind die hauptsächlich durch meso- und paläozoische untergeordnet auch durch Kristallin gekennzeichneten Hochgebiete der westlichen und östlichen Randschollen, des Erstein-Hochs, des gesamten südlichen Grabenbereichs östlich der Illfurth-Störungszone sowie des Tafeljura-Dinkelberg-Blocks im Kartenbild erkennbar.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen: Kristallin, im Nordostteil des Randschollenbereichs Älteres Oberrheingraben-Tertiär
Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken, Heidelberg-Becken: Oberrheingraben-Tertiär 2, nur im südlichen Bereich der Worms-Zwischenschollen auch Oberrheingraben-Tertiär 1

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Permokarbon

Weingarten-Randschollen: im Süden Unterer bis Oberer Muschelkalk, nach Norden hin zunehmend jüngere mesozoische Einheiten; im nördlichsten Abschnitt auch Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 1500 m unter Gelände Kristallin, Permokarbon und Buntsandstein

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

Illfurth-Bruchsal-Störungszone

Rastatt-Becken: peripher Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Depozentrum Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Niederröden-Block, Kehl-Block, Rhinau-Zwischenschollen: hauptsächlich Älteres Oberrheingraben-Tertiär; in den Rhinau-Zwischenschollen mesozoische Einheiten (Unterjura dominiert, untergeordnet auch triassische Einheiten); der komplizierte Internbau der Blöcke sorgt für lokal stark wechselnde geologische Verhältnisse

Wittelsheim-Buggingen-Becken: zweigeteiltes Becken; peripher steht Älteres Oberrheingraben-Tertiär an, während in den Depozentren des Wittelsheim-Bugginger Beckens Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1 anzutreffen ist

Dannemarie-Becken: in den randlichen Bereichen triassische und jurassische Sedimente, im Süden und Westen auch Permokarbon; im Depozentrum dominiert Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Die Schollenfelder nördlich des Strasbourg-Beckens schneiden bei 1500 m unter Gelände von SW nach NE zunehmend jüngere Einheiten an:

Neustadt-Randschollen: Buntsandstein

Hagenau-Block: von West nach Ost: Kristallin, Permokarbon, Trias, Unterjura

Landau-Schollenfeld: vorrangig Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Norden auch Jüngeres Oberrheingraben-



Tertiär 1

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1, in Depozentren auch Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2

Strasbourg-Becken: peripher jurassische Einheiten (vorrangig Unterjura), in den störungsgebundenen Depozentren Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Sélestat-Erstein-Block: zweigeteilter tektonischer Bau; im Norden im Bereich des Erstein Hochs Buntsandstein, nach S zum Sélestat-Becken hin mesozoische Einheiten (Muschelkalk - Mitteljura), im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Colmar-Randschollen: Kristallin, nach Osten hin Trias und Unterjura

Südliches Bruchschollengebiet

Bamlach-Dinkelberg-Bruchzone, Istein-Block und Rixheim-Block: Kristallin und Permokarbon

Altkirch-Block: wird von Permokarbon und triassischen Sedimenten dominiert

Sierentz-Allschwil-Block: im nördlichen Bereich Permokarbon, nach Süden und Osten hin jüngere Einheiten von Buntsandstein bis zum Unterjura

Basel-Block: triassische Einheiten und Unterjura, komplexer geologischer Internbau

Tafeljura-Dinkelberg-Block: Kristallin

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.13





2.3.2.4 Geologie bei 2000 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 2000 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Auffälligstes Element der Darstellung zur Geologie 2000 m unter Geländeoberfläche sind die mit tertiären Einheiten gefüllten Beckenstrukturen des Mannheim-, Heidelberg-, Rastatt-, Strasbourg-, Sélestat- und Wittelsheim-Buggingen-Beckens. Daneben sind die hauptsächlich durch Kristallin gekennzeichnete Hochgebiete der westlichen und östlichen Randschollen, des Erstein-Hochs, des gesamten südlichen Grabenbereichs östlich der Illfurth-Störungszone sowie des Tafeljura-Dinkelberg-Blocks im Kartenbild erkennbar.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen: Kristallin, im Nordwestteil des Randschollenbereichs auch Permokarbon
Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken, Heidelberg-Becken: in den peripheren Bereichen Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1, in Depozentren Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 2

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Kristallin + Permokarbon
Weingarten-Randschollen: im Süden Buntsandstein, nach Norden hin zunehmend jüngere mesozoische Einheiten bis zum Unterjura
Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 2000 m unter Gelände Kristallin anstehend
Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

Illfurth-Bruchsal-Störungszone

Rastatt-Becken: peripher Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Depozentrum Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1
Niederrödern-Block, Kehl-Block, Rhinau-Zwischenschollen: hauptsächlich mesozoische Sedimente; der komplizierte Interbau der Blöcke sorgt für lokal stark wechselnde geologische Verhältnisse
Wittelsheim-Buggingen-Becken: zweigeteiltes Becken; peripher stehen unter- bis oberjurassische Gesteine an, während im Wittelsheim-Bugginger Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Hartheim-Depozentrum zudem Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1 anzutreffen ist
Dannemarie-Becken: in den randlichen Bereichen triassische Sedimente, im Süden und Westen auch Kristallin und Permokarbon; im Depozentrum dominieren mittel- bis oberjurassische Einheiten

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Die Schollenfelder nördlich des Strasbourg-Beckens schneiden bei 2000 m unter Gelände von SW nach NE zunehmend jüngere Einheiten an:
Neustadt-Randschollen und Haguenau-Block: Kristallin, Permokarbon, im Haguenau-Block im W auch Buntsandstein
Landau-Schollenfeld: vorrangig Keuper
Speyer-Reilingen-Schollenfeld: Älteres Oberrheingraben-Tertiär, in Depozentren auch Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1





Strasbourg-Becken: peripher mesozoische Einheiten (vorrangig Keuper und Unterjura), in den störungsgebundenen Depozentren Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Sélestat-Erstein-Block: zweigeteilter tektonischer Bau; im Norden im Bereich des Erstein Hochs Kristallin, nach S zum Sélestat-Becken hin mesozoische Einheiten (Buntsandstein - Mitteljura), im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Colmar-Randschollen: Kristallin

Südliches Bruchschollengebiet

Bamlach-Dinkelberg-Bruchzone, Istein-Block und Rixheim-Block: hauptsächlich kristalline Einheiten, untergeordnet auch Permokarbon

Altkirch-Block: wird von Kristallin dominiert, im Südteil auch permokarbone Gesteine

Sierentz-Allschwil-Block und Baselblock: in den nördlichen Bereich jeweils Kristallin, nach Südosten hin jeweils jüngere Einheiten von Permokarbon bis zum Muschelkalk

Tafeljura-Dinkelberg-Block: Kristallin

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.14





2.3.2.5 Geologie bei 2500 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 2500 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Auffälligstes Element der Darstellung zur Geologie 2500 m unter Geländeoberfläche sind die mit tertiären Einheiten gefüllten Beckenstrukturen des Mannheim-, Heidelberg-, Rastatt-, Strasbourg- und Wittelsheim-Buggingen-Beckens. Daneben sind die hauptsächlich durch Kristallin gekennzeichneten Hochgebiete der westlichen und östlichen Randschollen, des Erstein-Hochs, des gesamten südlichen Grabenbereichs östlich der Illfurth-Störungszone sowie des Tafeljura-Dinkelberg-Blocks im Kartenbild erkennbar.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen: Kristallin

Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken, Heidelberg-Becken: in den peripheren Bereichen Älteres Oberrheingraben-Tertiär, in Depozentren Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Kristallin

Weingarten-Randschollen: im Süden Permokarbon, nach Norden hin zunehmend jüngere mesozoische Einheiten bis zum Unterjura

Rust-Schutterwald-Randschollen und Lahr-Achern-Randschollen: bei 2500 m unter Gelände Kristallin anstehend

Illfurth-Bruchsal-Störungszone

Rastatt-Becken: peripher Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Depozentrum lokal Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1

Niederrödern-Block, Kehl-Block: hauptsächlich mesozoische Sedimente; der komplizierte Interbau der Blöcke sorgt für lokal stark wechselnde geologische Verhältnisse

Rhinau-Zwischenschollen: bei 2500 m unter Gelände überwiegend Kristallin anstehend, am West- und Südrand noch Rest von Buntsandstein und Permokarbon

Wittelsheim-Buggingen-Becken: zweigeteiltes Becken; peripher stehen triassische und jurassische Gesteine an, während in den Depozentren von Wittelsheim-Buggingen und Hartheim Älteres Oberrheingraben-Tertiär anzutreffen ist

Dannemarie-Becken: in den randlichen Bereichen Kristallin und Permokarbon; zum Depozentrum hin zunehmend jüngere Einheiten bis zum Unterjura

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Die Schollenfelder nördlich des Strasbourg-Beckens schneiden bei 2500 m unter Gelände von SW nach NE zunehmend jüngere Einheiten an:

Neustadt-Randschollen und Haguenau-Block: Kristallin und Permokarbon

Landau-Schollenfeld: vorrangig im Südwesten Buntsandstein nach Nordosten hin Muschelkalk und Keuper

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: im Westen Buntsandstein, nach Osten hin zunehmend jüngere mesozoische Einheiten bis zum Unterjura sowie Älteres Oberrheingraben-Tertiär, im Depozentrum lokal Jüngerer



Oberrhein-Graben-Tertiär 1

Strasbourg-Becken: peripher mesozoische Einheiten (vorrangig Buntsandstein), in den störungsgebundenen Depozentren Älteres Oberrhein-Graben-Tertiär

Sélestat-Erstein-Block: zweigeteilter tektonischer Bau; im Norden im Bereich des Erstein-Hochs Kristallin, nach S zum Sélestat-Becken hin mesozoische Einheiten, im Depozentrum Unterjura

Colmar-Randschollen: Kristallin

Südliches Bruchschollengebiet

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

Bamlach-Dinkelberg-Bruchzone, Istein-Block und Rixheim-Block: hauptsächlich Kristallin

Altkirch-Block: Kristallin dominiert

Sierentz-Allschwil-Block und Baselblock: in den nördlichen Bereichen jeweils Kristallin, im Südosten auch Permokarbon

Tafeljura-Dinkelberg-Block: Kristallin

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.15





2.3.2.6 Geologie bei 3000 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 3000 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Auffälligstes Element der Darstellung zur Geologie 3000 m unter Geländeoberfläche sind die mit tertiären Einheiten gefüllten Beckenstrukturen des Mannheim-, Heidelberg- und Rastattbeckens. Weitere Beckenstrukturen, wie das Strasbourg-, Sélestat- und Wittelsheim-Buggingen-Becken sind durch mesozoische Gesteinsserien gekennzeichnet. Ansonsten dominiert Kristallin über weite Bereiche das Kartenbild.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen: Kristallin

Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken, Heidelberg-Becken: in den peripheren Bereichen Buntsandstein und Älteres Oberrheingraben-Tertiär, in Depozentren Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Kristallin

Weingarten-Randschollen: im Süden Permokarbon, nach Norden hin Buntsandstein und lokal Muschelkalk

Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 3000 m unter Gelände Kristallin anstehend

Illfurth-Bruchsal-Störungszone

Rastatt-Becken: peripher mesozoische Sedimente (Buntsandstein - Unterjura), im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Niederrödern-Block, Kehl-Block: hauptsächlich Permokarbon und Buntsandstein, im Süden auch Kristallin

Rhinau- Zwischenschollen: bei 3000 m unter Gelände Kristallin anstehend

Wittelsheim-Buggingen-Becken: zweigeteiltes Becken; peripher Kristallin, in den Depozentren von Wittelsheim-Buggingen und Hartheim mesozoische Sedimente; ganz im Westen lokal auch Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Dannemarie-Becken: Depozentrum durch Permokarbon bis Muschelkalk erkennbar, ansonsten Kristallin

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Die Schollenfelder nördlich des Strasbourg-Beckens schneiden bei 3000 m unter Gelände von SW nach NE zunehmend jüngere Einheiten an:

Neustadt-Randschollen und Haguenau-Block: Kristallin

Landau-Schollenfeld: vorrangig im Südwesten Kristallin, nach Nordosten hin Buntsandstein, lokal auch Muschelkalk und Keuper

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: im Westen Kristallin, nach Osten hin zunehmend jüngere mesozoische Einheiten bis zum Unterjura sowie Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Strasbourg-Becken: peripher Kristallin, Permokarbon und Buntsandstein, in den störungsgebundenen Depozentren jüngere triassische Einheiten bis Unterjura

Sélestat-Erstein-Block: kristallindominiert, Sélestat-Becken im Süden ist durch permokarbone Sedimente sowie Buntsandstein, lokal auch Muschelkalk gekennzeichnet





Colmar-Randschollen: Kristallin

Südliches Bruchschollengebiet

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

alle anderen Blöcke: Kristallin, im Sierentz-Allschwil-Block und Basel-Block untergeordnet auch Permokarbon

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.16





2.3.2.7 Geologie bei 3500 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 3500 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Die Darstellung zur Geologie 3500 m unter Geländeoberfläche wird weitestgehend von Kristallin beherrscht. Beckenstrukturen mit meso- und känozoischen Einheiten, z.B.: das Mannheim- und Rastatt-Becken, konzentrieren sich weitestgehend im Norden des Projektgebiets.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen: Kristallin

Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken, Heidelberg-Becken: in den peripheren Bereichen Kristallin und Buntsandstein, in Depozentren Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Kristallin

Weingarten-Randschollen: im Süden Kristallin, im Norden Permokarbon

Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 3500 m unter Gelände Kristallin anstehend

Illfurth-Bruchsal-Störungzone

Rastatt-Becken: peripher permokarbone und mesozoische Sedimente (Buntsandstein - Unterjura), im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Niederrödern-Block, Kehl-Block: hauptsächlich Kristallin, im Norden auch Permokarbon

Rhinau- Zwischenschollen: bei 3500 m unter Gelände Kristallin anstehend

Wittelsheim-Buggingen-Becken: zweigeteiltes Becken; weitestgehend Kristallin, in den Depozentren von Wittelsheim-Buggingen und Hartheim permokarbone und mesozoische Sedimente (Buntsandstein - Keuper)

Dannemarie-Becken: Depozentrum durch Permokarbon erkennbar, ansonsten Kristallin

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Die Schollenfelder nördlich des Strasbourg-Beckens schneiden bei 3500 m unter Gelände von SW nach NE zunehmend jüngere Einheiten an:

Neustadt-Randschollen, Haguenau-Block, Landau-Schollenfeld: Kristallin; im Landau-Schollenfeld lokal auch Permokarbon und Buntsandstein

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: im Westen Kristallin, nach Osten hin zunehmend jüngere mesozoische Einheiten bis zum Unterjura sowie Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Strasbourg-Becken: peripher Kristallin, Permokarbon und Buntsandstein, in den störungsgebundenen Depozentren jüngere triassische Einheiten, in lokalen Störungsstrukturen bis Unterjura

Sélestat-Erstein-Block, Colmar-Randschollen: Kristallin

Südliches Bruchschollengebiet

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

alle anderen Blöcke: Kristallin





Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.17





2.3.2.8 Geologie bei 4000 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 4000 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Die Darstellung zur Geologie 4000 m unter Geländeoberfläche wird weitestgehend von Kristallin beherrscht. Beckenstrukturen mit meso- und känozoischen Einheiten, wie das Mannheim- und Rastatt-Becken, konzentrieren sich im Norden des Projektgebiets.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen, Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken: Kristallin

Heidelberg-Becken: in den peripheren Bereichen Kristallin und Buntsandstein, im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Kristallin

Weingarten-Randschollen: im Süden Kristallin, im Norden Permokarbon

Niederrödern-Block, Kehl-Block, Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 4000 m unter Gelände Kristallin anstehend

Illfurth-Bruchsal-Störungzone

Rastatt-Becken: peripher Kristallin, permokarbone und mesozoische Sedimente (Buntsandstein - Unterjura), im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Rhinau- Zwischenschollen, Wittelsheim-Buggingen-Becken, Dannemarie-Becken: Kristallin

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Neustadt-Randschollen, Haguenau-Block, Landau-Schollenfeld: Kristallin

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: im Westen Kristallin, nach Osten hin Permokarbon und Buntsandstein, im Depozentrum Muschelkalk, Keuper, Unterjura

Strasbourg-Becken: Kristallin, in lokalen Störungsstrukturen Permokarbon und Buntsandstein

Sélestat-Erstein-Block, Colmar-Randschollen: Kristallin

Südliches Bruchschollengebiet

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert

alle anderen Blöcke: Kristallin

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.18





2.3.2.9 Geologie bei 4500 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 4500 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Die Darstellung zur Geologie 4500 m unter Geländeoberfläche wird weitestgehend von Kristallin beherrscht. Beckenstrukturen mit meso- und känozoischen Einheiten beschränken sich auf das Mannheim- und Rastatt-Becken im Norden des Projektgebiets.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen, Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken: Kristallin

Heidelberg-Becken: in den peripheren Bereichen Kristallin und triassische Einheiten, im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen: Kristallin

Weingarten-Randschollen: im Süden Kristallin, im zentralen Bereich Permokarbon

Niederrödern-Block, Kehl-Block, Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen: bei 4500 m unter Gelände Kristallin anstehend

Illfurth-Bruchsal-Störungzone

Rastatt-Becken: peripher Kristallin, permokarbone und mesozoische Sedimente (Buntsandstein - Unterjura), im Depozentrum Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Wittelsheim-Buggingen-Becken, Rhinau- Zwischenschollen: Kristallin

Kaiserstuhl-Block

magmato-sedimentäre Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Neustadt-Randschollen, Haguenau-Block, Landau-Schollenfeld, Dannemarie-Becken: Kristallin

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: im Westen Kristallin, nach Osten hin Permokarbon und Buntsandstein, im Depozentrum Muschelkalk und lokal Keuper

Strasbourg-Becken , Sélestat-Erstein-Block, Colmar-Randschollen: Kristallin

Südliches Bruchschollengebiet

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert
alle anderen Blöcke: Kristallin

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.19





2.3.2.10 Geologie bei 5000 m unter Geländeoberfläche

Kurzbeschreibung

Beschreibung der geologischen Verhältnisse bei 5000 m unter Geländeoberfläche

Eingangsdaten

Horizonte des geologischen 3D-Modells

Beschreibung

Die Darstellung zur Geologie 5000 m unter Geländeoberfläche wird weitestgehend von Kristallin beherrscht. Beckenstrukturen mit mesozoischen Einheiten beschränken sich auf das Mannheim- und Rastatt-Becken sowie das Speyer-Reilingen-Schollenfeld im Norden des Projektgebiets. Känozoische Einheiten werden nicht mehr angeschnitten.

Nördlicher Grabenabschnitt

Grünstadt-Randschollen, Worms-Zwischenschollen, Mannheim-Becken: Kristallin

Heidelberg-Becken: Kristallin, im Depozentrum Permokarbon und Buntsandstein, lokal auch Muschelkalk und Keuper

Östliche Randschollenzone

Malsch-Rot-Randschollen, Weingarten-Randschollen: Kristallin, in den Weingarten-Randschollen lokal auch Permokarbon

Niederrödern-Block, Kehl-Block, Rust-Schutterwald-Randschollen, Lahr-Achern-Randschollen, Rhinau-Zwischenschollen: bei 5000 m unter Gelände Kristallin anstehend

Illfurth-Bruchsal-Störungszone

Rastatt-Becken: peripher Kristallin und Permokarbon, im Depozentrum Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper, lokal auch Unterjura

Wittelsheim-Buggingen-Becken, Rhinau- Zwischenschollen und Dannemarie-Becken: Kristallin

Kaiserstuhl-Block

magmato-metamorphe (?) Gesteinsserie; weitere Interngliederung aufgrund des komplizierten Baus und der Eingangsdatenlage nicht möglich

Westliches Schollengebiet

Neustadt-Randschollen, Haguenau-Block, Landau-Schollenfeld: Kristallin

Speyer-Reilingen-Schollenfeld: Kristallin, im Depozentrum Permokarbon und Buntsandstein

Strasbourg-Becken, Sélestat-Erstein-Block, Colmar-Randschollen: Kristallin

Südliches Bruchschollengebiet

Freiburg-Block, Kandern-Block und Schopfheim-Bruchfeld: nicht modelliert
alle anderen Blöcke: Kristallin

Kapitelverweise

2.3.1, 3.5.10.6

Atlasblätter

2.20



2.4 Geopotenziale

Ziel

Abschätzung der Geopotenziale im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens. Im Projektkontext werden die Geopotenziale für Erdwärme und Gaseinspeicherung (insbesondere Kohlendioxid) betrachtet. Die Darstellung der bestehenden Nutzungen erfolgt zusätzlich für Mineral- und Thermalwässer sowie Kohlenwasserstoffe.

Kurzbeschreibung

Auf Grundlage des geologischen 3D-Modells und des geostatistischen Temperaturmodells werden die Geopotenziale für die tiefe Geothermie und das Speicher- und Barrierepotenzial (insbesondere im Hinblick auf die dauerhafte CO₂-Speicherung) im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens abgeschätzt.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

Daten zu Petrographie, Porosität und Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Dichte, und Hydrochemie, Wärmeproduktionsrate

Beschreibung

Der tiefere Untergrund des Oberrheingrabens zeichnet sich durch die Existenz von Geopotenzialen in verschiedenen Ausprägungen und Umfang aus. Teilweise wurden diese in der Vergangenheit bereits intensiv genutzt. Die Abschätzung der Georessourcen im tieferen Untergrund und deren Nutzbarkeit stellt eine wichtige Anwendungsmöglichkeit des geologischen 3D-Modells und des geostatistischen Temperaturmodells sowie der erstellten Datenbanken dar. Sie bildet einen wesentlichen Baustein im GeORG-Projekt.

Die Informationsdichte und -qualität sind für eine differenzierte Bewertung der Nutzungsoptionen des tieferen Untergrunds insgesamt vielfach unzureichend. Deshalb erfolgte im Rahmen des GeORG-Projektes eine „Potenzialabschätzung“ für die untersuchten Nutzungsarten. Derart abgegrenzte Flächen und Räume im Untergrund weisen nicht zwingend Eignungen für bestimmte Nutzungen des Untergrundes nach, sondern sind in der Regel Bereiche, die - aufgrund der Datenlage oft unter Anwendung eines nur eingeschränkten Kriterienkatalogs - als „weiter untersuchungswürdig“ bewertet werden. Flächen- oder raumdeckende Potenzialdarstellungen für Nutzungen des unterirdischen Raumes sind auf Grundlage der heutigen Kenntnislage daher nur kleinmaßstäblich sinnvoll.

Die im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens im Rahmen des GeORG-Projektes betrachteten Georessourcen sind:

- **Geothermische Energie:** Erdwärme wird zu Heizzwecken, zur Verstromung sowie für balneologische Zwecke genutzt. Die Nutzung basiert im Wesentlichen auf der Existenz ausreichend hoher Untergrundtemperaturen und Wegsamkeiten (petrothermale Nutzung, indirekte Nutzung mit erdgekoppelten Wärmetauschern) bzw. dem Vorhandensein von Thermalwasser in ausreichender Temperatur und Menge (hydrothermale Nutzung).

Im Projekt GeORG wurde auf Grundlage von Temperaturmessungen in Bohrungen ein dreidimensionales geostatistisches Temperaturmodell erstellt (Kap. 2.4.5.2). Es erlaubt Aussagen zu den Temperaturen in verschiedenen Teufenbereichen und lässt in Verbindung mit dem geologischen 3D-Modell Aussagen zu den Temperaturen an den modellierten Trennflächen zu.

Für ein Teilgebiet wurden darüber hinaus anhand umfassender Log-Interpretationen die Wärmeleitfähigkeiten und die radiogene Wärmeproduktion im Untergrund abgeleitet (Kap. 2.4.5.1). Diese Daten sowie die Ergebnisse zusätzlicher Wärmeleitfähigkeitsmessungen und des geologischen





3D-Modells flossen in die Modellierung des konduktiven Wärmetransportes und der daraus abgeleiteten Temperaturverteilung im Untergrund ein. Ein Vergleich der Ergebnisse des geostatistischen Temperaturmodells mit denen des konduktiven Temperaturmodells erlaubt Rückschlüsse auf durch konvektiven Wärmetransport erzeugte thermische Anomalien (Kap. 2.4.5.3).

Für die geothermischen Einheiten wurden der Wärmeinhalt und die theoretisch nutzbare Wärmemenge abgeschätzt.

- **Gaseinspeicherung:** Hierbei handelt es sich um die Möglichkeit, Gesteine im Untergrund für die Einspeicherung von Erdgas oder Druckluft als Gasreservoir zu nutzen bzw. obertägig nicht erwünschtes Kohlendioxid in den Untergrund zu verpressen. Ähnlich den Erdöllagerstätten sind die natürlichen Untertagespeicher an bestimmte Einheiten mit ausreichender Porosität gebunden, welche durch abdichtende Schichten überlagert werden.
Auf der Grundlage des geologischen 3D-Modells wurden potenzielle Speicher- und Barriereregionen dargestellt. In die Potenzialabschätzung gingen neben der lithologischen Beschaffenheit die Parameter Mächtigkeiten und Tiefenlage der als Speicher- bzw. Barrieregesteine eingestuft geologischen Einheiten ein (Kap. 2.4.8).

Zusätzlich zu den oben erwähnten Geopotenzialen werden die bestehenden Nutzungen für folgende Geopotenziale dargestellt:

- **Mineral- und Thermalwässer:** Im GeORG-Projektgebiet gibt es mehrere Mineralwasserbrunnen, die auf Grund der geologischen Gegebenheiten und einer wasserrechtlichen Zulassung natürliches Mineralwasser gewinnen dürfen (Kap. 2.4.9.4). Natürliche Mineralwässer haben ihren Ursprung in einem unterirdischen, vor Verunreinigungen geschützten Wasservorkommen, dessen ursprüngliche Reinheit nicht anthropogen verändert ist. Sind auf Grund von balneologischen Indikationen die Eignung und Anwendbarkeit der Tiefenwässer für kurärztliche oder fachärztliche Behandlungen gegeben, so kann eine staatliche Anerkennung als Heilquelle erfolgen. Bei dauerhaft vorhandenen Temperaturen über 20°C handelt es sich um ein Thermalwasser. Die im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens vorhandenen Grundwässer sind mit zunehmender Tiefe generell höher temperiert und allgemein durch hohe Lösungsinhalte gekennzeichnet. Eine Nutzung dieser Wässer als Trinkwasser sowie für balneologische Zwecke scheidet daher vielfach aus.
- **Kohlenwasserstoffe:** Gas- und Erdöl-Lagerstätten sind seit langem im Oberrheingraben bekannt; eine industrielle Nutzung fand/ findet in den Bereichen Eich, Landau, Pechelbronn und Offenburg über viele Jahrzehnte statt. Die Speichergesteine konzentrieren sich hierbei auf bestimmte Einheiten mit ausreichender Porosität. Diese Einheiten müssen durch abdichtende Schichten überlagert und die Kohlenwasserstoffe in Fallenstrukturen am Aufstieg gehindert werden.
Die im GeORG-Projektgebiet vorhandenen Konzessionsflächen und Bohrungen der produzierenden Felder werden nachrichtlich dargestellt (Kap. 2.4.9.3).

Kapitelverweise

2.4.5.1, 2.4.5.2, 2.4.5.3, 2.4.8, 2.4.9.3, 2.4.9.4





2.4.1 Was sind Geopotenziale?

Ziel: Definition Geopotenziale

Kurzbeschreibung

Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes im Hinblick auf bestimmte Anwendungen..

Beschreibung

Unter Geopotenzialen werden im Rahmen dieses Projektes die Nutzungsmöglichkeiten des tieferen Untergrundes verstanden.

Der Teil des Gesamtpotenzials, der entweder nachgewiesen, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar ist, oder geologisch noch nicht genau bekannt ist, wird als Geoessource bezeichnet. Mit der Nutzbarmachung der Geoessourcen können Georisiken verbunden sein.

Geoessourcen sind z.B. mineralische Rohstoffe und Energierohstoffe in fester (z.B. mineralische Baustoffe, Erze), flüssiger (z.B. Erdöl) und gasförmiger Form (z.B. Erdgas), der Wärmeinhalt des Untergrundes (Geothermie) sowie die Speicher- und Barrierefähigkeit der Gesteine (z.B. für Erdgas- oder Druckluftspeicherung), Grundwasser (inkl. Sole und Thermalwasser) und Böden.

Im Projektkontext wurden die Geopotenziale der tiefen Geothermie sowie der Untergrundspeicherung von Gasen (insbesondere CO₂) abgeschätzt.

Auch wenn der umweltpolitische Nutzen der Geothermie unbestritten ist, bergen die verschiedenen, in Entwicklung begriffenen Technologien gewisse Risiken. Das GeORG Projekt liefert geologische Grundlagen zur Beurteilung solcher Risiken. Es werden jedoch keine Angaben z. B. zur Rolle der Wasserzirkulation und der Veränderung der Porenwasserdrucke gemacht, die bei einer Abschätzung von Risiken ebenfalls von Bedeutung sind. Solche Bewertungen verlangen ortspezifische Abklärungen.





2.4.2 Untergliederung der Gesteinsabfolge im Modellgebiet

Ziel: Untergliederung der Gesteinsabfolge im Modellgebiet im Hinblick auf die Geopotenziale Geothermie sowie Speicher- und Barriereigenschaften (insbesondere für die CO₂-Speicherung)

Kurzbeschreibung

Definition der Kriterien zur Gliederung der Gesteinsabfolge im Oberrheingraben in geothermische Einheiten sowie Speicher- und Barrierekomplexe

Eingangsdaten

Geologisches Modell, Temperaturdaten, Poro/Perm-Daten, Hydrochemie, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Dichte, Wärmeproduktionsrate, Petrographie

Beschreibung

Die Gesteinsabfolge im Oberrheingraben wurde hinsichtlich ihrer Eignung für die geothermische Nutzungen und für die Untergrundspeicherung von Gasen (insbesondere CO₂) in Homogenitätsbereiche untergliedert.

Dabei wurden folgende Untergrundeigenschaften berücksichtigt:

- Lithologische Ausbildung
- Gesteinsphysikalische Eigenschaften (Porosität, Permeabilität, Gebirgsdurchlässigkeit überwiegend qualitativ)
- Laterale und vertikale Kontinuität der Homogenitätsbereiche
- Mächtigkeit der Homogenitätssbereiche.

Abb. 2.4.2-01 zeigt die daraus für die Sedimentabfolge und das Grundgebirge abgeleiteten Gesteinskomplexe, die grundsätzlich als geothermische Einheiten für eine hydro- oder petrothermale Nutzung bzw. als Speicher- und Barrierekomplexe für die Untergrundspeicherung von Gasen in Betracht kommen. Daneben wurden die im geologischen 3D-Modell abgebildeten Einheiten dargestellt.



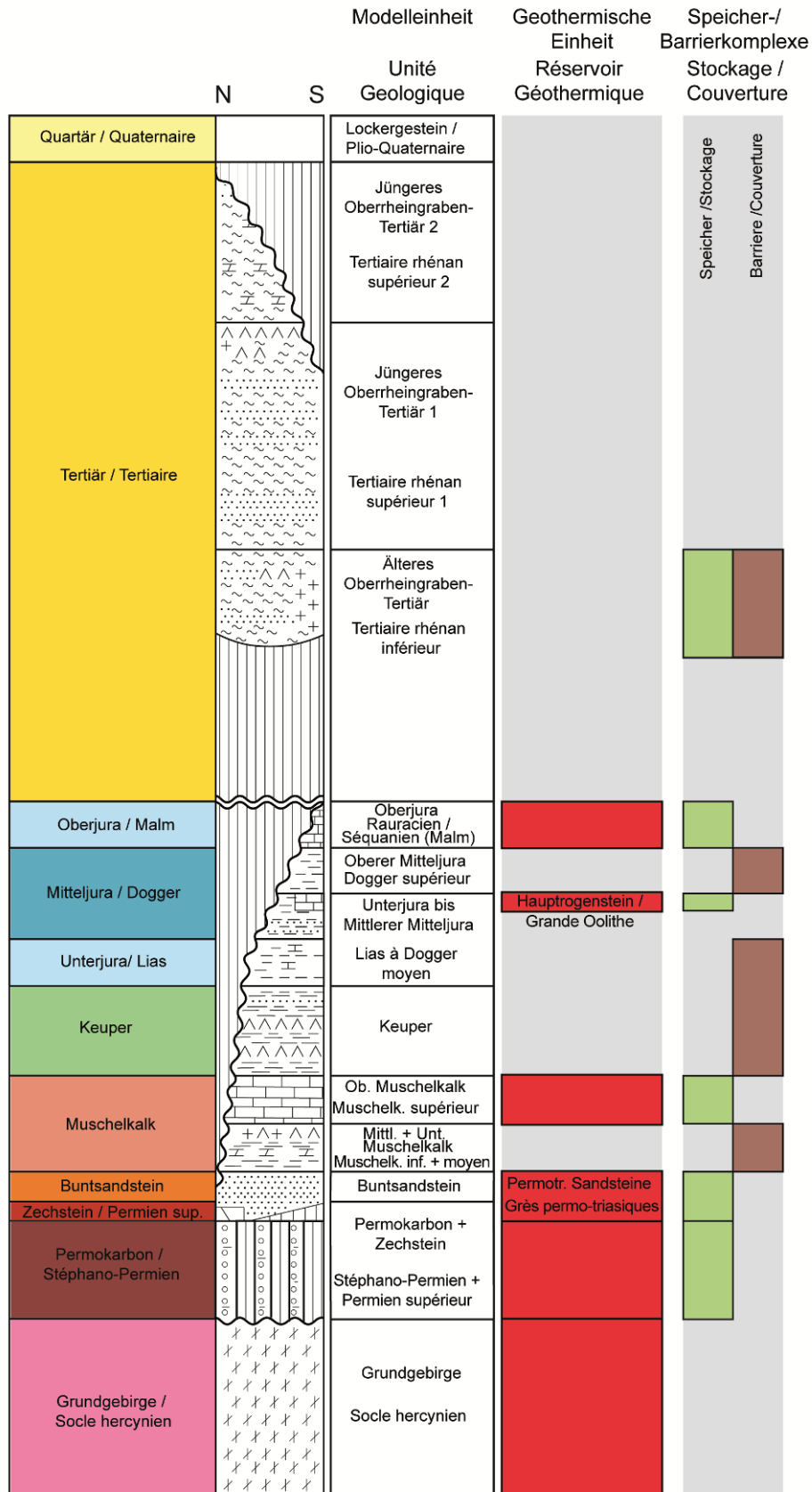


Abb. 2.4.2-01: Schichtenfolge im Oberrheingraben mit den modellierten Einheiten des geologischen 3D-Modells, den bearbeiteten geothermischen Einheiten und den Speicher- und Barrieregesteinskomplexen.



2.4.3 Geothermische Systeme und Nutzungsformen tiefegeothermischer Potenziale

Kurzbeschreibung

Die geothermischen Systeme können nach Nutzungsart und Tiefe der Wärmegegewinnung unterschieden werden.

Beschreibung

Die geothermischen Systeme können nach Nutzungsart und Tiefe der Wärmegegewinnung unterschieden werden (Abb. 2.4.3-01).

Die im Untergrund gespeicherte Energie kann durch verschiedene Nutzungssysteme erschlossen werden. Je nach geothermischem System kommen für die Nutzung der geothermischen Energie verschiedene geologische Einheiten (geothermische Einheiten) in Frage (Kap. 2.4.2).

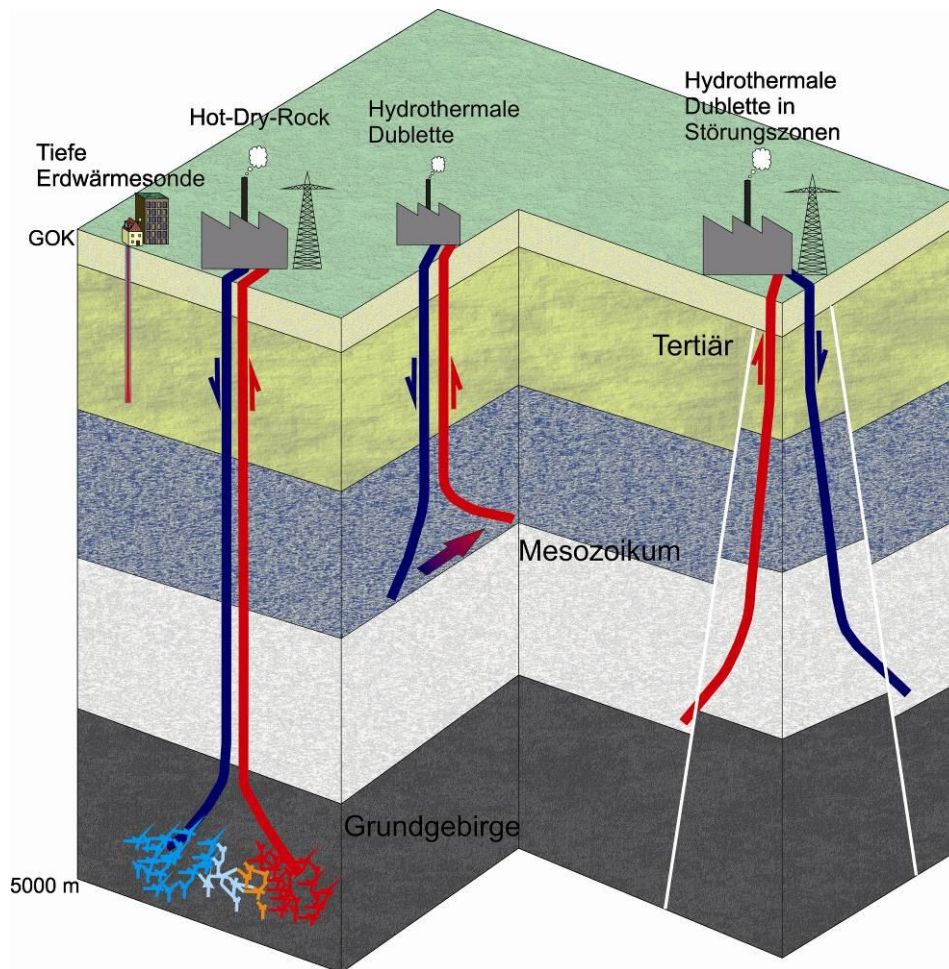


Abb. 2.4.3-01: Prinzipien der Energiegewinnung durch Erdwärme.

Kapitelverweise

2.4.2, 2.4.3.1, 2.4.3.2



2.4.3.1 Geothermische Systeme

Kurzbeschreibung

Die geothermischen Systeme können nach Nutzungsart und Tiefe der Wärmegewinnung unterschieden werden.

Eingangsdaten

Literatur

Beschreibung

Die Unterteilung in „oberflächennahe“ und „tiefe“ Geothermie berücksichtigt sowohl die Tiefe der Wärmegewinnung als auch die Nutzungsart der geothermischen Energie. Die Übergänge zwischen den einzelnen Systemen sind fließend.

Oberflächennahe Geothermie

Bei der oberflächennahen Geothermie wird Wärme dem oberflächennahen Bereich der Erde entzogen. Definitionsgemäß (in Deutschland und der Schweiz) reichen diese Systeme meist bis in eine Tiefe von 100 bis 150 m, maximal bis 400 m. Die genutzten Untergrund- und Fluidtemperaturen liegen meist unter 20 °C. Der Entzug der Wärme geschieht z. B. mithilfe von Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Grundwasserbohrungen oder Energiepfählen. Um die Energie für Heizzwecke zu nutzen, ist eine Niveauanhebung mit Hilfe einer Wärmepumpe notwendig.

Tiefe Geothermie

Die tiefe Geothermie beginnt definitionsgemäß (in Deutschland und der Schweiz) bei einer Tiefe von mehr als 400 m (vgl. VDI-RICHTLINIE 4640) und einer Temperatur von über 20 °C.

Die tiefe Geothermie umfasst somit Systeme, bei denen die geothermische Energie i. d. R. über Tiefbohrungen erschlossen wird und deren Energie direkt (d. h. ohne Niveauanhebung) genutzt werden kann. Sie kann grundsätzlich über zwei Systeme genutzt werden (PK Tiefe Geothermie 2007a, b):

I Hydrothermale Systeme

Diese Systeme nutzen überwiegend den Energieinhalt (bzw. die Enthalpie) des im Untergrund vorhandenen Wassers als Heißwassersysteme.

I.1 Hydrothermale Systeme mit niedriger Enthalpie

Die Nutzung erfolgt meist direkt (ggf. über Wärmetauscher) zur Einspeisung von Nah- und Fernwärmenetzen, zur landwirtschaftlichen oder industriellen Nutzung oder für balneologische Zwecke. Ab einer Temperatur von ca. 100 °C ist eine Stromgewinnung möglich.

Hydrothermale Systeme sind:

- Aquifere:

mit thermalem (> 20 °C), warmem (60 – 100 °C) oder mit heißem (> 100 °C) Wasser.

- Störungen bzw. Störungszonen:

Im gleichen Temperaturbereich wie die Aquifere (Potenzial abgeschätzt von JUNG et al. 2002). Sämtliche bisher umgesetzten hydrothermalen Systeme im Oberrheingraben erschließen derartige Systeme.

I.11 Hydrothermale Systeme mit hoher Enthalpie

Derartige Systeme nutzen Dampf- oder Zweiphasensysteme

zur Stromerzeugung. Hierfür sind in Deutschland, der Schweiz und Frankreich (Mutterland) die Untergrundvoraussetzungen nicht gegeben.





II Petrothermale Systeme

Petrothermale Systeme nutzen überwiegend die im Gestein gespeicherte Energie. Hierzu gehören

II.I "Enhanced geothermal System" (EGS)

Bei Enhanced geothermal System (EGS) soll die geothermische Energie aus primär gering durchlässigen Gesteinen mit Temperaturen über 100 °C genutzt werden. Das System zielt vorrangig auf die Nutzung kompakter Gesteine wie Granite des Grundgebirges oder Sandsteine ab. Angestrebt werden Temperaturen im Bereich von 150 - 200 °C. Derartige Temperaturen werden in der Regel in Tiefen von mehr als 3000 m angetroffen. Voraussetzung für die Nutzbarkeit des Systems ist, dass die natürlich vorhandene geringe Durchlässigkeit des Gebirges erhöht wird. Dies geschieht durch die Aufweitung bereits bestehender Wegsamkeiten. Dabei wird Wasser über eine Verpressbohrung in den Zielhorizont eingepresst (hydraulische Stimulation). Der Untergrund mit bereits vorhandenen bzw. erhöhten Wasserwegsamkeiten bildet einen Wärmetauscher. In der Betriebsphase wird Wasser in einem offenen System über eine oder mehrere Bohrungen in den Untergrund eingebracht und nach Aufheizung über eine oder mehrere Förderbohrungen wieder an die Erdoberfläche gefördert.

EGS-Systeme werden primär zur Stromerzeugung eingesetzt.

Abhängig vom Grad der hydraulischen Stimulation werden sie auch als „Deep Heat Mining-“ (DHM), „Hot Wet Rock-“ (HWR), „Hot Fractured Rock-“ (HFR) oder „Stimulated Geothermal-System“ (SGS) bezeichnet.

II.II Tiefe Erdwärmesonden

Die Energienutzung erfolgt aus einer beliebigen Gesteinsabfolge mit geschlossenem Kreislauf des Wärmeträgermediums in der Sonde. Das System dient ausschließlich zur Wärmeversorgung.

Literaturhinweise

Jung et al. 2002, PK Tiefe Geothermie 2007a, PK Tiefe Geothermie 2007b, VDI-RICHTLINIE 4640 2010





2.4.3.2 Nutzungsformen tiefergeothermischer Potenziale

Kurzbeschreibung

Die im tieferen Untergrund in Form von Wärme gespeicherte Energie kann zur direkten Heizwärmegegewinnung und zur Stromerzeugung sowie zu balneologischen Zwecken genutzt werden.

Eingangsdaten

Literatur

Beschreibung

Die im tieferen Untergrund in Form von Wärme gespeicherte Energie kann zur direkten Heizwärmegegewinnung und zur Stromerzeugung sowie zu balneologischen Zwecken genutzt werden.

Das geothermisch erwärmte Wasser wird in der Regel über eine Produktionsbohrung über Tage gefördert. Dem Wasser wird anschließend die Wärme über einen Wärmeaustauscher entzogen. Das abgekühlte Thermalwasser wird meist über eine Injektionsbohrung zur Erneuerung des Vorkommens oder aus entsorgungstechnischen Gründen wieder in denselben Aquifer zurückgegeben werden, wo es sich erneut erhitzt (Dublettensystem).

Balneologische Nutzung

Hierbei wird Thermalwasser (Temperaturen über 20 °C) zu kur- bzw. fachärztlichen Behandlungszwecken über Bohrungen oder als natürlich austretendes Quellwasser genutzt. Derartige Nutzungen finden bereits seit vielen Jahrhunderten an den Ränder des Oberrheingrabens statt (Beispiel Baden-Baden, Badenweiler, Bad Dürkheim). Die balneologische Nutzung stellt eine Sonderform der geothermischen Nutzung dar.

Wärmenutzung

Die Wärmeenergie kann bei ausreichend hohen Temperaturen direkt ohne Niveauanhebung über Wärmetauscher an den sekundären Heiznetzkreislauf (z.B. Fernwärmenetz, Prozesswärmenetz) übertragen werden. Anderenfalls müssen Wärmepumpen zwischengeschaltet werden.

Die Technik der Wärmegegewinnung mittels einer oder mehrerer Dubletten ist weitgehend ausgereift. Das in einem offenen System geförderte und nach der Abkühlung reinjizierte Tiefengrundwasser zirkuliert übertägig in einem Kreislauf, welcher oft unter Druck gehalten und mit Inertgas beaufschlagt werden muss, um Mineralausfällungen aus dem z. T. hoch salinaren Wasser zu verhindern.

Tiefe Erdwärmesonden stellen ein geschlossenes System dar, in welchem ein zirkulierendes Wärmeträgermedium die Erdwärme aufnimmt und an den Sekundärkreislauf übergibt.

Stromerzeugung

Bei der Stromerzeugung aus Erdwärme wird die im Untergrund vorhandene natürliche Wärme in Form von Dampf zum Antrieb von Turbinen genutzt. Für die Stromerzeugung ist eine ausreichende Fündigkeit (Thermalwasser in ausreichender Menge) erforderlich.

I Hydrothermale Geothermie

Hydrothermale Systeme mit niedriger Enthalpie nutzen das warme bis heiße Wasser aus Störungszonen mit ausreichenden Wasserwegsamkeiten oder tiefen Grundwasserleitern (Aquiferen), die eine ausreichend hohe Durchlässigkeit als Poren oder Kluft-/Karstgrundwasserleiter aufweisen (Abb. 2.4.3.2-01).



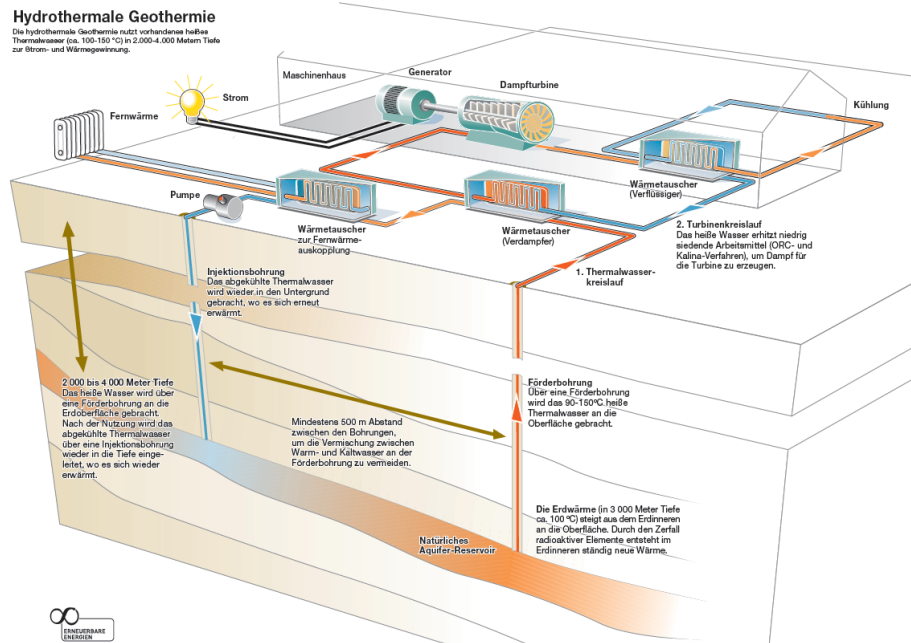
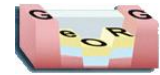


Abb. 2.4.3.2-01: Hydrothermale Geothermie – Systemzeichnung. (<http://www.unendlich-viel-energie.de>)

Insbesondere Wasser mit Temperaturen über 100 °C kann zur Stromerzeugung genutzt werden. Hier kommen ORC- (Organic Rankine Cycle) und Kalina-Verfahren zum Einsatz: Das Thermalwasser wird zunächst an die Erdoberfläche gepumpt. Dort gibt es seine Wärme an einen schnell verdampfenden Wärmeträger ab. Dieser gelangt über einen separaten zweiten Kreislauf zur Turbine. Sie dient der Stromerzeugung, ehe der Dampf wieder kondensiert und abkühlt.

Beim ORC- Verfahren werden organische Fluide wie Kohlenwasserstoffe, bestimmte Kältemittel und azetropische Gemische als Wärmeträger (z.B. Pentan) verwendet. Das Kalina- Verfahren stellt eine Alternative zum ORC-Verfahren dar. Hier werden Zweistoffgemische, so zum Beispiel aus Ammoniak und Wasser, als Wärmeträger verwendet.

„Für die hydrothermale Stromerzeugung sind Mindesttemperaturen von ca. 80 °C und hohe Volumenströme erforderlich, wobei bei einer Temperatur von ca. 100 °C als Minimum eine Förderrate von ca. 14 l/s (50 m³/h) angesetzt werden kann (Paschen et al. 2003). In der Praxis ist bei solch geringen Fließraten eine hydrothermale Stromerzeugung – wenn überhaupt – nur im Zusammenhang mit einer hydrothermalen Wärmeerzeugung wirtschaftlich. Für eine ausschließliche Stromerzeugung muss von deutlich höheren Mindestförderraten ausgegangen werden“ (StMWIVT 2010) (Abb. 2.4.3.2-02).



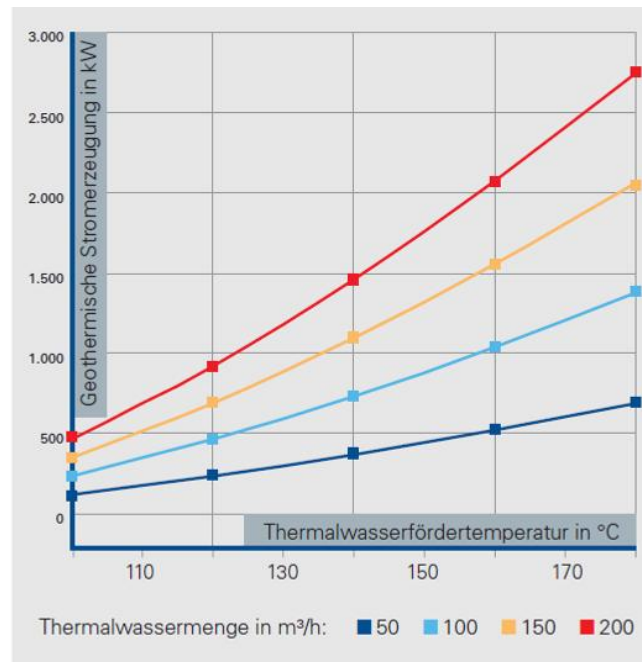


Abb. 2.4.3.2-02: Geothermische Stromerzeugung in Abhängigkeit von Thermalwassertemperatur und –menge (StMWIVT 2010).

Das Thermalwasser ist nach Abgabe der Wärme an den Wärmeträger i. d. R. noch immer heiß genug, um in einem zweiten Wärmetauscher auch Wärme an einen weiteren Kreislauf z.B. an ein Nahwärmenetz, abzugeben (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK).

II Petrothermale Geothermie

Im Gegensatz zur hydrothermalen Geothermie nutzt die petrothermale Geothermie nicht vorrangig die natürlichen Heißwasservorkommen, sondern die natürliche Wärme des heißen Gesteins in ca. 2 000 – 6 000 Meter Tiefe (Abb. 2.4.3.2-03). In Forschungs- und Pilotprojekten wird derzeit untersucht, inwieweit auch dichte Sedimentgesteine mit dieser Technik genutzt werden können.

Durch das Aufweiten natürlicher Rissflächen mit hydraulischen und chemischen Stimulationsverfahren in heißen, primär meist nur gering durchlässigen Tiefengesteinen wird eine hydraulische Verbindung zwischen mindestens zwei Bohrungen hergestellt. Die Risse dienen als Wärmetauscherflächen, so dass kühles Wasser in einer oder mehreren Bohrung verpresst und in den anderen Bohrungen als Heißwasser wieder gefördert werden kann.

Das heiße Wasser kann wie bei der hydrothermalen Geothermie mit den ORC- (Organic Rankine Cycle) und Kalina-Verfahren zur Stromerzeugung genutzt werden: Es gibt seine Wärme an einen schnell verdampfenden Wärmeträger ab. Dieser treibt wiederum über einen separaten Kreislauf eine Turbine zur Stromerzeugung an. Auch der Anschluss eines Nahwärmenetzes ist möglich.

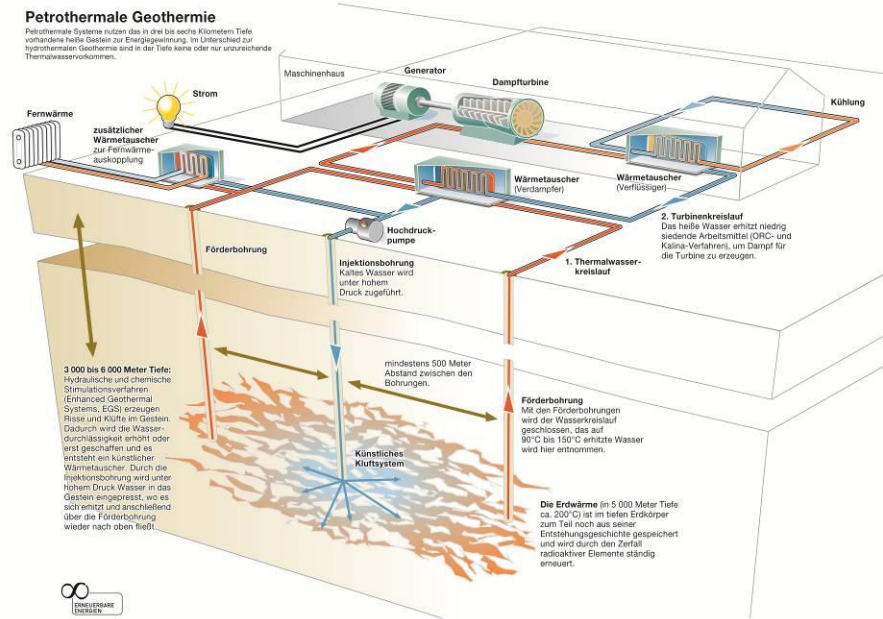


Abb. 2.4.3.2-03: Petrothermale Nutzung – Systemzeichnung (<http://www.unendlich-viel-energie.de>).

Wenn gleichzeitig in Kraft-Wärme-Kopplung sowohl Strom als auch Wärme in einer Anlage erzeugt werden, steigt der Gesamtwirkungsgrad der Anlage.

Die Nutzung von petrothermalen Systemen befindet sich derzeit weltweit noch im Versuchs- und Erprobungsstadium (z.B. in Soultz-sous-Forêts im französischen Teil des Oberrheingrabens).

Literaturhinweise

StMWIVT 2010, Paschen et al. 2003

<http://www.unendlich-viel-energie.de>



2.4.4 Geothermische Potenziale und Seismizität im Oberrheingraben

Kurzbeschreibung

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten weist der Oberrheingraben im mitteleuropäischen Vergleich ein hohes geothermisches Potenzial auf. Da er andererseits zu einer Schwächezone im rezenten Spannungsfeld zählt, können durch den Bau und Betrieb von Geothermieanlagen Bruchvorgänge im Untergrund ausgelöst werden.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell, Temperaturmodell, Porositäts- und Permeabilitäts-Daten, Hydrochemie, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Dichte, Wärmeproduktionsrate, Petrographie

Beschreibung

Geothermische Energie ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unterhalb der Oberfläche der festen Erde (VDI-Richtlinie 4640). Synonym werden hierfür die Begriffe „Erdwärme“ oder „Geothermie“ verwandt. Das geothermische Potenzial beschreibt hierbei das Vermögen des Untergrundes, Wärme zu produzieren und zu speichern.

Der Oberrheingraben ist auf Grund der geologischen Gegebenheiten im mitteleuropäischen Vergleich für eine geothermische Nutzung besonders gut geeignet (z.B. Hurter & Hänel 2002, GLA/BRGM 1979, GLA 1981). Aufgrund der Lithosphärenverdünnung sowie des Wärmestaus des basalen Wärmestromes durch die tertiären tonigeren Einheiten mit geringeren spezifischen Wärmeleitfähigkeiten sind die Temperaturen in den obersten Kilometern grundsätzlich erhöht. Entlang von Störungszonen bilden sich durch aufsteigende Thermalwässer, die das konduktive Temperaturfeld überprägen, thermische Anomalien aus. Diese Wässer lassen sich bei ausreichender Ergiebigkeit für eine hydrothermale Energiegewinnung wirtschaftlich nutzen. Der erhöhte Wärmebedarf aufgrund der dichten Besiedlung bzw. industrieller Nutzer in Ballungsräumen legt die Nutzung des geothermischen Potenzials des Oberrheingrabens nahe.

Erste Strom- und Heizkraftwerke sind bereits verwirklicht. Weitere Projekte sind in Planung.

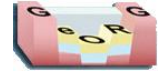
Der Oberrheingraben stellt im rezenten Spannungsfeld eine Schwächezone dar, in der auch heute noch immer wieder seismische Ereignisse stattfinden. Diese natürliche Seismizität der Region kann sich bei einer thermischen Nutzung des tieferen Untergrundes mit offenen Systemen eventuell negativ auswirken.

Beim Ausbau und Betrieb von Geothermie-Kraftwerken können deshalb Bruchvorgänge unterschiedlichen Maßstabs im Untergrund erzeugt oder ausgelöst werden. So können induzierte Erdbeben entstehen, die die Wahrnehmungsschwelle an der Erdoberfläche überschreiten (spürbare Seismizität). Ihre Größe hängt von der Beschaffenheit des geologischen Untergrundes, den Spannungen an tektonisch vorgespannten, naheliegenden Verwerfungen, Injektionsdrücken bzw. Fließraten, wahrscheinlich auch von der Größe des stimulierten Rissystems sowie von hydraulischen Druckdiffusion und Spannungsdiffusion ab (FKPE Arbeitsgruppe Induzierte Seismizität, laufendes BMU Projekt MAGS).

Die daraus resultierenden seismischen Ereignisse liegen im Reservoirbereich, haben meist eine sehr geringe Magnitude und verursachen in der Regel keine Schäden (Beispiel Geothermieprojekte Landau/Rheinland-Pfalz und Insheim/Rheinland-Pfalz, Storz (2007)). Im Raum Basel wurden allerdings die Arbeiten an der dort geplanten Geothermischen Anlage aufgrund induzierter Beben eingestellt.

Weiteren Aufschluss über Auswirkungen von Stimulationsmaßnahmen sowie dem Betrieb der Anlagen ergeben derzeit Maßnahmen, welche durch die Bergbehörden im Betriebsplanverfahren regelmäßig eingefordert werden. So führen Monitoring-Programme in der Umgebung geothermischer Anlagen sowie Messung und Kontrolle der Injektionsdrücke zu einem weiteren Informationsgewinn (z. B. Landau, Bruchsal).





Literaturhinweise

GLA/BRGM 1979, GLA 1981, Hurter & Haenel (2002), VDI-Richtlinie 4640, Storz, R. 2007



2.4.5 Temperaturverteilung im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens

Kurzbeschreibung

Die Temperaturverteilung im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens wurde mit zwei unterschiedlichen methodischen Ansätzen modelliert. Die Ergebnisse werden als Karten der Temperaturen in verschiedenen Tiefen (in m u. Gelände) und als Karten der Tiefenlage verschiedener Isothermen dargestellt. Weitere Karten zeigen die Modelleinheiten im Niveau der Isothermen (Geologischer Schnitt entlang der Isotherme).

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Konduktives 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Der Oberrheingraben zeichnet sich sowohl deutschlandweit (Agemar et al., 2011), als auch innerhalb von Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz durch erhöhte Untergrundtemperaturen aus (Schellschmidt & Stober, 2008).

Übersichtsmäßige Darstellungen zur Temperaturverteilung im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens finden sich bei Hurter & Hänel (2002). Schellschmidt & Stober (2008) zeigen den Oberrheingraben im Zusammenhang mit den Darstellungen von Untergrundtemperaturen für die Landesfläche Baden-Württembergs. Schulz & Schellschmidt (1991) beschreiben das Temperaturfeld im südlichen Oberrheingraben. Der deutsche Anteil des Oberrheingrabens wird im bundesweiten Temperaturmodell von Agemar et al. (2011, 2012) dargestellt (vgl. hierzu auch GeotIS). Carré (2011) modellierte die Untergrundtemperaturen für den französischen Anteil des Oberrheingrabens.

Die Temperaturverteilung im Untergrund ist neben den zu erwartenden Fließraten ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des geothermischen Potenzials. Zur ihrer Beschreibung wurden zwei dreidimensionale Temperaturmodelle mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen erstellt.

Das *geostatistische Temperaturmodell* (Kap. 2.4.5.2) basiert auf in Bohrungen gemessenen und z. T. korrigierten Temperaturen (vgl. Kap. 1.3.1.1). Es gibt die Temperaturverteilung im Untergrund des gesamten inneren Projektgebietes aufgrund konduktiver und advektiver Transportprozesse wieder.

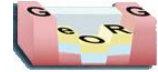
Im Projekt GeORG wurde erstmals auf der Grundlage eines grenzüberschreitend homologisierten Datensatzes und eines gemeinsamen methodischen Ansatzes ein dreidimensionales Modell der Untergrundtemperaturen für den elsässischen, schweizer, baden-württembergischen und rheinland-pfälzischen Anteil des Oberrheingrabens erstellt. Darüber hinaus war es unter Verwendung des neu erstellten geologischen 3D-Modells erstmals möglich, die Temperaturen in den dargestellten Tiefen mit den dort ausstreichenden geothermischen Einheiten in direkten Bezug zu setzen.

Aufgrund der mit der Tiefe stark abnehmenden Anzahl an Stützstellen, die der Temperaturmodellierung zugrunde liegen, nimmt die Unsicherheit der modellierten Temperaturen mit zunehmender Tiefe (insbesondere ab ca. 2000 m u. GOK) zu. Dies kommt in den Karten der Standardabweichung zum Ausdruck, die auf den Atlasblättern mit Darstellungen zur Temperaturverteilung enthalten sind.

Die Ergebnisse der Temperaturmodellierung wurden - z. T. in Kombination mit den Geometrien des geologischen 3D-Modells - in drei Kartenthemen umgesetzt:

- Temperatur in einer bestimmten Tiefenlage unter Gelände
- Tiefenlage (m u. GOK) ausgewählter Flächen gleicher Temperatur
- Temperaturverteilung an der Oberfläche der geothermischen Einheiten.





Das *konduktive Temperaturmodell* (Kap. 2.4.5.1) basiert ausschließlich auf der Modellierung des konduktiven Wärmetransports im Untergrund und berücksichtigt nicht den Wärmeeintrag und -transport durch im Untergrund zirkulierende Fluide. Es wurde für ein Teilgebiet im Norden des inneren Projektgebietes erstellt (Pilotgebiet Modellierung, vgl. Atlasblatt 1.1).

Literaturhinweise, Externe Links

Carré 2011, Agemar et al. 2011, Agemar et al. 2012, Hurter & Hänel 2002, Hurter & Schellschmidt 2003, Schellschmidt & Stober 2008, Schulz & Schellschmidt 1991

HLUG (2011): <http://www.hlug.de/start/geologie/erdwaerme-geothermie/tiefe-geothermie/geothermisches-potenzial-projekt-hessen-3d.html>, Zugriff am 04.09.2012

GeotIS: www.geotis.de

Kapitelverweise

1.3.1.1, 1.3.1.2, 2.4.5.1, 2.4.5.2, 3.6

Atlasblätter

1.1



2.4.5.1 Pilotstudie: „Logauswertung und konduktive Temperaturmodellierung im Oberrheingraben zwischen Rastatt und Landau“

Ziel

- Ableitung von Wärmeleitfähigkeitsprofilen aus geophysikalischen Bohrlochmessungen ausgewählter Bohrungen
- Erstellung eines konduktiven Temperaturmodells
- Identifikation von Bereichen mit durch Konvektion verursachten thermischen Anomalien

Kurzbeschreibung

Für eine Teilregion im GeORG-Projektgebiet (Pilotgebiet Modellierung, Atlasblatt 1.1) wurde die dreidimensionale Temperaturverteilung aufgrund des konduktiven Wärmetransportes im Untergrund modelliert.

Mit der Durchführung der Arbeiten wurden die Geophysica Beratungsgesellschaft mbH, Aachen beauftragt. Die Ergebnisse sind in einem Erläuterungsbericht (Geophysica 2012) ausführlich beschrieben.

Eingangsdaten

- Bohrlochgeophysikalische Messungen, Datensätze in digitaler und analoger Form aus 28 Bohrungen
- Informationen zur Stratigraphie und Lithologie aus Kernbeschreibungen
- Kernmessungen zu Porosität, Permeabilität, Dichte, Wärmeleitfähigkeit
- Temperaturmessungen (Logs und korrigierte BHT-Werte)
- Basaler Wärmefluss
- Petrographie
- geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Für eine Teilregion des GeORG-Projektgebietes im Grenzbereich zwischen dem Elsass, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz (Atlasblatt 1.1) wurden pilothaft aus den Ergebnissen geophysikalischer Bohrlochmessungen Wärmeleitfähigkeitsprofile an ausgewählten Bohrungen abgeleitet werden. Darauf aufbauend wurde unter Verwendung des geologischen Untergrundmodells ein konduktives dreidimensionales Temperaturmodell entwickelt. Das geothermische Modell dient dazu, die auf dem basalen Wärmefluss, der radiogenen Wärmeproduktion, der Bodentemperatur und der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine basierende Temperaturverteilung im Untergrund zu simulieren bzw. vorherzusagen. Im Modellgebiet zwischen Philippsburg im Norden und Hagenau/Rastatt im Süden liegen u. a. die geothermischen Projekt-Standorte Landau, Insheim, Sultz-sous-Forêts und Bruchsal.

Die vorbereitenden Arbeiten, die Berechnung von Wärmeleitfähigkeitsprofilen sowie die Bestimmung von basalem Wärmefluss, radiogener Wärmeproduktion, Tongehalt und Porositäten sind in Kap. 3.6.2.1 bis 3.6.2.5 beschrieben. In Kap. 3.6.2.6 ist die Vorgehensweise bei der Erstellung des auf dem konduktiven Wärmetransport basierenden Temperaturmodells dokumentiert.

Als Eingangsdaten für die Ableitungen der Wärmeleitfähigkeitsprofile lagen aus dem Modellgebiet bohrlochgeophysikalische Datensätze in digitaler und analoger Form aus 28 Bohrungen z. T. mit Informationen zur Stratigraphie und Lithologie vor (Tab. 2.4.5.1-01). Für einige Bohrungen konnte auf bereits interpretierte Daten zur Berechnung der prozentualen Volumenanteile der verschiedenen Minerale und der Porosität zurückgegriffen werden. Daneben lagen vereinzelt Kernmessungen zu Porosität und Permeabilität sowie Angaben zur Wärmeleitfähigkeit und zu den Untergrundtemperaturen vor. Wärmeleitfähigkeitswerte für die Bohrung Sultz-sous-Forêts GPK-1 wurden aus der Literatur zusammengestellt.

Tab. 2.4.5.1-01: Verwendete Bohrungen mit Loggingdaten





| BRGM | LGB Mainz | LGRB Freiburg |
|---------------------------|-----------------|------------------|
| Rohrlach-1 | Eppstein-1 | Bruchsal-1 |
| Salmbach-1 | Edesheim-1 | Bruchsal-2 |
| Niederrödern-Nord-1 | Landau-101 | Stutensee-1 |
| Neewiller-Nord-1 | Landau-250a | Leopoldshafen-5a |
| Niederlauterbach-1 | Landau-173 | Staffort-1 |
| Niederlauterbach-101 | Rülzheim-2 | |
| Oberlauterbach-3 | Maximiliansau-2 | |
| Schelmenberg-2 | Harthausen-1 | |
| Münzfeld-1 | Schaidt-1 | |
| Niederlauterbach-109D | | |
| Abwänder-1 | | |
| Gukenberg-1 | | |
| Oberrödern-101 | | |
| Schweighouse-Sur-Moder-1D | | |
| Mothern-1 | | |
| GPK-1 | | |

Die konduktive Temperaturmodellierung setzt auf den Geometrien des geologischen 3D-Modelles auf, dass im Rahmen des Projekts erstellt wurde. Die Modelleinheiten sind in Kap. 2.2.1 beschrieben. Es handelt sich um folgende Einheiten

- Lockergesteine
- Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 2
- Jüngerer Oberrheingraben-Tertiär 1
- Älteres Oberrheingraben-Tertiär
- Keuper und Jura
- Oberer Muschelkalk
- Unterer und Mittlerer Muschelkalk
- Perm und Buntsandstein
- Grundgebirge

Der komplexe geologische Aufbau des Modellgebiets führt zu einer relativ großen Variation der konduktiv berechneten Temperaturen sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung. Im Hinblick auf quantitative Temperaturvorhersagen, die sich aus dem Modell ergeben, ist zu beachten, dass die Modelleingangsparameter mit Unsicherheiten behaftet sind. So wurde für das kristalline Grundgebirge im gesamten Modellgebiet eine Wärmeleitfähigkeit von $4,2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ gewählt. Dieser Wert ergab sich aus der alleinigen Anpassung des Modells an die Temperaturmessungen am Standort Soutz-sous-Forêts. Inwiefern er für das gesamte Modellgebiet repräsentativ ist, ist unsicher. In Bereichen, in denen der Untergrund aus metamorphem Grundgebirge besteht, sind eher niedrigere Werte für die Wärmeleitfähigkeit anzunehmen. Für Gneise und Granite des Schwarzwaldes werden Durchschnittswerte von 2,5 bis $2,9 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ angegeben (Burkhardt et al. 1989). In diesen Gebieten würden die Temperaturdifferenzen nicht ganz so ausgeprägt auftreten, wobei sich jedoch qualitativ ein ähnliches Bild einstellen würde.

Die stationäre dreidimensionale Simulation des konduktiven Temperaturfeldes erlaubt es, im Modellraum beliebig orientierte vertikale und horizontale Temperaturprofile oder -schnitte (Abb. 2.4.5.1-01 bis Abb.



2.4.5.1-06) beziehungsweise Temperaturverteilungen für die Modellgrenzflächen zu erstellen.

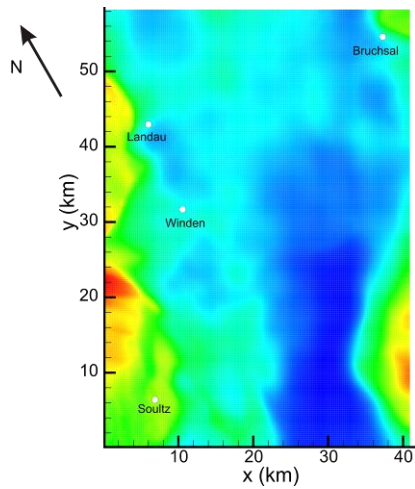


Abb. 2.4.5.1-01: Horizontaler Schnitt durch das Temperaturmodell in 1 km u. NN

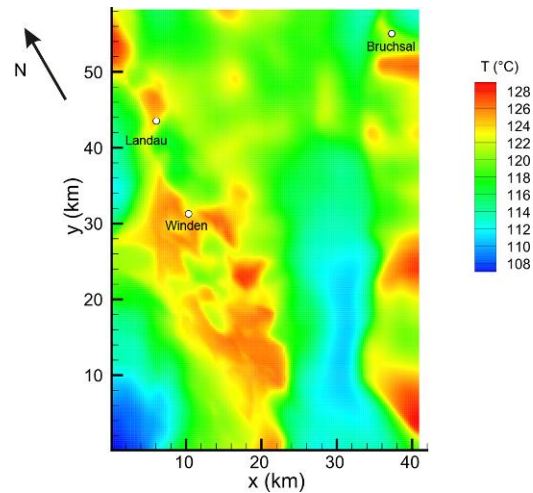


Abb. 2.4.5.1-02: Horizontaler Schnitt durch das das Temperaturmodell in 2 km u. NN

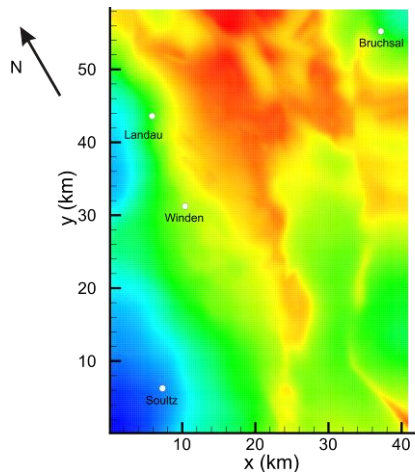


Abb. 2.4.5.1-03: Horizontaler Schnitt durch das Temperaturmodell in 3 km u. NN

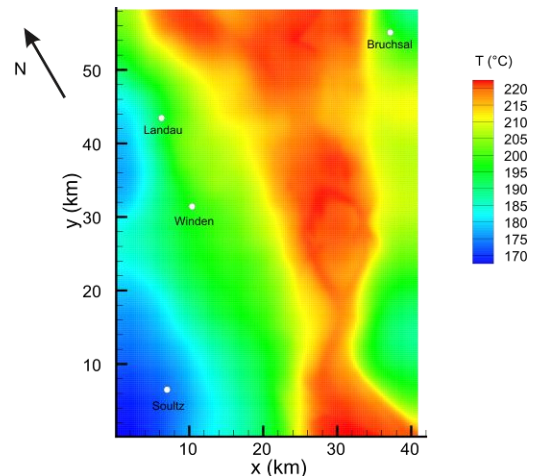


Abb. 2.4.5.1-04: Horizontaler Schnitt durch das Temperaturmodell in 4 km u. NN

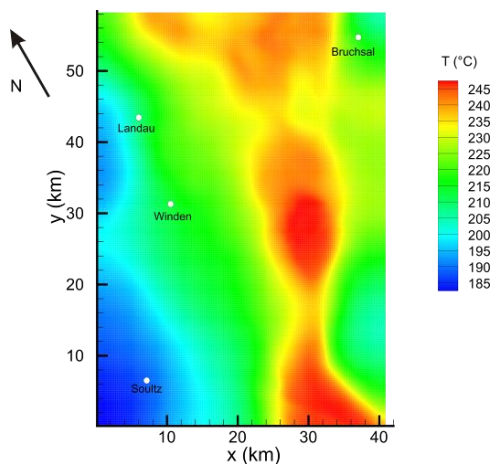


Abb. 2.4.5.1-05: Horizontaler Schnitt durch das Temperaturmodell in 4,5 km u. NN



Die horizontalen (Abb. 2.4.5.1-01 bis Abb. 2.4.5.1-05) und vertikalen Schnitte (Abb. 2.4.5.1-06) verdeutlichen den Einfluss der unterschiedlichen spezifischen Wärmeleitfähigkeiten, der geologischen Schichtenfolge und deren Mächtigkeit bzw. der unterschiedlichen Tiefenlage der Grundgebirgsoberfläche auf das Temperaturfeld.

In Bereichen, in denen das Grundgebirge bis nahe an die Oberfläche reicht und nur von geringmächtigem Deckgebirge überlagert wird, führen die relativ hohen Wärmeleitfähigkeiten des Grundgebirges zu einem „Kamineffekt“, durch den die Wärme effektiv nach oben geleitet wird. Infolge dessen sind dort Temperaturen in geringerer Tiefe erhöht. Dies ist an den Grabenrändern der Fall. So beträgt z. B. in 1 km Tiefe die Differenz zwischen den Grabenrandbereichen und dem Rastatt-Becken maximal 20 K (Abb. 2.4.5.1-01). In 2 km Tiefe (Abb. 2.4.5.1-02) bewirkt dieser Prozess eine laterale Temperaturdifferenz von ~ 15 K zwischen dem in dieser Tiefe immer noch relativ kühlen Rastatt-Becken im Grabenzentrum und den westlich und östlich anschließenden Bereichen.

Liegt das Grundgebirge in größerer Tiefe und wird von mächtigen Sedimenten überdeckt, führt die niedrigere Wärmeleitfähigkeit der vorwiegend tertiären Grabenfüllung aufgrund der stauenden Wirkung in größeren Tiefen zu höheren Temperaturen (Abb. 2.4.5.1-04 und 2.4.5.1-05). Dies ist im zentralen Bereich des Rastatt-Beckens der Fall. Dort sind die nach dem konduktiven Modell ermittelten Temperaturen im Vergleich zu den Randbereichen erhöht. In 3 km Tiefe (Abb. 2.4.5.1-03) liegen die Temperaturen in den Randbereichen des Grabens in denen die Grundgebirgsoberfläche vergleichsweise hoch liegt, bis zu 40 K unter denen im Grabeninneren mit großer Sedimentüberdeckung. Diese Temperaturdifferenz nimmt noch mit zunehmender Tiefenlage der Grundgebirgsoberfläche zu. Die lateralen Temperaturdifferenzen erreichen in Tiefen über 4 km Werte von bis 60 K (Abb. 2.4.5.1-04, Abb. 2.4.5.1-05).



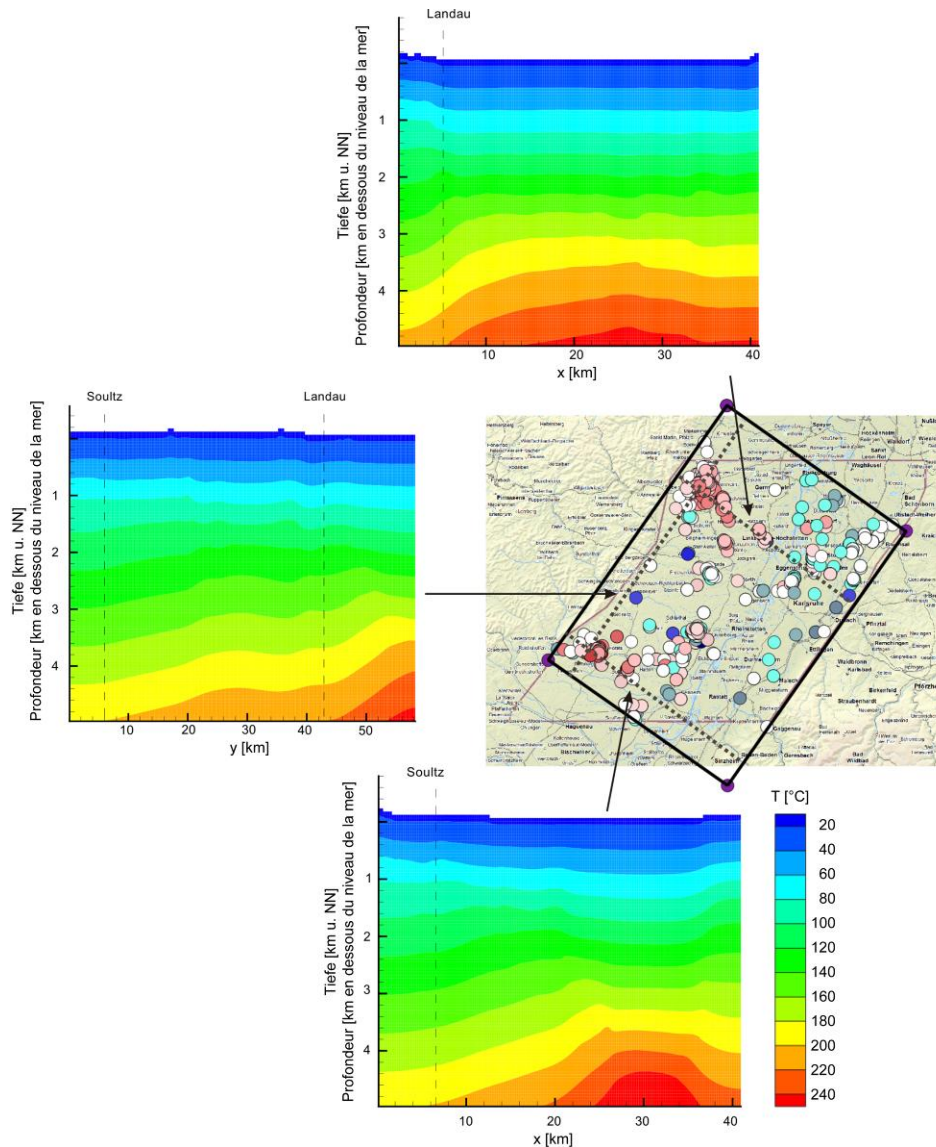


Abb. 2.4.5.1-06: Vertikalschnitte durch das konduktive Temperaturmodell. Das schwarze Rechteck stellt vereinfacht die Ausdehnung des konduktiven Temperaturmodells dar, die punktierten Linien den Verlauf der vertikalen Temperaturschnitte. Die farblich klassifizierte Kreise geben die Abweichungen zwischen den in Bohrungen gemessenen Werten und den mit dem Modell in der entsprechenden Tiefe ermittelten Temperaturen wieder (rote Kreise: gemessene Temperaturen sind höher als modellierte, rosa bis weiße Kreise: geringe bis keine Abweichung zwischen den gemessenen und errechneten Temperaturen, türkisfarbene bis blaue Kreise: gemessene Temperaturen sind niedriger als modellierte).

Schlussfolgerung

Das Temperaturmodell zeigt, dass im Untergrund auch ohne konvektiven Wärmetransport bereits größere Temperaturanomalien auftreten. Ursache hierfür ist der außerordentlich heterogene geologische Bau des Oberrheingrabens mit der stark variierenden Tiefenlage des kristallinen Grundgebirges und demzufolge großen Unterschieden in der Mächtigkeit der Sedimentüberdeckung. Damit einhergehend führt die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der Modelleinheiten zur modellierten Temperaturverteilung.

Die Temperaturen des konduktiven Modells zeigen erwartungsgemäß vielerorts deutliche Unterschiede zu den Temperaturen aus Bohrlochmessungen und der daraus geostatistisch abgeleiteten Temperaturverteilung (Abb. 2.4.5.1-06). Diese Unterschiede gehen über die methodisch bedingten Variationen bei der Korrektur der





gemessenen Bohrlochtemperaturen (BHT) hinaus, die nach Förster (2011) in der Größenordnung von ± 8 °C liegen können.

Insbesondere in den flacheren Bohrungen im Nordosten des Pilotgebietes liegen die modellierten Temperaturen über den in Bohrungen gemessenen. Ursache hierfür dürften Vertikalströmungen des Grundwassers mit nach unten gerichtetem Gradienten in den meist zu Grundwassermessstellen ausgebauten flacheren Bohrungen sein. Dies belegt die detaillierte Untersuchung der vertikalen Temperaturverteilung in diesen Messstellen.

Das konduktive Temperaturfeld eignet sich gut als „Hintergrundmodell“ für weitergehende Betrachtungen. Hierfür bieten sich zwei Ansätze an:

Neben dem rein konduktiven Wärmetransportmodell wurde im Projekt GeORG ein geostatistisches Temperaturmodell mit 3D-Krigging auf Grundlage von Temperaturmessungen in Bohrungen erstellt (vgl. Kap. 2.4.5.2). Der auf diesen beiden Modellen basierende, gebietsweise Vergleich des Wärmeinhaltes des Untergrundes kann weitere Hinweise auf Bereiche mit erhöhtem advektivem Wärmeeintrag liefern und eine näherungsweise Abschätzung dieser Komponente im Bezug auf den konduktiven Wärmetransport ermöglichen (Kap. 2.4.5.3).

Für eine diesbezüglich weitergehende Betrachtung empfiehlt sich die explizit gekoppelte Modellierung von konduktivem und advektivem Wärmetransport. Aufgrund der numerischen Anforderungen sollte sich diese Modellierung auf ein Teilgebiet mit idealer Weise hoher Datendichte konzentrieren. Hier würde sich z. B. der Bereich um Landau oder Soultz-sous-Forêts mit einer größeren Anzahl an KW-Bohrungen anbieten. Systematische Studien zur hydraulischen Aktivität der vorhandenen Störungen könnten Hinweise auf die Sensitivität des Temperaturfeldes hinsichtlich des advektiven Wärmetransports geben.

Literaturhinweise, Externe Links

Bücker & Rybach 1996, Burkhardt et al. 1989, Clauser 1988, Clauser 2003, Clauser & Villinger 1990, Clauser & Huenges 1995, Genter et al. 2010, Geophysika 2012, Hermanrud et al. 1990, Hurter & Haenel 2002, Rath et al. 2006, Schellschmidt & Schulz 1992, Schön 2004, Schlumberger 1989, Smerdon et al. 2006, Werner & Parini 1980, Wyllie et al. 1956, Zoth & Haenel 1988

<http://www.geophysica.de>

Kapitelverweise

2.2.1, 2.4.5.3, 3.6.2.1 - 3.6.2.6



2.4.5.2 Ergebnisse der geostatistischen 3D-Temperaturmodellierung

Ziel

Darstellung der Ergebnisse der geostatistischen 3D - Temperaturmodellierung:

- Temperaturen in einer bestimmten Tiefe (in m u. Gelände)
- Tiefenlage der Flächen gleicher Temperatur (in m u. Gelände)
- Temperaturen an der Oberfläche geothermischer Einheiten
- Geologische Profile durch den Oberrheingraben
- Geothermische Potenzialabschätzung auf Grundlage der Temperatur.
-

Kurzbeschreibung

Die Ergebnisse der geostatistischen 3D-Temperaturmodellierung wurden - z. T. in Kombination mit den Geometrien des geologischen 3D-Modells - in Kartenthemen umgesetzt. Die Temperaturen wurden entsprechend ihrer Nutzungsmöglichkeiten klassifiziert.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Die Temperaturverteilung im Untergrund ist neben den zu erwartenden Fließraten ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des geothermischen Potenzials. Daneben können auch kalorimetrische und gesteinsphysikalische Parameter einfließen (Paschen et al. 2003, Bär et al. 2011). Fließraten und weitere Parameter wurden bei der Potenzialabschätzung im Rahmen des GeORG - Projektes nicht berücksichtigt.

Das geostatistische Temperaturmodell gibt die Temperaturverteilung im Untergrund aufgrund konduktiver und advektiver Transportprozesse wieder. Die Vorgehensweise bei der Erstellung des Modells ist in Kap. 3.6.1 beschrieben.

Die geostatistische Temperaturmodellierung basiert auf in Bohrungen gemessenen Temperaturen (z.T. ungestörte Temperaturlogs, Einzelmessungen, Bottom Hole Temperatures (BHT), Messungen der Auslauftemperatur (meist bei Thermalwasserbohrungen)). Die BHT Messungen, die üblicherweise unmittelbar nach Einstellen der Bohrarbeiten in Kohlenwasserstoff-Bohrungen durchgeführt wurden, wurden z. T. korrigiert (vgl. Kap. 3.6.1.1.1). Diese Korrekturen können immer noch mit beträchtlichen Fehlern behaftet sein, die nach Förster (2001) in der Größenordnung von ± 8 °C liegen können.

Die Ergebnisse der Temperaturmodellierung wurden - z. T. in Kombination mit den Geometrien des geologischen 3D-Modells - in drei Kartenthemen umgesetzt:

- Temperaturen in einer bestimmten Tiefe (in m u. Gelände)
- Tiefenlage der Flächen gleicher Temperatur (in m u. Gelände)
- Temperaturen an der Oberfläche geothermischer Einheiten

Zur Verdeutlichung der Temperatur im Bezug auf die den geologischen Bau wurden aus dem geostatistischen Temperaturmodell die 60 °C-, 100 °C- und die 150 °C-Isotherme in die geologischen Profilschnitte durch den Oberrheingraben übernommen (Atlasblatt 8.2)

Neben der kartenmäßigen Darstellung der Temperaturwerte wurden die jeweiligen im Untergrund zu erwartenden Temperaturen entsprechend ihrer Nutzungsmöglichkeit zur Wärmegewinnung bzw. Stromerzeugung klassifiziert (Atlasblätter 5.1.1 bis 5.15.2).





Temperaturabhängige Nutzungsmöglichkeiten:

20 °C - 60 °C: Nutzung zur balneologischen Anwendung und zur Wärmeversorgung z.B. von Bädern und im Gebäudebereich

60 (40) °C - 100 °C: Nutzung der Wärmeenergie zur direkten Heizwärmegewinnung

> 100 °C: Insbesondere Wasser mit Temperaturen über 100 °C kann zur Stromerzeugung unter Einsatz der ORC- (Organic Rankine Cycle) bzw. Kalina-Verfahrens eingesetzt werden. Hierfür kommen sowohl hydrothermale als auch petrothermale Systeme in Betracht. Nach Paschen et al. (2003) wird bei 100 °C Wassertemperatur eine Mindestförderrate von 14 l/s (50 m³/h) vorausgesetzt. Die technisch erforderlichen Mindesttemperaturen liegen derzeit bei 80 °C. Hierfür sind allerdings deutlich höhere Volumenströme erforderlich.

>150 °C: sehr hohes Potenzial für Stromerzeugung (meist petrothermales System).

Literaturhinweise

Bär et al. 2011, Förster 2001, Paschen et al. 2003

Kapitelverweise

3.5.1, 3.6.1

Atlasblätter

5.1.1, 5.2.1, 5.3.1, 5.4.1, 5.5.1, 5.6.1, 5.1.1 – 5.15.2, 8.2



2.4.5.2.1 Temperaturen in verschiedenen Tiefenstufen (in m u. Gelände) und Abschätzung des geothermischen Potenzials auf Grundlage der Temperaturen

Kurzbeschreibung

Die Ergebnisse der dreidimensionalen geostatistischen Temperaturmodellierung wurden hinsichtlich der Temperaturverteilung in verschiedenen Tiefenstufen ausgewertet. Zusätzlich wurde die Verbreitung der geothermischen Einheiten in dieser Tiefe dargestellt. Zur Abschätzung des geothermischen Potenzials wurden die Temperaturen entsprechend den Nutzungsmöglichkeiten klassifiziert.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Die Temperaturverteilung in den Tiefen 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m und 3000 m u. Gelände wurde kartenmäßig dargestellt. Unter Verwendung des geologischen 3D-Modelles wurden die Temperaturen mit den in den dargestellten Tiefen ausstreichenden geothermischen Einheiten in Bezug gesetzt.

Zur Abschätzung des geothermischen Potenzials wurden die Temperaturen in den jeweiligen Tiefenstufen entsprechend den Nutzungsmöglichkeiten klassifiziert. Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar. Diese gehen nicht in die dargestellte Potenzialabschätzung ein. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

5.1.1, 5.2.1, 5.3.1, 5.4.1, 5.5.1, 5.6.1





2.4.5.2.1.1 Temperaturen in 500 m u. Gelände und geothermische Potenzialabschätzung

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.1.1 zeigt die Temperaturen sowie die Verbreitung der geothermischen Einheiten in 500 m u. Gelände für das innere Projektgebiet.

Das Atlasblatt 5.1.2 zeigt die geothermische Potenzialabschätzung auf Grundlage der Temperatur in 500 m u. Gelände.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

286 Bohrungen mit 1054 Temperaturmessungen bis 500 m Tiefe Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Die Temperaturen, die mit dem geostatistischen Temperaturmodell im Oberrheingraben in 500 m Tiefe errechnet wurden, liegen zwischen 18,7 und 68,7 °C. Die höchsten Temperaturen treten im Raum Landau, Soultz-sous-Forêts und westlich bzw. südwestlich von Breisach am Rhein auf, die niedrigsten im Raum westlich von Basel. Grundsätzlich sind die Temperaturen im südlichen Teil des Modellgebietes (etwas südlich der Linie Sélestat - Ettenheim) erniedrigt (vgl. Schulz & Schellschmidt (1991) und Carré (2011)).

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus in 500 m Tiefe u. Gelände eine mittlere Temperatur von ca. 33 °C.

Im Bezug auf diese Referenztemperatur zeichnen sich folgende Regionen mit signifikanten positiven Temperaturanomalien (Untergrundtemperaturen größer als die Referenztemperatur) ab (von Süden nach Norden):

- nordwestlich von Mulhouse
- westlich bzw. südwestlich von Breisach
- Soultz-sous-Forêts
- Landau
- nordwestlich von Speyer
- zwischen Bad Dürkheim und Lampertheim
- westlich von Weinheim

Größere Regionen mit signifikanten negativen Temperaturanomalien (Untergrundtemperaturen kleiner als die Referenztemperatur) liegen (von Süden nach Norden)

- im südlichen Oberrheingraben (deutlich westlich und südwestlich von Basel)
- östlich von Ensisheim
- westlich von Lauterbourg
- westlich und südwestlich von Heidelberg, insbesondere südöstlich von Hockenheim
- nordwestlich von Mannheim/Ludwigshafen

In der Tiefe von 500 m u. Gelände streichen folgende geothermische Einheiten aus:

- Haupttrogenstein und Oberjura: im südlichsten Grabenbereich
- Oberer Muschelkalk: im südwestlichsten Grabenbereich (Dinkelberg)
- Permokarbon und Zechstein: östlich von Basel südlich des Rheins und am nordwestlichen Grabenrand (westlich von Worms)
- Grundgebirge: im südwestlichsten Grabenbereich (Schweizer Jura)

Entsprechend den in 500 m Tiefe nach dem geostatistischen Temperaturmodell zu erwartenden Temperaturen sind in diesem Niveau die Temperaturvoraussetzungen zur balneologischen Anwendung und zur Wärmeversorgung nahezu flächendeckend gegeben.





Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar. Diese gehen nicht in die dargestellte Potenzialabschätzung ein. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Literaturhinweise

Carré 2011, Schulz & Schellschmidt 1991

Atlasblätter

5.1.1, 5.1.2





2.4.5.2.1.2 Temperaturen in 1000 m u. Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.2.1 zeigt die Temperaturverteilung in 1000 m u. Gelände für das innere Projektgebiet. Das Atlasblatt 5.2.2 zeigt die geothermische Potenzialabschätzung auf Grundlage der Temperatur in 1000 m u. Gelände.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell
 610 Bohrungen mit 1954 Messungen bis 1000 m Tiefe
 444 Bohrungen, 901 Messungen zwischen 500 und 1000 m Tiefe
 Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Die Temperaturen, die mit dem geostatistischen Temperaturmodell im Oberrheingraben in 1000 m Tiefe errechnet wurden, liegen zwischen 31,5 und 118,8 °C. Die höchsten Temperaturen treten im Raum Soultz-sous-Forêts, Landau und nördlich von Speyer auf, die niedrigsten im Raum westlich von Basel. Ebenso wie in geringerer Tiefe sind die Temperaturen grundsätzlich im südlichen Teil des Modellgebietes (etwas südlich der Linie Sélestat - Ettenheim) erniedrigt vgl. auch Schulz & Schellschmidt (1991) und Carré (2011))

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus in 1000 m Tiefe u. Gelände eine mittlere Temperatur von 55 °C.

Neben den kleinräumigeren Anomalien im Süden des Oberrheingrabens zeichnen sich im Bezug auf diese Referenztemperatur folgende Regionen mit signifikanten positiven Temperaturanomalien (Untergrundtemperaturen größer als die Referenztemperatur) ab (von Süden nach Norden):

- nordwestlich von Mulhouse
- westlich bzw. südwestlich von Breisach
- nördlich von Offenburg
- Soultz-sous-Forêts
- Landau
- nordwestlich von Speyer
- zwischen Bad Dürkheim und Lampertheim
- westlich von Weinheim

Diese Regionen weisen auch in der Tiefe von 500 m u. Gelände erhöhte Temperaturen auf.

Größerer Regionen mit signifikanten negativen Temperaturanomalien (Untergrundtemperaturen kleiner als die Referenztemperatur) liegen (von Süden nach Norden)

- im südlichen Oberrheingraben (deutlich westlich und südwestlich von Basel)
- westlich und südlich von Heidelberg
- nordwestlich von Mannheim/Ludwigshafen

Die in 500 m u. Gelände beobachteten negativen Temperaturanomalien östlich von Ensisheim und westlich von Lauterbourg treten nicht mehr in Erscheinung.

In der Tiefe von 1000 m u. Gelände streichen folgende geothermische Einheiten aus:

- Hauptrogenstein: im südlichsten Grabenbereich
- Oberer Muschelkalk: im südlichsten Grabenbereich und östlich des Rheins auf der Höhe von Ettenheim und Lahr
- Buntsandstein: östlich des Rheins auf der Höhe zwischen Ettenheim bis Oberkirch und zwischen Sinsheim





und Wiesloch sowie am westlichen Grabenrand bei Haguenau

- Permokarbon und Zechstein: südöstlich von Basel und am nordwestlichen Grabenrand (westlich von Worms)
- Grundgebirge: im Dinkelberg-Gebiet in der Schweiz und nordwestlich von Ludwigshafen

Entsprechend den in 1000 m Tiefe nach dem geostatistischen Temperaturmodell zu erwartenden Temperaturen sind in diesem Niveau die Temperaturvoraussetzungen zur balneologischen Anwendung sowie zur direkten Heizwärmegegewinnung gegeben. Dabei liegen die Schwerpunkte der potenziellen Heizwärmegegewinnung im mittleren und nördlichen Oberrheingraben.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar. Diese gehen nicht in die dargestellte Potenzialabschätzung ein. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Literaturhinweise

Carré 2011, Schulz & Schellschmidt 1991

Atlasblätter

5.2.1, 5.2.2





2.4.5.2.1.3 Temperaturen in 1500 m u. Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.3.1 zeigt die Temperaturverteilung in 1500 m u. Gelände für das innere Projektgebiet. Das Atlasblatt 5.3.2 zeigt die geothermische Potenzialabschätzung auf Grundlage der Temperatur in 1500 m u. Gelände.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell
 773 Bohrungen mit 2541 Messungen bis 1500 m Tiefe
 301 Bohrungen und 587 Messungen zwischen 1000 und 1500m Tiefe
 Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Die Temperaturen, die mit dem geostatistischen Temperaturmodell im Oberrheingraben in 1500 m Tiefe errechnet wurden, liegen zwischen 45,2 und 139,1 °C. Die höchsten Temperaturen treten im Raum Soutz-sous-Forêts, Landau und östlich von Cemay auf, die niedrigsten im Raum südwestlich von Reinach. Grundsätzlich sind die Temperaturen im südlichen Teil des Modellgebietes (etwas südlich der Linie Sélestat - Ettenheim) erniedrigt.

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus in 1500 m Tiefe u. Gelände eine mittlere Temperatur von ca. 78°C.

Neben den kleinräumigeren Anomalien im Süden des Oberrheingrabens zeichnen sich im Bezug auf diese Referenztemperatur folgende Regionen mit signifikanten positiven Temperaturanomalien (Untergrundtemperaturen größer als die Referenztemperatur) ab (von Süden nach Norden, kursiv: erstmals in dieser Tiefenstufe auftretend):

- nordwestlich von Mulhouse
- *südlich und südwestlich von Strasbourg*
- südwestlich von Breisach
- *westlich von Bad Krozingen*
- nördlich von Offenburg
- Soutz-sous-Forêts
- *Bruchsal*
- Landau
- nordwestlich von Speyer
- südwestlich von Bad Dürkheim

Die im flacheren Niveau beobachtete positive Anomalie bei Weinheim ist in 1500 m nicht mehr vorhanden.

Regionen mit signifikanten negativen Temperaturanomalien (Untergrundtemperaturen kleiner als die Referenztemperatur) liegen (von Süden nach Norden)

- im südlichen Oberrheingraben (deutlich westlich und südwestlich von Basel)
- westlich und südlich Heidelberg
- westlich von Mannheim

In der Tiefe von 1500 m u. Gelände streichen folgende geothermische Einheiten aus:

- Oberjura: im südwestlichsten Grabenbereich
- Oberer Muschelkalk: im südlichsten Grabenbereich
- Buntsandstein: im westlichen Grabenrandbereichen zwischen Bad Dürkheim und Landau und nördlich von Haguenau, im östlichen Grabenrandbereich bei Oberkirch und südlich von Lahr sowie in Frankreich östlich





von Barr. Weitere kleine Bereiche im südlichsten Grabenbereich

- Permokarbon und Zechstein: größere Bereiche zwischen Mulhouse und Altkirch im südlichen Grabenbereich, östlich des Rheins bei Lahr,
- Grundgebirge: in westlichen Grabenrandbereichen westlich von Worms, bei Haguenau und bei Colmar, sowie östlich des Rheins zwischen Oberkirch und Ettenheim. Weitere Gebiete zwischen Mulhouse und dem östlichen Grabenrand sowie im östlichen Bereich des Modellgebiets Schweiz.

Entsprechend den in 1500 m Tiefe nach dem geostatistischen Temperaturmodell zu erwartenden Temperaturen sind in diesem Niveau die Temperaturvoraussetzungen zur direkten Heizwärmegewinnung nahezu flächendeckend gegeben. Bei Soultz-sous-Forêts liegen die Temperaturen in dieser Tiefenstufe bereits über 100 °C, und damit im zur Stromerzeugung geeigneten Temperaturniveau. Im Raum Heidelberg sind die Temperaturen zur Stromerzeugung und direkten Heizwärmegewinnung zu niedrig.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar. Diese gehen nicht in die dargestellte Potenzialabschätzung ein. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Literaturhinweise

Fromme et al. 2010

Atlasblätter

5.3.1, 5.3.2





2.4.5.2.1.4 Temperaturen in 2000 m u. Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.4.1 zeigt die Temperaturverteilung in 2000 m u. Gelände für das innere Projektgebiet. Das Atlasblatt 5.4.2 zeigt die geothermische Potenzialabschätzung auf Grundlage der Temperatur in 2000 m u. Gelände.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell
 828 Bohrungen mit 2896 Messungen bis 2000 m Tiefe
 179 Bohrungen mit 355 Messungen zwischen 1500 und 2000 m Tiefe
 Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Aufgrund der geringen Anzahl an Stützstellen, die der Temperaturmodellierung in 2000 m zugrunde liegen, sind die Temperaturangaben unsicher.

Die Temperaturen, die im Oberrheingraben in 2000 m Tiefe errechnet wurden, liegen zwischen 61,1 und 167,3 °C. Die höchsten Temperaturen treten im Raum Sultz-sous-Forêts und Landau auf, die niedrigsten am östlichen Grabenrand im Raum westlich von Bad Krozingen und westlich von Leimen. Auch in dieser Tiefenstufe zeichnet sich der südliche Oberrheingraben durch generell niedrigere Temperaturen aus. Gleiches trifft für den östlichen Bereich des mittleren und nördlichen Grabens zu.

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus in 2000 m Tiefe u. Gelände eine mittlere Temperatur von 100 °C.

Im Süden des Oberrheingrabens ist nur noch der Raum nördlich von Mulhouse durch höhere Temperaturen gekennzeichnet. Im Bezug auf die Referenztemperatur von 100 °C zeichnen sich im Norden nur noch die Region Sultz-sous-Forêts, Landau/Herxheim/Rülshheim und - weniger ausgeprägt - zwischen Neustadt a. d. W. und Bad Dürkheim mit einer signifikanten positiven Temperaturanomalie (Untergrundtemperaturen größer als die Referenztemperatur) ab. Diese Regionen mit positiven Temperaturanomalien treten auch in geringeren Tiefen in Erscheinung.

Die im flacheren Niveau beobachteten positiven Anomalien südlich und südwestlich von Strasbourg und bei Bruchsal sind nur noch schwach ausgebildet.

Die Region um Heidelberg - Leimen zeigt wie in den darüber liegenden Tiefenstufen eine negative Temperaturanomalie (Untergrundtemperaturen niedriger als die Referenztemperatur) die allerdings weniger deutlich als im flacheren Niveau ausgeprägt ist.

In der Tiefe von 2000 m u. Gelände streichen folgende geothermische Einheiten aus:

- Haupttrogenstein-Formation: kleinere Bereiche im südlichen Grabenbereich, hauptsächlich westlich des Rheins
- Oberer Muschelkalk: kleine Bereiche zwischen Rheinau und Colmar
- Buntsandstein: nordöstlich von Neustadt a. d. W., südlich von Landau, nordöstlich von Haguenau und südwestlich von Malsch sowie zwischen Colmar und Strasbourg im mittleren und westlichen Grabenbereich
- Permokarbon und Zechstein: im Nordwesten des Projektgebiets bei Worms, größere Gebiete im südlichsten Grabenbereich
- Grundgebirge: in den westlichen Grabenrandbereichen bei Colmar, Haguenau, Landau und Bad Dürkheim, östlich des Rheins großflächig zwischen Achern (im Norden) bis südlich in der Höhe von Emmendingen sowie große Flächen im südlichen Grabenbereich





Entsprechend den in 2000 m Tiefe nach dem geostatistischen Temperaturmodell zu erwartenden Temperaturen sind in diesem Niveau die Temperaturvoraussetzungen zur direkten Heizwärmegewinnung flächendeckend und zur Stromerzeugung im mittleren und nördlichen Projektgebiet mit Ausnahme des Großraumes um Heidelberg nahezu flächendeckend gegeben. Temperaturen über 150 °C mit einem höheren wirtschaftlich-technischen Potenzial zur Stromerzeugung sind im westlichen und zentralen Teil des mittleren und nördlichen inneren Projektgebiets bis auf Höhe von Selestat flächendeckend zu erwarten.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar. Diese gehen nicht in die dargestellte Potenzialabschätzung ein. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

5.4.1, 5.4.2





2.4.5.2.1.5 Temperaturen in 2500 m u. Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.5.1 zeigt die Temperaturverteilung in 2500 m u. Gelände für das innere Projektgebiet. Das Atlasblatt 5.5.2 zeigt die geothermische Potenzialabschätzung auf Grundlage der Temperatur in 2500 m u. Gelände.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

831 Bohrungen mit 3039 Messungen bis 2500 m Tiefe

67 Bohrungen mit 143 Messungen zwischen 2000 und 2500 m Tiefe Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Aufgrund der wenigen Stützstellen, die der Temperaturmodellierung in 2500 m Tiefe zugrunde liegen, sind die Temperaturangaben sehr unsicher.

Die Temperaturen, die im Oberrheingraben in 2500 m Tiefe errechnet wurden, liegen zwischen 87,1 und 181,7 °C. Die höchsten Temperaturen treten im Raum nordöstlich von Soultz-sous-Forêts, Landau und östlich von Herxheim auf, die niedrigsten im Raum westlich von Leimen am nordöstlichen Grabenrand. Grundsätzlich sind die Temperaturen im südlichen Teil des Modellgebietes (etwas südlich der Linie Sélestat - Ettenheim) erniedrigt. Gleiches trifft für den östlichen Bereich des mittleren und nördlichen Grabens zu.

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,8 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus in 2500 m Tiefe u. Gelände eine mittlere Temperatur von ca. 123 °C.

Die positive Temperaturanomalie nordwestlich von Mulhouse ist nicht durch Stützstellen belegt und paust sich aus dem höheren Niveau bis in die Tiefe von 2500 m durch.

Im Norden ist die positive Temperaturanomalie in der Region Soultz-sous-Forêts nur durch einen Stützpunkt belegt. Gleiches gilt für die Region Landau. Die positive Temperaturanomalie im Raum Germersheim - Herxheim - Wörth ist nicht durch Stützstellen belegt und paust sich aus dem höheren Niveau bis in die Tiefe von 2500 m durch.

Die bei 2000 und 2500 m u. Gelände beobachtete positive Anomalie bei Bruchsal zeichnet sich nicht mehr ab.

In der Tiefe von 2500 m u. Gelände streichen folgende geothermische Einheiten aus:

- Oberer Muschelkalk: kleine Flächen im mittleren Grabenbereich zwischen Strasbourg und Wörth
- Buntsandstein: hauptsächlich westlich des Rheins zwischen Strasbourg und Ludwigshafen sowie kleinere Flächen im südlichen Grabengebiet. Östlich des Rheins eine größere Fläche bei Rheinau und Achern
- Permokarbon und Zechstein: westlich und östlich des Rheins auf der Höhe von Rastatt, kleinere Bereiche auf der Höhe und südlich von Strasbourg, größere Bereiche im südlichen Grabengebiet, vor allem westlich von Basel
- Grundgebirge: große Flächen im südlichen Grabengebiet, im Grabenbereich zwischen Colmar und Offenburg sowie nahezu der gesamte westliche Grabenbereiche nördlich von Haguenau.

Entsprechend den in 2500 m Tiefe nach dem geostatistischen Temperaturmodell zu erwartenden Temperaturen sind in diesem Niveau die Temperaturvoraussetzungen zur direkten Heizwärmegewinnung und zur Stromerzeugung flächendeckend gegeben. Temperaturen über 150 °C mit einem höheren wirtschaftlich-technischen Potenzial zur Stromerzeugung sind im westlichen und zentralen Teil des mittleren und nördlichen inneren Projektgebiets bis auf Höhe von Sélestat flächendeckend zu erwarten. Im östlichen Graben zeichnen sich nach der Modellierung Temperaturen über 150 °C zwischen Rheinau und südlich von Rheinstetten sowie





zwischen Eggenstein-Leopoldshafen und Bad Schönborn ab. Auf der westlichen Rheinseite zwischen Haguenau und Germersheim liegen mehrere Gebiete mit einem sehr hohen Potenzial für die Stromerzeugung.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar. Diese gehen nicht in die dargestellte Potenzialabschätzung ein. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

5.5.1, 5.5.2





2.4.5.2.1.6 Temperaturen in 3000 m u. Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.6.1 zeigt die Temperaturverteilung in 3000 m u. Gelände für das innere Projektgebiet. Das Atlasblatt 5.6.2 zeigt die geothermische Potenzialabschätzung auf Grundlage der Temperatur in 3000 m u. Gelände.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell
 832 Bohrungen mit 3093 Messungen bis 3000 m Tiefe
 24 Bohrungen mit 54 Messungen zwischen 2500 und 3000 m Tiefe
 Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Aufgrund der wenigen Stützstellen, die der Temperaturmodellierung in 3000 m zugrunde liegen, sind die Temperaturangaben sehr unsicher.

Die Temperaturen, die im Oberrheingraben in 3000 m Tiefe errechnet wurden, liegen zwischen 106,9 und 186,7 °C. Die höchsten Temperaturen treten im Raum östlich von Herxheim auf, die niedrigsten im Raum westlich von Leimen (am östlichen Grabenrand) sowie südwestlich von Reinach. Grundsätzlich sind die Temperaturen im südlichen Teil des Modellgebietes (etwas südlich der Linie Sélestat - Ettenheim) erniedrigt. Gleiches trifft für den östlichen Bereich des mittleren und nördlichen Grabens zu.

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus in 3000 m Tiefe u. Gelände eine mittlere Temperatur von 145 °C.

Die positive Temperaturanomalie bei Sultz-sous-Forêts zeichnet sich auch in 3000 m Tiefe ab. Nach Baumgärtner et al. (2005) können dort die erhöhten Temperaturen zwischen 2 und 3 Kilometer Tiefe durch an Störungssystemen aufsteigende Thermalwässer erklärt werden. In Tiefen größer als 3,8 Kilometer stellt sich ein Temperaturgradient von 30 °C/km ein. Fluidbewegungen werden bis in 5 Kilometer Tiefe beobachtet, wo die Temperaturen bei 202 °C liegen. Die erhöhten Temperaturen im Nordwesten des Modellgebietes nördlich von Bischwiller/Haguenau bis auf die Höhe von Mannheim sind nicht durch Stützstellen belegt und pausen sich aus dem höheren Niveau bis in die Tiefe von 3000 m durch.

Signifikant niedrigere Temperaturen als die Referenztemperatur weist das Gebiet westlich von Basel sowie der Raum südlich und westlich von Heidelberg auf. Allerdings sind diese Modellergebnisse durch keine Temperaturmessungen in dieser Tiefe belegt.

In der Tiefe von 3000 m u. Gelände streichen folgende geothermische Einheiten aus:

- Buntsandstein: bei Sélestat und im Bereich zwischen Strasbourg und Ludwigshafen
- Permokarbn und Zechstein: größere Bereiche westlich und östlich des Rheins zwischen Rastatt und Kehl, kleinere Bereiche bei Sélestat, südlich von Breisach und westlich von Altkirch
- Grundgebirge: nahezu die gesamte südliche Hälfte des inneren Projektgebiets sowie große Flächen westlich des Rheins in der nördlichen Hälfte des inneren Projektgebiets

Entsprechend den in 3000 m Tiefe nach dem geostatistischen Temperaturmodell zu erwartenden Temperaturen sind in diesem Niveau die Temperaturvoraussetzungen zur direkten Heizwärmegewinnung und zur Stromerzeugung flächendeckend gegeben. Temperaturen über 150 °C als Temperaturgrenze für Regionen mit einem sehr hohen Potenzial zur Stromerzeugung deuten sich im nördlichen Modellgebiet auf in der westlichen Grabenhälfte zwischen nördlich von Bischwiller/Haguenau bis auf die Höhe von Mannheim an.





Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar. Diese gehen nicht in die dargestellte Potenzialabschätzung ein. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Literaturhinweise

Baumgärtner et al. 2005

Atlasblätter

5.6.1, 5.6.2





2.4.5.2.2 Tiefenlage der Fläche gleicher Temperatur in Meter unter Gelände (Isotherme)

Kurzbeschreibung

Die Karten zeigen die Tiefenlage der Flächen gleicher Temperatur in Meter unter Gelände für das innere Projektgebiet. Daneben werden die geothermischen Einheiten in dieser Tiefe dargestellt.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Die Karten zeigen die Tiefenlage der Fläche gleicher Temperatur in Meter unter Gelände sowie die in dieser Tiefe ausstreichenden geothermischen Einheiten.

Als Bezugstemperaturen wurden die Mindesttemperaturen für die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der geothermischen Energie gewählt (Kap. 2.4.6.2). Dabei wurden 60 °C als Mindesttemperatur für die direkte Heizwärmegewinnung und 100 °C als Mindesttemperatur für die Stromerzeugung angesetzt. Für Temperaturen über 150 °C wird ein sehr hohes Potenzial für die Stromerzeugung gesehen.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar

Durch Verschneidung der Tiefenlage der jeweiligen Temperaturfläche mit dem geologischen 3D-Modell wurden die Modelleinheiten ermittelt, in der die jeweilige Fläche gleicher Temperatur verläuft. Diese Einheiten sind in den Atlasblättern 5.7.2, 5.8.2 und 5.9.2 dargestellt.

Atlasblätter

5.7.1, 5.7.2, 5.8.1, 5.8.2, 5.9.1, 5.9.2



2.4.5.2.1 Tiefenlage der 60 °C-Isotherme in Meter unter Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.7.1 zeigt die Tiefenlage der 60 °C-Isotherme in m u. Gelände sowie die Verbreitung der geothermischen Einheiten für das innere Projektgebiet.

Das Atlasblatt 5.7.2 zeigt die im Niveau der 60 °C-Isotherme auftretenden geologischen Einheiten.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

Anzahl der Bohrungen: 589 Bohrungen mit 1819 Messwerte bis 60 °C Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Ab einer Temperatur von 60 °C sind die Temperaturvoraussetzungen für eine Nutzung des geothermischen Potenzials zur direkten Heizwärmegewinnung gegeben. Bei Fluidtemperaturen unter 60 °C kann das geothermische Potenzial zur balneologischen Anwendung und zur Wärmeversorgung z.B. von Bädern und im Gebäudebereich genutzt werden.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus für die 60 °C-Isotherme eine mittlere Tiefenlage von ca. 1100 m u. Gelände.

Nach dem Temperaturmodell liegt die 60 °C-Isotherme in Tiefen zwischen 410 und 1973 m u. Gelände. Sie liegt im Raum südwestlich von Reinach, westlich von Bad Krozingen und westlich von Leimen am tiefsten, im Raum Landau, Sultz-sous-Forêts und südwestlich von Breisach am flachsten.

Südlich von Colmar liegt die 60 °C-Isotherme großflächig tiefer als 1100 m u. Gelände. Innerhalb dieser Fläche liegt die 60 °C-Isotherme nordnordwestlich von Mulhouse, bei Fessenheim, im Sundgau bei Heimersdorf und in einer kleineren Teilfläche südwestlich von Breisach deutlich flacher als die Referenztiefe.

Nördlich von Colmar liegt die 60 °C-Isotherme westlich des Rheins in weiten Teilen des inneren Modellgebietes flacher als 1100 m u. Gelände. Ausnahmen hiervon bilden die Regionen um Haguenau und westlich von Mannheim bis nach Worms. Östlich des Rheins liegt die 60 °C-Isotherme westlich von Lahr, südwestlich von Baden-Baden und südlich und westlich von Heidelberg tiefer als die Referenztiefe.

Im Niveau der 60 °C-Isotherme streichen folgende geothermische Einheiten aus (vgl. Atlasblatt 5.7.2):

- Oberjura: schmale Flächen im südlichen Grabenbereich
- Hauptrogenstein-Formation: schmale Flächen im südlichen Grabenbereich und zwischen Colmar und Obernai
- Oberer Muschelkalk: schmale Flächen am westlichen Grabenrand (zwischen Achern und Kaiserstuhl) und im südlichen Grabenbereich
- Buntsandstein: am westlichen Grabenrand (bei Bad Dürkheim, westlich von Haguenau), am östlichen Grabenrand bei Bad Schönborn und in der Region um Offenburg und Lahr sowie im südlichen Grabenbereich
- Permokarbon und Zechstein: geschlossene Fläche am nördlichen Ende des westlichen Grabenrands, kleine Flächen im mittleren Bereich des östlichen Grabenrands und im südlichen Grabenbereich
- Grundgebirge: in der Region zwischen Offenburg und Lahr sowie im östlichen Teil des Schweizer Modellgebiets

Atlasblätter

5.7.1, 5.7.2





2.4.5.2.2 Tiefenlage der 100 °C-Isotherme in Meter unter Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.8.1 zeigt die Tiefenlage der 100 °C-Isotherme in Meter u. Gelände sowie die Verbreitung der geothermischen Einheiten für das innere Projektgebiet.

Das Atlasblatt 5.8.2 zeigt die im Niveau der 100 °C-Isotherme auftretenden geologischen Einheiten.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

Anzahl der Bohrungen: 793 Bohrungen mit 2714 Messungen bis 100 °C Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Wässer mit Temperaturen über 100 °C können zur Stromerzeugung unter Einsatz der ORC- (Organic Rankine Cycle) bzw. Kalina-Verfahrens eingesetzt werden. Nach Paschen et al. (2003) wird bei 100 °C Wassertemperatur eine Mindestförderrate von 14 l/s (50 m³/h) vorausgesetzt. Die technisch erforderlichen Mindesttemperaturen zur Stromerzeugung liegen derzeit bei 80 °C. Hierfür sind allerdings hohe Volumenströme erforderlich.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar.

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus für die 100 °C-Isotherme eine mittlere Tiefenlage von 2000 m u. Gelände.

Nach dem Temperaturmodell liegt die 100 °C-Isotherme in Tiefen zwischen 1040 und 3325 m u. Gelände. Sie liegt im Raum südlich von Reinach am tiefsten, im Raum Soultz-sous-Forêts und Landau am flachsten.

Nahezu im gesamten Oberrheingraben südlich von Selestat liegt die 100 °C-Isotherme verbreitet tiefer als 2000 m u. Gelände und damit tiefer als das Referenzniveau.

Nördlich von Selestat liegt die 100 °C-Isotherme in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes westlich des Rheins flacher als 2000 m u. Gelände. Besonders deutlich kommen die positiven Temperaturanomalien bei Soultz-sous-Forêts und Landau zum Ausdruck. Östlich des Rheins sind am östlichen Grabenrand bei Heidelberg das Mannheim- und Heidelberg-Becken und die östliche Randschollenzzone sowie die östlichen Bereiche der Worms-Zwischenschollen und des Speyer-Reilingen-Schollenfeldes durch eine tiefer liegende 100 °C-Isotherme gekennzeichnet.

Im Niveau der 100 °C-Isotherme streichen folgende geothermische Einheiten aus (vgl. Atlasblatt 5.8.2):

- Haupttrogenstein-Formation: schmale Flächen im mittleren und südlichen Grabengebiet
- Oberer Muschelkalk: schmale Flächen im mittleren und südlichen Grabengebiet
- Permtriassische Sandsteine: am westlichen Grabenrand zwischen Haguenau und Bad Dürkheim, am östlichen Grabenrand bei Rastatt und Malsch, größere Fläche zwischen Colmar und Strasbourg, schmale Flächen im südlichen Grabengebiet
- Grundgebirge: am westlichen Grabenrand bei Grünstadt und westlich von Haguenau, östlich des Rheins zwischen Rheinau und der Höhe von Emmendingen, bei und nördlich von Colmar und große Flächen im südlichsten Grabenbereich.

Atlasblätter

5.8.1, 5.8.2



2.4.5.2.3 Tiefenlage der 150 °C-Isotherme in Meter unter Gelände

Kurzbeschreibung

Das Atlasblatt 5.9.1 zeigt die Tiefenlage der 150 °C-Isotherme in m u. Gelände sowie die Verbreitung der geothermischen Einheiten für das innere Projektgebiet.

Das Atlasblatt 5.9.2 zeigt die im Niveau der 150 °C-Isotherme auftretenden Modelleinheiten.

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

Anzahl der Bohrungen: 832 Bohrungen mit 3073 Messungen bis 150 °C Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Ab einer Untergrundtemperatur von 150 °C wird ein sehr hohes Potenzial für die Stromerzeugung gesehen.

Neben der Temperatur des Untergrundes bzw. der darin zirkulierenden Fluide stellen die erforderlichen Volumenströme eine weitere entscheidende Randbedingung für die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials dar.

Legt man eine Oberflächentemperatur von 10 °C und einen mittleren geothermischen Gradienten von 4,5 °C pro 100 m zugrunde, so ergibt sich daraus für die 150 °C-Isotherme eine mittlere Tiefenlage von 3100 m u. Gelände.

Nach dem Temperaturmodell liegt die 150 °C-Isotherme in Tiefen zwischen 1618 und 4233 m u. Gelände. Sie liegt im Raum südwestlich von Reinach am tiefsten, im Raum Landau, östlich von Herxheim und östlich von Sultz-sous-Forêts am flachsten.

Südlich von Strasbourg liegt die 150 °C-Isotherme verbreitet tiefer als 3100 m u. Gelände. Eine Ausnahme innerhalb dieser Fläche bildet die Region nördlich und nordnordöstlich von Wittelsheim. Dort liegt die 150 °C-Isotherme bereits in ca. 1250 m u. Gelände.

Nördlich von Strasbourg liegt die 150 °C-Isotherme in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes flacher als 3100 m u. Gelände. Lediglich am östlichen Grabenrand bei Heidelberg sind das Heidelberg-Becken und die östliche Randschollenzone sowie die östlichen Bereiche des Mannheim-Beckens, der Worms-Zwischenschollen und des Speyer-Reilingen-Schollenfeldes durch eine tiefer liegende 150 °C-Isotherme gekennzeichnet.

Im Niveau der 150 °C-Isotherme streichen folgende geothermische Einheiten aus (vgl. Atlasblatt 5.9.2):

- Oberer Muschelkalk: schmale Flächen im Bereich zwischen Strasbourg und Speyer
- Permotriassische Sandsteine: größere Flächen zwischen Strasbourg und Ludwigshafen
- Grundgebirge: großflächig in der südlichen Hälfte des Grabengebiets (bezogen auf das Projektgebiet), in der nördlichen Hälfte große Flächen westlich des Rheins.

Atlasblätter

5.9.1, 5.9.2





2.4.5.3 Vergleich und Diskussion der Ergebnisse des geostatistischen 3D-Temperaturmodells mit dem konduktiven Temperaturmodell

Kurzbeschreibung

Die im Projekt GeORG modellierten Temperaturverteilungen im Untergrund des Oberrheingrabens basieren auf zwei unterschiedlichen methodischen Ansätzen:

Das geostatistische Temperaturmodell basiert auf Temperaturmessungen in Bohrungen und berücksichtigt die Wärmeausbreitung im Untergrund durch konduktive und advective Transportprozesse. Die Methode stellt somit einen integrativen Ansatz zur Modellierung der Temperaturverteilung dar. Sie wurde im gesamten inneren Modellgebiet angewendet.

Das rein konduktiv modellierte Temperaturfeld erlaubt eine Abschätzung der Untergrundtemperaturen ohne den Wärmeeintrag durch advective Transportprozesse und macht auf der Grundlage dieser Randbedingungen konservative Angaben zur Temperaturverteilung im Untergrund. Die Methode liefert auch für Gebiete und für größere Tiefen, aus denen nur wenige bis keine Temperaturinformationen aus Bohrungen vorliegen, auf plausibilisierten Annahmen und nachvollziehbarer Methodik basierende Anhaltspunkte für die dort zu erwartenden Untergrundtemperaturen. Das konduktive Temperaturmodell wurde für das Pilotgebiet Modellierung erstellt (Atlasblatt 1.1).

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Konduktives 3D-Temperaturmodell

Beschreibung

Das *geostatistische Temperaturmodell* macht auf der Grundlage z. T. korrigierter Temperaturmessungen in Bohrungen Aussagen über die Temperaturverteilung im Untergrund. Dieses Temperaturfeld beruht auf konduktivem und advektivem Wärmetransport. Der konduktive Wärmetransport beinhaltet den Wärmeeintrag über den basalen Wärmefluss sowie die radiogene Wärmeproduktion und den Wärmetransport aufgrund der Wärmeleitfähigkeit der Gesteine. Der advective Wärmetransport beinhaltet den Wärmeeintrag, der über Thermalwässer erfolgt, die im Untergrund bevorzugt in Störungszonen bzw. geklüfteten oder verkarsteten Gebirgsabschnitten zirkulieren. Die Methode stellt somit einen integrativen Ansatz zur Modellierung der Temperaturverteilung dar.

Das *konduktive Temperaturmodell* erlaubt eine Abschätzung der Untergrundtemperaturen ohne den Wärmeeintrag durch advective Transportprozesse und macht auf der Grundlage dieser Randbedingungen konservative Angaben zum Temperaturfeld. Der Ansatz liefert auch für Gebiete und für größere Tiefen, aus denen nur wenige bis keine Temperaturinformationen aus Bohrungen vorliegen, auf plausibilisierten Annahmen und nachvollziehbarer Methodik basierende Anhaltspunkte für die dort zu erwartenden Untergrundtemperaturen.

Abb. 2.4.5.3-01 bis 2.4.5.3-03 zeigen einen Vergleich zwischen den beiden Temperaturfeldern nach dem geostatistischen bzw. konduktiven Modellansatz für die Tiefe von 1000, 2000 und 3000 m u. Gelände. In diesen Tiefen liegen östlich des Rheins die auf Bohrlochmessungen basierenden Temperaturen des geostatistischen Modells bereichsweise unter denen des konduktiven Temperaturmodells. Dort stammen die dem geostatistischen Modell zugrunde liegenden Temperaturen meist aus bis zu ca. 300 Meter tiefen Grundwassermessstellen, aus denen Vertikalströmungen des Grundwassers mit nach unten gerichtetem Gradienten bekannt sind. Diese Ausgleichsströmung führt in den tieferen Abschnitten der Grundwassermessstellen zu niedrigen Temperaturen. Da weitere Temperaturmessungen aus tieferen Bohrungen in diesem Gebiet fehlen, wirken sich die Temperaturen aus den Grundwassermessstellen methodisch bedingt stark aus. Dies führt dazu, dass das geostatistische Modell in diesem Gebiet bis in diese Tiefen eher zu niedrige Temperaturen liefern dürfte (Abb. 2.4.5.3-01 bis 2.4.5.3-03 links unten).



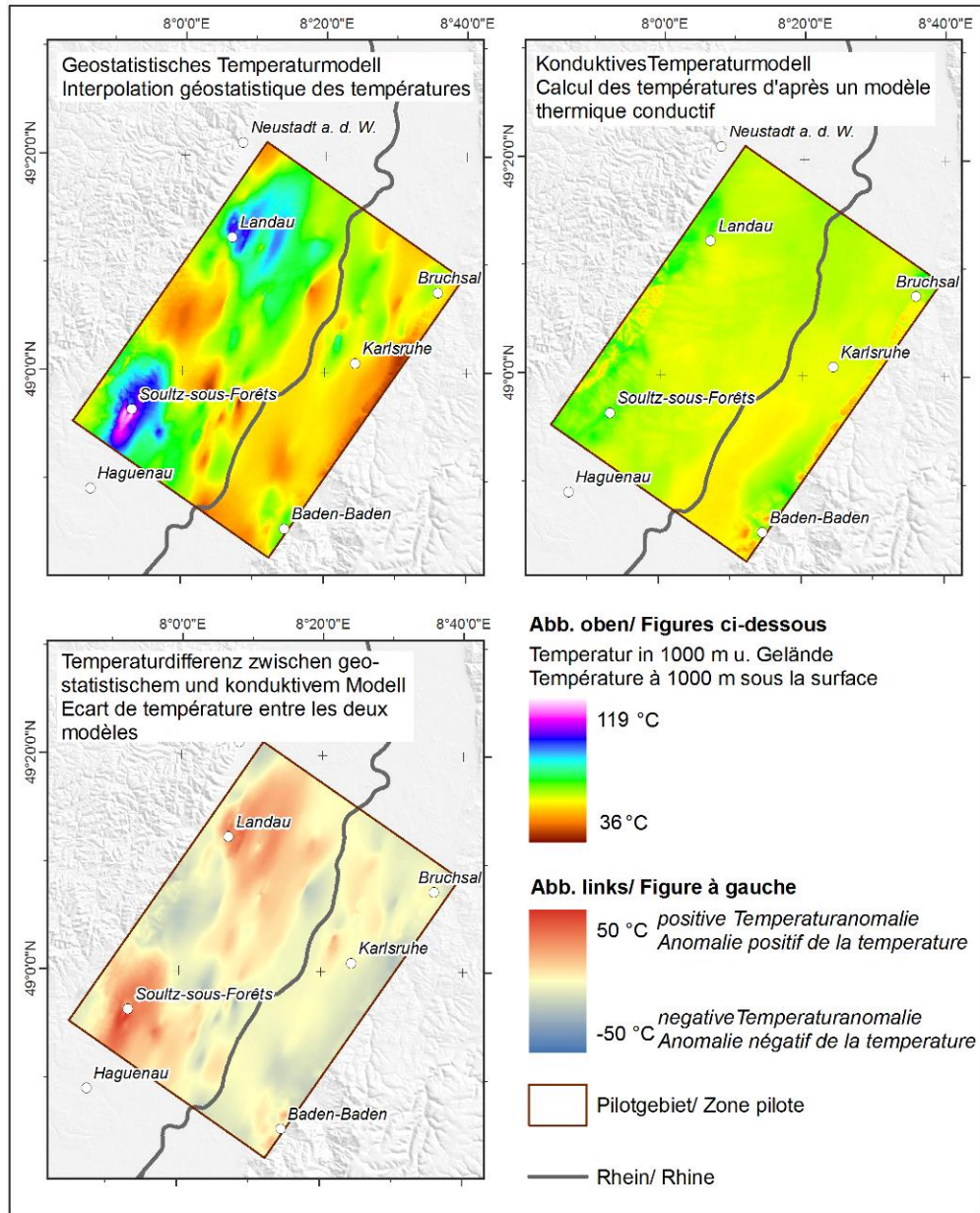


Abb. 2.4.5.3-01: Vergleich der Temperaturen des geostatistischen Modells mit denen des konduktiven Modells in 1000 m unter Gelände.

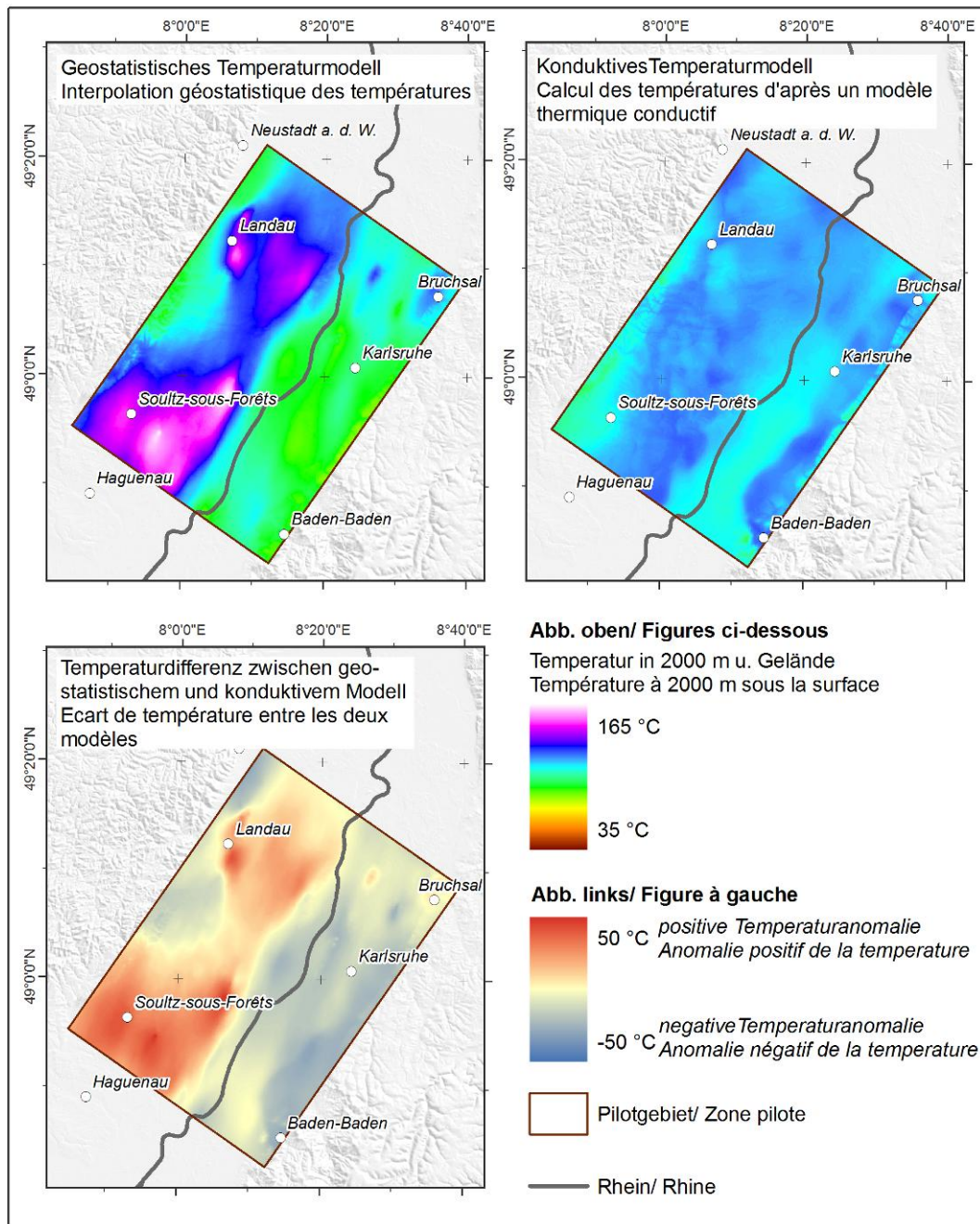
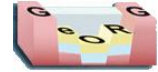


Abb. 2.4.5.3-02: Vergleich der Temperaturen des geostatistischen Modells mit denen des konduktiven Modells in 2000 m unter Gelände.



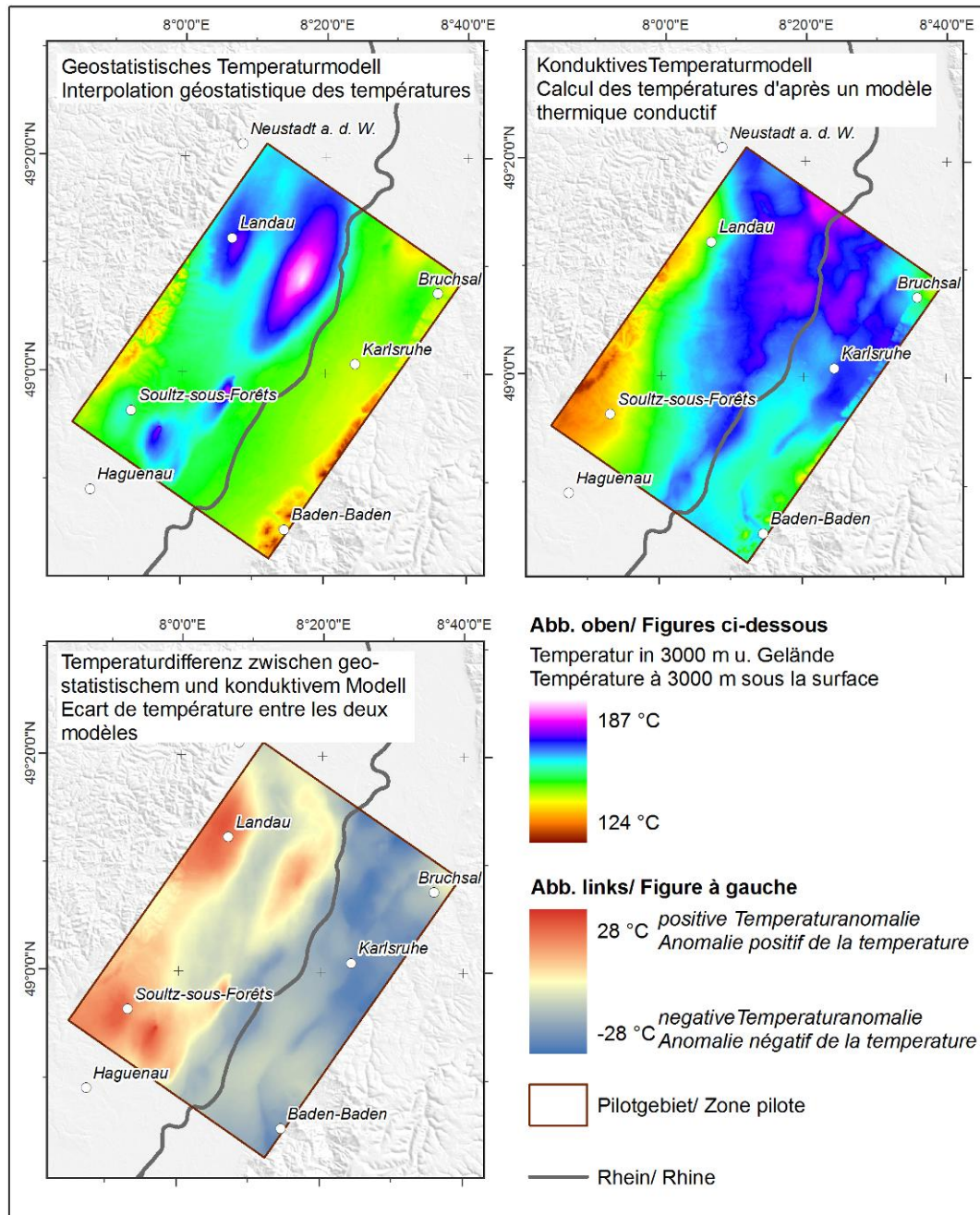
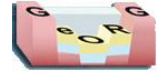


Abb. 2.4.5.3-03: Vergleich der Temperaturen des geostatistischen Modells mit denen des konduktiven Modells in 3000 m unter Gelände.

Das Ergebnis dieses Vergleiches zwischen den Temperaturen des geostatistischen und konduktiven Modells legt für das Pilotgebiet Modellierung die Vermutung nahe, dass die Temperaturen im geostatistischen Modell östlich des Rheins um bis zu mehrere Zehner °C unterschätzt werden. Dies dürfte auch für alle früheren Publikationen von Temperaturverteilungen in dieser Region zutreffen, da diese von weitgehend identischen Ausgangsdatensätzen ausgehen

Meist sind die in Bohrungen gemessenen und darauf aufbauend nach dem geostatistischen Ansatz modellierten Temperaturen höher als die nach dem rein konduktiven Ansatz modellierten Temperaturen. Dies ist sehr deutlich in den Bereichen um Landau und Sultz-sous-Forêts zu beobachten. Darin spiegelt sich der Wärmeeintrag durch zirkulierende Fluide an diesen durch Störungen geprägten Standorten wider (z.B. Storz 2007, Genter et al. 2010).





Das Gebiet um Bruchsal zeichnet sich in den Differenzendarstellung der beiden Modellergebnisse durch keine signifikante positive Temperaturanomalie ab. Am Standort des Geothermiekraftwerkes Bruchsal sind aus der Geothermiebohrung GB I Temperaturen von 119,4 °C (bei 1865 m u. GOK) und aus der GB II von 134,12 °C (bei 2506 m u. Gelände) bekannt (Kölbel et al. 2010). Die daraus ermittelten geothermischen Gradienten liegen bei 0,053 °C/m (GB I) bzw. 0,048 °C/m (GB II) und damit annähernd in derselben Größenordnung wie der mittlere Temperaturgradient des konduktiven Temperaturmodells.



2.4.6 Geothermische Einheiten

Ziel

Beschreibung der geothermischen Einheiten

- Oberjura
- Hauptrogenstein
- Oberer Muschelkalk
- Permotriassische Sandsteine
- Permokarbon
- Grundgebirge

Kurzbeschreibung

Für die geothermische Nutzung der geothermischen Einheiten sind verschiedene Kenngrößen von Bedeutung. Im Folgenden werden folgende Eigenschaften beschrieben:

- Gesteinseigenschaften:
 - Porosität, Permeabilität (zusammengefasst in Abb. 2.4.6-01 und Abb. 2.4.6-02)
 - Wärmeleitfähigkeit (zusammengefasst in Tab. 2.4.6-01)
- Fluideigenschaften

Daneben werden die Einheiten hinsichtlich

- der Tiefenlage und Mächtigkeit
- der Temperaturen an ihrer Oberfläche
- der Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials auf Grundlage der Temperaturen

charakterisiert. Wärmeinhalt und die theoretisch gewinnbaren Wärmemengen aus den Einheiten werden in Kapitel 2.4.7 beschrieben.

Eingangsdaten

Messergebnisse zu Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Permeabilität

Hydrochemische Analysen

3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Im Projekt GeORG werden die geothermischen Einheiten im Hinblick auf ihre Porosität und Permeabilität sowie ihre Wärmeleitfähigkeit beschrieben. Die Vorgehensweise bei der Auswertung der Parameter ist in den Kap. 3.3.3 (Wärmeleitfähigkeit) und 3.3.4 (Porosität, Permeabilität) beschrieben. Die Ergebnisse sind in den Abb. 2.4.6-01 und Abb. 2.4.6-02 zusammengefasst.

Die höchsten Porositäten (Median) treten in den tertiären Modelleinheiten auf (Abb. 2.4.6-01), wobei die Porositäten mit zunehmendem Alter der Einheiten tendenziell abnehmen. Hierin zeichnet sich der mit zunehmender Versenkungstiefe zunehmende Kompaktions- und Zementationsgrad der Sedimente ab (vgl. auch Geophysica 2012 und Jodocy & Stober 2011). Die höchsten Porositäten in den prätertiären Sedimenten finden sich im Hauptrogenstein, Unteren und Mittleren Mitteljura und Buntsandstein, die niedrigsten im Grundgebirge und Unteren und Mittleren Muschelkalk.



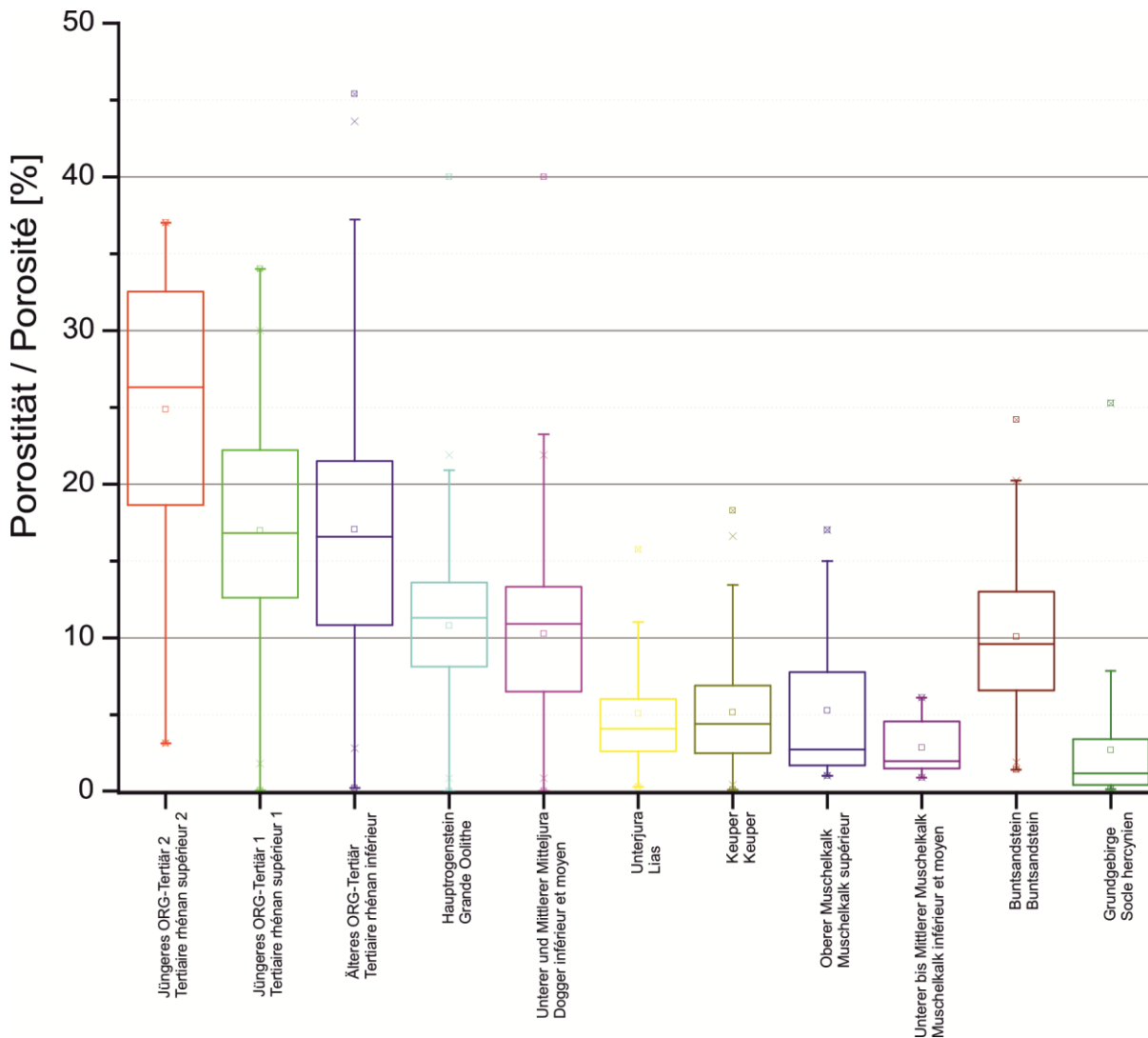
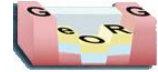


Abb. 2.4.6-01: Box-Whisker-Plot der Porositäten der geothermischen Einheiten.

Die höchsten Permeabilitäten (Median) treten in den tertiären Modelleinheiten auf (Abb. 2.4.6-02). Die höchsten Permeabilitäten in den prätertiären Sedimenten finden sich im Buntsandstein und Oberen Muschelkalk, die niedrigsten im Grundgebirge und Unteren bis Mittleren Muschelkalk.



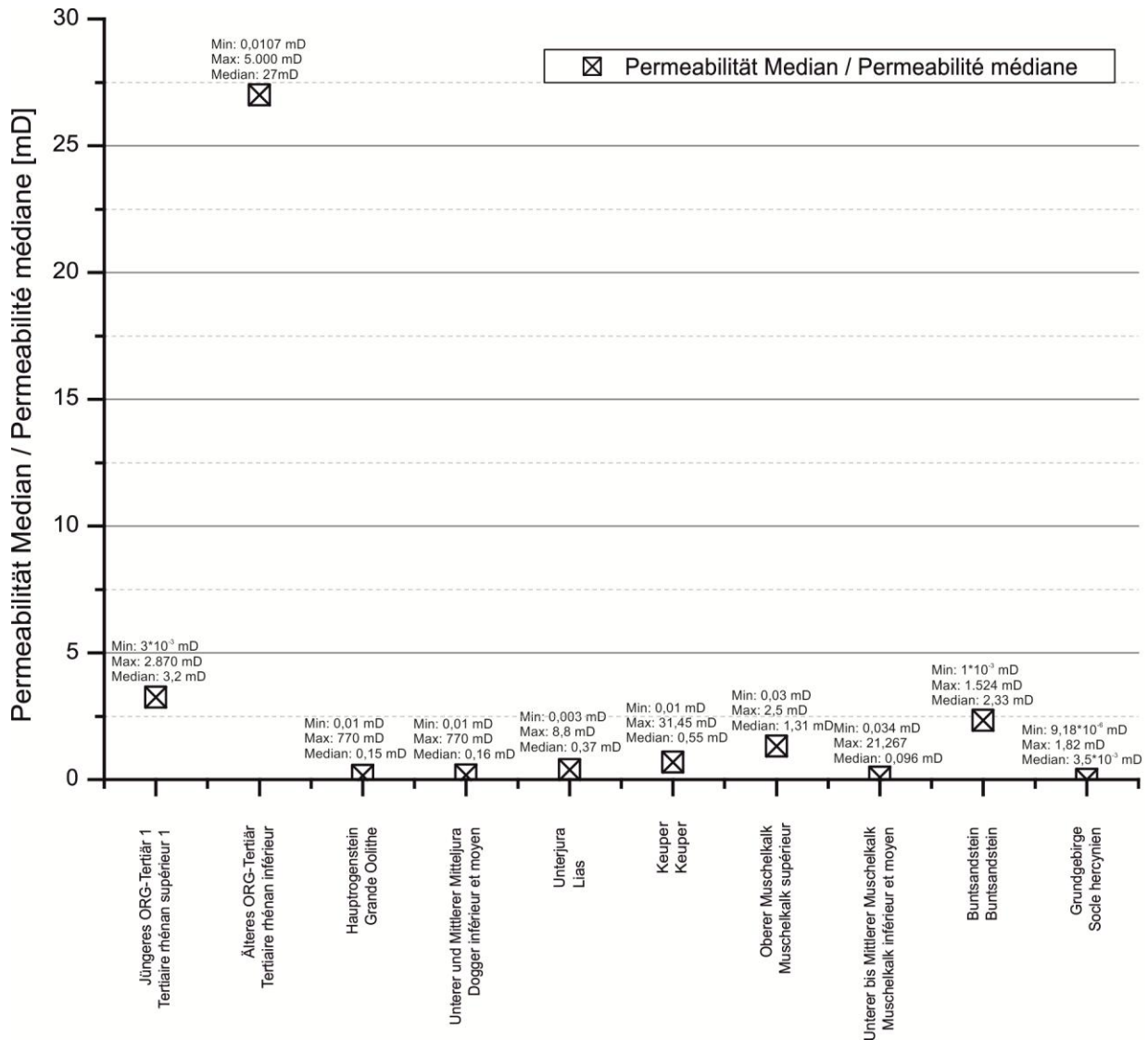


Abb. 2.4.6-02: Permeabilitäten der geothermischen Einheiten.

Die höchsten Wärmeleitfähigkeiten (Median, alle Werte) im trockenen Zustand wurden an Proben aus dem Keuper und dem Grundgebirge ermittelt (Tab. 2.4.6-01 und Abb. 2.4.6-03), die niedrigsten an Proben aus dem Jüngeren Oberrheingraben-Tertiär 1, dem Oberjura, dem Zechstein und dem Permokarbon. Im wassergesättigten Zustand weisen Proben aus dem Keuper die höchsten und Proben aus dem Oberen Mitteljura, dem Oberjura und dem Grundgebirge die niedrigsten Medianwerte auf. Die schweizerischen Messwerte (TC_{eff} in Tab. 2.4.6-01) wurden am Bohrklein gemessen und anschließend durch Rechenoperationen korrigiert. Dieser Rechenwert entspricht der Wärmeleitfähigkeit eines Gesteines bei Wassersättigung.

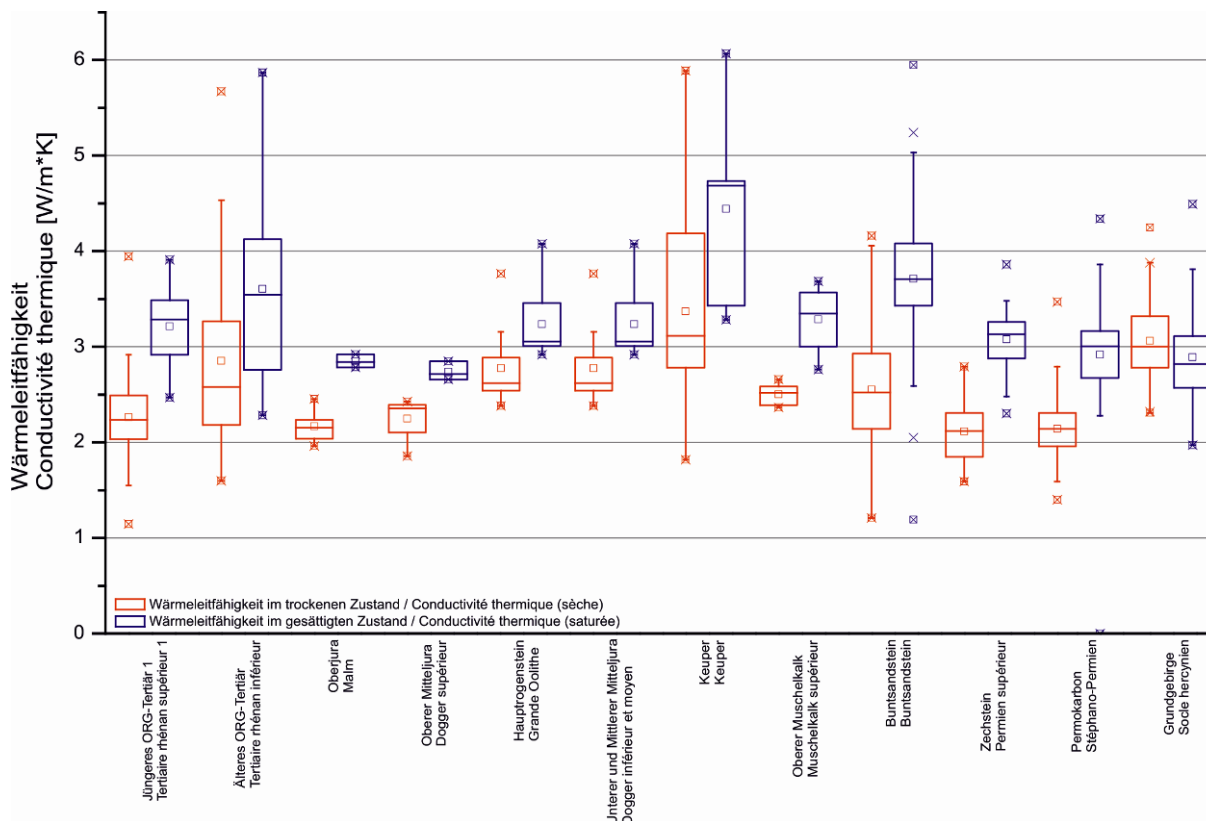


Abb. 2.4.6-03: Box-Whisker-Plot der Wärmeleitfähigkeiten der untersuchten Einheiten im trockenen und wassergesättigten Zustand (ohne Berücksichtigung der schweizer T_{Ceff}-Werte).



Tab. 2.4.6-01: Zusammenstellung der vorhandenen bzw. im Rahmen des Projekts neu gemessenen Wärmeleitfähigkeiten der Modelleinheiten bzw. geothermischen Einheiten (fett) aus dem Modellgebiet

 *: alle Werte; **: nur schweizerische TC_{eff}-Werte; ***: ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff}-Werte ;
 n.v.: nicht vorhanden

| | Anzahl Messwerte gesamt | Wärmeleitfähigkeit [W/(m ² *K)] | | | | | |
|--|-------------------------|--|------|--------|-----------------|---------------|--------------------------|
| | | trocken | | | wassergesättigt | | |
| | | Min | Max | Median | Min | Max | Median |
| Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2 | n.v. | - | - | - | - | - | - |
| Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 1 | 47 | 1,1* | 3,9* | 2,3* | 2,4* | 3,9* | 3,3* |
| Kaiserstuhl-Vulkanite | n.v. | - | - | - | - | - | - |
| Älteres Oberrhein-graben-Tertiär | 104 | 1,6* | 5,7* | 2,6* | 1,6* | 5,9* | 3,5* 1,7** 3,5*** |
| Oberjura | 13 | 2,0* | 2,5* | 2,2* | 1,6* | 2,9* | 2,4* 2,1** 2,85*** |
| Oberer Mitteljura | 7 | 1,9* | 2,4* | 2,3* | 2,65* | 2,85* | 2,72* |
| Mittlerer und Unterer Mitteljura (mit Hauptrogenstein) | 37 | 2,4* | 3,8* | 2,6* | 2,2* | 4,1* | 3,0* 3,1*** |
| Unterjura | 2 | | | | | | |
| Keuper | 20 | 1,8* | 5,9* | 3,1* | 3,3* | 6,1* | 2,9* 1,9** 4,7*** |
| Oberer Muschelkalk mit Diemel-Formation (wo vorhanden) | 13 | 2,4* | 2,6* | 2,5 | 1,9* | 3,7* | 2,5* 2,0** 3,4*** |
| Unterer und Mittlerer Muschelkalk (in Modelleinheit Permotriassische Sandsteine) | 6 281 | | | | 1,1** 1,2* | 3,6** 6,0* | 3,7* 3,7*** |
| Permokarbon (Basis spätpermische Sandsteine bis Basis Zechstein) | 62 | 1,6* | 2,8* | 2,1* | 2,3* | 3,9* | 3,1* |
| Permokarbon (Basis Zechstein-Basis Permokarbon) | 111 | 1,4* | 3,5* | 2,1* | 1,4* | 4,3* | 2,9* 1,8** 3,0*** |
| Grundgebirge | 149 | 2,3* | 4,3* | 3,0* | 2,0* | 4,5* | 2,8* 2,6** 2,8*** |

Weitere wichtige Gesteinseigenschaften sind u. a. die Gesteinsdichte, Wärmekapazität und Wärmestromdichte sowie die Gebirgsdurchlässigkeit, der Speicherkoeffizient und der Produktivitätsindex. Informationen hierüber sind z. T. über das Informationssystem GeotIS abrufbar.

Die in den Einheiten zirkulierenden Fluide werden hinsichtlich ihrer hydrochemischen Beschaffenheit charakterisiert (zur Methodik vgl. Kap. 3.3.2). Die tiefen Grundwässer sind durchweg hoch mineralisiert. Sie sind nahezu sauerstofffrei und führen erhöhte Gehalte an gelöstem Eisen, Mangan, Arsen sowie zum Teil auch Uran und weiteren Stoffen sowie Gasen. Eingriffe in diese hydrochemischen Systeme stellen hohe Anforderungen an die Technik und haben einen erhöhten Aufwand hinsichtlich Pflege und Wartung von





Systemen zur Nutzung geothermischer Energie zur Folge.

Daneben stellt das Projekt GeORG Informationen zu Tiefenlage und Mächtigkeit der geothermischen Einheiten bereit.

Die Temperaturen an der Oberfläche der geothermischen Einheiten wurden aus der Kombination des geostatistischen Temperaturmodells mit dem geologischen 3D-Modell ermittelt. Sie wird durch die Tiefenlage der jeweiligen Referenzfläche unter Geländeoberkante bestimmt.

Die Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials basiert ausschließlich auf der modellierten Temperatur an der oberen Grenzfläche der Einheiten. Die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials setzt darüber hinaus einen ausreichenden Volumenstrom der zirkulierenden Fluide voraus, der in die Potenzialabschätzung nicht eingegangen ist. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Literaturhinweise, Externe Links

Geophysica 2012, Jodocy & Stober 2011, Jung et al. 2002, KW-Archiv (RPF-LGRB)

GeotIS: <http://www.geotis.de/>

Kapitelverweise

2.4.7, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4





2.4.6.1 Oberjura

Kurzbeschreibung

Die gebankten hellgrauen Kalksteine mit untergeordneten Mergelstein-Zwischenlagen bilden einen überwiegend schichtig gegliederten Kluffgrundwasserleiter mit lokal geringer Verkarstung.

Eingangsdaten

Porositäten, Permeabilitäten, Wärmeleitfähigkeiten, hydrochemische Analysen, Temperaturen, Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse.

Beschreibung

Der Kluffgrundwasserleiter des karbonatisch ausgebildeten Oberjura ist aufgrund seiner lithologischen und hydraulischen Eigenschaften grundsätzlich als hydrothermaler Nutzhorizont geeignet. Die tatsächliche Eignung wird durch das Vorhandensein von Thermalwasser in ausreichender Temperatur und Menge bestimmt. Sie ist Gegenstand lokaler Betrachtungen im Zuge konkreter Projektplanungen.





2.4.6.1.1 Gesteins- und Fluideigenschaften

Kurzbeschreibung

Die gebankten hellgrauen Kalksteine mit untergeordneten Mergelstein-Zwischenlagen bilden einen überwiegend schichtig gegliederten Kluftgrundwasserleiter mit lokal geringer Verkarstung.

Eingangsdaten

Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Permeabilität, hydrochemische Analysen

Beschreibung

Porosität, Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit

Die Ergebnisse zur Porosität/Permeabilität und zu den Wärmeleitfähigkeiten der geothermischen Einheit sind in Kap. 2.2.1 ausführlich beschrieben. Sie werden im Folgenden in Tabellenform zusammenfassend dargestellt (Tab. 2.4.6.1.1-01).

Tab. 2.4.6.1.1-01: Zusammenstellung der Porositäten und Permeabilitäten sowie der Wärmeleitfähigkeiten für die geothermische Einheit Oberjura.

| | Anzahl Messwerte | Minimum | Maximum | Median |
|-------------------------------------|---------------------|---------|---------|-------------|
| Porosität [%] | | 0,2 | 40 | 10.7 |
| Permeabilität [mD] | | 0,01 | 0,16 | 770 |
| Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)] | | | | |
| trocken | 13 | 2,0 | 2,5 | 2,2 |
| wassergesättigt | 13 | 1,6 | 2,9 | 2,4 2,8* |

* ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} -Werte

Fluideigenschaften

Zu den Grundwässern aus dem Oberjura liegen keine hydrochemischen Analysen vor.

Kapitelverweise

2.2.1



2.4.6.1.2 Temperaturen an der Oberfläche des Oberjura und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials

Kurzbeschreibung

Die Temperaturen an der Oberfläche des Oberjura liegen zwischen 8 und 126 °C (Atlasblatt 5.10.1). Für den Oberjura sind nahezu im gesamten Verbreitungsgebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Grundwässer für balneologischen Anwendungen und zur Wärmeversorgung von Bädern und anderen Gebäuden gegeben.

Eingangsdaten

3D- Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

23 Bohrungen mit 30 Temperaturmessungen im Oberjura und tiefer

Beschreibung

Der Oberjura ist im südlichen Oberrheingraben etwa südlich der Verbindungslinie Wittelsheim-Bad Krozingen verbreitet. Er liegt zwischen 514 und -1782 mNN.

Die Temperaturen werden von der Tiefenlage der geothermischen Einheit bestimmt (vgl. Atlasblatt 2.5). Demzufolge sind die Temperaturen an der Oberfläche des Oberjura im Dannemarie-Becken und im Wittelsheim-Buggingen-Becken generell höher als in dem östlich und südlich angrenzenden Südlichen Bruchschollengebiet (vgl. Atlasblatt 1.5, 5.10.1). Die Temperaturen an der Oberfläche des Oberjura liegen zwischen 8,2 und 125,7 °C. Die höchsten Temperaturen treten nordwestlich von Mulhouse auf, die niedrigsten im Raum nördlich des Dinkelbergs.

Für den Oberjura sind nahezu im gesamten Verbreitungsgebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Grundwässer für balneologischen Anwendungen und zur Wärmeversorgung von Bädern und anderen Gebäuden gegeben (Atlasblatt 5.10.2). Im Dannemarie-Becken und im Wittelsheim-Buggingen-Becken sind nach den Modellergebnissen die Temperaturvoraussetzungen zur direkten Heizwärmegewinnung südwestlich und westlich von Mulhouse sowie nördlich von Mulhouse und Müllheim gegeben. Dort liegt die Oberfläche des Oberjura vergleichsweise tief. Lediglich nordwestlich von Basel und südlich von Mulhouse liegen die errechneten Temperaturen unter 20 °C.

Die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials setzt einen ausreichenden Volumenstrom der zirkulierenden Fluide voraus, der in die Potenzialabschätzung nicht eingegangen ist. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

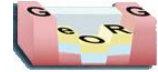
Kapitelverweise

2.2.1.6

Atlasblätter

1.5, 2.5, 5.10.1, 5.10.2





2.4.6.2 Hauptrogenstein (Mitteljura)

Kurzbeschreibung

Die gebankten, z. T. oolithischen Kalksteine und Kalkmergelsteine bilden einen überwiegend schichtig gegliederten Kluffgrundwasserleiter mit lokal geringer Verkarstung.

Eingangsdaten

Porositäten, Permeabilitäten, Wärmeleitfähigkeiten, hydrochemische Analysen, Temperaturen, Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse.

Beschreibung

Der Hauptrogenstein ist aufgrund seiner lithologischen und hydraulischen Eigenschaften grundsätzlich als hydrothormaler Nutzhorizont geeignet. Die tatsächliche Eignung wird durch das Vorhandensein von Thermalwasser in ausreichender Temperatur und Menge bestimmt. Sie ist Gegenstand lokaler Betrachtungen im Zuge konkreter Projektplanungen.



2.4.6.2.1 Gesteins- und Fluideigenschaften

Kurzbeschreibung

Der karbonatisch ausgebildete Kluft- / Karstgrundwasserleiter besteht überwiegend aus Kalksteinen, in die Kalkmergelsteine eingeschaltet sind. Sie können im mittleren und oberen Abschnitt lokal dolomitiert sein. Art und Ausmaß der Verkarstung können kleinräumig wechseln.

Eingangsdaten

Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Permeabilität, hydrochemische Analysen

Beschreibung

Porosität, Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit

Die Ergebnisse zur Porosität/Permeabilität und zu den Wärmeleitfähigkeiten der geothermischen Einheit sind in Kap.2.2.1.7 ausführlich beschrieben. Sie werden im Folgenden in Tabellenform zusammenfassend dargestellt (Tab. 2.4.6.2.1-01).

Tab. 2.4.6.2.1-01: Zusammenstellung der Porositäten und Permeabilitäten sowie der Wärmeleitfähigkeiten für die geothermische Einheit Hauptrogenstein.

| | Anzahl Messwerte | Minimum | Maximum | Median |
|-------------------------------------|------------------|---------|---------|--------|
| Porosität | 427 | 0,02 | 25,5 | 11,2 |
| Permeabilität | 368 | w0,01 | 770 | 0,15 |
| Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)] | | | | |
| trocken | 34 | 2,4 | 3,8 | 2,6 |
| wassergesättigt | 34 | 2,2 | 4,1 | 3,1 |

Fluideigenschaften

Die Grundwässer im Hauptrogenstein-Grundwasserleiter unterscheiden sich in ihrer hydrochemischen Zusammensetzung voneinander (Abb. 2.4.6.2.1-01).

In relativ geringen Tiefen überwiegen gering mineralisierte Wässer. Als Beispiel ist die Bohrung Freiburg TB 3 Mooswald-Heilwasserquelle 2 neu zu nennen, die in der Filterstrecke von 418 bis 483 m ein Wasser vom Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄-Typ mit einem Gehalt an gelösten Feststoffen von lediglich ca. 700 mg/l erschlossen hat.

Die Bohrungen im Bereich Bad Bellingen und Schliengen haben in etwas größerer Tiefe mit Filterstrecken von ca. 520 bis 650 m Grundwässer mit höherer Mineralisation (ca. 4-6 g/l) und dem Na-Ca-Cl-Wassertyp bzw. Na-Ca-Cl-HCO₃-Wassertyp (Schliengen 1) erschlossen. Wenig weiter südlich, wurde in der Tiefbohrung Efringen-Kirchen 1970 in der Filterstrecke von 212 bis 407 m ein sehr ähnliches Wasser mit einer Mineralisation von ca. 4 g/l angetroffen. Aufgrund des geringeren Gehalts an Calcium- und Sulfationen handelt es sich hier um ein Wasser vom Na-Cl-Typ. Auch in der Bohrung Zimmersheim 1, westlich des Rheins, wurde dieser Wassertyp bei einer Mineralisation von ca. 6,7 g/l (Tiefe 625 m) angetroffen. Die nur wenig nördlich von Zimmersheim gelegene Bohrung Rixheim 1 hat in vergleichbarer Tiefe (629 m) ein höher mineralisiertes (ca. 11 g/l) Wasser vom Na-Ca-Cl-Typ erschlossen.

Die tiefen Grundwässer im Hauptrogenstein-Grundwasserleiter sind durchweg hoch mineralisiert. Der Gehalt an gelösten Feststoffen variiert von ca. 25 g/l bis über 130 g/l. Dominierend sind die Alkali- und Chloridionen, die Wässer dementsprechend vom Na-Cl-Typ und teilweise als Solen zu bezeichnen. Der Gehalt an Alkalien und Chlorid liegt häufig weit über den entsprechenden Gehalten von Meerwasser. Einige Beispiele für tiefe





Hauptrogenstein-Grundwässer (> 1000 m Tiefe) aus dem Raum zwischen Strasbourg und Basel sind (neben den flacheren Grundwasseraufschlüssen) in Abb. 2.4.6.2.1-01 dargestellt.

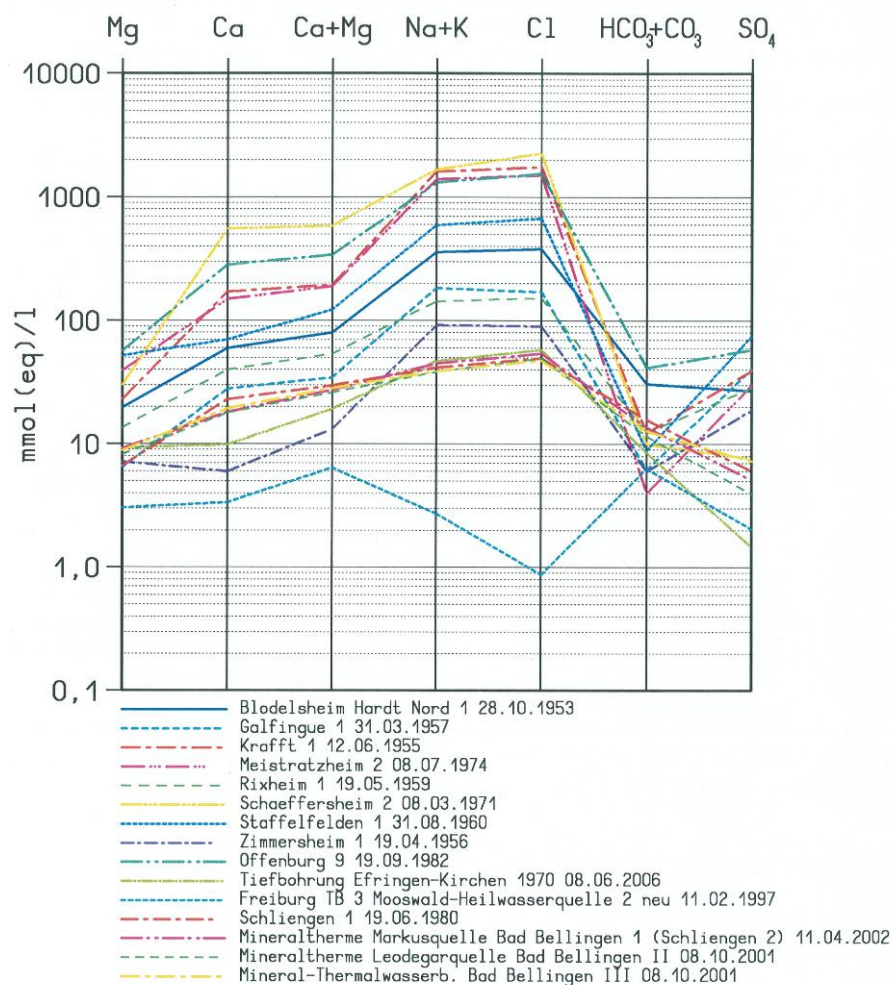


Abb. 2.4.6.2.1-01: Hydrochemische Beschaffenheit von Grundwässern im Hauptrogenstein des Oberrheingrabens.

Kapitelverweise

2.2.1.7



2.4.6.2.2 Temperaturen an der Oberfläche Haupttrogenstein und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials

Kurzbeschreibung

Die Temperaturen an der Oberfläche des Haupttrogenstein liegen zwischen 7,4 und 166,1 °C. Für den Oberjura sind regional differenziert die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Grundwässer für balneologische Anwendungen und zur Wärmeversorgung von Bädern und anderen Gebäuden, zur direkten Heizwärmegegewinnung sowie zur Stromerzeugung gegeben.

Eingangsdaten

3D- Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

66 Bohrungen mit 92 Temperaturmessungen im Haupttrogenstein und tiefer

Beschreibung

Der Haupttrogenstein ist im Oberrheingraben etwa südlich der Verbindungslinie Haguenau-Achern verbreitet. Er liegt zwischen 868 und -3328 mNN.

Die Temperaturen werden von der Tiefenlage der geothermischen Einheit bestimmt (vgl. Atlasblatt 2.6). Demzufolge sind die Temperaturen an der Oberfläche des Haupttrogenstein im Dannemarie-Becken, im Wittelsheim-Buggingen-Becken, im Selestat-Erstein-Block und im Strasbourg-Becken generell höher als in den benachbarten tektonischen Baueinheiten mit höher liegender Oberfläche des Haupttrogenstein (vgl. Atlasblatt 1.5, 5.11.1).

Die Temperaturen an der Oberfläche des Haupttrogenstein liegen zwischen 7 und 166 °C (Atlasblatt 5.11.1). Die höchsten Temperaturen treten südsüdwestlich von Colmar, nordnordwestlich von Bad Krozingen und nordwestlich von Strasbourg auf. Dort ist der Haupttrogenstein wegen seiner mergeligen Ausbildung allerdings als hydrothormaler Nutzhorizont allenfalls nur eingeschränkt geeignet. Die niedrigsten Temperaturen treten im Gebiet des schweizer Oberjura auf.

Für den Haupttrogenstein sind nahezu im gesamten Verbreitungsgebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Grundwässer für balneologische Anwendungen und zur Wärmeversorgung von Bädern und anderen Gebäuden gegeben (Atlasblatt 5.11.2). Südlich einer Linie Colmar-Breisach bis Müllheim-Mulhouse-Hirtzbach sind nach den Modellergebnissen die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Wärmeenergie für die direkte Heizwärmegegewinnung gegeben. Gleiches gilt für den Raum um Selestat und Kehl-Strasbourg. Westlich von Strasbourg, südlich von Colmar sowie nordnordwestlich von Bad Krozingen sind nach den Modellergebnissen im Haupttrogenstein die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben.

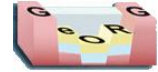
Lediglich östlich und südlich von Basel liegen die errechneten Temperaturen unter 20 °C.

Die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials setzt einen ausreichenden Volumenstrom der zirkulierenden Fluide voraus, der in die Potenzialabschätzung nicht eingegangen ist. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

1.5, 2.5, 5.11.1, 5.11.2





2.4.6.3 Oberer Muschelkalk

Kurzbeschreibung

Die Karbonatgesteine bilden einen örtlich kavernoßen Kluft- und Karstgrundwasserleiter mit bereichsweise intensiver Verkarstung.

Eingangsdaten

Porositäten, Permeabilitäten, Wärmeleitfähigkeiten, hydrochemische Analysen, Temperaturen, Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse.

Beschreibung

Der Obere Muschelkalk ist zusammen mit der Diemel-Formation des oberen Mittleren Muschelkalkes aufgrund seiner lithologischen und hydraulischen Eigenschaften grundsätzlich als hydrothermaler Nutzhorizont geeignet. Die tatsächliche Eignung wird durch das Vorhandensein von Thermalwasser in ausreichender Temperatur und Menge bestimmt. Sie ist Gegenstand lokaler Betrachtungen im Zuge konkreter Projektplanungen.



2.4.6.3.1 Gesteins- und Fluideigenschaften

Kurzbeschreibung

Der Obere Muschelkalk bildet einen örtlich kavernösen Kluft- und Karstgrundwasserleiter. Der kavernöse dolomitische Zellenkalk des Trigonodus-Dolomit (Rottweil-Formation) im Dach des Oberen Muschelkalk bildet den bedeutendsten Grundwasserleiterabschnitt. Art und Ausmaß der Klüftung/Verkarstung sind schwer prognostizierbar.

Eingangsdaten

Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Permeabilität, hydrochemische Analysen

Beschreibung

Porosität, Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit

Die Ergebnisse zur Porosität/Permeabilität und zu den Wärmeleitfähigkeiten der geothermischen Einheit sind in Kap. 2.2.1.11 ausführlich beschrieben. Sie werden im Folgenden in Tabellenform zusammenfassend dargestellt (Tab. 2.4.6.3.1-01).

Tab. 2.4.6.3.1-01: Zusammenstellung der Porositäten und Permeabilitäten sowie der Wärmeleitfähigkeiten für die geothermische Einheit Oberer Muschelkalk

| | Anzahl Messwerte | Minimum | Maximum | Median |
|-------------------------------------|------------------|---------|---------|-------------------------|
| Porosität (%) | 26 | 1 | 17 | 2,7 |
| Permeabilität [mD] | 26 | 0,03 | 2,5 | 1,311 |
| Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)] | | | | |
| trocken | 13 | 2,4 | 2,6 | 2,5 |
| wassergesättigt | 13 | 1,9 | 3,7 | 2,5* 2,0** 3,4*** |

*: alle Werte; **: nur schweizerische TC_{eff} -Werte; ***: ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff} -Werte

Fluideigenschaften

Die Grundwässer im Oberen Muschelkalk unterscheiden sich in ihrer hydrochemischen Zusammensetzung voneinander (Abb. 2.4.6.3.1-01).

In relativ geringen Tiefen überwiegen gering mineralisierte Wässer. Als Beispiel ist der 360 m tiefe Thermalbrunnen II Badenweiler am östlichen Grabenrand knapp außerhalb des inneren Modellgebietes zu nennen, der ein Wasser vom $Ca-SO_4-HCO_3$ -Typ mit einem Gehalt an gelösten Feststoffen von lediglich ca. 500 mg/l erschlossen hat. Wenig weiter nördlich sind die Muschelkalk-Grundwässer von Bad Krozingen und Freiburg (TB 2 Mooswald) bei Erschließungstiefen von ca. 600 bis 800 m etwas höher mineralisiert und vom $Ca-Na-SO_4-HCO_3$ -Wassertyp. Der Lösungsinhalt beträgt hier ca. 4-6 g/l. Weiter nördlich, am östlichen Grabenrand in Bad Schönborn hat die gut 600 m tiefe Bohrung für die St. Lambertusquelle ein deutlich höher mineralisiertes Grundwasser vom $Na-Cl$ -Typ im Oberen Muschelkalk angetroffen. Der Gehalt an gelösten Feststoffen beträgt hier bereits ca. 30 g/l.

Die tiefen Grundwässer im Oberen Muschelkalk sind durchweg hoch mineralisiert. Der Gehalt an gelösten Feststoffen variiert von ca. 50 g/l bis über 150 g/l. Dominierend sind die Alkali- und Chloridionen, die Wässer dementsprechend vom $Na-Cl$ -Typ und als Solen zu bezeichnen. Der Gehalt an Alkalien und Chlorid liegt weit über den entsprechenden Gehalten von Meerwasser. Zwei Beispiele für tiefe Grundwässer im Oberen





Muschelkalk (ca. 1600-2500 m Tiefe) aus dem Bereich Mulhouse (Staffelfelden 9) und Strasbourg (Eschau 1) sind (neben den flacheren Grundwasseraufschlüssen) in Abb. 2.4.6.3.1-01 dargestellt.

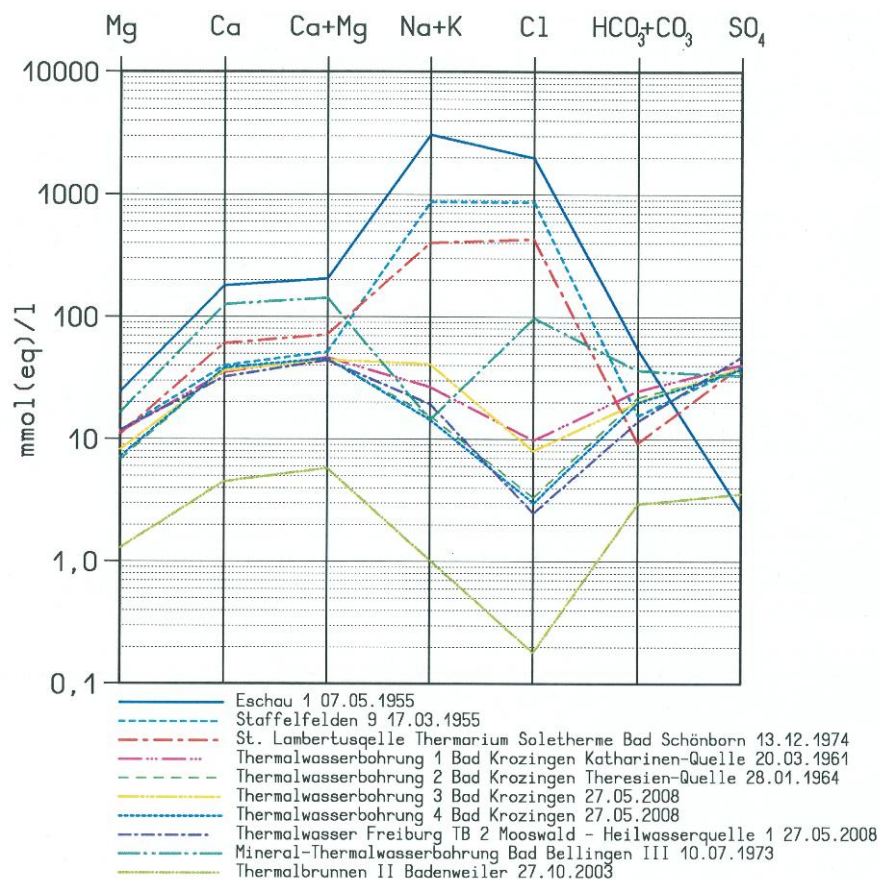


Abb. 2.4.6.3.1-01: Hydrochemische Beschaffenheit von Grundwässern im Oberen Muschelkalk des Oberrheingrabens.

Kapitelverweise

2.2.1.11



2.4.6.3.2 Temperaturen an der Oberfläche Muschelkalk und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials

Kurzbeschreibung

Die Temperaturen an der Oberfläche des Oberen Muschelkalk liegen zwischen 8 und 250 °C. Für den Oberen Muschelkalk sind im nördlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes, in der Region um Strasbourg und lokal in südlichen Oberrheingraben die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben.

Eingangsdaten

3D- Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

67 Bohrungen mit 80 Temperaturmessungen im Oberen Muschelkalk und tiefer

Beschreibung

Der Obere Muschelkalk ist im Oberrheingraben bis westlich von Heidelberg verbreitet. Weiter nördlich fehlt er erosionsbedingt. Er liegt zwischen 625 und -1896 mNN.

Die Temperaturen werden von der Tiefenlage der geothermischen Einheit bestimmt (vgl. Atlasblatt 2.7). Die Temperaturen an der Oberfläche des Oberen Muschelkalks liegen zwischen 8 und 250 °C (Atlasblatt 5.12.1). Die höchsten Temperaturen treten zwischen Heidelberg und Rastatt im Heidelberg-Becken, am östlichen Rand des Speyer-Reilingen-Schollenfeldes und im Rastatt-Becken auf. Im Mannheim-Becken, den Worms-Zwischenschollen und dem Strasbourg-Becken sind die Temperaturen erhöht. Die niedrigsten Temperaturen treten im Südosten des inneren Modellgebietes im Südlichen Bruchschollengebiet im Raum Grenzach-Wyhlen auf.

Für den Oberen Muschelkalk sind im nördlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes zwischen Heidelberg-Speyer-Landau-Bischwiller und Bühl die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben (Atlasblatt 5.12.2). Gleiches gilt für die Region westlich von Strasbourg, bei Selestat, südlich von Colmar und nordwestlich von Bad Krozingen. Mit Ausnahme der Lahr-Achern- und der Rust-Schutterwald-Randschollen zwischen Achern und dem Kaiserstuhl und der Region Mulhouse-Basel-Liestal sind nach den Modellergebnissen nahezu im gesamten übrigen Gebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Wärmeenergie für die direkte Heizwärmegewinnung gegeben.

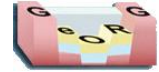
Lediglich auf dem Tafeljura-Dinkelberg-Block und der Dinkelberg-Bruchzone östlich von Basel liegen die errechneten Temperaturen unter 20 °C und somit unter der Mindesttemperatur für Thermalwasser.

Die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials setzt einen ausreichenden Volumenstrom der zirkulierenden Fluide voraus, der in die Potenzialabschätzung nicht eingegangen ist. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

2.7, 5.12.1, 5.12.2





2.4.6.4 Permotriassische Sandsteine

Kurzbeschreibung

Der Kluft-/ Porengrundwasserleiter besteht überwiegend aus karbonatisch und kieselig gebundenen Sandsteinen mit eingeschalteten Schluffsteinlagen.

Eingangsdaten

Porositäten, Permeabilitäten, Wärmeleitfähigkeiten, hydrochemische Analysen, Temperaturen, Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse.

Beschreibung

Die permotriassischen Sandsteine sind aufgrund Ihrer lithologischen und hydraulischen Eigenschaften grundsätzlich als geothermisch nutzbare Einheit geeignet. Die tatsächliche Eignung wird durch das Vorhandensein von primären bzw. sekundären, künstlich erzeugten Wasserwegsamkeiten sowie von Thermalwasser in ausreichender Temperatur und Menge bestimmt. Sie ist Gegenstand lokaler Betrachtungen im Zuge konkreter Projektplanungen.



2.4.6.4.1 Gesteins- und Fluideigenschaften

Kurzbeschreibung

Der Kluft-/ Porengrundwasserleiter besteht überwiegend aus karbonatisch und kieselig gebundenen Sandsteinen in die Schluffsteinlagen eingeschaltet sind.

Eingangsdaten

Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Permeabilität, hydrochemische Analysen

Beschreibung

Porosität, Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit

Die Ergebnisse zur Porosität/Permeabilität und zu den Wärmeleitfähigkeiten der geothermischen Einheit sind in Kap. 2.2.1.13 ausführlich beschrieben. Sie werden im Folgenden in Tabellenform zusammenfassend dargestellt (Tab. 2.4.6.4.1-01).

Tab. 2.4.6.4.1-01: Zusammenstellung der Porositäten und Permeabilitäten sowie der Wärmeleitfähigkeiten für die geothermische Einheit Permotriassische Sandsteine (Porosität und Permeabilität: nur Buntsandstein).

| | Anzahl Messwerte | Minimum | Maximum | Median |
|-------------------------------------|---------------------|----------------------|---------|-------------|
| Porosität (%) | 254 | 1,4 | 24,2 | 9,51 |
| Permeabilität [mD] | 211 | 1 * 10 ⁻³ | 1524 | 2,33 |
| Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)] | | | | |
| trocken | 281 | 1,2 | 4,2 | 2,5 |
| wassergesättigt | 281 | 1,2 | 6,9 | 3,7 3,7* |

*ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff}-Werte

Fluideigenschaften

Die hydrochemische Zusammensetzung der Grundwässer im Buntsandstein- und Perm-Grundwasserleiter variiert erheblich.

In relativ geringen Tiefen überwiegen im Allgemeinen gering mineralisierte Wässer. Als Beispiel ist der ca. 500 m tiefe Thermalbrunnen III Badenweiler am östlichen Grabenrand knapp außerhalb des inneren Modellgebietes zu nennen, der ein Wasser vom Ca-Na-HCO₃-SO₄-Typ mit einem Gehalt an gelösten Feststoffen von lediglich ca. 400 mg/l erschlossen hat. Die ca. 900 m tiefe Bohrung Marienbronn 101 (in der Nähe von Soultz-sous-Forêts) am westlichen Grabenrand hat im Buntsandstein ein Grundwasser vom Na-HCO₃-SO₄-Typ mit einem Gehalt an gelösten Feststoffen von ca. 800 mg/l angetroffen.

Dagegen weist die lediglich 351 m tiefe Maxquelle (Neubohrung) in Bad Dürkheim am westlichen Grabenrand einen hohen Gehalt an gelösten Feststoffen von ca. 30 g/l auf. Gelöstes Steinsalz aus tertiären Ablagerungen ist hier die Hauptkomponente des an Verwerfungen aufsteigenden tiefen Grundwassers. Dementsprechend liegt hier ein Wasser vom Na-Cl-Typ vor.

Die tiefen Grundwässer im Buntsandstein und Perm sind durchweg hoch mineralisiert. Der Gesamtlösungsinhalt variiert von ca. 25 g/l bis über 130 g/l. Dominierend sind die Alkali- und Chloridionen, die Wässer dementsprechend vom Na-Cl-Typ und meist als Solen zu bezeichnen. Der Gehalt an Alkalien und zum Teil an Chlorid liegt weit über den entsprechenden Gehalten von Meerwasser. Beispiele für die hydrochemische Zusammensetzung tiefer Grundwässer in den permotriassischen Sandsteinen (ca. 1700 bis





3200 m Tiefe) aus dem Bereich zwischen Bruchsal am östlichen Grabenrand, der Gegend von Strasbourg und weiter nach Süden, Richtung Colmar (Muntzenheim 1) am westlichen Grabenrand, sind in Abb. 2.4.6.4.1-01 dargestellt.

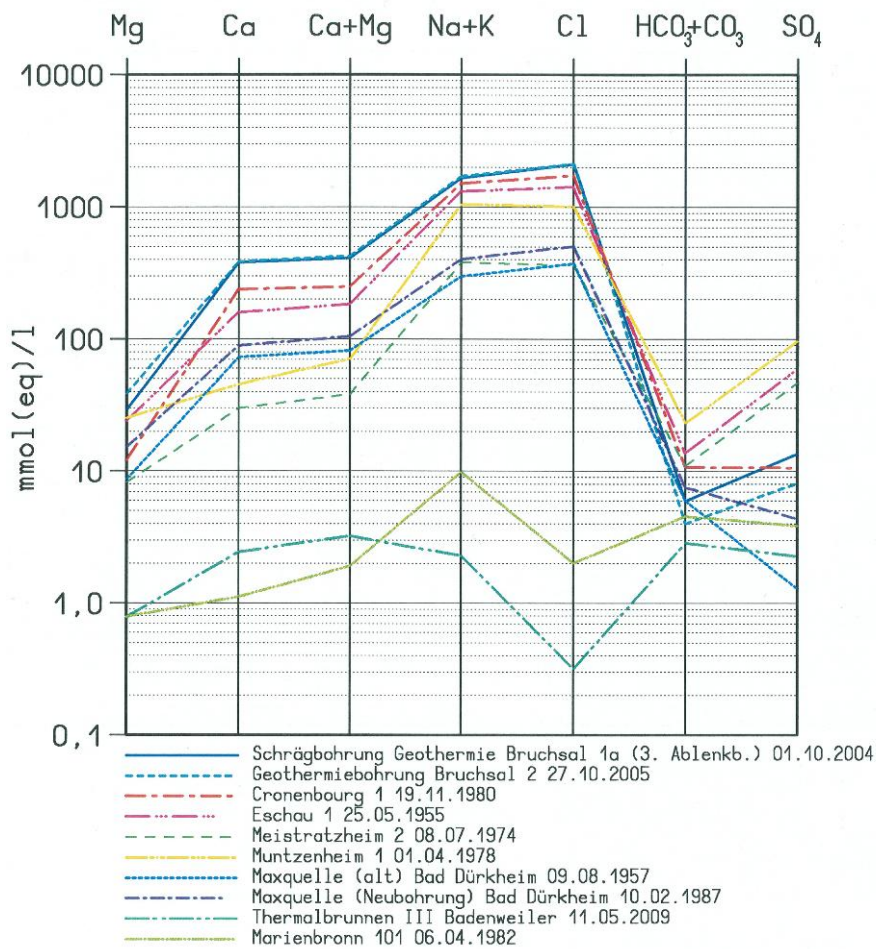


Abb. 2.4.6.4.1-01: Hydrochemische Beschaffenheit von Grundwässern in den permotriassischen Sandsteinen des Oberrheingrabens.

Kapitelverweise

2.2.1.13





2.4.6.4.2 Temperaturen an der Oberfläche der Permotriassischen Sandsteine (bzw. des Buntsandstein) und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials

Kurzbeschreibung

Die Temperaturen an der Oberfläche der Permotriassischen Sandsteine liegen zwischen 9 und 260 °C. Für die Permotriassischen Sandsteine sind im nördlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes, in der Region um Strasbourg und lokal in südlichen Oberrheingraben die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben (Atlasblatt 5.13.2).

Eingangsdaten

3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

39 Bohrungen mit 48 Temperaturmessungen in den Permotriassischen Sandsteinen und tiefer

Beschreibung

Der Buntsandstein ist im Oberrheingraben bis auf Höhe von Worms verbreitet. Weiter nördlich fehlt er erosionsbedingt. Er liegt zwischen 442 und -5422 mNN.

Die Temperaturen werden von der Tiefenlage der geothermischen Einheit bestimmt (vgl. Atlasblatt 2.9). Die Temperaturen an der Oberfläche des Buntsandsteins liegen zwischen 9 und 260 °C (Atlasblatt 5.13.1). Die höchsten Temperaturen treten zwischen Heidelberg und Rastatt im Heidelberg-Becken, am östlichen Rand des Speyer-Reilingen-Schollenfeldes und im Rastatt-Becken auf. Im Mannheim-Becken, den Worms-Zwischenschollen und dem Strasbourg-Becken sind die Temperaturen erhöht. Im Mannheim-Becken, den Worms-Zwischenschollen und dem Strasbourg-Becken sind die Temperaturen erhöht. Die niedrigsten Temperaturen treten im Südosten des inneren Modellgebietes im Südlichen Bruchschollengebiet im Raum Grenzach-Wyhlen auf.

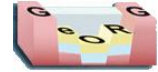
Für die Permotriassischen Sandsteine sind im nördlichen Bereich des Bearbeitungsgebietes zwischen Heidelberg-Speyer-Landau-Bischwiller und Bühl die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben (Atlasblatt 5.13.2), wobei aufgrund der zu erwartenden Untergrundtemperaturen von über 150 °C verbreitet von einem sehr hohen Potenzial zur Stromerzeugung ausgegangen werden kann. Gleiches gilt für die Region westlich von Strasbourg (Strasbourg-Becken), sowie südlich von Colmar und nordwestlich von Bad Krozingen (westlicher und östlicher Rand des Wittelsheim-Buggingen-Beckens). Allerdings sind die modellierten Temperaturen in der Region bei Strasbourg durch Stützstellen nur unzureichend belegt. Mit Ausnahme der Lahr-Achern- und der Rust-Schutterwald-Randschollen zwischen Achern und dem Kaiserstuhl sowie dem Tafeljura-Dinkelberg-Block und der Dinkelberg-Bruchzone östlich von Basel sind nach den Modellergebnissen nahezu im gesamten übrigen Gebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Wärmeenergie für die direkte Heizwärmegewinnung gegeben.

Die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials setzt einen ausreichenden Volumenstrom der zirkulierenden Fluide voraus, der in die Potenzialabschätzung nicht eingegangen ist. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

2.9, 5.13.1, 5.13.2





2.4.6.5 Permokarbon

Kurzbeschreibung

Der Kluft-/ Porengrundwasserleiter besteht überwiegend aus porösen Sandsteinen, Arkosen mit tonigen Schluff- und Schlufftonsteinen. Vereinzelt kommen Vulkanite vor.

Eingangsdaten

Porositäten, Permeabilitäten, Wärmeleitfähigkeiten, hydrochemische Analysen, Temperaturen, Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse.

Beschreibung

Die Gesteine des Permokarbon sind aufgrund Ihrer lithologischen und hydraulischen Eigenschaften grundsätzlich als geothermisch nutzbare Einheit geeignet. Es handelt sich um einen Kluft-/ Porengrundwasserleiter aus überwiegend klastischen Sedimenten (poröse Sandsteine, Arkosen mit tonigen Schluff- und Schlufftonsteinen). Die tatsächliche Eignung wird durch das Vorhandensein von primären und sekundären, künstlich erzeugten Wasserwegsamkeiten und von Thermalwasser in ausreichender Temperatur und Menge bestimmt. Sie ist Gegenstand lokaler Betrachtungen im Zuge konkreter Projektplanungen.



2.4.6.5.1 Gesteins- und Fluideigenschaften

Kurzbeschreibung

Beschreibung der Porosität, Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit und der hydrochemischen Beschaffenheit der geothermischen Einheit.

Eingangsdaten

Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Permeabilität, hydrochemische Analysen

Beschreibung

Porosität, Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit

Die Ergebnisse zur Porosität/Permeabilität und zu den Wärmeleitfähigkeiten der geothermischen Einheit sind in Kap. 2.2.1.14 ausführlich beschrieben. Sie werden im Folgenden in Tabellenform zusammenfassend dargestellt (Tab. 2.4.6.5.1-01).

Tab. 2.4.6.5.1-01: Zusammenstellung der Porositäten und Permeabilitäten sowie der Wärmeleitfähigkeiten für die geothermische Einheit Permokarbon.

| | Anzahl Messwerte | Minimum | Maximum | Median |
|-------------------------------------|---------------------|---------|---------|-------------------------|
| Porosität (%) | 1: 6,5% | | | |
| Permeabilität [mD] | | | | |
| Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)] | | | | |
| trocken | 111 | 1,4 | 3,5 | 2,1 |
| wassergesättigt | 111 | 1,4 | 4,3 | 2,9* 1,8** 3,0*** |

*: alle Werte; **: nur schweizerische TC_{eff}-Werte; ***: ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff}-Werte

Fluideigenschaften

Zu Grundwässern aus dem Permokarbon liegen keine hydrochemischen Analysen vor.

Kapitelverweise

2.2.1.14





2.4.6.5.2 Temperaturen an der Oberfläche des Permokarbon und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials

Kurzbeschreibung

Die Temperaturen an der Oberfläche des Permokarbon liegen zwischen 9 und 282 °C. Für das Permokarbon sind im nahezu im gesamten inneren Modellgebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben (Atlasblatt 5.14.2).

Eingangsdaten

3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

12 Bohrungen mit 14 Temperaturmessungen im Permokarbon und tiefer

Beschreibung

Das Permokarbon ist im Oberrheingraben in drei alten Beckenstrukturen verbreitet: Südlich etwa Neustadt (Weinstraße) – Ladenburg bis etwa Obernai – Bühl, südlich Selestatt-Offenburg bis etwa Colmar – Ettenheim und südlich Guebwiller – Emmendingen. Das Permokarbon liegt zwischen 405 und -5923 mNN.

Die Temperaturen werden von der Tiefenlage der geothermischen Einheit bestimmt. Die Temperaturen an der Oberfläche des Permokarbon liegen zwischen 9 und 282 °C (Atlasblatt 5.14.1). Die höchsten Temperaturen treten zwischen Heidelberg und Rastatt am östlichen Rand des Heidelberg-Beckens und Speyer-Reilingen-Schollenfeldes und im Rastatt-Becken auf. Im Strasbourg-Becken sind die Temperaturen erhöht. Die niedrigsten Temperaturen treten im Südosten des inneren Modellgebietes im Südlichen Bruchschollengebiet im Raum Grenzach-Wyhlen auf.

Für das Permokarbon sind im nahezu im gesamten inneren Modellgebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben (Atlasblatt 5.14.2), wobei aufgrund der zu erwartenden Untergrundtemperaturen von über 150 °C insbesondere im nördlichen Becken (südlich etwa Neustadt (Weinstraße) – Ladenburg bis etwa Obernai – Bühl) von einem sehr hohen Potenzial zur Stromerzeugung ausgegangen werden kann. Gleiches gilt für die Region westlich von Strasbourg (Strasbourg-Becken). Allerdings sind dort die modellierten Temperaturen durch Stützstellen nur unzureichend belegt.

Die niedrigsten Temperaturen finden sich im Südlichen Bruchschollengebiet. Im Tafeljura-Dinkelberg-Block und der Dinkelberg-Bruchzone östlich von Basel liegen nach den Modellergebnissen die Temperaturen an der Oberfläche des Permokarbon unter 60 °C und damit unter dem Niveau zur direkten Heizwärmegewinnung.

Die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials setzt einen ausreichenden Volumenstrom der zirkulierenden Fluide voraus, der in die Potenzialabschätzung nicht eingegangen ist. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

1.5, 2.5, 5.13.1, 5.13.2





2.4.6.6 Grundgebirge

Kurzbeschreibung

Die Granite und Gneise des Grundgebirges sind überwiegend als Grundwassergeringleiter ausgebildet. Höhere Wasserwegsamkeiten können im Bereich von Klüften auftreten.

Eingangsdaten

Porositäten, Permeabilitäten, Wärmeleitfähigkeiten, hydrochemische Analysen, Temperaturen, Bohrdaten, Oberflächenaufschlüsse.

Beschreibung

Das Grundgebirge ist grundsätzlich als geothermisch (petrothermal) nutzbare Einheit geeignet. Die tatsächliche Eignung wird durch das Vorhandensein von primären und sekundären, künstlich erzeugten Wasserwegsamkeiten bestimmt.





2.4.6.6.1 Gesteins- und Fluideigenschaften

Kurzbeschreibung

Die Granite und Gneise des Grundgebirges sind überwiegend Grundwassergeringleiter. Bei tektonischer Beanspruchung weisen sie geringe bis mäßige Durchlässigkeit und Grundwasserführung auf Klüften auf, die mit der Tiefe abnehmen. Bei hydraulischem Anschluss an das überlagernde Deckgebirge ist regional eine mittlere Grundwasserführung, im Bereich tief reichender Störungen und Zerrüttungszonen eine Wasserführung bis in größere Tiefen möglich.

Eingangsdaten

Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Permeabilität, hydrochemische Analysen

Beschreibung

Porosität, Permeabilität, Wärmeleitfähigkeit

Die Ergebnisse zur Porosität/Permeabilität und zu den Wärmeleitfähigkeiten der geothermischen Einheit sind in Kap. 2.2.1.15 ausführlich beschrieben. Sie werden in Tabelle zusammenfassend dargestellt (Tab. 2.4.6.6.1-01).

Tab. 2.4.6.6.1-01: Zusammenstellung der Porositäten und Permeabilitäten sowie der Wärmeleitfähigkeiten für die geothermische Einheit Grundgebirge.

| | Anzahl Messwerte | Minimum | Maximum | Median |
|-------------------------------------|------------------|-----------------------|---------|----------------------|
| Porosität (%) | 66 | 0,13 | 25,25 | 1,18 |
| Permeabilität [mD] | 41 | 9,18*10 ⁻⁶ | 1,82 | 3,5*10 ⁻³ |
| Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)] | | | | |
| trocken | 149 | 2,3 | 4,3 | 3,0 |
| wassergesättigt | 149 | 2,0 | 4,5 | 2,8* 2,8 |

*ohne Einbeziehung der schweizerischen TC_{eff}-Werte

Fluideigenschaften

Je nach Lage und Tiefe sind die Grundwässer im Grundgebirge chemisch unterschiedlich zusammengesetzt.

Die am östlichen Grabenrand knapp außerhalb des inneren Modellgebietes liegenden Bohrungen Pflutterloch 1/1965 und Pflutterloch 2/1966 Baden-Baden (Florentinerquelle) haben in Tiefen von ca. 300 bis 550 m relativ gering mineralisierte Grundwässer angetroffen. Der Gesamtlösungsinhalt beträgt lediglich ca. 2 bis 4 g/l. Aufgrund der dominierenden Ionen Natrium und Chlorid ist das hier erschlossene Grundwasser vom Na-Cl-Typ.

Die bereits östlich des Grabenrands in der Nähe von Offenburg gelegene 762 m tiefe Thermalwasserbohrung 1/73 Berghaupten hat ein noch geringer mineralisiertes Grundwasser vom Na-Cl-HCO₃-SO₄-Typ erschlossen. Der Gesamtlösungsinhalt beträgt lediglich ca. 1,7 g/l.

Die tiefen Grundwässer im Grundgebirge sind durchweg hoch mineralisiert. Beispiele sind die ca. 3 bis 5 km tiefen Bohrungen von Soultz-sous-Forêts, am westlichen Rand des inneren Modellgebietes zwischen Strasbourg und Karlsruhe, mit einem Gesamtlösungsinhalt von ca. 80 bis 100 g/l und die ca. 2,5 km tiefe Geothermiebohrung Bühl 1, am östlichen Rand des Oberrheingrabens, mit einem Gesamtlösungsinhalt von ca. 200 g/l. Dominierend sind die Alkali- und Chloridionen, sowie Calciumionen, die Wässer dementsprechend vom Na-Cl- (Bühl) oder vom Na-Ca-Cl-Typ (Soultz-sous-Forêts). Der Gehalt an Alkalien und Chlorid liegt weit über den entsprechenden Gehalten von Meerwasser, die Wässer sind daher als Solen zu bezeichnen. Die hydrochemischen Zusammensetzungen dieser Grundwässer sind in Abb. 2.4.6.6.1-01 dargestellt.



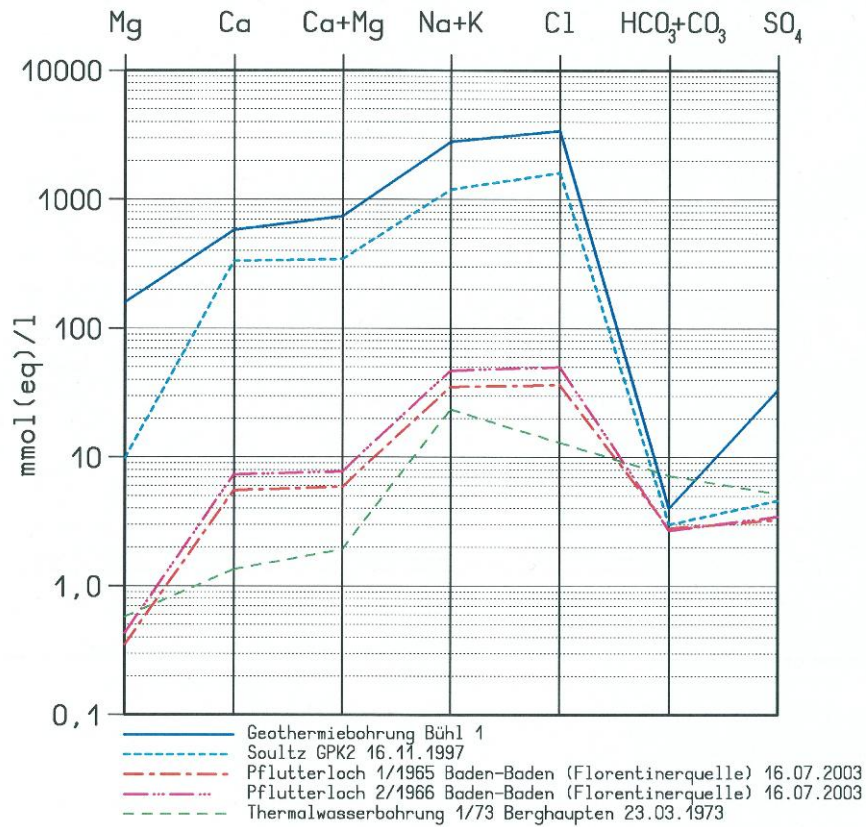


Abb. 2.4.6.6.1-01: Hydrochemische Beschaffenheit von Grundwässern im Grundgebirge des Oberrheingrabens.

Kapitelverweise

2.2.1.15





2.4.6.6.2 Temperaturen an der Oberfläche Grundgebirge und darauf basierende Abschätzung des geothermischen Nutzungspotenzials

Kurzbeschreibung

Die Temperaturen an der Oberfläche des Permokarbon liegen zwischen 17 und 323 °C. Für das Grundgebirge sind im nahezu im gesamten inneren Modellgebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben.

Eingangsdaten

3D- Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell
11 Bohrungen mit 14 Temperaturmessungen im Grundgebirge

Beschreibung

Die Oberfläche des Grundgebirges liegt zwischen 167 und -6841 mNN.

Die Temperaturen an der Oberfläche des Grundgebirges liegen zwischen 17 und 323 °C (Atlasblatt5.15.1). Die höchsten Temperaturen treten am östlichen Grabenrand zwischen Heidelberg und Rastatt auf. Die niedrigsten Temperaturen treten im Raum Grenzach-Wyhlen auf.

Für das Grundgebirge sind in weiten Teilen des Oberrheingrabens im Raum Strasbourg und nördlich davon die Temperaturvoraussetzungen zur Stromgewinnung gegeben, wobei aufgrund der zu erwartenden Untergrundtemperaturen von z.T. deutlich über 150 °C verbreitet von einem sehr hohen Potenzial zur Stromerzeugung ausgegangen werden kann. Lediglich entlang des westlichen Grabenrandes (westlich von Haguenau, Landau und Grünstadt) werden Temperaturen unter 100 °C erwartet.

Auch bei Selestat, südlich von Colmar bis in die Region westlich von Hirtzfeld sowie nordwestlich und südwestlich von Bad Krozingen ergeben sich aufgrund der hohen Untergrundtemperaturen Hinweise für ein höheres Potenzial zur geothermischen Stromerzeugung.

Mit Ausnahme des Tafeljura-Dinkelberg Blockes und des östlichen Teils der Dinkelberg-Bruchzone östlich von Basel sind nach den Modellergebnissen nahezu im gesamten übrigen Gebiet die Temperaturvoraussetzungen zur Nutzung der Wärmeenergie für die direkte Heizwärmegewinnung gegeben.

Lediglich östlich von Basel liegen die errechneten Temperaturen unter 20 °C.

Die wirtschaftliche Nutzung des geothermischen Potenzials setzt einen ausreichenden Volumenstrom der zirkulierenden Fluide voraus, der in die Potenzialabschätzung nicht eingegangen ist. Hierfür sind Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Atlasblätter

2.10, 5.15.1, 5.15.2



2.4.7 Abschätzung des Wärmeinhalts und der theoretisch gewinnbaren Wärmemenge

Kurzbeschreibung

Der Wärmeinhalt und die theoretisch gewinnbare Wärmemenge werden in Anlehnung an die Vorgehensweise von Muffler & Cataldi (1978) und Jung et al. (2002) für die geothermischen Einheiten abgeschätzt. Daneben wird die theoretisch gewinnbare Wärmemenge (in GJ/m²) für die geothermischen Nutzhorizonte kartenmäßig dargestellt.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell, Geostatistisches 3D-Temperaturmodell

Beschreibung

Die im GeORG - Projekt erarbeiteten Datengrundlagen zum dreidimensionalen Aufbau des Untergrundes sowie zu der Temperaturverteilung bilden die Grundlage für die Abschätzung des Wärmeinhalts und der gewinnbaren Wärmemengen in den geothermischen Einheiten im Oberrheingraben.

Der Wärmeinhalt und die gewinnbaren Wärmemengen geothermischer Einheiten des Oberrheingrabens wurden in früheren Studien überschlägig abgeschätzt, wobei sich die methodischen Ansätze voneinander leicht unterscheiden. Europaweite Abschätzungen wurden in Rahmen des geothermischen Atlases von Europa durchgeführt (Hurter & Hänel 2002). Bei Jung et al. (2002) und Paschen et al. (2003) wurde erstmals deutschlandweit das Verstromungspotenzial nach einheitlichen Kriterien abgeschätzt und auch der Oberrheingraben als Potenzialgebiet abgedeckt. Frühere Betrachtungen behandelten Teilgebiete im Oberrheingraben (Kappelmeyer et al. 1997) oder großräumige Abschätzungen (Kaltschmitt & Kayser 1997). Für den französischen Teil des Oberrheingrabens wurden Abschätzungen des Wärmeinhalts und der theoretisch gewinnbaren Wärmemenge im Buntsandstein durchgeführt (Dezayes et al. 2007a, 2007b, 2008)

Im GeORG-Projekt wurden der Wärmeinhalt und die gewinnbare Wärmemenge der geothermischen Einheiten nach Muffler & Cataldi (1978) und Jung et al. (2002) abgeschätzt (vgl. auch Kap. 3.7.3). Der Wärmeinhalt entspricht der Wärmemenge, die bei Abkühlung des Gesteins auf die Temperatur an der Oberfläche gewonnen werden kann (Jung et al. 2002). Dieser Wärmeinhalt des Gesteins kann nicht vollständig gewonnen bzw. genutzt werden. Die theoretisch gewinnbare (oder nutzbare) Wärmemenge wird aus dem Wärmeinhalt unter Berücksichtigung eines so genannten Gewinnungsfaktors (recovery factor) ermittelt. Er hängt von der Art der Nutzung und vom Erschließungskonzept ab. Im vorliegenden Fall wird von einem Dublettensystem ausgegangen, bei dem Thermalwasser aus einer Produktionsbohrung gefördert und nach dem Wärmeentzug an der Erdoberfläche in einer Injektionsbohrung wieder in den Untergrund verbracht wird. Bei der Zirkulation zwischen den beiden Bohrungen nimmt das Wasser im Untergrund erneut Wärmeenergie aus dem durchströmten Gebirgsabschnitt auf.

Für die geothermischen Einheiten wurden für jede Rasterzelle des zugrunde gelegten geologischen 3D-Modells und des geostatistischen Temperaturmodells Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge summarisch über ihre Gesamtmächtigkeit ermittelt, wobei der Abschätzung die mittlere Temperatur im betrachteten Gesteinsvolumen zugrunde gelegt wurde. Sie wurde über die Temperatur an der Oberfläche und an der Basis der Einheit gemittelt. Daraus wurden Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge pro m² sowie summarisch für die gesamte Einheit errechnet (Tab. 2.4.7-01). Die theoretisch gewinnbare Wärmemenge wurde für den jeweiligen Nutzhorizont in Kartenform dargestellt.

Im Grundgebirge wurde als obere Begrenzung des betrachteten Gesteinsvolumens die 100 °C-Isotherme gewählt. Liegt die Temperatur an der Grundgebirgsoberfläche über 100 °C, wurde diese als obere Referenzfläche verwendet.

Eine gesonderte Abschätzung des Wärmeinhalts und der gewinnbaren Wärmemengen der Störungszonen





nach Jung et al. (2002) erfolgte nicht, da dieser Aspekt durch das zugrunde gelegte Temperaturfeld des geostatistischen Temperaturmodells bereits berücksichtigt wird.

Diese Temperaturen setzen sich sowohl aus dem Wärmeeintrag über basalen Wärmestrom und radiogene Wärmeproduktion, als auch über auf Störungen zirkulierende Fluide zusammen.

Die Kombination der Karten der gewinnbaren Wärmemenge aus den geothermischen Einheiten mit den Karten der Potenzialabschätzung (Atlasblätter 5.10.2 bis 5.15.2) ermöglicht die Identifikation von Regionen, die für die jeweilige geothermische Nutzungsart von besonderem Interesse sein können.

Die maßgeblichen Eingangparameter für den Wärmehalt und die theoretisch gewinnbare Wärmemenge der Einheiten sind die Mittlere Temperatur als Funktion der Tiefenlage der Einheit sowie ihre Mächtigkeit.

Wärmehalt ($1,1 \cdot 10^{10}$ bis $1,1 \cdot 10^{11}$ GJ) und theoretisch gewinnbare Wärmemenge ($2,2 \cdot 10^9$ bis $3,2 \cdot 10^{10}$ GJ) liegen in den geothermischen Einheiten Oberjura, Hauptrogenstein und Oberer Muschelkalk in einer ähnlichen Größenordnung (Tab. 2.4.7-01). Die Permotriassischen Sandsteine weisen eine um den Faktor 10 höhere theoretisch gewinnbare Wärmemenge auf. Mit $1,9 \cdot 10^{12}$ GJ (bis in 5000 m Tiefe) bzw. $5,3 \cdot 10^{12}$ GJ (bis in 7000 m Tiefe) sind die aus dem Grundgebirge theoretisch gewinnbaren Wärmemengen am höchsten.

Tab. 2.4.7-01: Wärmehalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge der geothermischen Einheiten (gesamt).

| Geothermischer Nutzhorizont | Wärmehalt, gesamt [GJ] | Theoretisch gewinnbare Wärmemenge, gesamt [GJ] |
|---|------------------------|--|
| Karbonatgesteine des Oberjura | $1,1 \cdot 10^{10}$ | $2,2 \cdot 10^9$ |
| Karbonatgesteine des Hauptrogenstein (Mitteljura) | $4,1 \cdot 10^{10}$ | $9,9 \cdot 10^9$ |
| Karbonatgesteine des Oberen Muschelkalk (einschließlich der Diemel-Formation des oberen Mittleren Muschelkalk, falls vorhanden) | $1,1 \cdot 10^{11}$ | $3,2 \cdot 10^{10}$ |
| Permotriassische Sandsteine | $5,5 \cdot 10^{11}$ | $1,6 \cdot 10^{11}$ |
| Grundgebirge (Bereiche >100 °C und bis 5000 m u. GOK) | $6,3 \cdot 10^{12}$ | $1,9 \cdot 10^{12}$ |
| Grundgebirge (Bereiche >100 °C und bis 7000 m u. GOK) | $1,7 \cdot 10^{13}$ | $5,3 \cdot 10^{12}$ |

Literaturhinweise

Dezayes et al. 2007a, Dezayes et al. 2007b, Dezayes et al. 2008, Hurter & Haenel 2002, Jung et al. 2002, Kaltschmitt & Kayser 1997, Kappelmeyer et al. 1997, Muffler & Cataldi 1979, Paschen et al. 2003

Kapitelverweise

3.7.3

Atlasblätter

5.10.2 bis 5.15.2



2.4.7.1 Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Oberjura

Kurzbeschreibung

Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt beträgt maximal 45,6 GJ/m², die theoretisch theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 11,5 GJ/m² (im Durchschnitt 1,3 GJ/m²).

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

In Tab. 2.4.7.1-01 sind die Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretische gewinnbarer Wärmemenge im Oberjura zusammengefasst. Die Temperaturen an der Oberfläche des Oberjura erreichen maximal 125 °C (vgl. Kap. 2.4.6.1).

Tab. 2.4.7.1-01: Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Oberjura (Verbreitungsfläche: 1 719 km²).

| | Min | Max | Durchschnitt | STD* |
|--|-----|------|--------------|------|
| Mächtigkeit [m] | 1 | 414 | 98 | 60,5 |
| Temperatur [°C] | 8,7 | 126 | 43 | 21,6 |
| Wärmeinhalt [GJ/m ²] | 0 | 46 | 6,8 | 6,8 |
| theoretisch gewinnbare Wärmemenge [GJ/m ²] | 0 | 11,5 | 1,3 | 1,8 |

*STD: Standardabweichung

Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt beträgt maximal 45,6 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 11,5 GJ/m² (im Durchschnitt 1,3 GJ/m²).

Die Bereiche mit der höchsten theoretisch gewinnbaren Wärmemenge liegen im Dannemarie-Becken nordwestlich von Dannemarie (Atlasblatt 5.1).

Die im Inneren Modellgebiet insgesamt aus dem Oberjura theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt $2,211 \cdot 10^9$ GJ (vgl. auch Kap. 2.4.6.1, Atlasblatt 5.10.1, 5.10.2: Temperaturen und Nutzungspotenzial, Kap. 2.2.1.6, Atlasblatt 2.5: Tiefenlage).

Kapitelverweise

2.4.6.1, 2.2.1.6

Atlasblätter

5.16, 2.5, 5.10.1, 5.10.2





2.4.7.2 Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Hauptrogenstein

Kurzbeschreibung

Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt beträgt maximal 25,7 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 7,2 GJ/m² (im Durchschnitt 2,1 GJ/m²).

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

In Tab. 2.4.7.2-01 sind die Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretische gewinnbare Wärmemenge im Hauptrogenstein zusammengefasst. Die Temperaturen an der Oberfläche des Hauptrogenstein erreichen maximal 166 °C (vgl. Kap. 2.4.6.2).

Tab. 2.4.7.2-01: Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Hauptrogenstein (Verbreitungsfläche: 4 751 km²).

| | Min | Max | Durchschnitt | STD* |
|--|-----|-----|--------------|------|
| Mächtigkeit [m] | 0 | 140 | 84 | 36 |
| Temperatur [°C] | 7,7 | 167 | 68 | 28 |
| Wärmeinhalt [GJ/m ²] | 0 | 26 | 8,7 | 5,0 |
| theoretisch gewinnbare Wärmemenge [GJ/m ²] | 0 | 7,2 | 2,1 | 1,5 |

*STD: Standardabweichung

Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt beträgt maximal 25,7 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 7,2 GJ/m² (im Durchschnitt 2,1 GJ/m²).

Die Bereiche mit der höchsten gewinnbaren Wärmemenge liegen im Dannemarie-Becken bei Dannemarie und im Südwesten des Wittelsheim-Buggingen-Beckens zwischen Ensisheim und Guebwiller (Atlasblatt 5.17). Dort liegt der Hauptrogenstein bei vergleichsweise großer Mächtigkeit (Atlasblatt 3.3) relativ tief (Atlasblatt 2.6).

Die im inneren Modellgebiet insgesamt aus dem Hauptrogenstein theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt $9,9 \cdot 10^9$ GJ (vgl. auch Kap. 2.4.6.2, Atlasblatt 5.11.1, 5.11.2: Temperaturen und Nutzungspotenzial, Kap. 2.2.1.7, Atlasblätter 2.6, 3.3, Tiefenlage und Mächtigkeit).

Kapitelverweise

2.4.6.2, 2.2.1.7

Atlasblätter

5.17, 2.6, 3.3, 5.11.1, 5.11.2



2.4.7.3 Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Oberen Muschelkalk

Kurzbeschreibung

Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt beträgt maximal 46,6 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 14,5 GJ/m² (im Durchschnitt 4,0 GJ/m²).

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

In Tab. 2.4.7.3-01 sind die Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretische gewinnbare Wärmemenge im Oberen Muschelkalk zusammengefasst. Die Temperaturen an der Oberfläche des Oberen Muschelkalk erreichen maximal 250 °C (vgl. Kap. 2.4.6.3). Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt beträgt maximal 46,6 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 14,5 GJ/m² (im Durchschnitt 4,0 GJ/m²).

Tab. 2.4.7.3-01: Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Oberen Muschelkalk (Verbreitungsfläche: 8 171 km²).

| | Min | Max | Durchschnitt | STD |
|--|-----|------|--------------|-----|
| Mächtigkeit [m] | 0 | 110 | 82 | 17 |
| Temperatur [°C] | 9 | 253 | 107 | 43 |
| Wärmeinhalt [GJ/m ²] | 0 | 47 | 14,1 | 7,6 |
| theoretisch gewinnbare Wärmemenge [GJ/m ²] | 0 | 14,5 | 4,0 | 2,4 |

Die Bereiche mit der höchsten gewinnbaren Wärmemenge liegen im Rastatt-Becken bei Ettlingen und Rastatt sowie im Osten des Speyer-Reilingen-Schollenfeldes (Atlasblatt 5.18). In diesen Bereichen liegt der Obere Muschelkalk am tiefsten (Atlasblatt 2.7).

Die im inneren Modellgebiet insgesamt aus dem Oberen Muschelkalk theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt $3,2 \cdot 10^{10}$ GJ (vgl. auch Kap. 2.4.6.3, Atlasblatt 5.12.1, 5.12.2: Temperaturen und Nutzungspotenzial, Kap. 2.2.1.11, Atlasblätter 2.7, 3.4, Tiefenlage und Mächtigkeit), der Gesamtwärmeinhalt beträgt $1,14 \cdot 10^{11}$ GJ. Jung et al. (2002) und Paschen et al. (2003) geben bei einem leicht abweichenden methodischen Ansatz für den Oberen Muschelkalk des Oberrheingrabens (Anteil Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz) einen ähnlich hohen Gesamtwärmeinhalt von ca. $1,2 \cdot 10^{10}$ GJ bzw. $3,8 \cdot 10^2$ GWa an. Sie legten der Abschätzung eine Mindesttemperatur von 100 °C zugrunde.

Literaturhinweise

Jung et al. 2002, Paschen et al. 2003

Kapitelverweise

2.4.6.3, 2.2.1.11

Atlasblätter

2.7, 3.4, 5.12.1, 5.12.2, 5.18





2.4.7.4 Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge in den Permtriassischen Sandsteine

Kurzbeschreibung

Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt beträgt maximal 217,8 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 68,0 GJ/m² (im Durchschnitt 18,2 GJ/m²).

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

In Tab. 2.4.7.4-01 sind die Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretische gewinnbare Wärmemenge im Oberen Muschelkalk zusammengefasst. Die Temperaturen an der Oberfläche der Permtriassischen Sandsteine erreichen maximal 259 °C (vgl. Kap. 2.4.6.4). Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmeinhalt reicht bis maximal 217,8 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt maximal 68 GJ/m² (im Durchschnitt 18,2 GJ/m²). Die Werte liegen damit in der Größenordnung, die auch von Dezayes et al. (2007a, 2007b, 2008) für den Buntsandstein ermittelt wurden.

Tab. 2.4.7.4-01: Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge in den Permtriassischen Sandsteinen (Verbreitungsfläche: 8 705 km²).

| | Min | Max | Durchschnitt | STD |
|--|-----|------|--------------|-----|
| Mächtigkeit [m] | 3 | 569 | 305 | 170 |
| Temperatur [°C] | 9,3 | 2701 | 120 | 45 |
| Wärmeinhalt [GJ/m ²] | 0 | 218 | 62 | 48 |
| theoretisch gewinnbare Wärmemenge [GJ/m ²] | 0 | 68 | 18 | 15 |

Die Bereiche mit höheren gewinnbaren Wärmemengen liegen nördlich einer Linie Obernai - Offenburg. Die höchsten gewinnbaren Wärmemengen liegen im Rastatt-Becken am östlichen Grabenrand mit den Maximalwerten bei Rheinstetten und Rastatt ((Atlasblatt 5.19).

Der Bereich bei Selestat, der nach Dezayes et al. (2007) erhöhte gewinnbare Wärmemengen im Buntsandstein aufweist, zeichnet sich nicht ab. Er beruht auf einer großen Mächtigkeit des Buntsandstein in diesem Gebiet, die in der Neubearbeitung des geologischen 3D - Modells nicht bestätigt wurde.

Die im inneren Modellgebiet insgesamt aus den Permtriassischen Sandsteinen theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt $1,6 \cdot 10^{11}$ GJ (vgl. auch Kap. 2.4.6.4, Atlasblatt 5.13.1, 5.13.2: Temperaturen und Nutzungspotenzial, Kap. 2.2.1.13, Atlasblätter 2.9, 3.5: Tiefenlage und Mächtigkeit), der Gesamtwärmeinhalt beträgt $5,46 \cdot 10^{11}$ GJ. Jung et al (2002) und Paschen et al. (2003) geben bei einem leicht abweichenden methodischen Ansatz lediglich für den Buntsandstein des Oberrheingrabens (Anteil Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz) einen Gesamtwärmeinhalt von $8,7 \cdot 10^{10}$ GJ bzw. $2,8 \cdot 10^3$ GWh an. Der von Ihnen ermittelte Wärmeinhalt liegt damit in einer ähnlichen Größenordnungen wie der hier abgeschätzte. Sie legten der Abschätzung eine Mindesttemperatur von 100 °C zugrunde.

Literaturhinweise, Externe Links

Dezayes et al. 2007a, 2007b, 2008, Jung et al. 2002, Paschen et al. 2003

Kapitelverweise

2.4.6.4, 2.2.1.13

Atlasblätter

3.5, 5.13.1, 5.13.2, 5.19



Das vorliegende Dokument ist Teil des „Fachlich-Technischen Abschlussberichts - Teil 2“ des INTERREG IV-Projekts „GeORG – Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“.

Der komplette Bericht (Teil 1-4) ist unter www.geopotenziale.eu zum Download bereit gestellt.

2.4.7.5 Wärmehalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Grundgebirge

Kurzbeschreibung

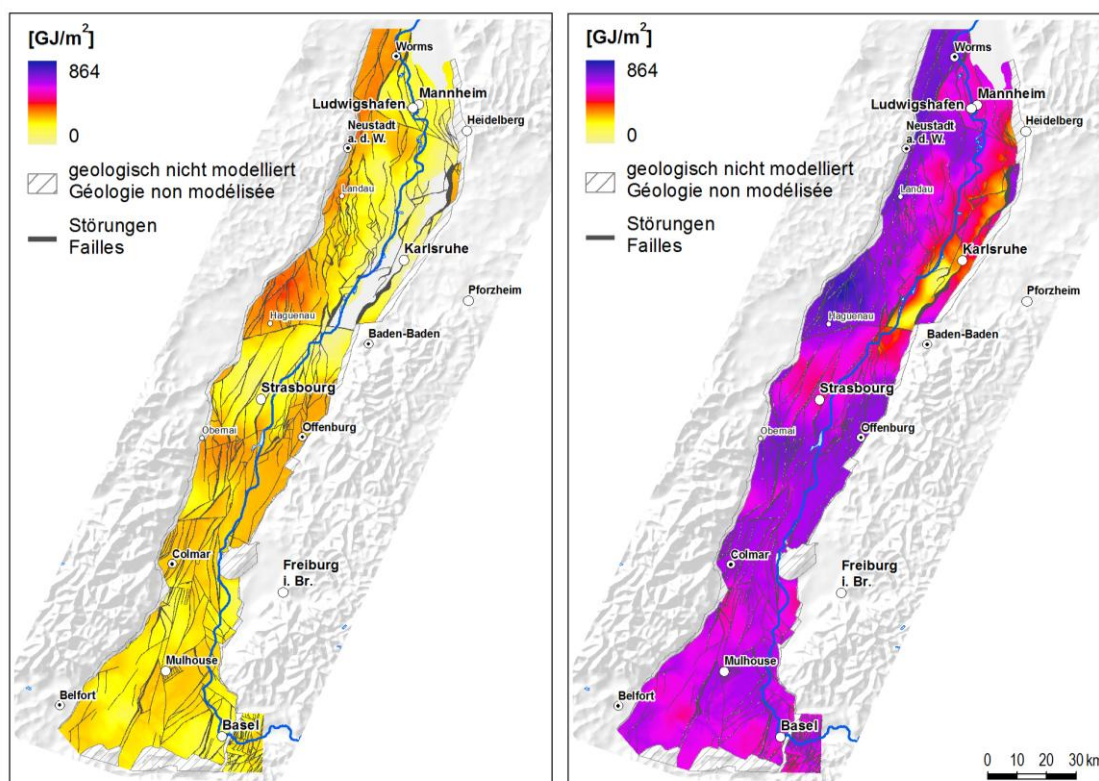
Der über die Gesamtmächtigkeit integrierte Wärmehalt beträgt bis in 5000 m Tiefe maximal 1412 GJ/m², bis in 7000 m Tiefe maximal 2799 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt bis in 5000 m maximal 428 GJ/m² (im Durchschnitt 229 GJ/m²), bis in 7000 m maximal 864 GJ/m² (im Durchschnitt 610 GJ/m²),

Eingangsdaten

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Für das Grundgebirge liegt der potenzielle Nutzungsschwerpunkt in der Möglichkeit der geothermischen Stromerzeugung. Deshalb wurde als obere Begrenzung des betrachteten Gesteinsvolumens die 100 °C-Isotherme im Grundgebirge gewählt. Liegt die Temperatur an der Grundgebirgsoberfläche über 100 °C, wurde diese als obere Referenzfläche verwendet. Die untere Grenze des betrachteten Gesteinsvolumens wurde alternativ bei 5000 m (Atlasblatt 5.20) bzw. 7000 m u. Gelände festgelegt. In Abb. 2.4.7.5-01 sind die Ergebnisse der beiden Betrachtungen gegenübergestellt. In Bereichen, in denen die Grundgebirgsoberfläche nahe an die Geländeoberfläche kommt, sind die theoretisch gewinnbaren Wärmemengen am größten. Im Rastatt-Becken ist im Grundgebirge keine (bis 5000 m u. Gelände) bzw. nur eine geringe Wärmemenge (bis 7000 m u. Gelände) theoretisch gewinnbar, da im Zentrum des Beckens die Basis des Grundgebirges über 6500 m tief liegt.



Die Berechnung berücksichtigt Bereiche des Grundgebirges mit Temperaturen > 100 °C und Tiefenlagen < 5000 m unter Gelände.

Les calculs prennent en compte les secteurs où le socle hercynien est à une température de plus de 100 °C et situé à une profondeur maximum 5000 m sous la surface.

Die Berechnung berücksichtigt Bereiche des Grundgebirges mit Temperaturen > 100 °C und Tiefenlagen < 7000 m unter Gelände.

Les calculs prennent en compte les secteurs où le socle hercynien est à une température de plus de 100 °C et situé à une profondeur maximum 7000 m sous la surface.

Abb. 2.4.7.5-01: Theoretisch gewinnbare Wärmemenge [in GJ/m²] im Grundgebirge bis in 5000 bzw. 7000 m u. Gelände).





In den Tab. 2.4.7.5-01 und Tab. 2.4.7.5-02 sind die Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretische gewinnbare Wärmemenge im Oberen Muschelkalk zusammengefasst. Die Temperaturen an der Oberfläche des Grundgebirges erreichen maximal 236 °C (vgl. Kap. 2.4.6.6), in 5000 m u. Gelände maximal 239 °C. Der bis in eine Tiefe von 5000 m integrierte Wärmeinhalt erreicht maximal 1412,3 GJ/m², bis in eine Tiefe von 7000 m maximal 2799,4 GJ/m², die theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt bis in eine Tiefe von 5000 m maximal 428,3 GJ/m², bis in eine Tiefe von 7000 m maximal 864,3 GJ/m².

Tab. 2.4.7.5-01: Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Grundgebirge (Mindesttemperatur: 100 °C, Tiefe: bis 5000 m u. Gelände) (Verbreitungsfläche: 8 263 km²).

| | Min | Max | Durchschnitt | STD | |
|--|-----|------|--------------|-----|----------------------------------|
| Mächtigkeit [m] | 0 | 3556 | 1952 | 699 | - |
| Temperatur [°C] | 142 | 236 | 183 | 20 | - |
| Wärmeinhalt [GJ/m ²] | 0 | 1412 | 762 | 235 | gesamt: 6,3 * 10 ⁸ GJ |
| theoretisch gewinnbare Wärmemenge [GJ/m ²] | 0 | 428 | 229 | 70 | Gesamt: 1,9 * 10 ⁸ GJ |

Tab. 2.4.7.5-02: Eingangsdaten sowie Wärmeinhalt und theoretisch gewinnbare Wärmemenge im Grundgebirge (Mindesttemperatur: 100 °C, Tiefe: bis 7000 m u. Gelände) (Verbreitungsfläche: 8 948 km²).

| | Min | Max | Durchschnitt | STD | |
|--|-----|------|--------------|------|-----------------------------------|
| Mächtigkeit [m] | 0 | 6541 | 3995 | 1014 | - |
| Temperatur [°C] | 163 | 324 | 229 | 26 | - |
| Wärmeinhalt [GJ/m ²] | 0 | 2799 | 1984 | 341 | gesamt: 1,71 * 10 ⁹ GJ |
| theoretisch gewinnbare Wärmemenge [GJ/m ²] | 0 | 864 | 610 | 1012 | gesamt: 5,26 * 10 ⁸ GJ |

Die Bereiche mit den höchsten theoretisch gewinnbaren Wärmemengen liegen nördlich von Bischwiller am westlichen Grabenrand sowie östlich von Obernai (Atlasblatt 5.20). Am östlichen Grabenrand liegt die Oberfläche des Grundgebirges in Rastatter Becken und nördlich davon bereichsweise tiefer als 5000 m u. Gelände (vgl. Karte 2.10).

Die im Inneren Modellgebiet insgesamt aus dem Grundgebirge theoretisch gewinnbare Wärmemenge beträgt bis in 5000 m u. Gelände 1,9 * 10¹² GJ, bis in 7000 m u. Gelände 5,25 * 10¹² GJ (vgl. auch Kap. 2.4.6.6, Atlasblatt 5.15.1, 5.15.2: Temperaturen und Nutzungspotenzial, Kap. 2.2.1.15, Atlasblätter 2.10: Tiefenlage). Der Gesamtwärmeinhalt (heat in place) beträgt bis in 5000 m u. Gelände 6,3 * 10¹² GJ, bis in 7000 m u. Gelände 1,7 * 10¹³ GJ. Jung et al. (2002) und Paschen et al. (2003) geben bei einem leicht abweichenden methodischen Ansatz für das Grundgebirge des Oberrheingrabens (Anteil Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz) bis in eine Tiefe von 7 Kilometer einen Gesamtwärmeinhalt von 9,9 * 10¹² GJ bzw. 3,1 * 10⁵ GWa an. Der von ihnen ermittelte Wärmeinhalt liegt damit in einer ähnlichen Größenordnungen wie der hier abgeschätzte. Sie legten der Abschätzung eine Mindesttemperatur von 130 °C zugrunde.

Literaturhinweise

Jung et al. 2002, Paschen et al. 2003

Kapitelverweise

2.4.6.6

Atlasblätter

2.10, 5.15.1, 5.15.2, 5.20



2.4.8 Speicher- und Barrierepotenzial (insbesondere für CO₂ - Speicherung)

Kurzbeschreibung

Neben der geothermischen Nutzung kann der Untergrund als Speicher- bzw. Deponieraum genutzt werden. Voraussetzung hierfür sind Speicher- und Barrieregesteine in geeigneten geologischen Konstellationen. Dabei stand im GeORG-Projekt die Nutzungsmöglichkeit zur dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid („CCS“-Technologie, Carbon Capture and Storage) im Vordergrund. Anhand der Bewertungskriterien Tiefenlage und Mindestmächtigkeit der Speicher- und Barrieregesteinskomplexe wurden Untersuchungsräume für die dauerhafte Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund identifiziert.

Eingangsdaten

Kriterien zur Definition der Speicher- und Barrierekomplexe

Kriterien zu Mindestdiefe und -mächtigkeit der Speicher- und Barrierekomplexe Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Neben der Nutzung des tieferen Untergrundes zur geothermischen Energiegewinnung kann er auch als Speicher- bzw. Deponieraum genutzt werden. Hierbei kommt u.a. die dauerhafte Speicherung von Kohlendioxid („CCS“-Technologie, Carbon Capture and Storage) in Betracht.

Die dauerhafte Speicherung von Kohlendioxid im tieferen Untergrund stellt ein wichtiges Glied in der Prozesskette der CCS-Technologie (Carbon Capture and Storage, Kohlenstoffabscheidung, -transport und -speicherung) dar (Abb. 2.4.8-01). Hierzu wurden seit den 1990er Jahren weltweit die Forschungsbemühungen und die Erkundung des Untergrundes hinsichtlich der Eignung zur Anwendung der Technologie intensiviert (z.B. Ploetz 2003). Aspekte zur Abscheidetechnologie, zur Wechselwirkungen des CO₂ mit Speicher- und Barrieregesteinen, zu Materialverträglichkeiten und zur numerischen Simulation der CO₂-Ausbreitung im Untergrund wurden auf Bundesebene u.a. durch die Programme GEOTECHNOLOGIEN (z.B. Stroink et al. 2009) und COORETEC (BMW i 2007) untersucht. Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise bei der Entwicklung der CCS-Technologie werden in BMW i (2009) ausgesprochen. Einen aktuellen Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung und die Zukunftsperspektiven der Speichertechnologie von CO₂ finden sich in Stroink et al (2009).

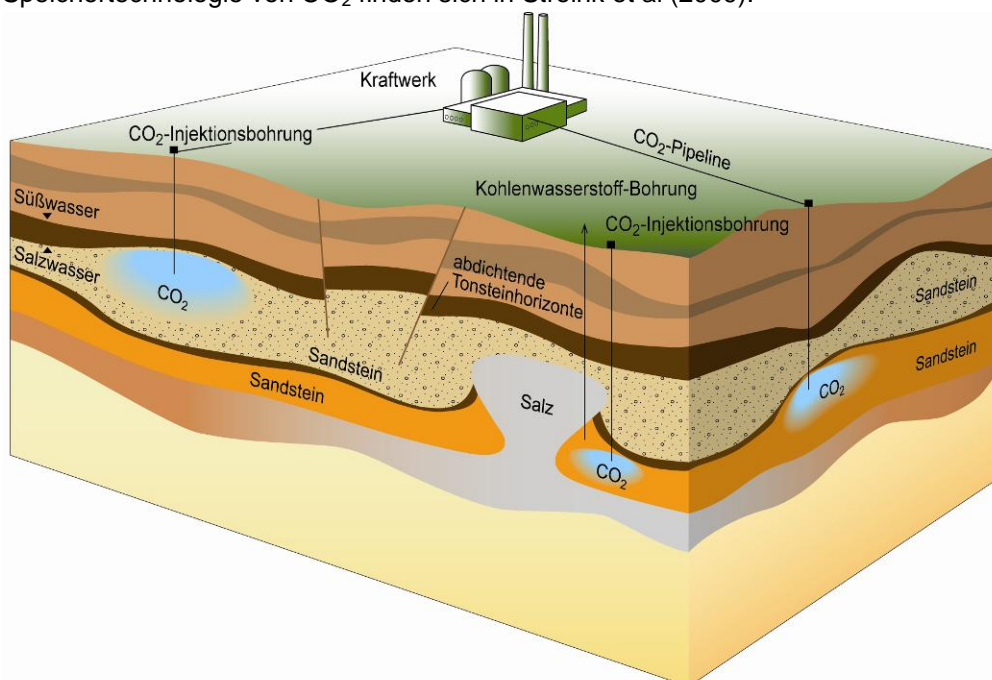


Abb. 2.4.8-01: Möglichkeiten der CO₂-Speicherung im Untergrund (verändert nach Stroink et al. 2009).





Eine auf bundesweit einheitlichen Kriterien basierende Charakterisierung des Untergrundes hinsichtlich seiner Eignung als potenzieller Speicher und Barriere für Kohlendioxid erfolgte im Projekt „Informationssysteme Speichergesteine für den Standort Deutschland - eine Grundlage zur klimafreundlichen Nutzung des tieferen Untergrundes (Speicherkataster Deutschland)“ (Reinhold & Müller 2011). Die bundesweite Studie basiert auf der Aufbereitung und Neubewertung vorliegender Daten und grenzt nachvollziehbar Regionen mit untersuchungswürdigem Speicher- und Barrierepotenzial ab. Die Ergebnisse der bundesweiten Studie sind in Müller & Reinhold (2011) beschrieben und im Internet frei verfügbar (<http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2Speicherung/Projekte/Abgeschlossen/speicherkataster.html>). Für Baden-Württemberg wurden die Ergebnisse in Fehn & Wirsing (2011), für Rheinland-Pfalz in Haneke et al. (2011) zusammengefasst. Für Baden-Württemberg sind die Ergebnisse außerdem als WMS-Dienst verfügbar (http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/lgrb_mapserver/wms-layer).

Daneben kann der Untergrund auch zur Zwischenspeicherung von Erdgas und von Druckluft („CAES“-Technologie“, Compressed Air Energy Storage in Druckluft-Speicheranlagen) dienen. Druckluftkraftspeicherwerke nutzen überschüssigen Strom aus Windkraft, um Gas zu komprimieren. Dieses wird in unterirdischen Kammern (meist Salzkavernen) gespeichert, die durch Solung neu geschaffen werden. Während die Untertagespeicherung von Erdgas eine seit mehreren Jahrzehnten bewährte Technologie darstellt, erfordert die Druckluftspeicherung eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Konzeption und Planung, u. a. auch im Hinblick auf den Kavernenbau (Gillhaus et al. 2006). Das Potenzial für die Druckluftspeicherung wurde deshalb im Rahmen des GeORG-Projektes nicht bewertet.

Literaturhinweise, Externe Links

BMW 2007, BMW 2009, Fehn & Wirsing 2011, Gillhaus et al. 2006, Haneke et al. 2011, Ploetz 2003, Reinhold & Müller 2011, Stroink et al. 2009

<http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2Speicherung/Projekte/Abgeschlossen/speicherkataster.html>

http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/lgrb_mapserver/wms-layer



2.4.8.1 Grundlagen der Nutzung des tieferen Untergrundes als Speicher (insbesondere für dauerhafte CO₂-Speicherung)

Kurzbeschreibung

Die Schichtenfolge wurde auf der Grundlage der lithologischen Ausbildung in Speicher- und Barrierekomplexe klassifiziert (vgl. Kap. 2.4.2). Anhand der Kriterien Mindestmächtigkeit und Tiefenlage wurden untersuchungswürdige Speicher- und Barriereeregionen abgegrenzt.

Eingangsdaten

- Lithologische Ausbildung der Schichtenfolge des ORG (Literaturdaten)
- Geologisches 3D-Modell
- Porositäts- und Permeabilitätsdaten aus dem KW-Archiv (LBEG), den Archiven der Geologischen Dienste BRGM, LGRB, LGB, GeotIS

Beschreibung

Erstbewertungen des Speicher- und Barrierepotenzials des tieferen Untergrundes u. a. im baden-württembergischen und rheinland-pfälzischen Teil des Oberrheingrabens erfolgten durch May & Turkovic (2003) und Knopf et al. (2010). Daran schloss eine differenziertere Betrachtung im Kontext des bundesweiten Projektes Speicher-Kataster Deutschland auf der Grundlage der bis dahin verfügbaren Unterlagen an (RPF/LGRB 2010, Fehn & Wirsing 2011, Haneke et al. 2011).

Nach Reinhold & Müller (2011) müssen unterirdische Speicher zwei grundlegende geologische und geotechnische Anforderungen erfüllen (vgl. u. a. auch Chadwick et al. 2008, Diamond et al. 2010):

- Es muss ein Speicherhorizont mit ausreichender Aufnahmefähigkeit (Speicherkapazität) vorhanden sein.
- Über dem Speicherhorizont muss ein Barrierehorizont mit einer sicheren, langzeitwirksamen Abdichtung und Festigkeit gegenüber einem zulässigen Lagerstättendruck vorhanden sein.

Zur weitergehenden Abgrenzung und Bewertung untersuchungswürdiger Speicher- und Barriereeregionen dienen neben der Tiefenlage und Mächtigkeit der Speicher- und Barrierekomplexe nach Chadwick et al. (2008) und Diamond et al. (2010) u. a. zusätzlich folgende geologische Kriterien:

- tektonische Randbedingungen im Betrachtungsraum (Störungen, Stressfeld, Seismizität),
- lithologische und mineralogische Merkmale sowie Porosität und Permeabilität der Speicher- und Barrieregesteine,
- hydrochemische Beschaffenheit, Druckverhältnisse und Fließraten der Formationswässer.

Diese zusätzlichen Kriterien blieben bei der Potenzialabschätzung im GeORG-Projekt unberücksichtigt. Hierfür sind weiterführende Detailuntersuchungen im regionalen bis lokalen Maßstab erforderlich.

Die systematische Bewertung des Speicher- und Barrierepotenzials im tieferen Untergrund des inneren GeORG Projektgebiets orientierte sich an der Vorgehensweise im Projekt Speicher-Kataster Deutschland (Reinhold & Müller 2011) und erfolgte schrittweise nach einheitlichen Bewertungskriterien.

Im **ersten Bearbeitungsschritt** wurden die Schichten des Oberrheingrabens hinsichtlich ihrer möglichen Speicher- bzw. Barrierewirkung beurteilt und zu Speicher- bzw. Barrierekomplexen zusammengefasst (vgl. Kap. 2.4.2). Speicher- bzw. Barrierekomplexe wurden als stratigraphische Einheiten definiert, die zur Speicherung bzw. Abdichtung geeignete geologische Einheiten enthalten. Als Speichergesteine kommen primär poröse Gesteine sowie sekundär geklüftete und/oder kavernöse Gesteine (Kluft-/Karstspeicher), als Barrieregesteine Tongesteinsfolgen und Salzgesteine mit einer geringen Gebirgsdurchlässigkeit in Frage.

Im **zweiten Bearbeitungsschritt** wurden die Speicher- und Barrierekomplexe hinsichtlich ihrer





Mindestmächtigkeit und Tiefenlage klassifiziert. Dabei kamen folgende Kriterien zur Anwendung (vgl. auch Reinhold & Müller 2011):

Speicherkomplexe

Gesamtmächtigkeit der untersuchungswürdigen Speichergesteine (Nettomächtigkeit): größer als 10 m

Tiefenlage: Oberfläche tiefer als 800 m unter Geländeoberkante (m u. Gelände).

Barrierekomplexe

Mächtigkeit: größer als 20 m

Tiefenlage: Basis tiefer als 800 m unter Geländeoberkante (m u. Gelände).

Der jeweilige Speicherkomplex muss durch einen geeigneten Barrierekomplex überlagert sein.

Die Speicherregionen wurden hinsichtlich ihrer Tiefenlage regional weiter differenziert, da der Tiefenbereich zwischen 1000 und 2500 m aufgrund günstiger technisch-wirtschaftlicher Randbedingungen für eine Kohlendioxideinspeicherung bevorzugt wird (Diamond et al 2010).

Zur weitergehenden Differenzierung der untersuchungswürdigen Speicherregionen können die speichergeologisch relevanten Parameter Porosität und Permeabilität nach folgenden Mindestkriterien dienen:

- Porosität: Speichergesteine mit Porositäten > 10%
- Permeabilität: Speichergesteine mit Durchlässigkeiten >10 mD.

Zur räumlich differenzierten Charakterisierung der Speicherkomplexe nach den beiden Kennwerten Porosität und Permeabilität war die Datendichte allerdings zu gering. Deshalb wurden die Einheiten bei ausreichender Datenlage durch rangstatistische Kennzahlen allgemein charakterisiert (vgl. Kap. 2.2.1).

Als Ergebnis der Abschätzung wurden für die Speicher- und Barrierekomplexe anhand der Kriterien Tiefenlage und Mindestmächtigkeit untersuchungswürdige Regionen abgegrenzt, die Barriere- bzw. Speicherpotenzial aufweisen können. Auf der Grundlage des geologischen 3D-Modells, das im Rahmen des Projektes GeORG neu erarbeitet wurde, war es möglich, die Potenzialbewertung im Oberrheingraben unter Einbeziehung aller aktuell verfügbaren Eingangsdaten erstmals grenzüberschreitend und in einem wesentlich höheren Detaillierungsgrad durchzuführen. Darüber hinaus erlaubt die Modellierung des Störungsmusters differenziertere Aussagen zur Intensität der tektonischen Beanspruchung der Schichtenfolge.

Literaturhinweise

Chadwick et al. 2008, Diamond et al. 2010, Fehn & Wirsing 2011, Knopf et al. 2010, May & Turkovic 2003, RPF/LGRB 2010

Kapitelverweise

2.2.1, 2.4.2



2.4.8.2 Speicher- und Barrierekomplexe (insbesondere für dauerhafte CO₂-Speicherung)

Kurzbeschreibung

Die Schichtenfolge des Oberrheingrabens wird in Speicher- und Barrierekomplexe gegliedert.

Eingangsdaten

- Lithologische Ausbildung der Schichtenfolge des Oberrheingrabens (Literaturdaten)
- Geologisches 3D-Modell
- Porositäts- und Permeabilitätsdaten aus dem KW-Archiv (LBEG), den Archiven der Geologischen Dienste BRGM, LGRB, LGB, GeotIS

Beschreibung

Auf der Grundlage der unter Kap. 2.4.8.1 beschriebenen Kriterien und der im geologischen Modell abgebildeten Einheiten wurde die Abfolge in folgende Speicher - und Barrierekomplexe (SK und BK) gegliedert (vgl. auch Abb. 2.4.2-01, in Kap. 2.4.2):

- Älteres Oberrheingraben-Tertiär (SK und BK)
- Oberjura (SK)
- Oberer Mitteljura (Kandern-Formation, Ornatenton-Formation, Variansmergel-Formation) (BK)
- Hauptrogenstein-Formation (SK)
- Unterjura und Keuper (BK)
- Oberer Muschelkalk (SK)
- Unterer Muschelkalk und Mittlerer Muschelkalk (BK)
- Permotriassische Sandsteine (SK)
- Permokarbon (SK)

Die Gliederung der Schichtenfolge im Oberrheingraben in Speicher- und Barrierekomplexe entspricht damit im Wesentlichen der des Speicher-Katasters Deutschland (RPF/LGRB 2010) bzw. ist z. T. differenzierter. Abweichungen von der Gliederung des Speicher-Katasters Deutschland sind darin begründet, dass nach Abschluss der 3D-Modellierung im GeORG-Projekt eine feinere Differenzierung möglich war.

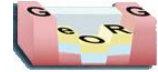
Literaturhinweise

RPF/LGRB 2010

Kapitelverweise

2.4.8.1, 2.4.2





2.4.8.3 Beschreibung der Speicher- und Barrierekomplexe (insbesondere für dauerhafte CO₂-Speicherung)

Kurzbeschreibung

Die Speicher- und Barrierekomplexe werden hinsichtlich ihrer Tiefenlage und Mächtigkeit klassifiziert. Hieraus lassen sich untersuchungswürdige Speicher- und Barrierekomplexe ableiten.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell
Poro-/Perm-Datenbank
Hydrochemie-Datenbank
Literaturangaben



2.4.8.3.1 Speicher- und Barrierekomplex Älteres Oberrheingraben-Tertiär

Kurzbeschreibung

Aufgrund der vertikal und lateral wechselnden lithologischen Ausbildung kann der Komplex der Haguenau-/Pechelbronn-Formation sowohl als Speicher- als auch als Barrierekomplex wirken.

Der Speicher- und Barrierekomplex ist nahezu im gesamten Modellgebiet verbreitet (Atlasblätter 6.1, 6.2).

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Speicher- und Barrierekomplex ist nahezu im gesamten Modellgebiet verbreitet (Atlasblätter 6.1, 6.2). Er fehlt im Bereich der Rust-Schutterwald-Randschollen und im Osten des Heidelberg-Beckens. Südlich von Mulhouse fehlt die Einheit im nördlichen Teil des Altkirch- und westlichen Teil des Rixheim-Blockes, nördlich von Sierenz im Westen des Istein-Blocks. Im Wittelsheim-Buggingen-Becken fehlt das Ältere Oberrheingraben-Tertiär im Verbreitungsgebiet der Salzstöcke.

Auf dem Haguenau-Block, im Norden des Erstein-Blockes sowie südlich des Wittelsheim-Buggingen-Beckens liegt das Top der Pechelbronn-Formation weniger als 800 m unter GOK, so dass der Komplex in diesen Gebieten kein Speicherpotenzial aufweist.

Auf einigen westlichen und östlichen Randschollen sowie im Süden und Südosten erfüllt die Haguenau- und Pechelbronn-Formation nicht die Mindestanforderungen als Barrierekomplex bezüglich Tiefenlage und/oder Mächtigkeit (Atlasblatt 6.2).

Lithologie

Pechelbronn-Formation (vgl. auch Kap. 2.2.1.5 und 2.2.2)

Obere Pechelbronn-Formation: Dolomitischer Mergelstein bis Tonmergelstein, teilweise feinsandig mit Einschaltungen von Sandstein, fein- bis grobkörnig. In Subsidenzzentren (z. B. Rastatt-Becken) Übergang in vorherrschend graue Tonmergelsteine.

Mittlere Pechelbronn-Formation: Tonmergelstein, in Randschollenzone gebietsweise in dünn-schichtige Dolomitsteine („Plattendolomit“) übergehend.

Untere Pechelbronn-Formation: Sandsteine und Mergelsteine im Wechsel. Mit Einschaltung von Steinsalzlagern geht die Pechelbronn-Formation in die Wittelsheim-Formation über. Sie ist im südlichen Oberrheingraben südlich des Forêt de Haguenau, vorwiegend links des Rheins verbreitet.

Haguenau-Formation

Vorherrschend geschichtete Mergelsteine mit rhythmisch eingelagerten Kalksteinbänken und untergeordneten Anhydrit- oder Gipssteinen.

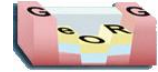
Tiefenlage und Mächtigkeit

Tiefenlage

Die Basis des Speicher- und Barrierekomplexes Haguenau- und Pechelbronn-Formation liegt südwestlich von Karlsruhe im Rastatt-Becken am tiefsten (knapp 4800 m u. Gelände). Weitere Tiefen befinden sich westlich von Worms (Worms-Becken, ca. 3800 m u. Gelände) und westlich von Heidelberg (ca. 4700 m u. Gelände).

Das Top des Speicher- und Barrierekomplexes Haguenau- und Pechelbronn-Formation liegt westlich von Worms im Worms-Becken (ca. 3300 m u. Gelände) sowie westlich von Heidelberg im Heidelberg-Becken (ca. 3250 m u. Gelände) am tiefsten.



**Mächtigkeit**

Die größten Mächtigkeiten von 2300 m werden bei Karlsruhe erreicht.

Nach der Zusammenstellung in GLA (1981) macht die Mächtigkeit der Sandsteinlagen an der Gesamtmächtigkeit der Pechelbronn-Schichten zwischen 0,3 und 1,1 % aus. Gemittelt über 3 Bohrungen liegt er bei 0,8 %. Aufgrund der geringen Nettomächtigkeit der Sandlagen in der Pechelbronn-Formation ist von einem vergleichsweise geringen Speicherpotenzial auszugehen (RPF/LGRB 2010).

Literaturhinweise

GLA 1981, RPF/LGRB 2010

Kapitelverweise

2.2.1.5, 2.2.2

Atlasblätter

6.1, 6.2





2.4.8.3.2 Speicherkomplex Oberjura

Kurzbeschreibung

Der Oberjura weist lediglich im südwestlichen Bereich des inneren Modellgebietes (Dannemarie-Becken) ein größeres Gebiet mit Speicherpotenzial auf. Kleinere Bereiche liegen westlich von Müllheim.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Speicherkomplex ist nur im Süden des Bearbeitungsgebietes (etwa südlich einer Linie Cernay - Bad Krozingen) verbreitet (Atlasblatt 6.3).

Er weist westlich von Müllheim in zwei inselartigen Bereichen sowie im nördlichen und zentralen Bereich des Dannemarie-Beckens westlich von Mulhouse Speicherpotenzial auf. Östlich des Dannemarie-Beckens liegt das Top des Oberjura verbreitet flacher als 800 m u. Gelände.

Der Speicherkomplex Oberjura wird vom Speicher- und Barrierekomplex Älteres Oberrheingraben-Tertiär überlagert.

Lithologie

Hellgrauer Kalkstein, gebankt mit untergeordneten Mergelstein-Zwischenlagen (vgl. auch Kap. 2.2.1.6 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Das Top des Speicherkomplexes Oberjura liegt im Dannemarie-Becken südsüdöstlich von Mulhouse und in einer kleinen Tiefscholle nördlich von Müllheim am tiefsten (knapp über 1900 m u. Gelände, Atlasblatt 2.5).

Die größten Mächtigkeiten von über 300 m werden nordwestliche und südwestlich von Dannemarie erreicht.

Kapitelverweise

2.2.1.6, 2.2.2

Atlasblätter

2.5, 6.3





2.4.8.3.3 **Barrierekomplex Oberer Mitteljura (Kandern-Formation, Ornatenton-Formation, Variansmergel-Formation)**

Kurzbeschreibung

Der Barrierekomplex Oberer Mitteljura weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes (südlich einer Linie Haguenau - Rheinau) im westlichen und zentralen Bereich des Oberrheingrabens nahezu flächendeckend Barrierepotenzial auf.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Barrierekomplex Oberer Mitteljura umfasst die geologischen Einheiten Kandern-Formation, Ornatenton-Formation und Variansmergel-Formation. Er ist im südlichen und mittleren Oberrheingraben einschließlich der Randschollenzone südlich einer Linie Haguenau - Rheinau verbreitet (Atlasblatt 6.4).

Er weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes im westlichen und zentralen Bereich des Oberrheingrabens nahezu flächendeckend Barrierepotenzial auf. Ausgenommen davon sind kleinere, tektonische bedingte Hochlagen (u.a. westlich und nördlich von Colmar: Colmar-Randschollen). Am südlichen Rand des Dannemarie-Beckens, dem südlichen Bruchschollengebiet (mit Altkirch-Block, Rixheim-Block, Sirenz-Allschwil-Block, Istein-Block und der Bamlach-Bruchzone) und den Rust-Schutterwald- und Lahr-Achern Randschollen sind größere Gebiete wegen zu geringerer Tiefenlage der Basis des Barrierekomplexes nicht als potentielle Barrierezone geeignet.

Lithologie

Graue Tonmergelsteine mit Kalksteinbänken, Sandsteinbänken und Eisenoolith, unten dunkelgrauer Tonstein (vgl. auch Kap. 2.2.1.7 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Die Basis des Barrierekomplexes liegt nordwestlich von Strasbourg im Strasbourg-Becken am tiefsten (knapp 3500 m u. Gelände). Eine weitere Tieflage befindet sich südlich von Colmar am westlichen Rand des Wittelsheim-Buggingen-Beckens (ca. 3150 m u. Gelände) sowie an dessen östlichem Rand südlich des Kaiserstuhls (ca. 2900 m u. Gelände).

Die größten Mächtigkeiten von über 225 m werden nordwestlich von Kehl und nördlich von Lahr erreicht.

Kapitelverweise

2.2.1.7, 2.2.2

Atlasblätter

6.4





2.4.8.3.4 Speicherkomplex Hauptrogenstein

Kurzbeschreibung

Der Speicherkomplex Hauptrogenstein weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes (im südlichen und mittleren Oberrheingraben einschließlich der Randschollenzone bis nördlich von Straßburg/Offenburg) im westlichen und zentralen Bereich Speicherpotenzial auf.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Speicherkomplex Hauptrogenstein ist im südlichen und mittleren Oberrheingraben einschließlich der Randschollenzone bis nördlich von Straßburg/Offenburg verbreitet (Atlasblatt 6.5).

Der Speicherkomplex weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes im westlichen und zentralen Bereich des Oberrheingrabens nahezu flächendeckend Speicherpotenzial auf. Ausgenommen davon sind kleinere, tektonische bedingte Hochlagen (u.a. westlich und nördlich von Colmar: Colmar-Randschollen). Am südlichen Rand des Dannemarie-Beckens, dem südlichen Bruchschollengebiet (mit Altkirch-Block, Rixheim-Block, Sirenz-Allschwil-Block, Istein-Block und der Bamlach-Bruchzone) und den Rust-Schutterwald- und Lahr-Achern Randschollen sind größere Gebiete wegen zu geringerer Tiefenlage des Top des Speicherkomplexes nicht als potentielle Speicherregion geeignet.

Aufgrund zu geringer Restmächtigkeit ist ein schmaler Streifen am nordöstlichen Rand des Verbreitungsgebiets nicht als potenzielle Speicherregion geeignet.

Der Speicherkomplex Hauptrogenstein wird vom Barrierekomplex Oberer Mitteljura (Kandern-Formation, Ornatenton-Formation, Variansmergel-Formation) überlagert.

Lithologie

Kalksteine, oolithische Kalksteine, gebietsweise mit Eisenoolith oder dolomitischen Abschnitten, nördlich von Offenburg: Tonmergel und Mergellsteine (vgl. auch Kap. 2.2.1.8 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Die Oberfläche des Speicherkomplexes liegt nordwestlich von Strasbourg im Strasbourg-Becken am höchsten (bis ca. 3500 m u. Gelände). Eine weitere Hochlage befindet sich südlich von Colmar am westlichen Rand des Wittelsheim-Buggingen-Beckens (ca. 3150 m u. Gelände) sowie an dessen östlichem Rand südlich des Kaiserstuhls (ca. 2900 m u. Gelände).

Die Mächtigkeit des Hauptrogenstein nimmt von Norden nach Süden zu. Die größten Mächtigkeiten von über 140 m werden im Südwesten des Dannemarie-Beckens erreicht (Atlasblatt 3.3).

Kapitelverweise

2.2.1.8, 2.2.2

Atlasblätter

2.6, 3.3, 6.5





2.4.8.3.5 Barrierekomplex Unterjura und Keuper

Kurzbeschreibung

Der Barrierekomplex Unterjura und Keuper weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes (im südlichen und mittleren Oberrheingraben einschließlich der Randschollenzone bis nördlich von Speyer - Heidelberg) nahezu flächendeckend Barrierepotenzial auf.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Barrierekomplex ist im südlichen und mittleren Oberrheingraben einschließlich der Randschollenzone bis nördlich von Speyer - Heidelberg verbreitet (Atlasblatt 6.6).

Der Barrierekomplex weist mit Ausnahme einiger Hochlagen auf den Randschollen (Malsch-Rot-Randschollen, Westen des Haguenau-Blocks, Lahr-Achern-Randschollen, Dinkelberg-Bruchzone, Tafeljura-Dinkelberg-Block) sowie eines schmalen Saums an der nördlichen Verbreitungsgrenze, in dem er in zu geringer Restmächtigkeit vorliegt, flächendeckend Barrierepotenzial auf.

Lithologie

Unterjura: Mergelsteine und Tonmergelsteine, z.T. Mergelkalke

Keuper:

Exter-Formation: Kalkfreie Tonsteine, gebietsweise sandig oder mit dünnen Sandsteinlagen, und besonders im Norden graue oder gelbliche Sandsteine

Löwenstein-, Trossingen- und Arnstadt-Formation: Südlich Emmendingen - Selestat dolomitische Tonsteine mit tonigen Dolomitsteinbänken. Im übrigen Oberrheingebiet rotbraune oder bunte schluffige Tonsteine, sandige Tonsteine und lateral stark wechselhafte Einlagerungen von Sandstein. Besonders im nördlichen Gebiet lagenweise Dolomit- und Kalksteinbänke oder Karbonatknollen.

Mainhardt- und Steigerwald-Formation: Tonstein, rotbraun und graugrün, lagenweise mit Anhydritknollen durchsetzt, mit eingeschalteten Bänken von Dolomitstein und Anhydritbänken

Stuttgart-Formation: Sandstein, fein- bis mittelkörnig, tonig oder anhydritisch gebunden, in engem seitlichen und vertikalem Wechsel mit Schluff- und Tonstein

Grabfeld-Formation: bunte und graue Tonsteine mit Anhydrit und Gips sowie Dolomitsteinbänken

Erfurt-Formation: Graue dolomitische Tonsteine mit Dolomitsteinbänken, im mittleren Teil örtlich wechselnde Einlagerungen von Sandstein

(vgl. auch Kap. 2.2.1.9, 2.2.1.10 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Die Basis des Barrierekomplex Unterjura und Keuper liegt am östlichen Grabenrand südwestlich von Karlsruhe im Rastatt-Becken am tiefsten (knapp 5300 m u. Gelände, Atlasblatt 2.7). Weitere Tiefen befinden sich in der nördlichen Verlängerung davon im Osten des Speyer-Reilingen Schollenfeldes (ca. 4500 m u. Gelände) sowie im Heidelberg-Becken westlich von Heidelberg (ca. 5000 m u. Gelände).

Die größten Mächtigkeiten von 525 m werden nördlich von Bruchsal erreicht.

Kapitelverweise

2.2.1.9, 2.2.1.10, 2.2.2

Atlasblätter

2.7, 6.6



2.4.8.3.6 Speicherkomplex Oberer Muschelkalk (einschließlich Diemel-Formation, falls vorhanden)

Kurzbeschreibung

Der Speicherkomplex Oberer Muschelkalk weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes mit Ausnahme einiger Hochlagen auf den Randschollen nahezu flächendeckend Speicherpotenzial auf.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Speicherkomplex ist mit Ausnahme eines 25 bis 40 Kilometer breiten Streifens im Norden des inneren Projektgebietes sowie einigen Gebieten auf den westlichen und östlichen Randschollen im gesamten Gebiet vorhanden (Atlasblatt 6.7).

Der Speicherkomplex weist mit Ausnahme einiger Hochlagen auf den Randschollen (Malsch-Rot-Randschollen, Westen des Haguenau-Blocks, Lahr-Achern-Randschollen, Rust-Schutterwald-Randschollen, äußerster Westen der Colmar-Randschollen, Dinkelberg-Bruchzone, Tafeljura-Dinkelberg-Block) und einiger sehr kleinräumiger Gebiete auf dem Istein-Block nordwestlich von Basel flächendeckend Speicherpotenzial auf. Insbesondere im Norden des Verbreitungsgebietes (Speyer-Reilingen-Schollenfeld, Weingarten-Randschollen, Rastatt-Becken, Strasbourg-Becken) liegt die Oberfläche des Oberen Muschelkalk tiefer als 2500 m.

Der Speicherkomplex Oberer Muschelkalk wird vom Barrierekomplex Unterjura und Keuper überlagert.

Lithologie

Graue Kalksteine und Dolomitsteine, gebankt, mit nach Süden zunehmendem Dolomitstein-Anteil (vgl. auch Kap. 2.2.1.11 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Die Oberfläche des Speicherkomplexes Oberer Muschelkalk und Diemel-Formation liegt am östlichen Grabenrand südwestlich von Karlsruhe im Rastatt-Becken am tiefsten (knapp 5300 m u. Gelände, Atlasblatt 2.7). Weitere Tiefenlagen befinden sich in der nördlichen Verlängerung davon im Osten des Speyer-Reilingen-Schollenfeldes (ca. 4500 m u. Gelände) sowie im Heidelberg-Becken westlich von Heidelberg (ca. 5000 m u. Gelände).

Die größten Mächtigkeiten von über 110 m werden entlang der Achse Karlsruhe - Rastatt - Rheinau - Kehl erreicht (Atlasblatt 3.4). Ein weiterer Bereich erhöhter Mächtigkeiten (über 80 m) liegt im Süden zwischen Sierenz und Illfurth.

Kapitelverweise

2.2.1.11, 2.2.2

Atlasblätter

2.7, 3.4, 6.7





2.4.8.3.7 **Barrierekomplex Unterer Muschelkalk und Mittlerer Muschelkalk bis Top der Salinar-Formation**

Kurzbeschreibung

Der Barrierekomplex Unterer Muschelkalk und Mittlerer Muschelkalk bis Top der Salinar-Formation weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes mit Ausnahme einiger Hochlagen auf den Randschollen nahezu flächendeckend Barrierepotenzial auf.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Barrierekomplex ist mit Ausnahme eines 20 bis 40 Kilometer breiten Streifens im Norden des Projektgebietes sowie einiger Gebiete auf den westlichen und östlichen Randschollen im gesamten Gebiet vorhanden (Atlasblatt 6.8).

Der Barrierekomplex weist mit Ausnahme einiger kleinräumiger Hochlagen auf den Randschollen (Malsch-Rot-Randschollen, Westen des Haguenau-Blocks, Lahr-Achern-Randschollen, Dinkelberg-Bruchzone, Tafeljura-Dinkelberg-Block) flächendeckend Speicherpotenzial auf. Insbesondere im Norden des Verbreitungsgebietes (Speyer-Reilingen-Schollenfeld, Weingarten-Randschollen, Rastatt-Becken, Strasbourg-Becken) liegt die Oberfläche des Barrierekomplexes tiefer als 2500 m.

Lithologie

Oben Anhydritstein mit Lagen von Tonstein und Dolomitstein, darunter im südlichen Graben Wechselfolgen von Tonstein und Dolomitstein mit sandigen Einschaltungen, im nördlichen Graben zunehmend auch Kalkstein (vgl. auch Kap. 2.2.1.12 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Die Basis des Barrierekomplex Unterer Muschelkalk und Mittlerer Muschelkalk bis Top der Salinar-Formation (entspricht Basis der Diemel-Formation) liegt am Ostrand des Grabens südwestlich von Karlsruhe im Rastatt-Becken am tiefsten (knapp 5600 m u. Gelände, Atlasblatt 2.9). Weitere Tiefen befinden sich in der nördlichen Verlängerung davon im Osten des Speyer-Reilingen Schollenfeldes (ca. 4900 m u. Gelände) sowie im Heidelberg-Becken westlich von Heidelberg (ca. 5200 m u. Gelände).

Die größten Mächtigkeiten von über 160 m werden südlich von Ferrette am südlichen Grabenrand erreicht.

Kapitelverweise

2.2.1.12, 2.2.2

Atlasblätter

2.9, 6.8





2.4.8.3.8 Speicherkomplex Permotriassische Sandsteine

Kurzbeschreibung

Der Speicherkomplex Permotriassische Sandsteine weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes mit Ausnahme einiger kleinräumiger Hochlagen auf den Randschollen nahezu flächendeckend Speicherpotenzial auf.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Speicherkomplex ist mit Ausnahme eines 10 bis 15 Kilometer breiten Streifens im Norden des Projektgebietes sowie einiger Gebiete auf den westlichen und östlichen Randschollen im gesamten Gebiet vorhanden (Atlasblatt 6.9).

Er weist mit Ausnahme einiger kleinräumiger Hochlagen auf den Randschollen (u.a. Grünstadt-Randschollen, Malsch-Rot-Randschollen, Haguenau-Block, Lahr-Achern-Randschollen, Rust-Schutterwald-Randschollen) und der Dinkelberg-Bruchzone sowie dem Tafeljura-Dinkelberg Block flächendeckend Speicherpotenzial auf.

Insbesondere im Norden des Verbreitungsgebietes (Nördlicher Grabenabschnitt, Speyer-Reilingen-Schollenfeld, Weingarten-Randschollen, westliches Landau-Schollenfeld, Rastatt-Becken, Strasbourg-Becken) liegt die Oberfläche der Permotriassischen Sandsteine tiefer als 2500 m.

Der Speicherkomplex Permotriassische Sandsteine wird vom Barrierekomplex Unterer Muschelkalk und Mittlerer Muschelkalk bis Top der Salinar-Formation überlagert.

Lithologie

Bunte, überwiegend rotbraune und hellgraue Sandsteine mit wechselnder Geröllführung und Einschaltungen rotbrauner Tonsteine (Buntsandstein), an der Basis im nördlichen Grabenabschnitt auch Dolomitstein, gebankt und teilweise sandig, mit Tonstein-Zwischenlagen (Zechstein) (vgl. auch Kap. 2.2.1.13 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Die Oberfläche des Speicherkomplexes Permotriassische Sandsteine liegt am Ostrand des Grabens südwestlich von Karlsruhe im Rastatt-Becken am tiefsten (knapp 5600 m u. Gelände, Atlasblatt 2.9). Weitere Tiefenlagen befinden sich in der nördlichen Verlängerung davon im Osten des Speyer-Reilingen Schollenfeldes (ca. 4900 m u. Gelände) sowie im Heidelberg-Becken westlich von Heidelberg (ca. 5200 m u. Gelände).

Die größten Mächtigkeiten von über 500 m werden zwischen Strasbourg und nördlich von Bischwiller, östlich von Neustadt a. d. W. (540 m) sowie östlich von Karlsruhe (560 m) erreicht (Atlasblatt 3.5).

Kapitelverweise

2.2.1.13, 2.2.2

Atlasblätter

2.9, 3.5, 6.9





2.4.8.3.9 Speicherkomplex Permokarbon

Kurzbeschreibung

Der Speicherkomplex Permokarbon weist innerhalb seines Verbreitungsgebietes mit Ausnahme der Grünstadt-Randscholle und dem Tafeljura-Dinkelberg-Block nahezu flächendeckend Speicherpotenzial auf.

Eingangsdaten

Geologisches 3D-Modell

Verbreitung und Potenzial

Der Speicherkomplex ist im Oberrheingraben und an den Grabenschultern in vier alten Beckenstrukturen (von Nord nach Süd) verbreitet (Atlasblatt 6.10):

- Südlicher Rand des Saar-Nahe-Beckens
- Kraichgau-Becken (südlich von etwa Neustadt a. d. W.-Ladenburg bis etwa Obernai-Bühl)
- Offenburg-Becken (südlich von Selestat-Offenburg bis etwa Colmar-Ettenheim)
- Ronchamp-Breisgau-Becken (südlich Guebwiller-Emmendingen).

Dazwischen liegen (von Nord nach Süd) die Hardt-Odenwald-Schwelle, die Nordschwarzwald-Schwelle und die Zentralschwarzwald-Schwelle, auf denen Oberkarbon- und Rotliegendensedimente fehlen.

Der Speicherkomplex weist mit Ausnahme einiger Bereiche zu geringer Mächtigkeiten an den Rändern der oben beschriebenen Beckenstrukturen sowie auf der Grünstadt-Randscholle im Nordwesten und dem Tafeljura-Dinkelberg-Block im äußersten Südosten im gesamten Verbreitungsgebiet Speicherpotenzial auf.

Aufgrund der schlechten Datenlage ist die Abgrenzung der untersuchungswürdigen Gebiete für den Speicherkomplex Permokarbon allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet.

Lithologie

Rotbraune oder bunte Arkosen, Fanglomerate und tonige Schluffsteine, darunter gebietsweise saure Vulkanite und Pyroklastika, örtlich an der Basis graue, violette und rotbraune Arkosen und Schluffsteine mit geringmächtigen Steinkohlen (vgl. auch Kap. 2.2.1.14 und 2.2.2).

Tiefenlage und Mächtigkeit

Die Oberfläche des Speicherkomplexes Permokarbon liegt am Ostrand des Grabens südwestlich von Karlsruhe im Rastatt-Becken am tiefsten (ca. 6000 m u. Gelände, Atlasblatt 2.10)). Weitere Tieflagen befinden sich in der nördlichen Verlängerung davon im Osten des Speyer-Reilingen Schollenfeldes (nördlich von Bruchsal ca. 5100 m u. Gelände) sowie im Heidelberg-Becken westlich von Heidelberg (ca. 5500 m u. Gelände).

Die größten Mächtigkeiten von über 1200 m werden am östlichen Grabenrand zwischen Rastatt und Bruchsal erreicht.

Kapitelverweise

2.2.1.14, 2.2.2

Atlasblätter

2.10, 6.10



2.4.8.4 Bewertung

Kurzbeschreibung

Auf Grundlage des geologischen 3D-Modells wurden untersuchungswürdige Speicher- und Barriereregionen identifiziert. Eine differenzierte standortbezogene Erkundung aller Untergrundeigenschaften, die für eine sichere Einlagerung von CO₂ relevant sind, ist unter den komplexen geologischen, tektonischen und hydrogeologischen Voraussetzungen des Oberrheingrabens allerdings nur mit einem sehr hohen und kostenintensiven Untersuchungsaufwand möglich. Auch bei einer deutlich verbesserten Datengrundlage ist davon auszugehen, dass aufgrund der ungünstigen geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen Unsicherheiten bei der Prognose von geeigneten Speicherstrukturen und der Abschätzung des verfügbaren Speichervolumens verbleiben. In Anbetracht der zu erwartenden vergleichsweise kleinen Speicherstrukturen und -kapazitäten erscheint deshalb das Potenzial für eine untertägige Einlagerung von Kohlendioxid im Oberrheingraben insgesamt eher gering.

Eingangsdaten

Speicher- und Barrierekomplexe, Geologisches 3D-Modell

Beschreibung

Das geologische 3D-Modell, das im Rahmen des GeORG-Projekts erstellt wurde, erlaubt erstmals eine grenzüberschreitende Bewertung des Speicher- und Barrierepotenzials im Oberrheingraben auf deutlich verbesserter Datengrundlage.

Grundsätzlich erfüllen alle dargestellten untersuchungswürdigen Regionen die Vorgaben hinsichtlich lithologischer Ausprägung, Tiefenlage und Mächtigkeit. Die im GeORG-Projekt durchgeführte Klassifizierung der Speicherregionen mit Tiefenlagen der Oberfläche der Speicherkomplexe zwischen 800 und 1000 m unter Gelände, 1000 und 2500 m unter Gelände und über 2500 m Tiefe unter Gelände (Diamond et al. 2010) ermöglicht im Vergleich zu früheren Studien eine weitergehende Einengung der untersuchungswürdigen Bereiche (Müller & Reinhold 2011).

Aufgrund ihrer Genese und räumlichen Kontinuität unterscheiden sich die Speicher- und Barrieregesteine in der Prognostizierbarkeit ihrer lithologischen Ausbildung und Mächtigkeit. Während insbesondere fluviatil und limnisch abgelagerte Einheiten wie z.B. das Ältere Oberrheingraben-Tertiär diesbezüglich mit sehr großen Unsicherheiten behaftet sind, ist die Prognostizierbarkeit der lithologischen Ausbildung und Mächtigkeit marin abgelagerter Einheiten deutlich besser. Differenziertere Aussagen zur vertikalen und lateralen lithologischen Ausbildung der Komplexe, zur Verbreitung und Nettomächtigkeit der Speicher- und Barrieregesteine und zur abdichtenden Wirkung der Barrieregesteine sind jedoch nur auf Grundlage weiterer, standortbezogener Untersuchungen möglich.

Daneben spielt die strukturelle Ausgestaltung der untersuchungswürdigen Regionen bei der Eignungsbewertung eine bedeutende Rolle. Nach Diamond et al. (2010) sind Speicherregionen mit permeablen Störungszonen wegen des Risikos von Leckagen zu vermeiden. Außerdem werden seismisch aktive Zonen generell als Ausschlusskriterium für eine CO₂-Speicherung gesehen.

Hinweise auf die Permeabilität von Störungszonen im Oberrheingraben geben häufige kleinere Kohlenwasserstofffunde in Bohrkernen aus dem Muschelkalk der Vorbergzone und in den vulkanischen Gesteinen des Kaiserstuhls (RPF/LGRB 2006). Wenngleich in der jüngeren Vergangenheit einige neue Erdölfunde z. B. bei Speyer bekannt wurden, war doch vielfach die abdichtende Wirkung von Störungen unzureichend, so dass oft nur geringe Kohlenwasserstoffmengen in den als Fallen wirkenden Strukturen verblieben.

Der Oberrheingraben ist durch seine komplexe geologische Struktur, kleinräumige tektonische Bauelemente und komplizierte hydrogeologische Verhältnisse im tieferen Untergrund gekennzeichnet. Die in den Karten dargestellte tektonische Gliederung stellt daher nur eine vereinfachte Übersicht dar. Alle als Einzelflächen eingezeichneten größeren Störungszonen bestehen tatsächlich aus Scharen teils paralleler, teils sich





verzweigender Bruchsysteme, über deren Durchlässigkeiten allein aus ihrer Raumlage, wie sie aus den nur auf mehrere zehner Meter auflösenden seismischen Messungen ermittelt wurde, a priori keine Voraussagen abgeleitet werden können. Je nach Material (Tongehalt, Karbonatgehalt, etc.) und Raumlage im Spannungsfeld kann die örtliche blocktektonische Zerlegung eine erhöhte, verringerte oder unbeeinflusste Durchlässigkeit für Fluide bewirken. Insbesondere innerhalb der größeren Y-förmigen Strukturen zeigt sich in den seismischen Profilen stets ein Blockwerk aus Schollen im Zehner- bis Hundertmeterbereich, dessen Geometrien wegen der großen Abstände der Eingangsdaten (im Kilometerbereich) nicht konstruiert werden konnten. Auch Störungen außerhalb der Hauptstörungszonen, die nur durch einen Belegpunkt (in einer Bohrung oder in einem seismischen Profil) bekannt sind, konnten oftmals nicht konstruiert werden.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Kriterien sind u. a. die Charakterisierung des Fließregimes im betrachteten Aquifer und die hydrochemische Zusammensetzung der Formationswässer (z. B. Salinität) von Bedeutung. Kenntnisse hierüber sind u. a. zur Bewertung der Druckausbreitung im Aquifer als Folge der CO₂-Injektion erforderlich. Über das hydraulische System der tiefen Grundwässer im Oberrheingraben liegen keine hinreichenden Kenntnisse vor. Voraussetzung hierfür wären sehr gute regionale bis lokale Kenntnisse über den Untergrundaufbau, die Potenzialverhältnisse der Grundwässer in den verschiedenen Aquiferen sowie über die hydraulische Wirkung der Störungen. Aufgrund der kleinräumigen und komplexen geologischen Struktur des Oberrheingrabens ist grundsätzlich von einem über weite Bereiche kleinräumig variierenden Fließregime auszugehen.

Der Oberrheingraben ist als eine Region erhöhter Seismizität bekannt, induzierte Seismizität wurde beim Bau oder Betrieb von Geothermiekraftwerken (Basel, Landau) beobachtet. Zum Aspekt der mit der Injektion möglicherweise auftretenden induzierten Seismizität können die derzeit laufenden Monitoring-Programme im Rahmen des Baus und Betriebs von Geothermiekraftwerken im Oberrheingraben beitragen.

Eine differenzierte standortbezogene Erkundung aller Untergrundeigenschaften, die für eine sichere Einlagerung von CO₂ relevant sind, ist unter diesen komplexen geologischen, tektonischen und hydrogeologischen Voraussetzungen allenfalls nur mit einem sehr hohen und kostenintensiven Untersuchungsaufwand möglich. Auch bei einer deutlich verbesserten Datengrundlage ist davon auszugehen, dass aufgrund der ungünstigen geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen Unsicherheiten bei der Prognose von geeigneten Speicherstrukturen und der Abschätzung des verfügbaren Speichervolumens verbleiben. In Anbetracht der zu erwartenden vergleichsweise kleinen Speicherstrukturen und -kapazitäten erscheint deshalb das Potenzial für eine untertägige Einlagerung von Kohlendioxid im Oberrheingraben insgesamt eher gering.

Literaturhinweise

Diamond et al. 2010, Müller & Reinhold 2011, RPF/LGRB 2006





2.4.9 Bestehende Nutzungen im Projektgebiet

Kurzbeschreibung

Beschreibung der bestehenden Nutzungen des tieferen Untergrundes im inneren Projektgebiet

Eingangsdaten

Literatur

Beschreibung

Neben den im Projektkontext beschriebenen Potenzialen Tiefengeothermie und Kohlendioxidspeicherung werden weitere Potenziale im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens genutzt. Deren aktuelle Nutzungssituation wird im folgenden beschrieben. Es handelt sich dabei um

- Tiefengeothermie
- Erdgasspeicherung
- Kohlenwasserstoffe
- balneologische Nutzung von Thermalwässern und Mineralwässer

Die bekannten Nutzungen werden nachrichtlich mitgeteilt und kartenmäßig dargestellt.





2.4.9.1 Bestehende Nutzungen der Tiefengeothermie

Kurzbeschreibung

Im inneren Modellgebiet liegen mehrere geothermische Anlagen, die zur direkten Heizwärmegewinnung bzw. Stromerzeugung genutzt werden.

Eingangsdaten

Literatur

Beschreibung

Allgemeine Beschreibung

Die Nutzung tiefer geothermischer Ressourcen zur Wärmegewinnung und Stromerzeugung rückte mit der Verabschiedung des „Erneuerbaren-Energien-Gesetzes“ (EEG) im Jahr 2000 für das deutsche Gebiet in den Bereich einer wirtschaftlichen Rendite.

Vielversprechend erscheint zum heutigen Zeitpunkt die Bereitstellung von Wärme mit Hilfe von tiefen Erdwärmesonden. Im Projektgebiet sind mehrere nicht verwahrte Tiefbohrungen aus der Kohlenwasserstoff-Industrie vorhanden und könnten kostengünstig für den Sondeneinbau verwendet werden.

Die geothermischen Kraftwerke im Betrieb sind in Abb. 2.4.9.1-01 dargestellt. Die Karte enthält ebenfalls die bergrechtlichen Erlaubnis- und Bewilligungsfelder, die in Deutschland für die Aufsuchung und die Gewinnung des bergfreien Bodenschatzes „Erdwärme“ erforderlich sind.

Standorte

Im Projektgebiet sind folgende geothermische Anlagen in Betrieb bzw. Planung (vgl. Abb. 2.4.9.1-01):

Rheinland-Pfalz

- Landau, seit 2007: hydrothermales Strom- und Heizkraftwerk in Betrieb
- Insheim, seit Ende 2012: hydrothermales Stromkraftwerk in Betrieb
- Bellheim: hydrothermales Kraftwerk in der Überarbeitung
- Rülzheim: hydrothermales Kraftwerk in Planung.

Baden-Württemberg

- Bruchsal, seit Ende 2009: hydrothermales Stromkraftwerk
- Brühl: hydrothermales Stromkraftwerk im Bau.

Frankreich

- Soultz-sous-Forêts: europäisches HDR-Projekt, seit 2008 als Stromkraftwerk im Probetrieb
- Rittershofen: Heizkraftwerk zur Versorgung eines Industriebetriebs im benachbarten Beinheim in Bau.









Schweiz

- Riehen, seit 1994: hydrothermales Heizkraftwerk.

Im Jahre 2006 wurde mit dem Bau eines HDR- Wärme- und Stromkraftwerkes in Basel-Stadt begonnen, welches auf Grund seismischer Erschütterungen im Jahr 2010 wieder eingestellt werden musste.



Tiefengeothermische Nutzung im Projektgebiet Exploitation des ressources géothermales dans l'emprise du projet

-  Stromerzeugung und Wärmenutzung (im Bau)
Production d'électricité et de chaleur (en construction)
-  Stromerzeugung und Wärmenutzung (in Betrieb)
Production d'électricité et de chaleur (en service)
-  Stromerzeugung (in Betrieb)
Production d'électricité (en service)
-  Wärmenutzung (im Bau)
Production de chaleur (en construction)
-  Wärmenutzung (in Betrieb)
Production de chaleur (en service)
-  Konzessionsfeld (bewilligt oder beantragt)
Permis d'exploration ou d'exploitation
-  Inneres Modellgebiet
Extension du modèle interne
-  Äußeres Modellgebiet
Extension du modèle externe

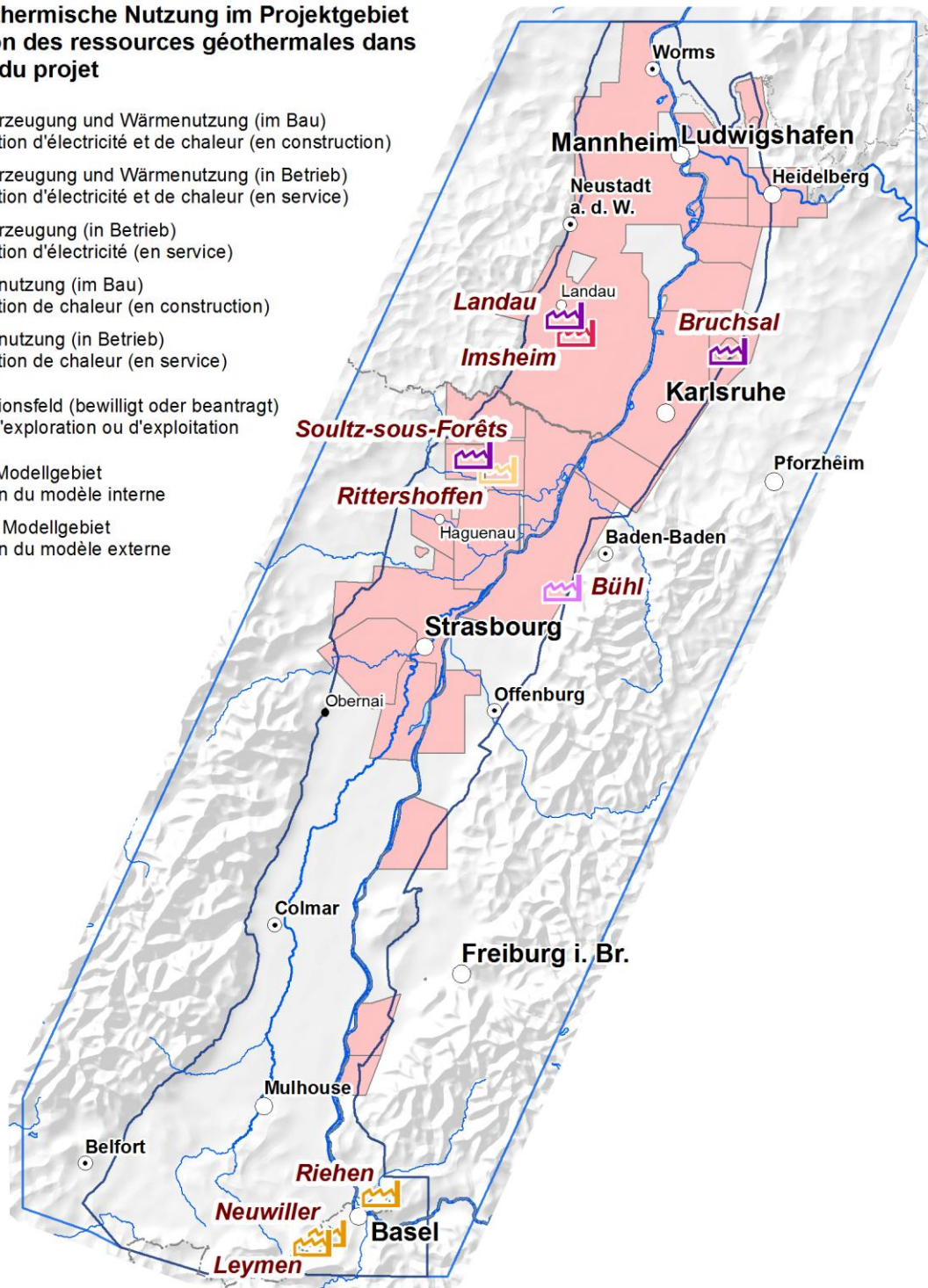


Abb. 2.4.9.1-01: Lage der tiefengeothermischen Nutzungen im inneren Projektgebiet (in Betrieb bzw. geplant) mit Konzessionsfeldern, Stand 2012

Externe Links

<http://www.infogeo.de/home/geothermie/dokumente/>

<http://www.geotis.de>



Das vorliegende Dokument ist Teil des „Fachlich-Technischen Abschlussberichts - Teil 2“ des INTERREG IV-Projekts „GeORG – Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“.

Der komplette Bericht (Teil 1-4) ist unter www.geopotenziale.eu zum Download bereit gestellt.



2.4.9.2 Bestehende Nutzungen zur Erdgasspeicherung

Kurzbeschreibung

Im inneren Modellgebiet wird an zwei Standorten Gas im Untergrund gespeichert.

Eingangsdaten

Literatur

Beschreibung

Nutzbare Einheiten

Die für eine Erdgaseinspeicherung nutzbaren Einheiten müssen über ein ausreichend großes speicherwirksames Hohlraumvolumen verfügen und von einer abdichtenden Einheit überlagert werden.

Grundsätzlich kommen für eine Gaseinspeicherung alle geologischen Einheiten in Frage, die sich auch für die Einlagerung von Kohlendioxid eignen (vgl. hierzu Kap. 2.4.2)




Standorte

Im Norden des inneren Modellgebiets wird Erdgas seit mehreren Jahrzehnten temporär in zwei natürlichen Gasspeichern in den Untergrund eingespeichert. Sie sind in Abb. 2.4.9.2-01 dargestellt.

- Frankenthal: Das natürliche kleine Gasvorkommen Frankenthal liegt im nördlichen Oberrheingraben im Bereich einer schwachen tertiären Aufwölbung. Das Gas entstammt den Kalk- und Dolomitlagen der Oberen Hydrobienschichten. Die Aufwölbung reicht bis ins höhere Pliozän, wo zwischen 600 und 1000 m u. Gelände ein künstlicher Gasspeicher eingerichtet wurde. Es steht ein maximal nutzbares Arbeitsgasspeichervolumen von max. 62 Mio m³ zur Verfügung. Betreiber ist die Saar-Ferngas AG. (Sedlacek 2009).
- Sandhausen: Im tertären Porenspeicher steht in einer Tiefe von 600 m u. GOK ein maximal nutzbares Arbeitsgasspeichervolumen von 30 Mio m³ zur Verfügung. Betreiber ist die E.ON Gas Storage GmbH.



Gasspeicherung im Projektgebiet
Stockage de gaz dans l'emprise du projet

-  genutzte Gasspeicher
Stockage du gaz existant
-  Inneres Modellgebiet
Extension du modèle interne
-  Äußeres Modellgebiet
Extension du modèle externe

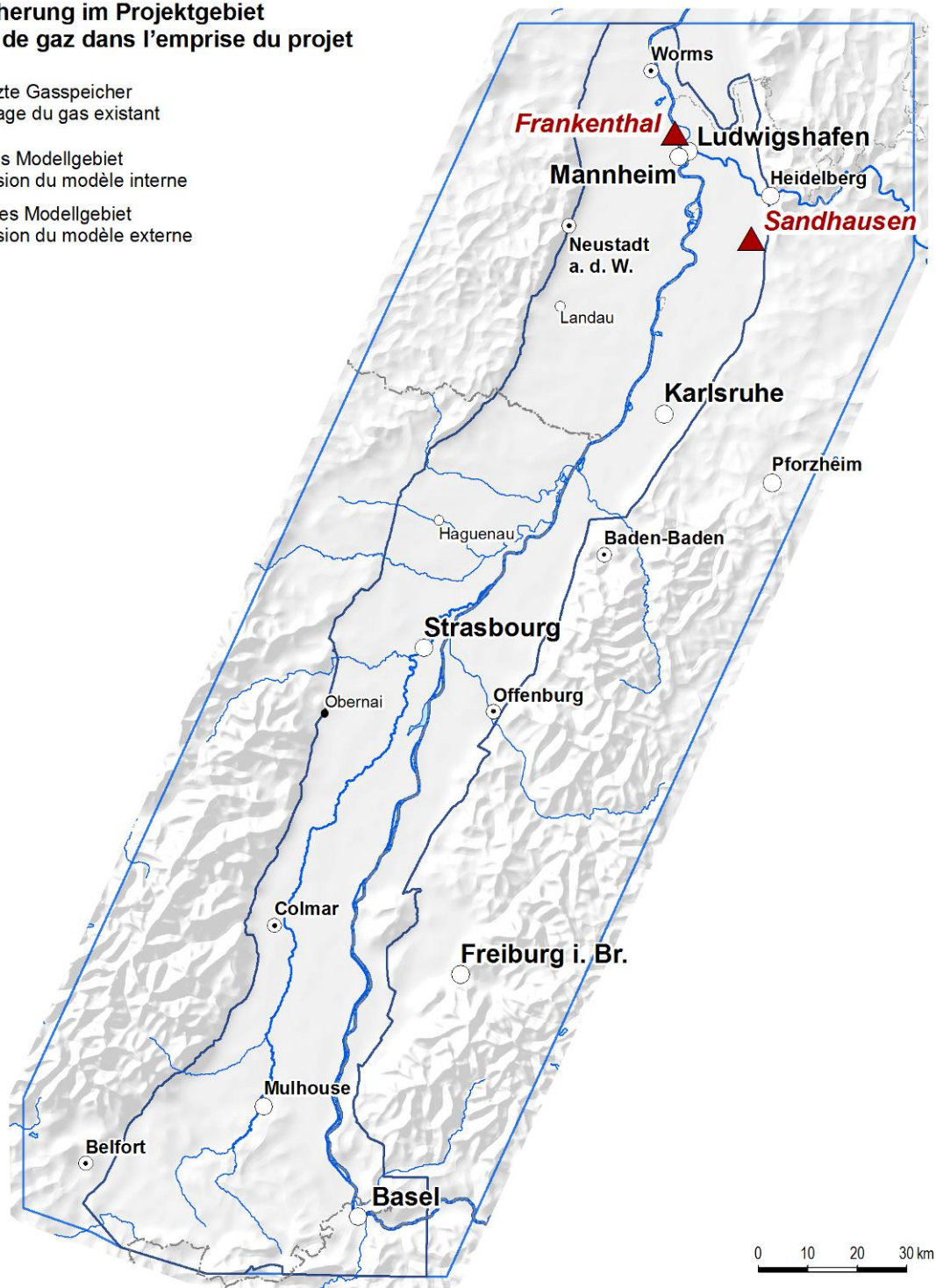


Abb. 2.4.9.2-01: Lage der genutzten Erdgasspeicher im inneren Projektgebiet, Stand 2012.

Kapitelverweise

2.4.2





2.4.9.3 Bestehende Nutzungen der Kohlenwasserstoffe

Kurzbeschreibung

Darstellung der Georessource „Kohlenwasserstoffe“ anhand von aktuellen Konzessionsfeldern sowie aktiven Gewinnungsfeldern und Beschreibung der bekannten kohlenwasserstoffhöffigen Gesteinsabfolgen

Eingangsdaten

Literatur

Beschreibung

Allgemeine Beschreibung

Die Entstehung größerer Erdöl- und Gas-Vorkommen setzt die Koexistenz entsprechender Erdölmuttergesteine und Speichergesteine voraus. Weiterhin sind für die Bildung von Kohlenwasserstoffen die mit der Versenktiefe zunehmenden Temperaturen von ausschlaggebender Bedeutung. Außerdem muss die Migration des Öls bzw. Gases über ausreichend permeable Gesteinsformationen bzw. Störungszonen in die tektonischen Fallenstrukturen möglich sein.

Im Oberrheingraben stellen die verbreitet auftretenden tertiären tiefdunklen, bituminösen Tonsteine und Tonmergelsteine die wichtigsten Erdölmuttergesteine dar (Corbicula- und Hydrobien-Schichten). Aus den mesozoischen Formationen sind keine Muttergesteine bekannt. Die sandigen tertiären (oligozänen) Abfolgen sind auf Grund des ausgeprägten Porenvolumens grundsätzlich als Speichergesteine geeignet. Ob sich darin größere Lagerstätten entwickeln konnten, hängt von der Verbreitung und Mächtigkeit der Sandvorkommen sowie von ihrer tektonischen Position (Migrationswege, Fallenstrukturen, abdichtende Überdeckung) ab. Kohlenwasserstoffanreicherungen im Prätertiär sind vornehmlich durch Einwanderung des Öls aus dem Tertiär zu erklären (z.B. Speyer).

Die tektonischen Lagerungsverhältnisse im Oberrheingraben haben in mehreren Regionen zur Ausbildung bedeutsamer Erdölvorkommen geführt. Die bekannten Lagerstätten sind an Hochlagen entlang von über längere Zeiträume bewegten, N-S-gerichteten Brüchen gebunden. Aufgrund des Schichteinfallens nach Osten im nördlichen Grabenabschnitt und den damit verbundenen möglichen Migrationswegen von der östlichen Grabenscholle bis in die Hochlagen am westlichen Grabenrand, lässt sich eine Häufung der Ölvorkommen westlich der Hauptbeckenachse beobachten (Schad 1962). Von Norden nach Süden sind die Vorkommen von Eich (bei Worms), Wattenheim, Hofheim, Dudenhofen, Rot, Huttenheim, Landau, Offenbach, Graben, Weiher, Forst, Leopoldshafen, Neureut, Knielingen, Hayna, Minfeld, Maximiliansau, Weingarten, Werrabronn, Scheibenhard, Pechelbronn, Soufflenheim, Schirrhein, Eschau und Staffelfelden und Reiningen bei Mülhausen zu nennen.

Standorte

Gas- und Erdöl-Lagerstätten sind seit langem im Oberrheingraben bekannt; eine industrielle Nutzung fand/findet in den Bereichen Eich, Landau, Pechelbronn und Offenburg über viele Jahrzehnte statt.

Im inneren Modellgebiet werden bis heute noch wirtschaftlich die Erdöl-Lagerstätten Landau und Römerberg (bei Speyer) auf rheinland-pfälzischem Gebiet sowie Scheibenhardt, Mühlenweg, Schelmenau und Eschau auf französischem Gebiet betrieben (Abb. 2.4.9.3-01). Auf baden-württembergischen Gebiet liegen derzeit keine produzierenden Erdöllagerstätten. Die Fördermengen zu den Lagerstätten können für die deutsche Teilregion den Förderberichten des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen entnommen werden (z.B. LBEG 2012). Erdgas wird im Oberrheingraben derzeit nicht gefördert

Im Jahr 2007 wurde nach längerer Zeit wieder eine Explorationsbohrung auf Kohlenwasserstoffe niedergebracht. Mit der Bohrung Römerberg 1 des Konsortiums GDF SUEZ, Palatina GeoCon wurde auf den spektakulären Fund von Erdöl in der als Geothermiebohrung abgeteuften GTB 1 im westlichen Stadtbereich

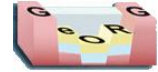




von Speyer reagiert. In einer Tiefe von 3100 m war im Buntsandstein ölimprägniertes Thermalwasser erschlossen worden. In den darauffolgenden Jahren wurde die Erkundung des jüngsten deutschen Erdölfundes weiter fortgesetzt. Mit den ölfündig gemeldeten Bohrungen Römerberg 1 - 3 konnte das ölführende Buntsandsteinreservoir weiter untersucht werden. Die Bohrung Römerberg 3 sollte neben der weiteren Ausdehnung des Feldes auch eine mögliche Ölführung im Muschelkalk abprüfen. Schon jetzt stellt sich das KW-Vorkommen in Speyer als bedeutendste Lagerstätte onshore dar. Im Jahre 2011 betrug die Öl- und Kondensatförderung in Speyer 140.980 t (in Landau nur noch 21.050 t) bzw. 1.026.327 m³ Erdölgasförderung (in Landau 541.525 m³ Erdölgas).

Die Produktion in Landau ist noch teilweise in Betrieb, allerdings bei zunehmender Verwässerung.





Kohlenwasserstoffgewinnung im Projektgebiet Production d'hydrocarbures dans l'emprise du projet

- Kohlenwasserstoffgewinnung
Production d'hydrocarbures
- Konzessionsfeld (bewilligt oder beantragt)
Permis d'exploration ou d'exploitation
- Inneres Modellgebiet
Extension du modèle interne
- Äußeres Modellgebiet
Extension du modèle externe

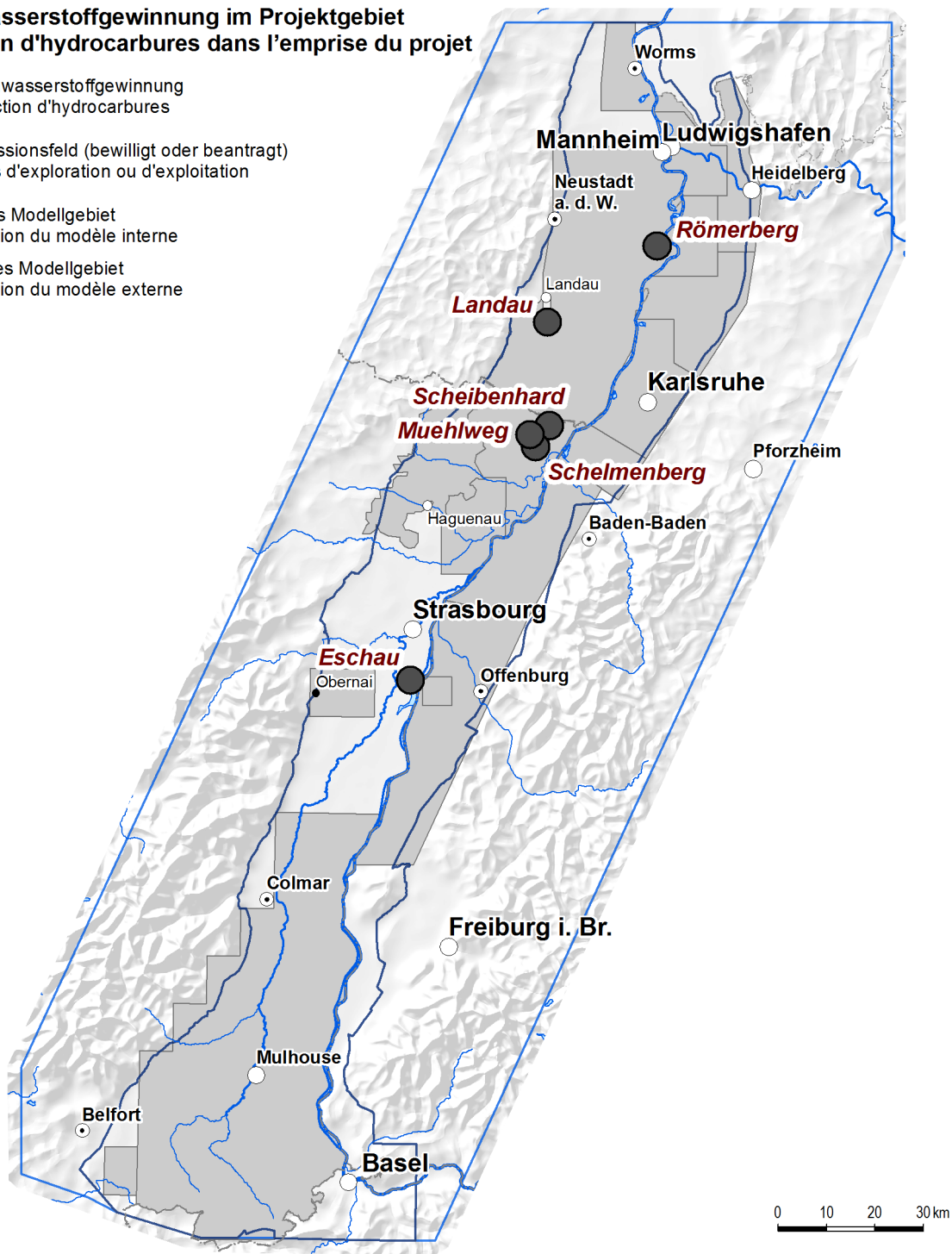


Abb. 2.4.9.3-01: Lage der produzierenden Erdöllagerstätten im Oberrheingraben sowie bewilligte oder beantragte Konzessionsfelder.

Literaturhinweise

Schad 1962, LBEG 2012



Das vorliegende Dokument ist Teil des „Fachlich-Technischen Abschlussberichts - Teil 2“ des INTERREG IV-Projekts „GeORG – Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“.

Der komplette Bericht (Teil 1-4) ist unter www.geopotenziale.eu zum Download bereit gestellt.

2.4.9.4 Bestehende Nutzungen von Thermalwässern und von Mineralwässern

Eingangsdaten

Literatur

Beschreibung

Allgemeine Beschreibung

Am Oberrheingrabenrand gibt es zahlreiche saline Mineralwasservorkommen, die seit altersher durch Quellen bekannt sind und für balneologische Anwendungen sowie zu Trinkwasserzwecken genutzt werden. Mit dieser Nutzung sind Namen wie Bad Dürkheim“, „Baden-Baden“ oder „Badenweiler“ eng verbunden.

Das Auftreten der Thermal-/ Mineralwässer ist durch den Einbruch des Oberrheingrabens entlang tieferreichender grabenparalleler Störungsflächen meist im Zusammenspiel mit einem Südwest-Nordost ausgerichteten Störungssystem bedingt. In den letzten Jahrzehnten kam eine verstärkte Nutzung von natürlichen Mineralwässern durch Tiefbohrungen hinzu.

Die im tieferen Untergrund des Oberrheingrabens vorhandenen Tiefenwässer sind mit zunehmender Tiefe generell höher temperiert und allgemein durch hohe Lösungsinhalte gekennzeichnet (vgl. Kap. 2.4.6). In der zentralen Grabenposition wurden z. B. bei Bad Krozingen im südlichen Oberrheingraben thermale Wässer angebohrt, die zu balneologischen Zwecken genutzt werden.

Im inneren Modellgebiet gibt es zahlreiche Mineralbrunnen, die auf Grund der geologischen Gegebenheiten und einer wasserrechtlichen Zulassung natürliches Mineralwasser gewinnen dürfen. Im hydrogeologischen Sinn werden als Mineralwässer solche Wässer bezeichnet, welche einen Mindestgehalt an gelösten Feststoffen von 1.000 mg/l bzw. 250 mg/l freies Kohlendioxid enthalten. Natürliche Mineralwässer im Sinne der Mineral- und Tafelwasserverordnung haben ihren Ursprung in einem unterirdischen, vor Verunreinigungen geschützten Wasservorkommen, dessen ursprüngliche Reinheit nicht anthropogen verändert ist. Sind auf Grund von balneologischen Indikationen die Eignung und Anwendbarkeit der Tiefenwässer für kurärztliche oder fachärztliche Behandlungen gegeben, so kann eine staatliche Anerkennung als Heilquelle erfolgen. Bei dauerhaft vorhandenen Temperaturen über 20°C handelt es sich um ein Thermalwasser.

Im Rahmen des Projektes wurden das Geopotenzial „Mineralwasser“ für die einzelnen Modelleinheiten (Kap. 2.2.1) aufgeführt, die Hydrochemie der Mineralwässer dargestellt (Kap. 2.4.6) sowie die bestehende aktive Nutzung von Wässern mit einem Lösungsinhalt von mehr als 1.000 mg/l in einer Kartendarstellung abgebildet (Abb. 2.4.9.4-01).

Standorte

Im GeORG-Projektgebiet wird Mineralwasser teilweise seit vielen Jahrhunderten im Bereich der Grabenränder für balneologische Anwendungen sowie zu Kurzwecken genutzt. In den letzten Jahrzehnten kam eine verstärkte Nutzung von natürlichen Mineralwässern durch Tiefbohrungen hinzu.

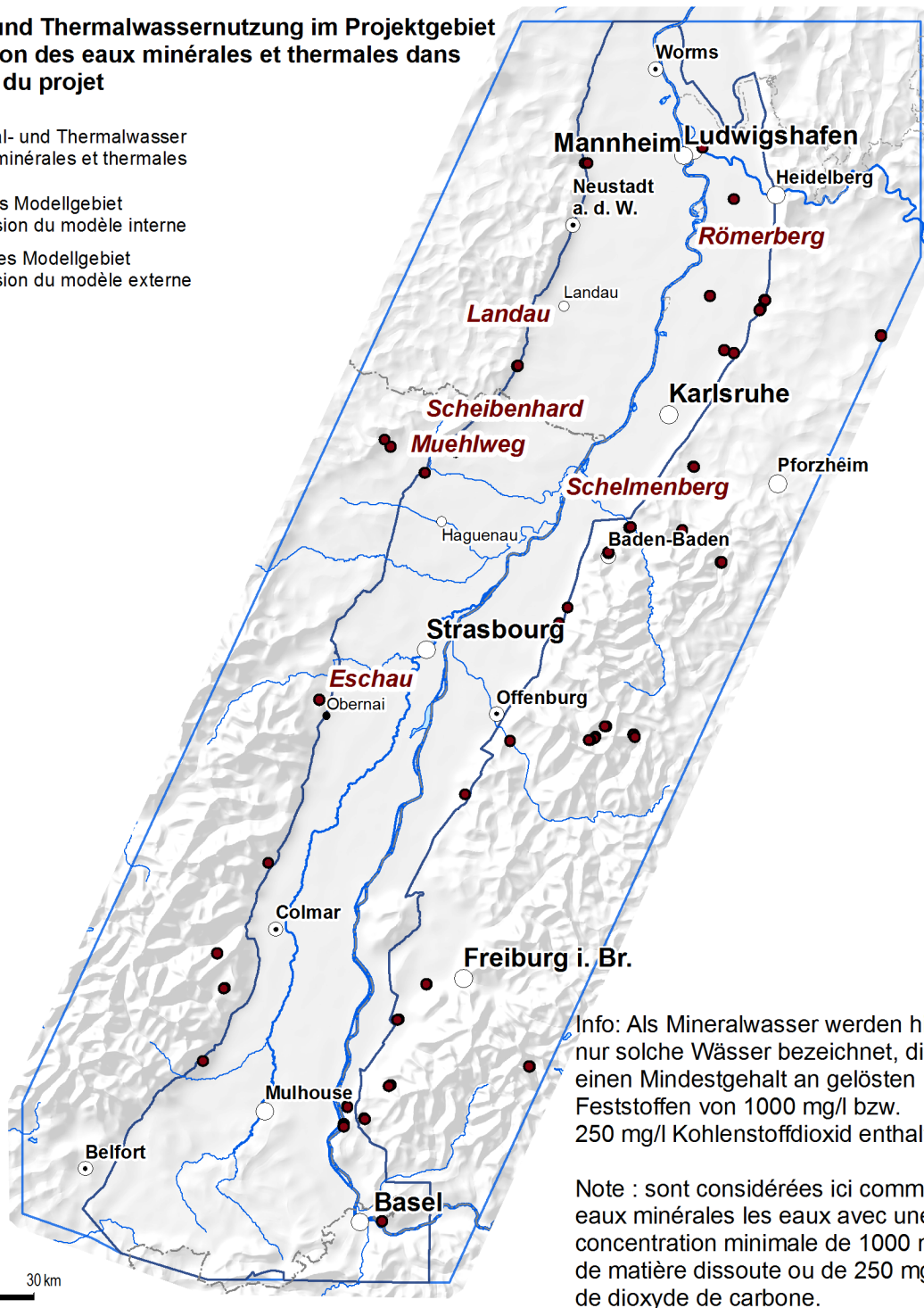
In Abb. 2.4.9.4-01 werden die genutzten Mineralwasserbrunnen dargestellt, die einen Mindestgehalt an gelösten Feststoffen von 1.000 mg/l bzw. von 250 mg/l freies Kohlendioxid enthalten. Eine Unterscheidung, ob sie eine Anerkennung als Heilwasser besitzen oder die Anforderungen der Mineral- und Tafelwasserverordnung erfüllen, wurde nicht gemacht. Thermalwässer sind nicht extra gekennzeichnet.





Mineral- und Thermalwassernutzung im Projektgebiet Exploitation des eaux minérales et thermales dans l'emprise du projet

- Mineral- und Thermalwasser
Eaux minérales et thermales
- Inneres Modellgebiet
Extension du modèle interne
- Äußeres Modellgebiet
Extension du modèle externe



Info: Als Mineralwasser werden hier nur solche Wässer bezeichnet, die einen Mindestgehalt an gelösten Feststoffen von 1000 mg/l bzw. 250 mg/l Kohlenstoffdioxid enthalten.

Note : sont considérées ici comme eaux minérales les eaux avec une concentration minimale de 1000 mg/l de matière dissoute ou de 250 mg/l de dioxyde de carbone.

Abb. 2.4.9.4-01: Mineral- und Thermalwassernutzung im Projektgebiet

Nutzbare Einheiten

Tiefenlage und Petrographie der durchflossenen Gesteine sowie die Verweilzeit der Grundwässer haben grundsätzlich Einfluss auf die Mineralisation der Grundwässer. In den überdeckten paläozoischen und mesozoischen Gesteinseinheiten ist generell von höheren Lösungsinhalten von mehr als 1000 mg/l auszugehen.





Folgende Modelleinheiten sind hinsichtlich Mineralwasservorkommen von besonderer Relevanz (vgl. auch LGRB 2002):

- Jüngeres Oberrheingraben-Tertiär 2
- Oberjura
- Mittlerer und Unterer Mitteljura
- Keuper
- Oberer Muschelkalk
- Buntsandstein
- Grundgebirge

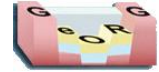
Literaturhinweise

LGRB 2002

Kapitelverweise

2.2.1, 2.4.6





2.5 Einsatz der 3D-Modelle als Expertenwerkzeug

Ziel: Aufzeigen der Möglichkeiten und Beschränkungen des Werkzeugs „geologisches 3D Modell“





2.5.1 Einsatz des 3D-Modells als Werkzeug – Fallbeispiele im Raum Basel

Kurzbeschreibung

Anhand von realen Fallbeispielen sollen die Einsatzmöglichkeiten des 3D Modells aufgezeigt werden.

Eingangsdaten

Teilmodell Schweiz, Baugrundarchiv Basel-Stadt, Bohrdatenbank (GeoDATA, Basel-Stadt und Basel-Landschaft)

Beschreibung

Ziel des Projektes war der Aufbau eines 3D geol. Modells zur Lösung von unterschiedlichen Fragestellungen des Untergrundes betreffend, z.B. aus den Bereichen Hydrogeologie, Geothermie und insbesondere 3D Raumnutzung des Untergrundes. Ein solches Werkzeug muss dynamisch anpassbar sein. Dies bedingt eine große Flexibilität sowohl im Datenmanagement als auch in der 3D-Modellierung. Veränderungen der Datenlage, des Modellinhalts oder -größe müssen jederzeit eingearbeitet werden können. Neben der prinzipiellen Beschreibung des umgesetzten Konzeptes und der Arbeitsweise des „Werkzeugs“, werden anhand realer Fallbeispiele exemplarisch die Einsatzmöglichkeiten des 3D Modells als Werkzeug beschrieben.

Als Fallbeispiele werden die Planungen zu Autobahntunnel im Kanton Basel-Stadt beschrieben, sowie der Einsatz des Werkzeugs bei der Erstellung der Erdwärmenutzungskarte (EWNK) Basel-Landschaft.

Kapitel 2.5.1.1: Prinzipielles Konzept und Vorgehen zum Einsatz des „Werkzeugs“ geologisches 3D-Modell

Kapitel 2.5.1.2: Fallbeispiel: Autobahntunnel – „Anschluß Margarethenstrasse“ – „Anschluß St. Jakobsstrasse West“ (A2-Abschnitt 7) und Osttangente

Kapitel 2.5.1.3: Fallbeispiel: Erdwärmenutzungskarte (EWNK) Basel-Landschaft

Kapitel 2.5.1.4: Beurteilung und Ausblick





2.5.1.1 Prinzipielles Konzept und Vorgehen zum Einsatz des „Werkzeugs“ geologisches 3D-Modell

Konzept

Der Kern des Werkzeuges ist die geologische 3D Modellierung des GeORG-Projektraums.

Die Herausforderung für die Entwicklung eines 3D Planungswerkzeuges war es Datensätze und Formate aus unterschiedlichen Fachgebieten und zu unterschiedlichen Fragestellungen wie beispielsweise Raumplanung, Hydrologie und Geologie zusammen zu führen.

Um das geologische 3D Modell für spezifische Fragestellungen effektiv nutzen zu können, wurde für das GeORG Teilmodell Schweiz ein Konzept entwickelt, welches Datenbank (Bohrungen und technische Berichte), Geoinformationssystem (GIS) und 3D-Modellierung kombiniert (Abb. 2.5.1.1-01).

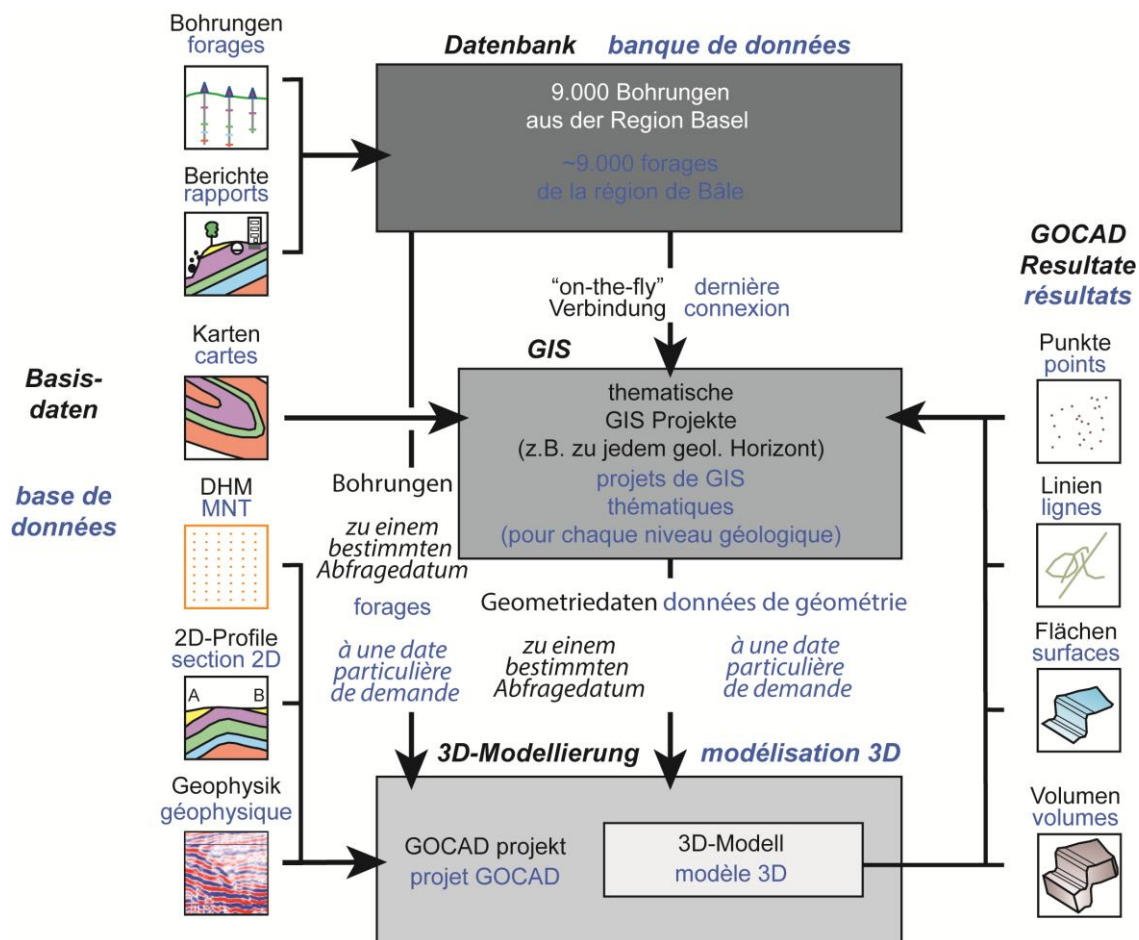


Abb. 2.5.1.1-01: Datenmanagement

Durch die Kombination von Datenbank, GIS und 3D-Modellierung wurde ein Werkzeug zur spezifischen Ansprache von Fragestellungen im 3-dimensionalen Untergrund geschaffen.

Datenbank

Schon Ende der 1980iger Jahre hatte man in Basel die Notwendigkeit einer Bohrdatenerfassung erkannt und für das Baugrundarchiv des Kantons Basel-Stadt, sowie für Bohrungen aus Basel-Landschaft eine Datenbank entwickelt. Diese Datenbank wurde kontinuierlich weiterentwickelt und auf die regionalen Fragestellungen und Bedürfnisse ausgerichtet.

In der Datenbank (GeoDATA) werden geologische- hydrogeologische Informationen aus den Kantonen Basel Stadt und Basel-Landschaft abgelegt. In erster Linie handelt es sich um Informationen aus Bohrungen und



Metadaten zu technischen Berichten und Gutachten.

Folgende Metadaten werden zu technischen Berichten und Gutachten abgelegt:

- Archivnummer
- Titel des Berichts
- Verfasser und Auftraggeber
- Beteiligte Stellen
- Datum des Berichts
- Zusammenfassung
- Beilagenverzeichnis

Folgende Informationen aus Bohrungen werden digital gespeichert:

- Stammdaten der Bohrung
- Geologische Daten (Schichtverzeichnis, Klassifikationen)
- Bohrverfahren / Bohrdurchmesser
- Einbauten / Meßsysteme
- Grundwasserstände (Einzelmessungen)
- Geotechnische / Hydrogeologische Parameter (SPT, RQD, KF-Werte)

Die Datenbank verfügt über speziell programmierte Exportmöglichkeiten, um beispielsweise die geologische Abfolge einer Bohrung für die 3D-Modellierung bereitzustellen. Auch bestehen Anbindungen zu den GIS-Anwendungen. Dies erspart umständliche Formatanpassungen und verhindert Fehler und Datenverlust.

GIS

Zu jedem Modellhorizont, in der Regel die Basis bzw. das Top einer geologischen Einheit, wurde ein eigenes thematisches GIS-Projekt aufgebaut. In ihm werden alle Eingangsdatensätze und nach Abschluß eines Modellierungsschrittes auch die resultierende Horizontgeometrie verwaltet. In der GIS-Software werden beispielsweise Georeferenzierung von Basisdaten oder Formatanpassungen durchgeführt. Über standardisierte Formate (z.B. shape-files) findet ein Austausch von Daten mit der Modellierungssoftware statt. Tagesaktuell können, durch eine speziell programmierte Routine, neue Daten (z.B. Bohrinformationen) aus der Datenbank in die GIS-Projekte eingebunden werden und stehen so für weitere Betrachtungen und Analysen zur Verfügung.

3D-Modellierung

Das 3D Modell wird mittels des Programms GOCAD (Geological Objects Computer Aided Design) erstellt. Ergebnis einer geologischen 3D Modellierung sind in der Regel geometrische Objekte (Flächen, Linien, Punkte), welche beispielsweise geologische Horizonte bzw. Störungen charakterisieren. Diese Objekte können nun als Ergebnisgeometrie in die jeweiligen GIS-Projekte überführt werden.

Die Modellierungssoftware GOCAD ist in der Lage jeglichen realen oder auch abstrakten geometrischen Körper entsprechend der Datenlage zu modellieren. So ist es möglich auch Tunnelröhren, Leitungstrassen, Kellergeschosse von Häusern, Grundwasserhorizonte oder auch thermische Grenzflächen und ähnliches als 3D Objekte zu charakterisieren. Dies bietet der Entwicklung von Modellen und dem Zusammenführen von verschiedenen Datensätzen eine große Flexibilität.

Vorgehen beim Einsatz des Werkzeugs

Der Ablauf zur Verwendung und Anpassung des Werkzeugs richtet sich nach der Fragestellung und der geographischen Position des Arbeitsgebiets. Der erste Schritt ist die eindeutige Definition des Arbeitsgebiets (Länge, Breite, Tiefe).

Liegt das Arbeitsgebiet teilweise oder ganz außerhalb des bestehenden 3D Modells, muß zuerst das Modell in diesem Bereich neu aufgebaut werden. Hierzu sind alle Maßnahmen notwendig die bei der Erstellung des bestehenden Modells (GeORG) durchgeführt wurden.





Schritt 1: Eingangsdaten Vorbereiten

- Datenakquisition (u.a. Bohrungen, Reflexionsseismik, geol. Karten, Qualitätskontrolle)
- Neue Daten mit den bestehenden Modelldaten harmonisieren
- Gegebenenfalls interpretieren (z.B. Reflexionsseismik)
- Neue Daten in das Datenmanagement überführen (evtl. Datenformate anpassen)

Schritt 2: Interpretation und 3D-Modellierung (incl. Anbindung an die bestehenden Modellgeometrien)

Schritt 3: Transfer der Ergebnisse in die thematischen GIS Projekte

Liegt das Arbeitsgebiet innerhalb des bestehenden 3D Modells, beginnt der eigentliche „workflow“ zur Bearbeitung des jeweiligen Projektes mit dem Extrahieren eines lokalen Arbeitsmodells aus dem Gesamtmodell.

In ihm können je nach Fragestellung und Bedarf:

- bestehenden Objektgeometrien aktualisiert werden
- neue Datensätze zugefügt werden
- aus den Datensätze neue geometrische Objekte abgeleitet werden

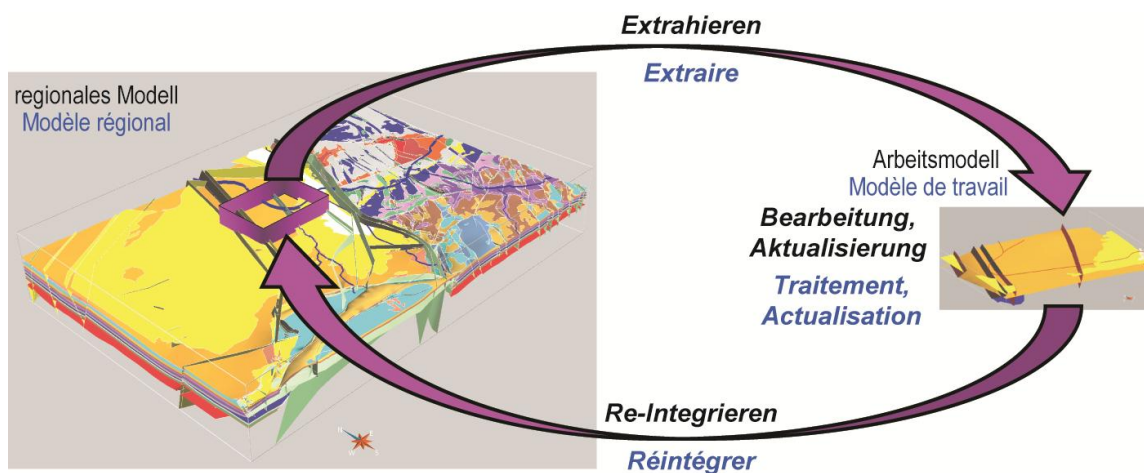


Abb. 2.5.1.1-02: Workflow Projektbearbeitung

Im Anschluss zur reinen geometrischen Bearbeitung, können dann Analysen durchgeführt werden. Dies ist sowohl innerhalb der Modellierungssoftware als auch nach der Überführung der Ergebnisse in die GIS-Projekte innerhalb der GIS-Software möglich.

Für tieferegehende komplexe numerische Betrachtungen, können aus einem 3D Arbeitsmodell die geometrischen Randbedingungen (z.B. die Raumlage von geologischen Horizonten) exportiert werden und stehen somit in anderen Software Applikationen zur Verfügung.

Solche numerische Detailbetrachtungen auf Basis des geologischen Modells fanden im Raum Basel zum Beispiel im Zusammenhang mit Grundwassermodellen (Spotcke et al. 2005, Auckenthaler et al. 2011, Zechner et al. 2011), Erdbeben-Mikrozonierung (Huggenberger et al. 2006) oder einer kombinierten thermischen-Grundwassermodellierung statt (Epting und Huggenberger submitted A & B).

Die Arbeitsschritte Export und Import von Ergebnisdaten und neu extern bearbeiteten Daten können sich innerhalb eines iterativen Ablaufs wiederholen.

Zur Visualisierung der Ergebnisse stehen neben den, in der Hauptsache auf 2D-Darstellungen beschränkten, Möglichkeiten der GIS-Software, auch die verschiedenen Hilfswerkzeuge und Exportfunktionen der 3D-Modellierungssoftware zur Verfügung. Insbesondere die Möglichkeit der Darstellung von perspektivischen Ansichten, Anschnitten des 3D-Raums und der Erstellung von beliebigen 2D-Profileschnitten eröffnet neue Einblicke in Komplexe Strukturen und Zusammenhänge. Zusätzlich kann das Modell Parametrisiert werden und steht somit auch weiteren Analysen und Ansichten offen.





Ist die Bearbeitung der eigentlichen Fragestellung abgeschlossen wird das lokale Arbeitsmodell wieder in das Gesamtmodell integriert (Abb. 2.5.1.1-02). Auf diese Weise kann das Gesamtmodell Projekt für Projekt aktualisiert und ausgebaut werden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine nachhaltige Weiterentwicklung und Modellpflege die Zeit und Kosten spart.

Für den komplizierten und aufwendigen Extraktions- und Re-integrationsprozeß des Arbeitsmodells wurde ein standardisierter Arbeitsablauf entworfen und auf die Gegebenheiten und Möglichkeiten der Modellierungssoftware GOCAD abgestimmt (Abb. 2.5.1.1-03).



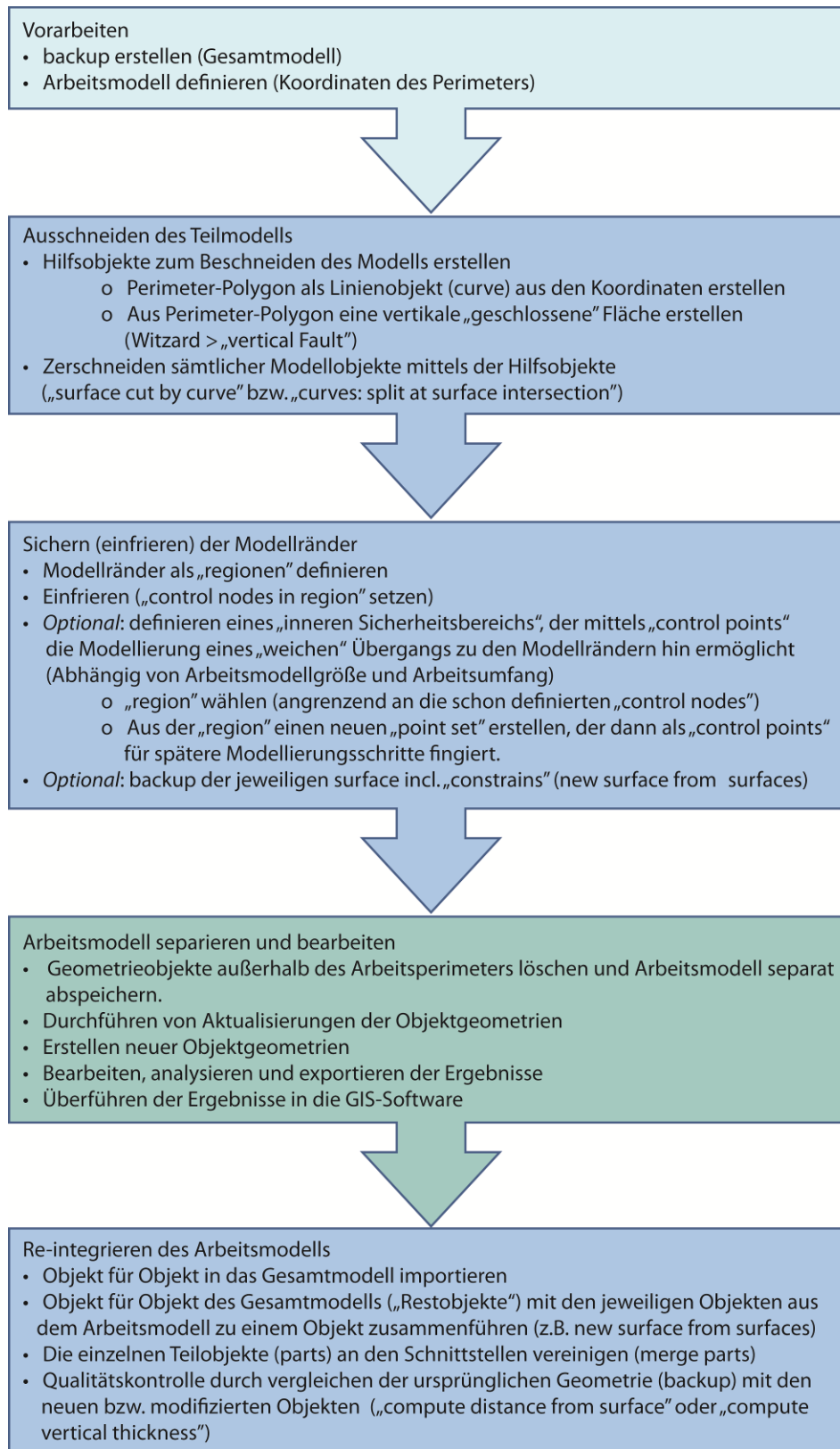


Abb. 2.5.1.1-03: Workflow Extrahierung und Re-Integration eines lokalen Arbeitsmodells

Literaturhinweise

Auckenthaler et al. 2011, Epting et al., Huggenberger et al., Spottke et al. 2005, Zechner et al. 2011





2.5.1.2 Fallbeispiel: Autobahntunnel – „Anschluß Margarethenstrasse“ – „Anschluß St. Jakobsstrasse West“ (A2-Abschnitt7) und Osttangente

Eingangsdaten

Teilmodell Schweiz, Baugrundarchiv Basel-Stadt

Fallbeispiel

Noch während des Modellaufbaus im Rahmen des GeORG-Projektes erteilte das Tiefbauamt Basel-Stadt wiederholt der AUG-Basel den Auftrag zur geologischen und geotechnischen Vorabklärungen im Zusammenhang mit Tunnelbauprojekten. So konnte das Werkzeug 3D-Modell noch während seiner Entwicklung an die Belange der Auftraggeber angepaßt werden.

Ziel der Studien war die Zusammenstellung von Grundlagen für (1) eine weitergehende Beurteilung des Baugrunds, (2) Formulierungen von Gefährdungsbildern und (3) Verfeinerungen des geologischen 3D-Modells, als Basis für allfällige Abklärungen von zukünftigen Variantenstudien, alternativen Projekttrassenführungen und die Erarbeitung von Baugrundmodellen.

Fragestellung für die Vorabklärungen entlang einer Tunneltrasse:

- Zusammenstellung des Kenntnisstandes zur geologischen, hydrologischen und geotechnischen Situation
- Identifikation von Datenlücken und Darstellungen von Unsicherheiten
- Formulierung und Beurteilung von möglichen Gefährdungsbildern
- Darstellung Gefährdungs- bzw. Nutzungskonfliktpotential von beispielsweise oberflächennahen Geothermiebohrungen

Eingangsdaten

Das Tiefbauamt stellte die zu untersuchenden Trassenführungen in ihrer Raumlage als Vektorgrafik (.dxf) oder in Tabellenform (x-, y-, z-Koordinaten) und die Dimensionen des Tunnels (Durchmesser) zur Verfügung (Abb. 2.5.1.2-01). Weitere Hilfsmittel waren das Baugrundarchiv (BGA) Basel und das Werkzeug „3D-Modell der Region Basel“



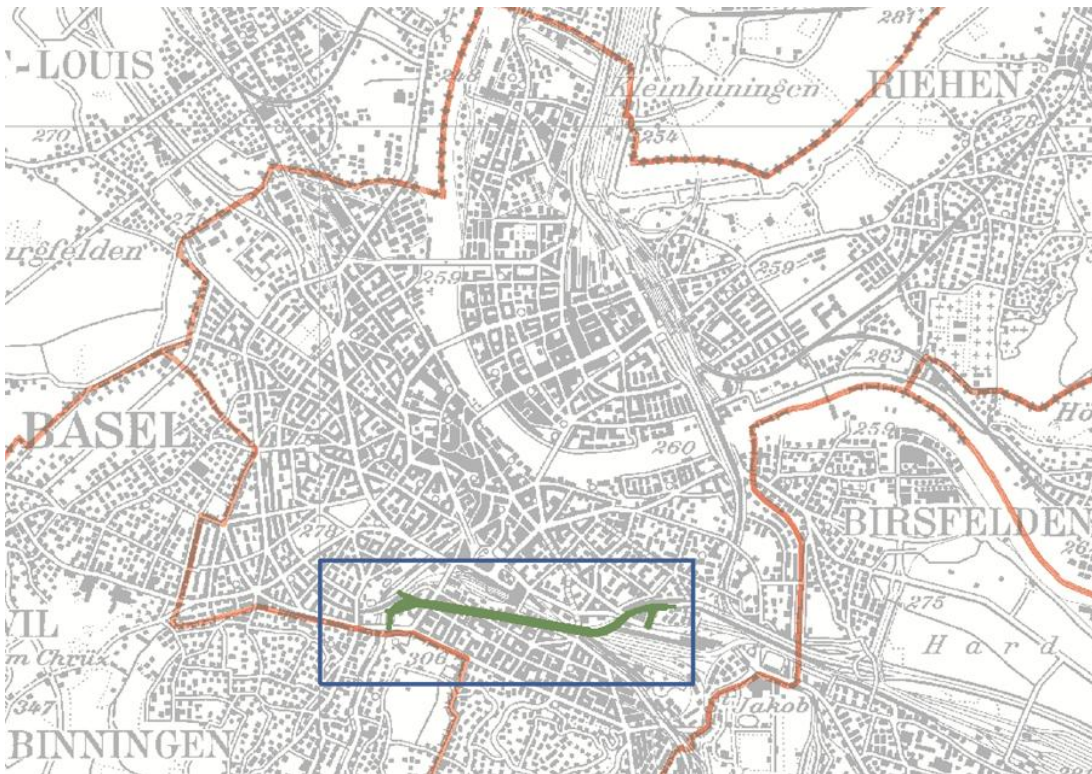


Abb. 2.5.1.2-01: Lageplan Tunneltrasse „Anschluß Margarethenstrasse“ – „Anschluß St. Jakobsstrasse West“ (grün, A2-Abschnitt7). Der Tunnelbau soll auf einer Strecke von ca. 1500 m bergmännisch im Untertagebau und auf einer Strecke von 400 m in Deckelbauweise realisiert werden. Perimeter lokales Arbeitsmodell (blau).

Bearbeitung und Ergebnisse

Die Bearbeitung umfasst 2 Schwerpunkte.

1. Die Erfassung der existierenden geotechnischen und hydrogeologischen Parameter
2. Darstellung der zu erwartenden Untergrundverhältnisse entlang des Verlaufs der unterschiedlichen Tunneltrassenvariante im geologische 3D-Modell

Dazu wird aus dem regionalen Teilmodell Schweiz ein lokales Arbeitsmodell extrahiert (Abb. 2.5.1.1-02, Vorgehen siehe Kap. 2.5.1.1) und zusätzliche neue Datensätze wie der Verlauf der Tunneltrassenvariante, dem Grundwasserspiegel oder auch Gebäude integriert.



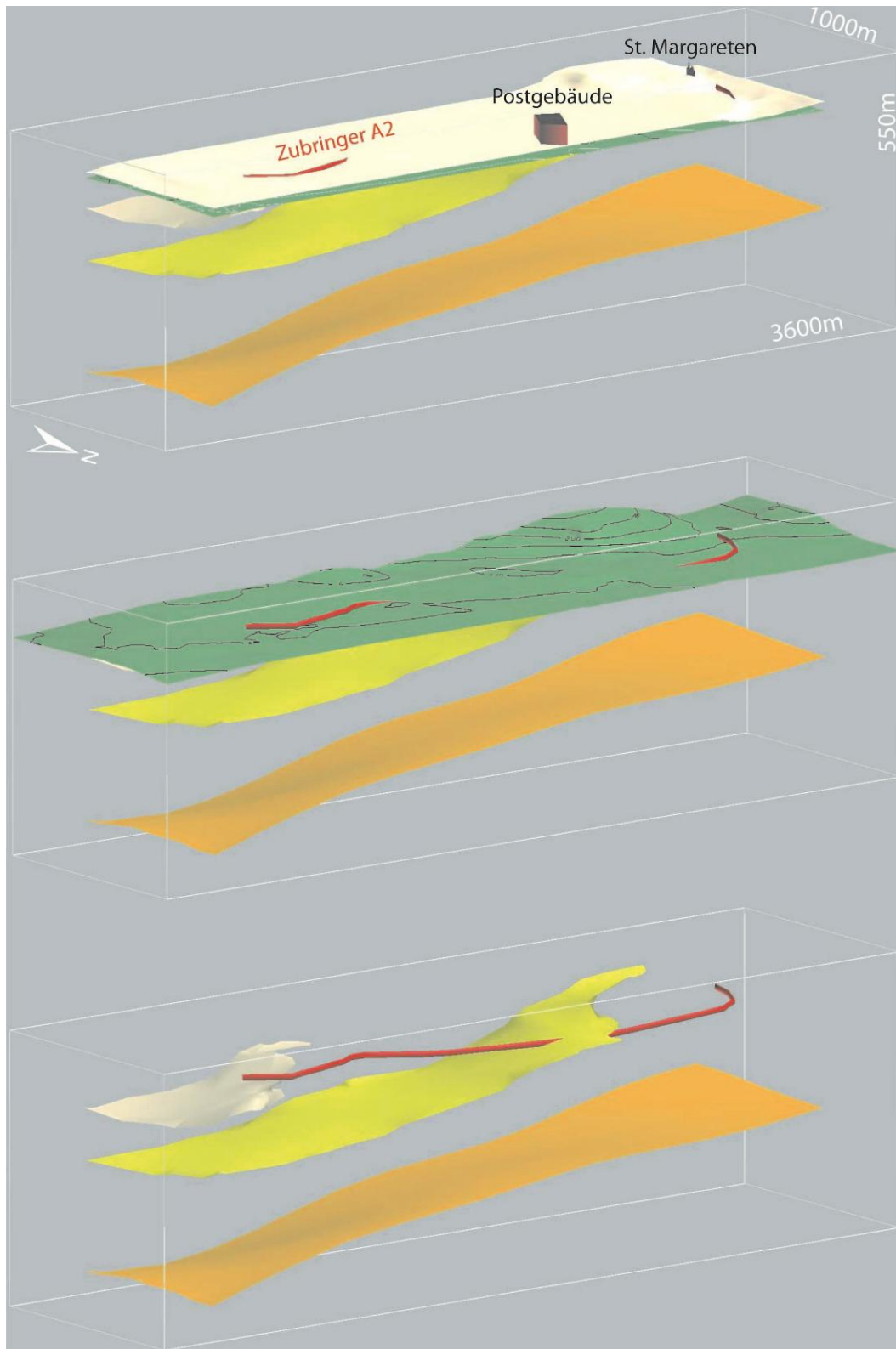
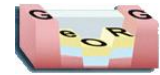


Abb. 2.5.1.2-02: 3D-Visualisierung (Blick aus Nordosten) der Trassenführung (rot) im lokalen Arbeitsmodell; Topographie (weiß); Felsoberfläche (grün), Tüllinger Schichten (cremeweiß), Elsässer Molasse (gelb), Meletta-Schichten (orange); 2-fach überhöht. Oben: Gesamtmodell; Mitte: abgedeckte Topographie; Unten: abgedeckte Felsoberfläche.



Neben perspektivischen Ansichten (Abb. 2.5.1.2-02) war die Erstellung von geologischen 2D-Profileschnitten entlang oder quer zur projektierten Trassenführungen notwendig. In diesen Darstellungen wurde zudem die gesättigten Grundwasserzone dargestellt (Abb. 2.5.1.2-03 und 2.5.1.2-04).

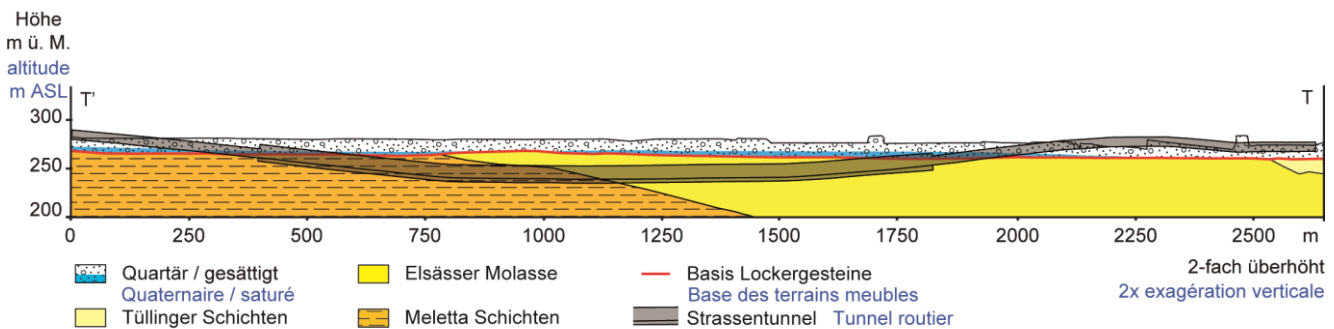


Abb. 2.5.1.2-0:3 Tunnellängsprofil (2-fach überhöht)

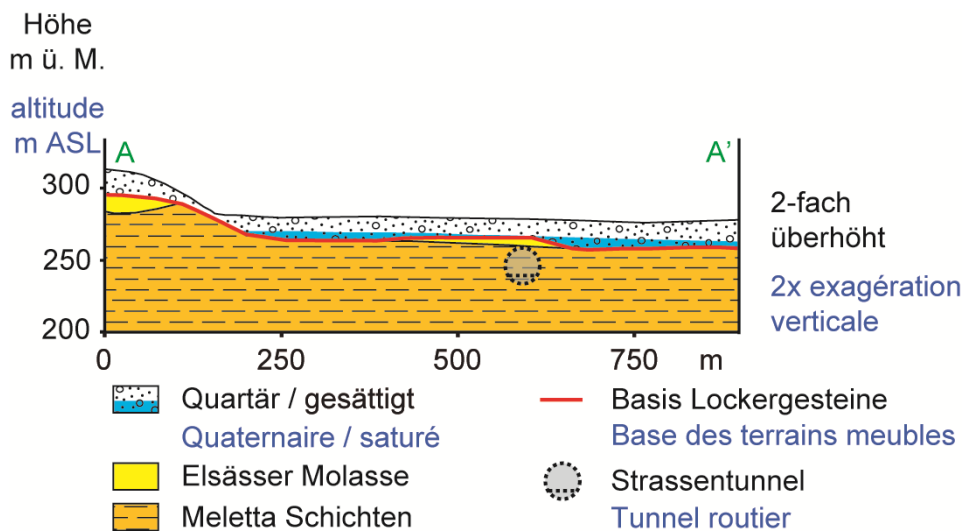


Abb. 2.5.1.2-04: Tunnelquerprofil (2-fach überhöht, für Position siehe Längsprofil)

Die enge Vernetzung mit der Datenbank (GeoDATA) und weiteren Datensätzen z.B. bestehende Grundwassernutzer, Erdwärmesonden oder potentiellen Altlastenstandorten erlauben potentielle Nutzungskonflikte früh zu erkennen und in die Planungen mit einzubeziehen.

Die Visualisierung ist, sowohl via GIS in 2D Kartendarstellungen (Abb. 2.5.1.2-05), als auch in perspektivischen Einblicken mittels dem 3D-Modell möglich (Abb. 2.5.1.2-06).



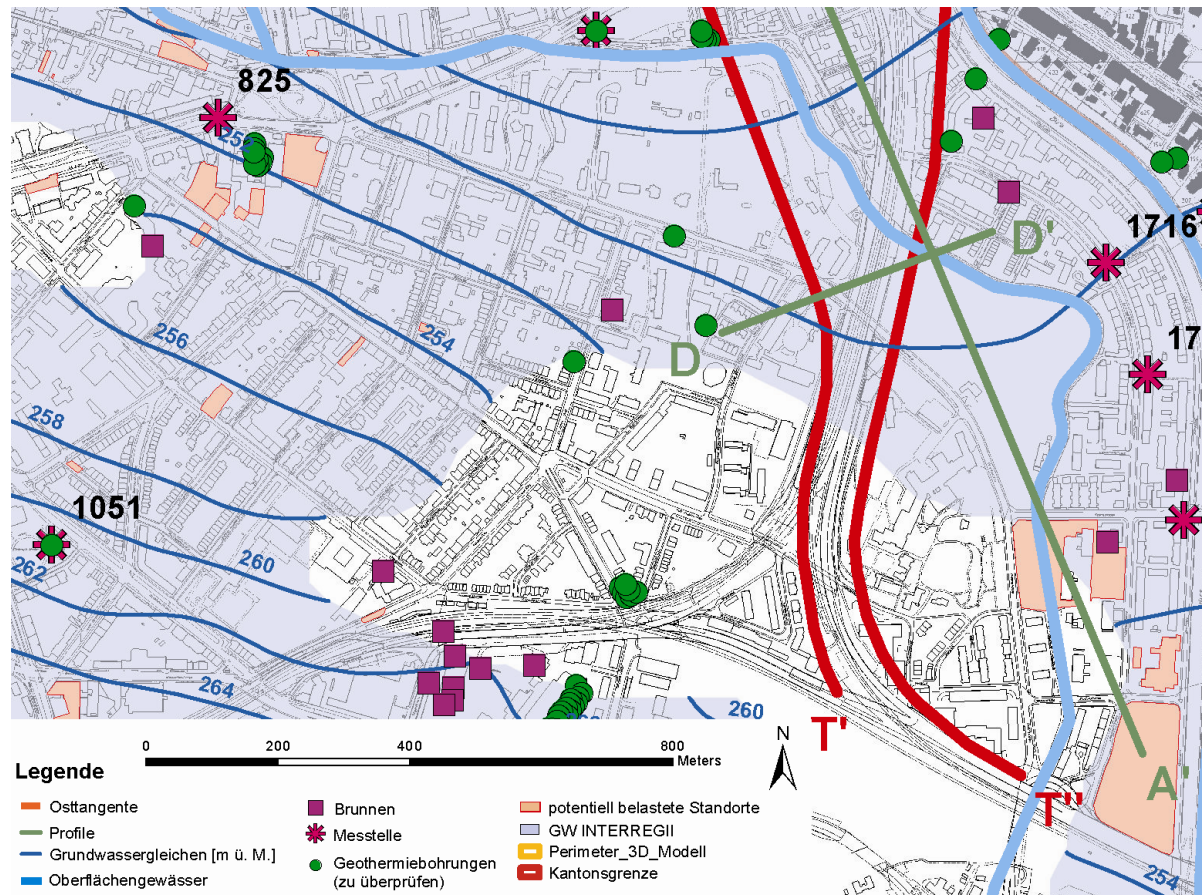


Abb. 2.5.1.2-05: Kartendarstellung verschiedene Nutzer, südlicher Abschnitt Planungsvariante der „Osttangente“ (westliche und östliche Tunnelröhre, rot), Brunnen (pinke Quadrate), Geothermische Nutzung (grüne Kreise), Grundwassermeßstellen (pinke Sterne), potentielle Altlastenstandorte (rosa). Grundwassergleichen (blau)

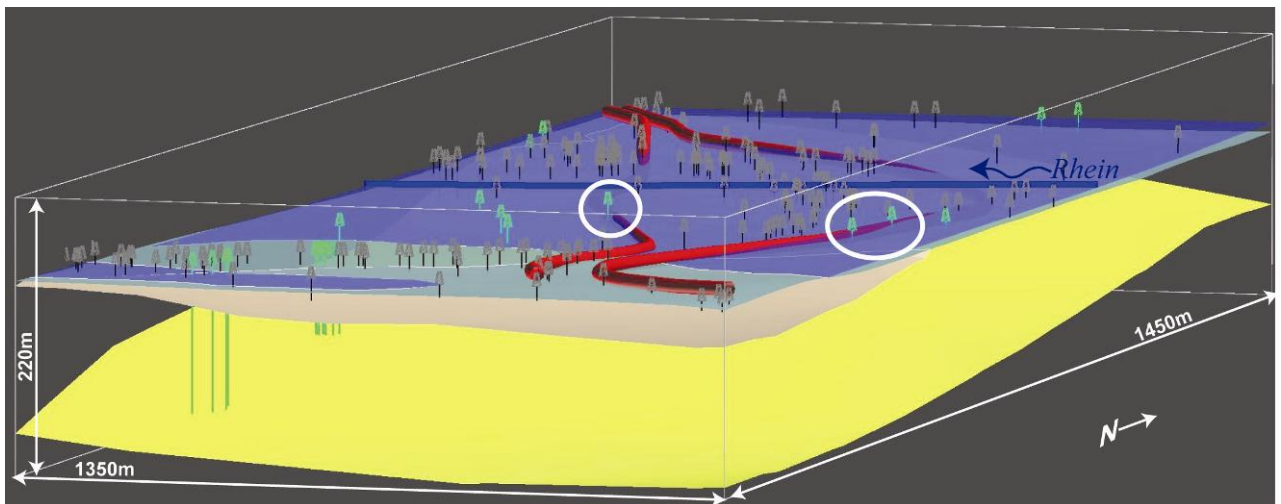


Abb. 2.5.1.3-06: perspektivische Ansicht verschiedene Nutzer, südlicher Abschnitt Planungsvariante der „Osttangente“ (westliche und östliche Tunnelröhre, rot), Geothermische Nutzung (grüne bzw. weiße Kreise), Grundwasseroberfläche (blau transparent), Felsoberfläche (grün), geologische Horizonte (Basis Tüllinger Schichten (beige), Basis Elsässer Molasse (orange))



Nach der Zusammenstellung des aktuellen Kenntnisstandes in Bezug auf einzelne Datensätze bzw. Themengebiet, können die verschiedenen Eingangsfragestellungen nun, bezogen auf Ihre Raumlage und einer eventuellen Interaktion mit weiteren Datensätzen, gemeinsam analysiert und beurteilt werden. Bezogen auf geometrische Fragestellungen, z.B. zur Entfernung der Trassenvariante zu bestehenden Untergrundnutzungen ist dies dann eine einfache Kalkulation.

Güteabschätzung

Die Genauigkeit des 3D Modells ist von der Güte und der räumlichen Verteilung der Eingangsdaten abhängig. Die Eingangsdaten beeinflussen somit auch direkt die Güte der in der Auftragsstellung geforderten Dokumentation der Verhältnisse im Untergrund. Durch die räumliche Betrachtung im 3D Modell kann nun sehr genau auf Bereiche mit unzureichenden Daten, insbesondere in der Tiefe, hingewiesen werden. Datenlücken und unzureichende Kenntnisse von dynamischen Prozessen im Untergrund bergen Risiken. Durch ihr frühzeitiges Erkennen und das Einleiten von gezielten Erkundungsmaßnahmen können Risiken minimiert werden.

Neben der Kenntlichmachung von Bereichen mit wenig Daten in den verschiedenen Ansichten (2D Karten und Profilen, 3D Ansichten), kann auch die Abweichung der modellierten geometrischen Objekte von den Eingangsdaten aufgezeigt werden, dies ergibt eine direkte Fehlerabschätzung im Nahbereich der Eingangsdaten. Zusätzlich kann eine Abweichung zu neuen Daten, welche nach der geometrischen Modellierung, beispielsweise in späteren Projektphasen erhobene wurden, kalkuliert und dargestellt werden. Dem Bearbeiter steht somit ein Werkzeug zur Verfügung, das ihm hilft (a) die Güte der geologischen Modellierung und (b) die Güte von neuen Bohrdaten zu beurteilen, abzuwägen und gegebenenfalls bei Unstimmigkeiten auch Nachfragen beim Datenurheber zu stellen (siehe auch Kap. 3.5.9).

Die Berichterstattung für das Tiefbauamt Basel-Stadt stellt, durch eine detaillierte Dokumentation mit zahlreichen Beilagen eine sehr gute Grundlage für weitere Planungsschritte dar.

Im Zusammenhang mit Tunnelprojekten wurden seit 2008 folgende Berichte im Auftrag des Tiefbauamtes Basel unter Zuhilfenahme des Werkzeugs 3D-Modell der Region Basel abgeschlossen:

Baugrundarchiv (BGA) Basel Bericht Nr.: 117, 122, 124b, 125, 130

Literaturhinweise

BGA 117 2008, BGA 122 2008, BGA 124b 2010, BGA 125 2010, BGA 130 2011



2.5.1.3 Erdwärmennutzungskarte (EWNK) Basel-Landschaft

Eingangsdaten

Teilmodell Schweiz, und zusätzliche Horizonte (Top Gipskeuper, Topo-200m)

Fallbeispiel

Ziel ist es eine Karte zu erstellen, welche via WEBGIS-server (geoview.bl.ch) im Internet, potentiellen Interessenten die Möglichkeit gibt, einen Überblick zu bekommen, ob an dem gewünschten Standort eine Erdwärmesonde (EWS) bis in eine Tiefe von 200m möglich ist bzw. welche Faktoren ein Nutzungspotential einschränken und welche Auflagen evtl. zu erfüllen sind.

Für den Kanton Basel-Landschaft entwickelte die Angewandte und Umweltgeologie (AUG) der Universität Basel mit dem „Wärmennutzungskonzept BL“ (Butscher et al. 2011) einen Leitfaden für die Bewilligungspraxis von EWS-Anlagen. Wichtiger Bestandteil des Konzeptes ist die Beurteilung potentieller hydro-geologischer Risiken während der Installation und des Betriebs einer EWS. Hierzu sind detaillierte Informationen über den geologischen Aufbau am jeweiligen Standort unumgänglich.

Um diese geologischen Informationen zu bekommen, sind geologische 3D-Modelle die optimale Grundlage. Sie können quantifizieren in welcher Tiefe eine geologische Einheit, Aquifere oder Störungszonen zu finden sind bzw. wie groß die Unsicherheit bezüglich der Raumlage in der Tiefe ist.

Das Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft erarbeitet unter Mitwirkung der AUG aktuell die Erdwärmennutzungskarte (EWNK) für den gesamten Kanton Basel-Landschaft.

Um eine gute Einschätzung zu möglichen Standorten für EWS-Anlagen zu bekommen, fließen neben allen relevanten raumplanerischen Faktoren, die Informationen des geologischen 3D-Modells (u.a. GeORG-Modell) direkt in die Erstellung der Erdwärmennutzungskarte ein.

Für die Kartendarstellung wird eine Unterteilung in 4 Standortkategorien entwickelt (Abb.: 2.5.1.3-01).

- Kategorie A: Eine Installation ist nicht erlaubt
- Kategorie B: Eine Installation ist nur unter Berücksichtigung spezieller Auflagen erlaubt.
- Kategorie BC: Eine Installation ist unter Berücksichtigung von Standardauflagen bis in eine definierte Tiefe erlaubt, darunter nur mit zusätzlichen Auflagen.
- Kategorie C: Eine Installation ist unter Berücksichtigung von Standardauflagen erlaubt.

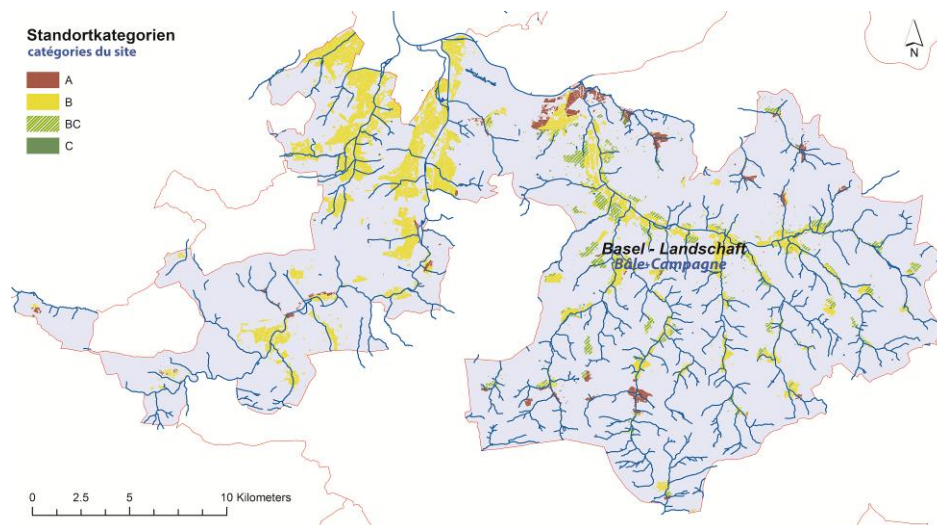


Abb. 2.5.1.3-01: Erdwärmennutzungskarte Basel-Landschaft



Aus dem geologischen 3D Modell wurden für die Kategorisierung verschiedene Horizonte extrahiert und flossen via GIS-Software in die Erstellung der EWNK-BL ein.

- Geologische Horizonte denen der Fall A zugewiesen wird z.B. Gipskeuper, St.Ursanne Fm., Trigodonodusdolomit (Später Muschelkalk), Hauptmuschelkalk (Später Muschelkalk), Anhydritgruppe (Mittlerer Muschelkalk)
- Tiefenbasis für die Beurteilung in 200m unter der Topographie
- Die Maximale Bohrtiefe (auf Basis des geologischen Aufbaus)
- Raumlage von Störungszonen

Untenstehende Abbildung 2.5.1.3-02 zeigt exemplarisch wie das geologische 3D-Modell als Grundlage die EWNK-BL unterlagert.

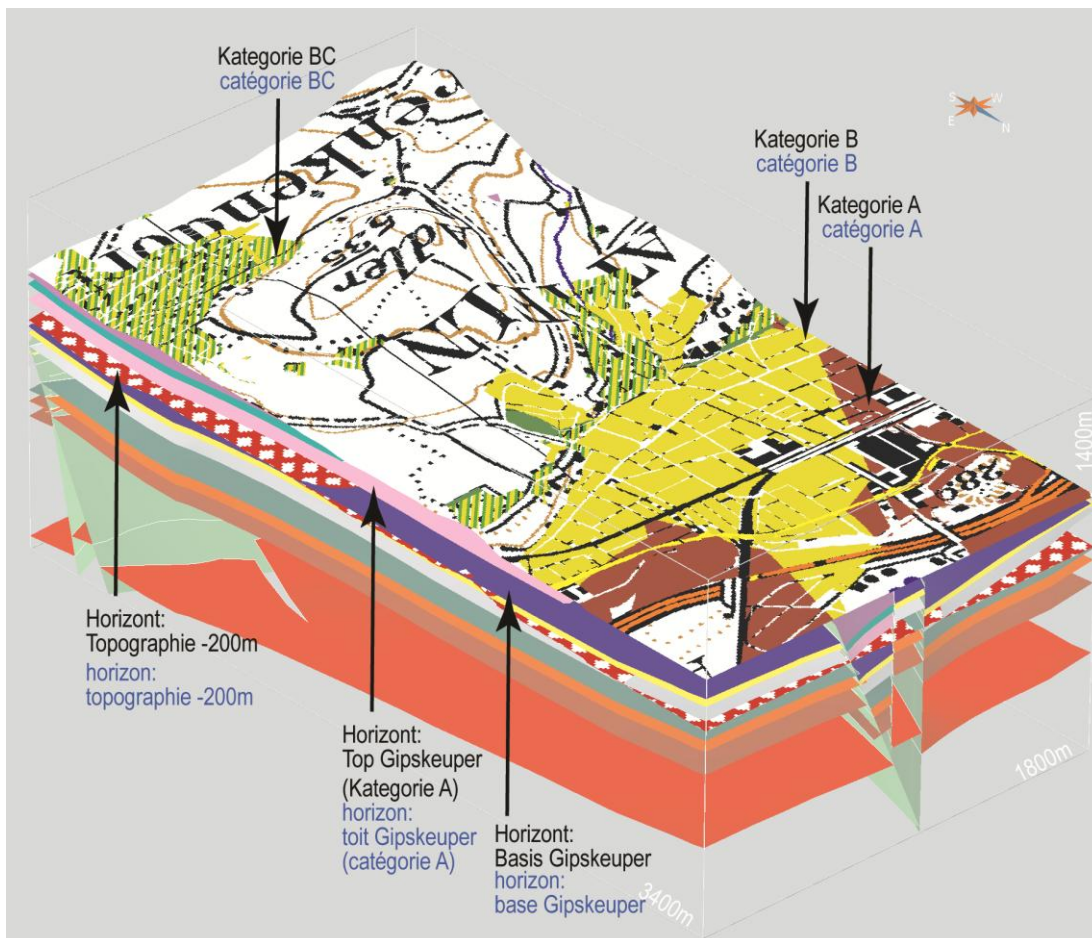


Abb. 2.5.1.3-02: Geologisches 3D Modell als eine der Grundlagen für die Erdwärmenutzungskarte Basel-Landschaft (Ausschnitt, Erdwärmenutzungskarte auf die Topographie projiziert)

Anfang 2013 wird der WEBGIS-server geoview.bl.ch freigeschaltet und steht somit der Öffentlichkeit zur Verfügung.

Literaturhinweise

Butscher et al. 2011



Das vorliegende Dokument ist Teil des „Fachlich-Technischen Abschlussberichts - Teil 2“ des INTERREG IV-Projekts „GeORG – Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben“.

Der komplette Bericht (Teil 1-4) ist unter www.geopotenziale.eu zum Download bereit gestellt.



2.5.1.4 Beurteilung und Ausblick

Beurteilung

Es hat sich gezeigt, dass die Koppelung eines geologischen 3D Modells mit der Bohrinformations-Datenbank und Geoinformationssystem ein flexibles Werkzeug bietet, um schnell und spezifisch auf Fragestellungen der 3D-Raumplanung eingehen zu können.

Die Fähigkeit interdisziplinär Datensätze und somit auch Problemkreise räumlich in Beziehung zu setzen, eröffnet Möglichkeiten die über die eines reinen statischen geologischen Modells hinausgehen.

Es wird ein dynamisches Untergrundmodell bereitgestellt, das in der Lage ist interdisziplinäre Datensätze aufzunehmen, sie zu analysieren bzw. für tiefgehende Analysen zur Verfügung zu stellen, daraus neue Datensätze zu generieren und flexibel zu visualisieren.

Auf diese Weise erhält es den Charakter eines 3D-Planungswerkzeugs und bietet eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die nachhaltige Planung im Untergrund, fördert das Prozeßverständnis und dient der Früherkennung von Nutzungskonflikten im Untergrund.

Ausblick

Die wichtigsten Punkte zu einer weiteren Optimierung des Werkzeugs Untergrundmodell sind:

- Ausbau der technischen Möglichkeiten in Bezug auf Datenaustausch, Visualisierung, und Abfragbarkeit von Datensätzen und räumlichen Zusammenhänge
- Verbesserung der Datenlage in Bezug auf den strukturellen Aufbau des geologischen Untergrunds
- Integration von Infrastruktur im Untergrund (technischer Leitungsbau)
- Integration von unterirdischen Bauten (z.B. Kellergeschosse, Tunnelbauten)
- Erhebung und Integration neuer Datensätze zur Charakterisierung der geologischen Einheiten. Beispielsweise Zuweisung von Gesteinseigenschaften zu modellierbaren geologischen Körpern (k-Wert, Porosität, Permeabilität)
- Erhebung und Integration neuer Datensätze die im Zusammenhang mit der Untergrundtemperatur stehen (z.B. thermische Kapazität, thermische Leitfähigkeit, thermischer Tiefenfluß)
- Ausdehnung und Verbesserung der bestehenden Möglichkeiten zur Güteabschätzung der Modelgeometrie.





2.5.2 Geothermisches Potential im Untergrund der Stadtgemeinde Strasbourg

Beschreibung

Die Stadtgemeinde Strasbourg (Communauté Urbaine de Strasbourg CUS) strebt im Rahmen ihres Klima-Energie Plans die Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien und die Verringerung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen an. Um dieses Ziel erreichen zu können, erwägt die CUS die Nutzung der geothermischen Potenziale aus tief liegenden Grundwasserleitern (hydrothermale Geothermie).

In der Region Elsass gibt es bereits zahlreiche Studien, welche auf die vorhandenen geothermischen Potenziale hinweisen. Dabei muss zwischen geothermischem Potenzial in Oberflächennähe und in größeren Tiefen unterschieden werden.

Im Bereich der CUS sind mehrere regionale oder überregionale Studien durchgeführt worden. Dadurch war die Erstellung eines Zustandsberichts zum geothermischen Potenzial im tieferen Untergrund möglich. Hierbei kann man drei Einheiten unterscheiden, die sich vom Hangenden zum Liegenden den drei folgenden mesozoischen Gesteinseinheiten zuordnen lassen:

Hauptrogenstein und die ihn begleitenden Karbonate
Kalk- und Dolomitsteine des Muschelkalk und der Lettenkohle
Sandsteine des Buntsandsteins.

Die Abschätzung des vorhandenen Potenzials und des energetisch effizientesten und ökonomischsten Einsatzes der Geothermie erfordert die Kenntnis mehrerer geologischer Parameter in den Speicherbereichen: Die Bohrkosten und die Temperaturbedingungen des Speichers lassen sich über die Tiefenlage der geothermischen Einheit abschätzen. Die Bohrkosten sind das wichtigste Element für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung im Hinblick auf die notwendigen Investitionen zur Nutzung der Geothermie. An zweiter Stelle stehen die Kosten für das Leitungsnetz und die Einrichtung der angeschlossenen Übergabestationen.

Die Temperatur ist zusammen mit der möglichen Ergiebigkeit das bestimmende Element für Qualitäts- und Quantitätssicherung der gewinnbaren Ressourcen.

Die Kenntnis der Permeabilität in der Speicher-Formation sowie deren Mächtigkeit gestatten die Abschätzung der Produktionskapazität des geothermischen Mediums im Speicher.

Auf der Grundlage dieser Daten wird der Bauherr oder Auftraggeber eine Entscheidung für oder gegen eine geothermische Erkundung oder ein entsprechendes Planungskonzept zur Nutzung geothermischer Ressourcen treffen.

Um die Tiefenlage der geothermischen Zielhorizonte zu bestimmen, hat die CUS die Ergebnisse des im Rahmen des europäischen INTERREG IV Oberrhein durchgeführten Projekts GeORG genutzt. Dieses Projekt wurde von der Europäischen Union und großen grenzüberschreitenden Einrichtungen getragen und hatte die Erstellung eines geologischen 3D-Modells des Oberrheingrabens und der Temperaturverteilung im Untergrund als Ziel. Die Projektergebnisse stellen also eine Orientierungshilfe zur Nutzung der geologischen Potenziale des Untergrunds dar – dazu gehört auch die Nutzung der Geothermie. Das im Rahmen dieses Projekts erstellte geologische 3D-Modell stützt sich auf die großen Datenmengen, welche im Rahmen der Kohlenwasserstoffexploration angefallen sind (Bohrungen, seismische Untersuchungen, Bohrlochmessungen etc.). Gleichzeitig konnte auch die Kenntnis von der Entstehungsgeschichte des Oberrheingrabens, seiner Strukturen und der ihn aufbauenden Sedimentgesteine deutlich verbessert werden. Die Einarbeitung und Vereinheitlichung der Daten in ein einziges Modell ermöglichten erstmalig die Erstellung eines grenzüberschreitenden 3D Modells für den geologischen Untergrund des Oberrheingrabens zwischen Basel und Mainz. Ausgehend von diesem Modell können Karten von der Obergrenze der Speicherformationen und Mächtigkeitkarten abgeleitet werden.



Die Abschätzung der Temperatur der in den geothermischen Einheiten zirkulierenden Fluide erfolgte auf der Grundlage verfügbarer Temperaturdaten aus überwiegend aus Erdölbohrungen und deren geostatistischer dreidimensionaler Regionalisierung. Die Ergebnisse dieser Interpolation erlaubten in Kombination mit dem geologischen 3D-Modell und insbesondere der hieraus abgeleiteten Tiefenkarten die Erstellung von Temperaturverteilungskarten an der Oberfläche der betrachteten Speicher. Der geothermische Gradient im Untergrund der CUS erreicht 53 °C/km. Dieser Wert beruht aus der vergleichenden Berechnung von 43 Messungen aus 13 Bohrungen.

Aussagen bezüglich der Produktivität der Grundwasserleiter sowie die Angaben zu Ergiebigkeit und Permeabilität stammen aus 18 Erkundungsbohrungen für Erdöl. Dadurch sind sie nicht direkt für die Abschätzung der potenziellen Wirtschaftlichkeit einer auf diesen Horizont angesetzten Geothermiebohrung verwendbar. Auf der Grundlage der Informationen über die Struktur der Untergrundspeicher aus dem geologischen 3D-Modell des Projekts GeORG (Tiefe und Mächtigkeit) und den verfügbaren Temperaturangaben wurden Vergleichsanalysen durchgeführt, die zur Abschätzung des für die CUS nutzbaren geothermischen Potenzials führten.

Die Ergebnisse weisen Bereiche mit „höherem“ geothermischem Potenzial aus. So zeigen die ausgewerteten Informationen, dass im Untergrund der CUS eine Abfolge Nord-Süd orientierter Störungszonen verläuft, die von nach Westen einfallenden Abschiebungen begrenzt werden. Dadurch kommt es zu einem treppenartigen Absinken der Schichten von Ost nach West. Die einzelnen Schollen sind nach Osten gekippt. Die Hauptabschiebungen sind annähernd südorientiert und werden von Sekundärstörungen begleitet. Etwas südlich des Gebiets des CUS liegt die Nordbegrenzung der Ersteiner Schwelle, eines WSW-ENE orientieren Hochgebiets.

Die Zusammenfassung der Ergebnisse über die Geopotenziale der drei maßgeblichen Speicherhorizonte zeigt, daß der Westen der CUS die relativ betrachtet besten Voraussetzungen für eine geothermische Nutzung bietet: Dies gilt zum einen wegen der geringen Tiefenlage der drei Speicherhorizonte, aber auch wegen der Temperaturverhältnisse. Die hydraulischen Informationen waren nicht verwertbar.

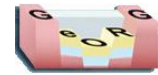
Die wichtigsten Merkmale der potenziellen Speicher sind nachfolgend zusammengefasst:

Der Haupttrogenstein ist als potenzielles Erdöl-speichergestein bekannt. Es handelt sich um eine Einheit, die aus oolithischen Kalksteinen besteht. Sie können eine Gesamtmächtigkeit von bis 50 m erreichen. Dieser Speicher weist sehr stark unterschiedliche Porositätswerte zwischen 1 und 40 % auf, wobei die Werte an einer nicht genau lokalisierten Stelle nördlich der CUS praktisch auf Null zurück gehen. Die Oberfläche des Haupttrogenstein schwankt von Ost nach West zwischen 800 und 3100 m unter Gelände. Damit einher geht ein Temperaturanstieg von 50 bis 80 °C im Osten auf über 100 °C im Westen. Die Permeabilität ist meist nur mäßig, ausgenommen hiervon sind die Bereiche in unmittelbarer Nähe der Störungszonen; hier könnte sich der Speicher als nutzbar erweisen. Das salinare Grundwasser im Haupttrogenstein ist nicht artesisch gespannt. Der Haupttrogenstein führt bisweilen geringe Mengen an Kohlenwasserstoffen.

Der obere Muschelkalk und die Lettenkohle bestehen aus Dolomitsteinen, kompakten Kalksteinen und Sandsteinen, die zusammen einen bis zu 90 m mächtiger Speicher bilden. Die Speicherobergrenze liegt zwischen 1300 und 3000 m unter NN. Eine primäre Porosität ist nicht vorhanden, so dass die günstige Einstufung als Nutzhorizont häufig an Bruchzonen und an das Vorhandensein von sekundären Lösungshohlräumen in den Dolomiten gebunden ist. Das Grundwasser ist ebenfalls salzwasserführend, allerdings sind die Gehalte geringer als im Haupttrogenstein. Die Temperaturen erreichen an der Obergrenze im Osten 60 bis 110 °C, im zentralen Bereich der CUS 80 bis 135 °C und 100 bis 150 °C westlich davon. Dieser schlecht bekannte Speicher wird im südlichsten Oberrheingraben bei Riehen in der Nähe von Basel in einer besonderen tektonischen Situation genutzt.

Der Buntsandstein ist ein klastischer Speicher der hauptsächlich aus meist homogen aufgebauten Sandsteinen besteht. Die Porosität ist mittel und die Permeabilität unterschiedlich. Mit einer Mächtigkeit von 300 bis 450 m handelt es sich um den Speicher mit dem größten Volumen. Der Buntsandstein liegt in einer Tiefe von 1300 bis 1400 m unter Gelände. Die Temperaturen könnten im Westen möglicherweise mehr als 200°C erreichen, im Gebiet von Eschau dürften sie mit 95 °C am niedrigsten sein. Der Buntsandstein führt häufig Grundwasser, doch erscheinen die natürlichen Ergiebigkeiten nicht ausreichend. Trotz der zahlreich





vorhandenen Bohrungen im Elsass gibt es wenige und für geothermische Fragestellungen nicht verwertbare Messungen zur Ergiebigkeit- und Permeabilität. Die Messwerte stammen von Ölbohrungen, deren Zielsetzung die Erschließung von Kohlenwasserstoffspeichern war.

Andererseits liegen alle drei potenziellen Speicher in tektonisch beanspruchten Gebieten. Eine genaue Kenntnis der geologischen Verhältnisse im Untergrund ist unverzichtbar, damit die wesentlichen Merkmale wie z. B. die genaue Geometrie der die Speicher durchlaufenden Bruchstrukturen bestimmt werden können. Diese Bewertung auf dem Gebiet der CUS hat eine zusammenfassende Darstellung des geologischen und hydrogeologischen Kenntnisstands ermöglicht. Dadurch wurde auch der Mangel an Daten zur Permeabilität der Speicher deutlich. Diese Angaben sind jedoch wesentlich zur Vorhersage der zu erwartenden Ergiebigkeit im Falle einer Einrichtung einer geothermischen Dublette.



2.6 Literatur

- Agemar, T., Schellschmidt, R. & Schulz, R. (2011): 3D-Modell der Untergrundtemperatur von Deutschland. – Der Geothermie Kongress 2011. 15.–17.11.2011, Bochum: 9 S., Online-Ressource: [http://www.geotis.de/homepage/Ergebnisse/F9.5_Agemar_et_al.pdf].
- Agemar, T., Schellschmidt, R. & Schulz, R. (2012): Subsurface temperature distribution in Germany. – *Geothermics*, 44: 65–77; Kidlington.
- Allenbach, R.P. & Wetzel, A. (2006): Spatial patterns of Mesozoic facies relationships and the age of the Rhenish Lineament: a compilation. – *Int. J. Earth Sci.*, 95: 801–813; Berlin / Heidelberg. – [doi: 10.1007/s00531-006-0071-0]
- Arndt, D., Bär, K., Fritsche, J.-G., Kracht, M., Sass, I. & Hoppe, A. (2011): 3D structural model of the Federal State of Hesse (Germany) for geopotential evaluation. – *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 162; 353–369; Stuttgart.
- Auckenthaler, A., Baenninger, D., Affolter, A., Zechner, E., Huggenberger, P. (2011): Drinking water production close to contaminant sites: a case study from the region of Basel, Switzerland, GQ10: Groundwater Quality Management in a Rapidly Changing World. – *Proceedings, 7th International Groundwater Quality Conference 2010, IAHS Publ.*, 342: 167–170; Wallingford.
- Bär, K., Arndt, D., Fritsche, J.-G., Götz, A.E., Kracht, M., Hoppe, A. & Sass, I. (2011): 3D-Modell der tiefengeothermischen Potenziale von Hessen – Eingangsdaten und Potenzialausweisung. – *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 162; 371–388; Stuttgart.
- Barth, S. (1970a): Feinstratigraphische und lithofazielle Untersuchungen der Pechelbronner Schichten von Rot-Malsch (Obereozän/Unteroigozän des Rheingrabens). – *Oberrhein. geol. Abh.*, 19: 43–60; Karlsruhe.
- Barth, S. (1970b): Stratigraphie und Tektonik der Tertiärscholle von Rot-Malsch im Rheingraben. – *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, N.F. 52: 71–95; Stuttgart.
- Baumgärtner, J., Teza, D., Hettkamp, T., Homeier, G., Baria, R. & S. Michelet (2005): Electricity Production from Hot Rocks. – *Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya: 1-6, Antalya.*
- Behrmann, J.H., Hermann, O., Horstmann, M., Tanner, D.C. & Bertrand, G. (2003): Anatomy and kinematics of oblique continental rifting revealed: a three-dimensional case study of the southeast Upper Rhine Graben (Germany). – *AAPG Bull.*, 87: 1105–1121; Tulsa, OK.
- Bergerat, F. (1983): Paléocontraintes et évolution tectonique paléogène du Fossé Rhénan. – *C.R. Acad. Sci. Paris. Sér. 2*, 297: 77–80; Paris.
- Bergerat, F. (1987): Stress fields in the European platform at the time of the Africa-Eurasian collision. – *Tectonics*, 6 (2): 99–132; Washington, DC.
- BGA 117: Projektstudie A2 / Abschnitt 7, Anschluss Margarethenstrasse – Anschluss St. Jakobsstrasse West Basel, Geologie – Hydrogeologie – Geotechnik (2008)
- BGA 122: Projektstudie A2 / Abschnitt 7, Anschluss Margarethenstrasse – Anschluss St. Jakobsstrasse West Basel, Ergänzende Abklärung, Geologie – Hydrogeologie – Geotechnik (2008)
- BGA 124b: Projektstudie A2 / Abschnitt 7, Anschluss Margarethenstrasse – Anschluss St. Jakobsstrasse West Basel, Bauvariante 4G, Bericht Geologie – Hydrogeologie – Geotechnik (2010)
- BGA 125: Projektstudie Osttangente, Geologisches Profil Wiese - Birs, Vorabklärungen Geologie – Hydrogeologie – Geotechnik (2010)
- BGA 130: Projektstudie Osttangente, Geologisches Profil Wiese - Birs, Vorabklärungen Geologie – Hydrogeologie – Geotechnik (2011)





- Bitterli, T. (1992): Die Anwendung der tektonischen Materialbilanz im östlichen Faltenjura: Modellierung der dreidimensionalen Kinematik der Weissenstein-, Farisberg- und Passwang-Antiklinalen und Rückschlüsse auf Sockelstrukturen. – Diss. Universität Basel, 170 S.; Basel.
- BMU (2010): Tiefe Geothermie, Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland. – 73 S.; Berlin.
- BMW (2007): Leuchtturm COORETEC - Der Weg zum zukunftsfähigen Kraftwerk mit fossilen Brennstoffen. – 74 S.; Berlin.
- BMW (2009): Empfehlungen des COORETEC-Beirates zur Förderung von Forschung und Entwicklung CO₂-emissionsarmer Kraftwerkstechnologien und CO₂-Abscheide- und Speichertechnologien. – 13 S.; Berlin.
- Bollinger, W. & Burri, P. (1970): Sedimentologie von Schelf- Carbonaten und Beckenablagerungen im Oxfordien des zentralen Schweizer Jura. – Beitr. geol. Karte Schweiz, N. F. 140: 96 S.; Bern.
- Bonvalot, J. (1974): Les cailloutis de la Forêt de Chaux (Jura): leurs rapports avec les matériaux détritiques de Sundgau et du Nord de la Bresse. – 89 p.; Dijon (Université de Dijon).
- BRGM (ed.) (1979): Notice explicative, Carte géologique à 1/50000 Colmar-Artolsheim [redigée par J.G. Blanalt]. - Carte géologique à 1/50000, XXXVII-18: 55 p., 4 tab.; Orléans.
- Bücker, C. & Rybach, L. (1996): A simple method to determine heat production from gamma-ray logs. – Marine and Petrol. Geol., 13, 373–377; Amsterdam.
- Burkhardt, H., Haak, U., Hahn, A., Honarmand, H., Jäger, K., Stiefel, A., Wägerle, P., & Wilhelm, H. (1989): Geothermal Investigations at the KTB Locations Oberpfalz and Schwarzwald. – In: Emmermann, R. & Wohlenberg, J. (eds.): Exploration of the Deep Continental Crust – The German Continental Deep Drilling Program (KTB): 433–480; Berlin, Heidelberg (Springer).
- Butscher, C., Huggenberger, P., Auckenthaler, A. & Bänninger, D. (2011) Risikoorientierte Bewilligung von Erdwärmesonden (Risk-oriented approval of borehole heat exchangers). – Grundwasser 16: 13–24; Berlin.
- Carré, C. (2011): Cartographies thermiques du Graben du Rhin (partie française). – MSc Thesis, Univ. Montpellier 2, Sciences et Techniques: 51 S. – [unveröff.]
- Cendón, D.I., Ayora, C., Pueyo, J.J., Taberner, C. & Blanc-Valleron, M.-M. (2008): The chemical and hydrological evolution of the Mulhouse potash basin (France): Are “marine” ancient evaporites always representative of synchronous seawater chemistry? – Chem. Geol., 252: 109–124; Amsterdam.
- Chadwick, R.A., Arts, R., Bernstone, C., May, F., Thibeau, S. & Zweigel, P. (2008): Bestpractice for the storage of CO₂ in saline aquifers: observations and guidelines from the SACS and CO₂STORE projects. – 267 S.; Keyworth (British Geological Survey).
- Chorowicz, J., Deffontaines, B. & Villemin, T. (1989): Interprétation des structures transverses NE-SW du fossé rhénan en termes de failles de transport. Apport de données multisources. – C.R. Acad. Sci. Paris. Sér. 2, 309: 1067–1073; Paris.
- Chorowicz, J. & Deffontaines, B. (1993): Transfer faults and pull-apart model in the Rhine graben from analysis of multisource data. – J. Geophys. Res., 98: 14339–14351; Washington, DC.
- Clauser, C. (1988): Untersuchungen zur Trennung der konduktiven und konvektiven Anteile im Wärmetransport in einem Sedimentbecken am Beispiel des Oberrheingrabens. – Diss. TU Berlin, Fortschritts-Berichte VDI, (19) 28: 134 p.; Düsseldorf (VDI Verlag)
- Clauser, C. (2003): Numerical simulation of reactive flow in hot aquifers using SHEMAT and Processing Shemat. – 332 p.; Heidelberg, Berlin (Springer).
- Clauser, C. & Villinger, H. (1990): Analysis of conductive and convective heat transfer in a sedimentary basin, demonstrated for the Rheingraben. – Geophys. J. Int., 100: 393–414; Oxford.



- Clauser, C. & Huenges, E. (1995): Thermal Conductivity of Rocks and Minerals. – In: Ahrens, T.J. (ed.): Rock Physics and Phase Relations – a Handbook of Physical Constants, AGU Reference Shelf, 3: 105–126; Washington (AGU).
- Contini, C. (1967): Paleogeographie de la moitié sud du Fosse Rhenan au Dogger. – In: Rothe, J.P. & Sauer, K. (eds.): The Rhinegraben Progress Report 1967, International Upper Mantle Project, Sci. Rep., 13 / Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6 / Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 26: 44–47, 6 fig.; Freiburg / Strasbourg.
- Dezayes, C., Courrioux, G., Toulière, B. & Genter, A. (2007a): Estimation du potentiel géothermique des réservoirs clastiques du Trias dans le Fossé rhénan. – Rapport final, BRGM/RP-55729-FR, août 2007: 72 p.; Orléans.
- Dezayes, C., Thinon, I., Genter, A. & Courrioux, G. (2007b): Clastic reservoirs in the Rhine graben: geothermal potential of the Triassic sandstones based on seismic profiles and deep boreholes. – In: Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May–1 June 2007: 7 p.; Unterhaching.
- Dezayes, C., Genter, A., Thinon, I., Courrioux, G. & Tourlière, B. (2008): Geothermal potential assessment of clastic triassic reservoirs (Upper Rhine Graben, France). – In: Proceedings Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 28–30, 2008: 8 p.; Stanford.
- Dezayes, C., Castera, J., Heilbronn, G. & Calcagno, P. (2009): Regional geological model of the Soultz-sous-Forêts geothermal field (Rhine Graben, France) – Geoth. Res. T., 33: 175–180; Davis, CA. – [<http://pubs.geothermal-library.org/lib/grc/1028451.pdf>].
- Derer, C., Kosinowski, M., Luterbacher, H.P., Schäfer, A. & Süß, M.P. (2003): Sedimentary response to tectonics in extensional basins: the Pechelbronn Beds (Late Eocene to early Oligocene) in the northern Upper Rhine Graben, Germany. – In: McCann, T. & Saintot, A. (eds): Tracing tectonic deformation using the sedimentary record. Geol. Soc. London Spec. Publ., 208: 56–69; London.
- Diamond, L.W., Leu, W. & Chevalier, G. (2010): Studie zur Abschätzung des Potenzials für CO₂-Sequestrierung in der Schweiz, Potential for geological sequestration of CO₂ in Switzerland. – BFE-Schlussbericht, 31.08.2010: 23 S.; Bern (BFE).
- Doehl, F. (1958): Stratigraphische und paläogeographische Ergebnisse neuerer mikropaläontologischer Untersuchungen im Tertiär des Rheintal-Graben. – Erdöl u. Kohle, 11: 373–376; Hamburg.
- Doehl, F. (1961): Fazies und Mikropaläontologie des Miocän im Rheintalgraben und seine Verbindung zu den benachbarten Tertiärgebieten. – Meyniana, 10: 89–93; Kiel.
- Doehl, F. & Geissert, F. (1971): Chattien supérieur et “Aquitaniens” dans le Nord de l’Alsace. – Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 24 (2/3): 107–119; Strasbourg.
- DSK (2005): Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV – Keuper. – Courier Forschungsinst. Senckenberg, 253: 296 S.; Frankfurt a. M.
- DSK (2011): Deutsche Stratigraphische Kommission, Grimm, K.I. (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IX, Tertiär, Teil 1: Oberrheingraben und benachbarte Tertiärgebiete. – Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 75: 461 S., 60 Abb.; Hannover.
- Duringer, P. (1988): Les conglomérats des bordures du rift Cénozoïque Rhénan. Dynamique sédimentaire et contrôle climatique. – Diss. Univ. Strasbourg, 278 S.; Strasbourg.
- Duringer, P. (1995) : Dynamik der detritischen Ablagerungen am Rande des Oberrheingrabens (Obereozän-Untereozän)(Exkursion G am 21. April 1995). – Jber Mitt. oberrh. geol. Ver., N. F. 77: 167–200; Stuttgart.





- Duringer, P. & Gall, J.-C. (1994): Morphologie des constructions microbiennes en contexte de fan-delta Oligocène. Exemple du rift rhénan (Europe occidentale). – *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 107: 35–47; Amsterdam.
- Epting J, Huggenberger P (A: submitted to *Journal of Hydrology* Unraveling the heat island effect observed in urban groundwater bodies
- Epting J, Huggenberger P (B: submitted to HESS-D) Thermal management of an urban groundwater body
- Ernst, M. (1991): Lithostratigraphische und fazielle Untersuchungen des Haupttrogensteins (Bajocium) im SE-Oberrhingraben. – *Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver., N. F.* 73: 311–382, 4 Taf.; Stuttgart.
- Esslinger, G. (1976): Vorkommen und Tektonik der Basalte im Kalisalzlager Buggingen (Südbaden). – *Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg* 18: 7–18; Freiburg i. Br.
- Fehn, C. & Wirsing, G. (2011): Speicherpotenziale im tiefen Untergrund Baden-Württembergs. – *Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss.*, 74: 164–175; Hannover.
- Ford, M., Le Carlier de Veslud, C. & Bourgeois, O. (2007): Kinematic and geometric analysis of fault-related folds in a rift setting: The Dannemarie basin, Upper Rhine Graben, France. – *J. Struct. Geol.*, 29: 1811–1830; Amsterdam.
- Förster, A. (2001): Analysis of borehole temperature data in the Northeast German Basin; continuous logs versus bottom-hole temperatures. – *Petrol. Geosci.*, 7: 241–254, Bath.
- Franz, M. & Nitsch, E. (2009): Zur lithostratigraphischen Gliederung des Aalenium in Baden-Württemberg. – *LGRB-Informationen*, 22: 123–146; Freiburg i. Br.
- Fromme, K., Michalzik, D. & Wirth, W. (2010): Das geothermische Potenzial von Salzstrukturen in Norddeutschland. – *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 161: 323–333; Stuttgart.
- Fülöp, A. (1960): Über die fazielle Ausbildung der Pechelbronner Schichten im Pfälzer Raum unter besonderer Berücksichtigung von speicherfähigen Sanden und Sandsteinen. – *Erdöl u. Kohle*, 13: 825–826; Hamburg.
- Gaupp, R. & Nickel, B. (2001): Die Pechelbronn-Schichten im Raum Eich-Stockstadt (Nördlicher Oberrheinraben; Blatt 6216 Gernsheim). – *Geol. Jb. Hessen*, 128: 19–27; Wiesbaden.
- Genser, H. (1959): Stratigraphie und Tektonik der Vorbergzone am südwestlichen Schwarzwaldrand zwischen Staufen und Badenweiler. – *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.*, 49: 59–112, 1 Taf.; Freiburg i. Br.
- Genter, A., Evans, K., Cuenot, N., Fritsch, D. & Sanjuan, B. (2010): Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). – *C. R. Geosci.*, 342: 502–516; Paris. – [doi: 10.1016/j.crte.2010.01.006]
- Geophysica (2012): Logauswertung und geothermische Modellierung im Oberrheinraben zwischen Rastatt und Landau. Erläuterungsbericht der Geophysica Beratungsgesellschaft mbH Aachen: 119 S., 70 Abb., 15 Tab. – [unveröff.; Archiv LGRB].
- GeotIS: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (Hrsg.)(Online-Ressource): GeotIS –Geothermisches Informationssystem für Deutschland. – Online-Ressource: [http://www.geotis.de]
- Geyer, M., Nitsch, E. & Simon, T. (2011): *Geologie von Baden-Württemberg*. – 627 S.; Stuttgart (Schweizerbart). – [5. Aufl.]
- Gillhaus, A., Crotogino, F. & Hübner, S. (2006): Verbesserte Integration großer Windstrommengen durch Zwischenspeicherung mittels CAES - Arbeitspaket 1: Dimensionierung und Kosten von CAES-Kraftwerken, - Arbeitspaket 2: Geografische Positionierung von CAES-Kraftwerken, Aachen. – In: Konsortium Alstrom Power, Ecofys, E.ON Energie, KBB, IAEW, REpower, Vattenfall Europe Transmission (Hrsg.): *Verbesserte Integration großer Windstrommengen durch Zwischenspeicherung mittels CAES - Endbericht*. - Wissenschaftliche Studie gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz



- und Reaktorsicherheit, Berlin: 46 S.; Berlin.
- GLA (1981): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens zwischen Karlsruhe und Mannheim, Anteil Baden-Württemberg, Bestandsaufnahme [Bearbeiter: Nägele, R. & Tietze, R.]. – 72 S.; Freiburg i. Br. (GLA Baden-Württemberg).
- GLA/BRGM (1979): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg / Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Hrsg.): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens (Bestandsaufnahme) / Synthèse géothermique du Fossé Rhénan Supérieur [Bearbeiter: Tietze, R., Neeb, I., Walgenwitz, F. & Maget, P.]. – 100 S., 23 Anl., 4 Beil.; Freiburg i. Br. & Strasbourg (GLA Baden-Württemberg / Serv. Géol. Reg. Alsace).
- Gonzalez, R. & Wetzel, A. (1996): Stratigraphy and paleogeography of the Hauptrogenstein and Klingnau Formations (middle Bajocian to late Bathonian), northern Switzerland. – *Ecolgae Geol. Helv.*, 89: 695–720; Basel.
- Grimm, M.C. (2005): Beiträge zur Lithostratigraphie des Paläogens und Neogens im Oberrheingebiet (Oberrheingraben, Mainzer Becken, Hanauer Becken). – *Geol. Jb. Hessen*, 132/2004: 79–112, 4 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- Grimm, K.I. (2011): Alzey-Formation. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 84–85; Hannover.
- Grimm, M.C. (2011a): Elsass-Subgruppe. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 92–98; Hannover.
- Grimm, M.C. (2011b): Pechelbronn-Gruppe. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 75–82; Hannover.
- Grimm, M.C. (2011c): Haguenau-Gruppe. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 69–75; Hannover.
- Grimm, M.C. & Grimm, K.C. (2011): Froidefontaine-Subgruppe. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 83–91, Hannover.
- Grimm, M. & Hottenrott, M. (2005): Das Tertiär des Oberrheingrabens in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. – *Newsl. Stratigr.*, 41: 351–358, Taf. XIV; Stuttgart.
- Grimm, M.C. & Radtke, G. (2011a): Obere Cerithienschichten, inflata- und Hydrobienschichten im Oberrheingraben. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 102–104; Hannover.
- Grimm, M.C. & Radtke, G. (2011b): Mittlere Cerithienschichten im Oberrheingraben, Untere Cerithienschichten im Oberrheingraben. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 100–102; Hannover.
- Groschopf, R. & Schreiner, A. (1996) mit Beitr. V. Kilger, B.M. & Wirsing, G.: Erläuterungen zu Blatt 7913 Freiburg i.Br.-NO [2. erg. Aufl.]. – *Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ.*, Bl. 7913: 130 S., 4 Taf., 5 Beil.; Stuttgart.
- Groschopf, R., Kessler, G., Leiber, J., Maus, H., Ohmert, W., Schreiner, A. & Wimmenauer, W. (1996) mit Beitr. v. Albiez, G., Hüttner, R. & Wendt, O.: Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 50 000, Erläuterungen zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung (3. erg. Aufl.). – 364 S., 7 Taf., 1 Beil.; Freiburg i. Br.
- Gunzert, G. (1961): Die “Obere bituminöse Zone” im Bereich der Kalisalzlagerstätte von Buggingen (Baden). – *Kali u. Steinsalz*, 3: 11–118; Essen.
- Gunzert, G. (1962): Zur Frage des Diapirismus in der tertiären Salzlagerstätte des südlichen Oberrheintals. – *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.* 116: 69–88, 3 Beil.; Stuttgart.
- Gygi, R.A. (1969): Zur Stratigraphie der Oxford-Stufe (oberes Jura-System) der Nordschweiz und des süddeutschen Grenzgebietes. – *Beitr. Geol. Karte Schweiz*, 136: 143 S., 6 Taf.; Bern.
- Gygi R.A. (1986): Mineralostratigraphy, litho- and biostratigraphy combined in correlation of the Oxfordian (Late Jurassic) formations of the Swiss Jura range. – *Ecolgae Geol. Helv.*, 79: 385–454; Basel.
- Gygi, R.A. (1995): Datierung von Seichtwassersedimenten des späten Jura in der Nordwestschweiz mit Ammoniten. – *Ecolgae Geol. Helv.*, 88:1–58; Basel.





- Gygi, R.A. (2000), Integrated Stratigraphy of the Oxfordian and Kimmeridgian (Late Jurassic) in Northern Switzerland and adjacent southern Germany. – *Mém. Acad. Suisse Sci. Nat.*; 104: 152 p., 28 suppl.; Basel.
- Haneke, J., Rein, B. & Thum, H. (2011): Speicherpotenziale in Saarland und Rheinland-Pfalz. – *Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss.*, 74: 205–214; Hannover.
- Hanel, M., Kessler, G., Sawatzki, G. & Wimmenauer, W. (2001): Schwarzwald. – In: *Stratigraphische Kommission Deutschlands (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland II – Ordovizium, Kambrium, Vendium, Riphäikum, Teil II*; Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, 234: 13–64; Frankfurt.
- Hermanrud, C., Cao, S. & Lerche, I. (1990): Estimates of virgin rock temperature derived from BHT measurements: bias and error. – *Geophysics*, 55: 924–931; Tulsa, OK.
- Hinsken, S., Ustaszewski, K. & Wetzel, A. (2007): Graben width controlling syn-rift sedimentation: the Palaeogene southern Upper Rhine Graben as an example. – *Int. J. Earth Sci.*, 96: 979–1002; Berlin / Heidelberg.
- Hirlemann, G. (1974): Le dispositif structural du champ de fractures de Ribeauvillé (Haut-Rhin, France). Un exemple de fragmentation tectonique (block-faulting) en bordure occidentale du Fossé rhénan. – In: Illies, J.H. & Fuchs, K. (eds.): *Approaches to Taphrogenesis*: 172–176; Stuttgart (Schweizerbart).
- HLUG (2011): Geothermisches Potenzial: Projekt Hessen 3D. – Online-Ressource: [<http://www.hlug.de/start/geologie/erdwaerme-geothermie/tiefe-geothermie/geothermisches-potenzial-projekt-hessen-3d.html>]
- Hollinger, J. (1970): Beitrag zur Gliederung des Deckgebirges der Nordvogesen. – *Z. dt. geol. Ges.*, 121 (1969): 79-91; Hannover.
- Hottenrott, M. (2011a): Weiterstadt-Formation. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 110–113; Hannover.
- Hottenrott, M. (2011b): Groß-Rohrheim-Formation. – *Schriftenr. dt. Ges. Geowiss.*, 75: 106–109; Hannover.
- Huggenberger, P., Fäh, E., Kirchhofer, R., Fäh, D., Steiner, B. & Havenith, H. (2006): INTERREG III Projekt: Erdbebenmikrozonierung am südlichen Oberrhein: Teilbericht 4. Geologische Grundlagen für die quantitative Erdbebenmikrozonierung. – Online-Ressource: [<http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-006412181>]
- Hurter, S. & Haenel, R. (eds.) (2002): *Atlas of Geothermal Resources in Europe*. – Publication No. EUR 17811 of the European Commission, Office for Official Publications of the European Communities: 91 pp., 89 pl.; Luxemburg.
- Hurter, S. & Schellschmidt, R. (2003): *Atlas of geothermal resources in Europe*. – *Geothermics*, 32: 779–787; Kidlington.
- Illies, H. (1956): Der mittlere Dogger im badischen Oberrheingebiet. – *Ber. naturf. Ges. Freiburg i. Br.*, 46: 5-52; Freiburg i. Br.
- ISONG - Informationssystem Oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg, LGRB. – Online-Ressource: [http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/geothermie/is_geothermie]
- Jodocy, M. & Stober, I. (2011): Porositäten und Permeabilitäten im Oberrheingraben und Südwestdeutschen Molassebecken. – *Erdöl, Erdgas, Kohle*, 127: 20–27; Hamburg.
- Jörg, E. (1951): Die tertiären Sedimente des Limberges bei Sasbach am Kaiserstuhl. – *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.* 1951: 289–304; Stuttgart.
- Jung, R., Röhling, S., Ochmann, N., Rogge, S., Schellschmidt, R., Schulz, R. & Thielemann, T. (2002): Abschätzung des technischen Potenzials der geothermischen Stromerzeugung und der geothermischen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Deutschland. – Bericht für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), BGR/GGA: 88 S.; Hannover.



- Kabelac, F. (1955): Beiträge zur Kenntnis und Entstehung des unteren Weißjuras am Ostrand des südlichen Oberrheingrabens. – Ber. naturforsch. Ges. Freiburg i. Br., 45: 5-57; Freiburg i. Br.
- Kaltschmitt, M. & Kayser, M (1997): Potenziale geothermischer Energie in Deutschland. – Glückauf, 133: 683–689; Essen.
- Kappelmeyer, O., Dornstädter, J. & Welter, M. (1997): Geothermisches Potenzial im Oberrheingraben. – Bericht zum Forschungsvorhaben 0326690 B (BMBF); Karlsruhe (GTC).
- Käss, W. & Käss, H. (2008): Deutsches Bäderbuch (2. Aufl.). – 1230 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- Kessler, G. (2010) mit Beitr. v. Keck, O., Nitsch, E. & Werner, W.: Erläuterungen zum Blatt 7713 Schuttertal. – Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Bl. 7713: 288 S., 1 Beil.; Freiburg i. Br.
- Kessler, G. & Leiber, J. (1980) mit Beitr. v. Käss, W.: Erläuterungen zu Blatt 7813 Emmendingen. – Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Bl. 7813: 151 S., 3 Taf., 2 Beil.; Stuttgart.
- Kessler, G. & Leiber, J. (1994) mit Beitr. v. Käss, W., Münzing, K. & Ohmert, W.: Erläuterungen zu Blatt 7631 Lahr / Schw.-Ost. – Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Bl. 7613: 305 S., 5 Beil.; Freiburg i. Br.
- Kessler, P. (1909): Die tertiären Küstenkonglomerate in der Mittelrheinischen Tiefebene mit besonderer Berücksichtigung der elsässischen Vorkommen. – Mitt. Geol. Landesanst. Elsaß-Lothringen, 7 (2): 167–290; Taf. II; Strassburg.
- Knopf, S., May, F., Müller, Ch. & Gerling, J.P. (2010): Neuberechnung möglicher Kapazitäten zur CO₂-Speicherung in tiefen Aquifer-Strukturen. – Energiewissenschaftliche Tagesfragen, 60: 76–80; Essen.
- Kölbel, T., Orywal, P., Münch, W., Schlagermann, P. & Benz, J. (2010): Energie aus dem Untergrund: das Geothermiekraftwerk Bruchsal. – Z. geol. Wiss., 38: 41–48; Berlin.
- Kötter, W. (1966): Beiträge zur Kenntnis des Kalisalzvorkommens von Buggingen (Baden). – Diss. TH Stuttgart, 132 S.; Stuttgart.
- Laubacher, G. & Eller, J.P.von (1966): Contribution à l'étude géologique des dépôts permien du Bassin de Villé. – Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 19 (2): 163-186; Nancy.
- Laubscher, H. (1961): Die Fernschubhypothese der Jurafaltung. – Eclogae Geol. Helv., 54: 222–282; Basel.
- Laubscher, H. (1987): Die tektonische Entwicklung der Nordschweiz. – Eclogae Geol. Helv., 80: 287–303; Basel.
- Laubscher, H.P. (2004): The southern Rhine graben: A new view of the initial phase. – Int. J. Earth Sci., 93 (3): 341–347; Berlin / Heidelberg. – [doi: 10.1007/s00531-004-0382-y]
- Laubscher, H.P. (2008): 100 years Jura décollement hypothesis: how it affects Steinmann's (1892) "Schwarzwaldlinie". – Int. J. Earth Sci., 97: 1231–1245; Berlin / Heidelberg. – [doi: 10.1007/s00531-007-0224-9]
- LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1993): Grundwasser, Richtlinien für Beobachtung und Auswertung. Teil 3 – Grundwasserbeschaffenheit. – 59 S.; Essen (Woeste).
- LBEG (2012): Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hrsg.): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2011. – 62 S., 15 Anl.; Hannover (LBEG).
- Le Carlier de Veslud, C., Bourgeois, O., Diraison, M. & Ford, M. (2005): 3D stratigraphic and structural synthesis of the Dannemarie basin (Upper Rhine Graben). – Bull. Soc. Geol. Fr., 176: 433–442; Paris. – [doi: 10.2113/176.5.433]
- LGB-RLP (2005): Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Geologie von Rheinland-Pfalz. – 400 S., 162 Abb., 36 Tab., 3 Anl.; Schweizerbart (Stuttgart).





- LGRB (2002): Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau: Mineral-, Heil- und Thermalwässer, Solen und Säuerlinge in Baden-Württemberg (Bearbeiter: W. Schloz und I. Stober) – LGRB Fachbericht, 1: 15 S., 1 Kt.; Freiburg i. Br.
- Litholex: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Litholex – Lithostratigraphische Einheiten Deutschlands. – Online Ressource: [<http://www.bgr.de/app/litholex/index.php>].
- Lutz, M. & Cleintuar, M. (1999): Geological results of a hydrocarbon exploration campaign in the southern Upper Rhine Graben. – Bull. angew. Geol., 4, Suppl.: 3–80; Zürich.
- Lutz, M. & Etzold, A. (2003): Der Keuper im Untergrund des Oberrheingrabens in Baden. – Jh. LGRB Baden-Württ., 39: 55–110; Freiburg i. Br.
- Madritsch, H., Schmid, S.M. & Fabbri, O. (2008): Interactions between thin- and thick-skinned tectonics at the northwestern front of the Jura fold-and-thrust belt (Eastern France). – Tectonics, 27: TC5005; Internet. – [doi: 10.1029/2008TC002282]
- Maikovskiy, V. (1941): Contribution à l'étude paléontologique et stratigraphique du bassin potassique d'Alsace. – Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., 6: 192 p.; Strasbourg.
- Maurin, J.-C. & Niviere, B. (2000): Extensional forced folding and decollement of the pre-rift series along the Rhine graben and their influence on the geometry of the syn-rift sequences. – In: Cosgrove, J.W. & Ameen, M.S. (eds.): Forced folds and Fractures. Geol. Soc. London Spec. Publ., 169: 73–86; London.
- May, F. & Turkovic, R. (2003): Minderung von Treibhausgas-Emissionen durch CO₂-Speicherung in tiefen Aquiferen. – Z. Angew. Geol., 1: 65–72; Berlin.
- Müller, C. & Reinhold, K. (Hrsg.)(2011): Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland – Speicher-Kataster Deutschland. – Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 74: 277 S.; Stuttgart.
- Muffler, P. & Cataldi, R. (1978): Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources. – Geothermics, 3: 53–89; Kidlington.
- Nitsch, E. & Zedler, H. (2008): Oberkarbon und Perm in Baden-Württemberg. – LGRB-Informationen, 22: 7–102; Freiburg.
- Ohmert, W., Allia, V., Arias, C., Baldanza, A., Bergen, J.A., Bucefalo Palliani, R., Canales, M.L., deKaenel, E., Garcia Joral, F., Goy, A., Herrero, C., Höhndorf, A., Martinez, G., Mattioli, E., Perilli, N., Riegraf, W., Rolf, C., Ureta, S., Wetzell, A. & Wonik, T. (1996): Die Grenzziehung Unter-/Mitteljura (Toarcium/Aalenium) bei Wittnau und Fuentelsaz – Beispiele interdisziplinärer geowissenschaftlicher Zusammenarbeit. – GLA-Informationen, 8: 52 S.; Freiburg (Geol. Landesamt Baden-Württ.).
- Paschen, H., Oertel, D., Grünwald, R. (2003): Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland – Sachstandsbericht. – Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (Hrsg.) (TAB-Arbeitsbericht Nr. 84): 124 S.; Berlin.
- PK Tiefe Geothermie (2007a): Nutzungen der geothermischen Energie aus dem tiefen Untergrund (Tiefe Geothermie) – Arbeitshilfe für Geologische Dienste. – 25 S., Online-Ressource: [http://www.infogeo.de/home/geothermie/dokumente/download_pool/tiefe_geothermie_arbeitshilfe_08022007.pdf].
- PK Tiefe Geothermie (2007b): Tiefe Geothermie: Definition. – Online-Ressource: [http://www.infogeo.de/home/geothermie/dokumente/download_pool/tiefe_geothermie_definition_08022007.pdf].
- Ploetz, C. (2003): Sequestrierung von CO₂: Technologien, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen. – Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 "Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit": 23 S.; Berlin, Heidelberg.



- Prell-Müssig, R. (1965): Das jüngere Tertiär (Oberes Rupel bis Aquitan) bei Bruchsal (Foraminiferen, Fazies, Stratigraphie). – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 7: 229–301, 22–25 Abb., 19–29 Taf., 6–11 Tab.; Freiburg i. Br.
- Rath, V.; Wolf, A. & Bücker, M. (2006): Joint three-dimensional inversion of coupled groundwater flow and heat transfer based on automatic differentiation: sensitivity calculation, verification, and synthetic examples. – Geophys. J. Int., 167: 453–466; Oxford.
- Regierungspräsidium Freiburg (Hrsg.) (2009): Der Kaiserstuhl. Einzigartige Löss- und Vulkanlandschaft am Oberrhein. – 368 S.; Ostfildern (Thorbecke).
- Reinhold, K. & Müller, C. (2011): Speicherpotenziale im tieferen Untergrund – Übersicht und Ergebnisse zum Projekt Speicher-Kataster Deutschland. – Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 74: 9–27; Hannover.
- Reisdorf, A.G., Wetzell, A., Schlatter, R. & Jordan, P. (2011): The Staffelegg Formation: a new stratigraphic scheme for the Early Jurassic of northern Switzerland. – Swiss J. Geosci., 104: 97–146; Basel.
- Richwien, J. (1955): Zur Stratigraphie und Tektonik des grabenrandnahen Rheintal-Tertiärs bei Weingarten in Baden. – Diss., Techn. Hochschule Stuttgart, 70 z.T. ausklappbare S.
- Roussé, S. (2007): Architecture et dynamique des séries marines et continentales de l'Oligocène Moyen et Supérieur du Sud du Fossé Rhénan: évolution des milieux de dépôt en contexte de rift en marge de l'avant-pays alpin. – Diss. Univ. Strasbourg: 471 S.; Strasbourg.
- Rotstein, Y. & Schaming, M. (2008): Tectonic implications of faulting styles along a rift margin: The boundary between the Rhine Graben and the Vosges Mountains. – Tectonics, 27 (2): TC2001, 19 p.; Washington, DC. – [doi: 10.1029/2007TC002149]
- Rotstein, Y. & Schaming, M. (2011): The Upper Rhine Graben (URG) revisited: Miocene transtension and transpression account for the observed first-order structures. – Tectonics, 30: TC3007; Washington, DC. – [doi: 10.1029/2010TC002767]
- Rotstein, Y., Schaming, M. & Rouse, S. (2005): Structure and Tertiary history of the Mulhouse High, Upper Rhine Graben: Block faulting modified by changes in the Alpine stress regime. – Tectonics, 24 (1): TC1012; Washington, DC. – [doi: 10.1029/2004TC001654]
- RPF/LGRB (2006): Regierungspräsidium Freiburg / Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.): Rohstoffbericht Baden-Württemberg. – LGRB-Informationen, 18: 202 S., 1 Kt.; Freiburg i. Br.
- RPF/LGRB (2010): Regierungspräsidium Freiburg / Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.): Endbericht Projekt Speicher-Kataster. – 118 S. – [unveröff.]
- RPF/LGRB (2012): Regierungspräsidium Freiburg / Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.): Die Forschungsbohrung Heidelberg und Beiträge zum Quartär in Baden-Württemberg. – LGRB-Informationen, 26: 216 S., 1 Beil.; Freiburg i. Br.
- Rupf, I. & Nitsch, E. (2008): Das Geologische Landesmodell von Baden-Württemberg: Datengrundlagen, technische Umsetzung und erste geologische Ergebnisse. – LGRB-Informationen, 21: 81 S., 10 Beil.; Freiburg i. Br.
- Schad, A. (1962): Voraussetzungen für die Bildung von Erdöllagerstätten im Rheingraben. – Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 4: 29–40, Abb. 7–9; Freiburg i. Br.
- Schad, A. (1964): Feingliederung des Miozäns und die Deutung der nacholigozänen Bewegungen im Mittleren Rheingraben. – Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 5: 1–56, 4 Abb., 8 Taf.; Freiburg i. Br.
- Schäfer, P. (2012): Mainzer Becken – Stratigraphie, Paläontologie, Exkursionen. – Slg. Geol. Führer, 79: 333 S., 20 Taf.; Berlin (Borntraeger).
- Schellschmidt, R. & Stober, I. (2008): Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg. – LGRB-Fachbericht [mit Beiträgen von Schloz, W., Jung, R., Schulz, R]: 28 S., 14 Abb., 2 Tab.; Freiburg.





- Schnaebele, R. (1948): Monographie Géologique du Champ Pétrolifère de Pechelbronn. – Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 7: 1–254; Strasbourg.
- Schön, J. H. (2004): Physical properties of rocks-fundamentals and principles of petrophysics. – In: Helbig, K. & Treitel, S. (eds.): Handbook of geophysical exploration, Seismic exploration, 18: 583 p.; Oxford (Pergamon).
- Schulz, R. & Schellschmidt, R. (1991): Das Temperaturfeld im südlichen Oberrheingraben. – Geol. Jb., E 48: 153–165, 5 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- Schellschmidt, R. & Schulz, R. (1992): Hydrogeothermic studies in the hot dry rock project at Soultz-Sous-Forêts. – In: Bresee, J. C. (ed.) Geothermal Energy in Europe, Soultz Hot Dry Rock Project: 309 p.; New York (Gordon & Breach).
- Schlumberger (1989): Log Interpretation Principles/Applications. – Online-Ressource: [http://www.slb.com/resources/publications/books/lipa.aspx]
- Schwarz, J. (1997): Charophyten aus dem Tertiär des Oberrheingrabens (Mittelozeän – Untermiozän). – Palaeontographica, B 243: 1–84, 6 Taf., 2 Beil.; Stuttgart.
- Sedlacek, R. (2009): Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. – Erdöl Erdgas Kohle, 125: 412–426; Hamburg.
- Sittler, C. (1965): Le Paléogène des fossés rhénan et rhodanien. Etudes sédimentologiques et paléoclimatiques. – Mém. Serv. Carte. géol. Als. Lorr., 24: 392 pp; Strasbourg.
- Sittler, C. & Schuler, M. (1988): The Rhine Graben, description of regional lithostratigraphy. – In: Vinken, R. (ed.): The Northwest European Tertiary Basin, results of the International Geological Correlation Programme Project No 124; Geol. Jb., A 100: 41–47, fig. 10 on sep. sheet; Hannover.
- Smerdon, J.E., Pollack, H. N., Cermak, V., Enz, J.W., Kresl, M., Safanda, J. & Wehmiller, J.F. (2006): Daily, sea-seasonal, and annual relationships between air and subsurface temperatures. – J. Geophys. Res., 111: D07101; Washington. – [doi:10.1029/2004JD005578]
- Spotke, I., Zechner, E. & Huggenberger, P. (2005): The southeastern border of the Upper Rhine Graben: a 3D geological model and its importance for tectonics and groundwater flow. – Int. J. Earth Sci., 94: 580–593; Berlin. doi: 10.1007/s00531-005-0501-4
- Sprecher, C. & Müller, W.H. (1986): Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflexionsseismik – 82. – NAGRA Techn. Ber., 84–15: 168 S.; Baden (NAGRA).
- Stapf, K.R.G. (1988): Zur Tektonik des westlichen Rheingrabenrandes zwischen Nierstein am Rhein und Wissembourg (Elsaß). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 70: 399–410; Stuttgart (Schweizerbart).
- Stapf, K.R.G. (1996): Neue Erkenntnisse zur Tektonik des pfälzischen Rheingrabenrandes. – Pfälz. Ges. Förd. Wiss. Beitr. z. Landeskd., 92: 60–69; Speyer.
- Stellrecht, R. (1963): Zur Stratigraphie und Tektonik der Weitenauer Vorberge am Südostende des Oberrheingrabens. – Oberrhein. geol. Abh., 12: 119–127; Karlsruhe.
- Stellrecht, R. (1971): Geologisch-tektonische Entwicklung im Raum Albersweiler/Pfalz. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. 53: 239–262; Stuttgart.
- StMWIVT (2010): Bayrischer Geothermieatlas, Hydrothermale Energiegewinnung. – Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie: 93 S.; München.
- Storz, R. (2007): Tiefe Geothermie in Rheinland-Pfalz – Ein Überblick über die geothermischen Verhältnisse und den aktuellen Stand der Nutzung. – Mainzer geowiss. Mitt., 35: 135–158; Mainz.
- Stroink, L., Gerling, J.P., Kühn, M. & Schilling, F.R. (2009): Die dauerhafte geologische Speicherung von CO₂ in Deutschland - Aktuelle Forschungsergebnisse und Perspektiven. – Geotechnologien, 14: 141 S.,



Potsdam.

- Théobald, N. (1953): Structure du champ de fractures de Guebwiller. – Bull. Carte Géol. France, 237 (1952): 23–53; Paris.
- Timar-Geng, Z., Fügenschuh, B., Wetzel, A. & Dresmann, H. (2006): Low-temperature thermochronology of the flanks of the southern Upper Rhine Graben. – Int. J. Earth Sci., 95: 685–702; Berlin / Heidelberg. – [doi: 10.1007/s00531-005-0059-1]
- Ustaszewski, K.M. (2004): Reactivation of pre-existing crustal discontinuities: the southern Upper Rhine Graben and the northern Jura Mountains – a natural laboratory. – PhD thesis., Phil.-Nat. Universität Basel, 145 S.
- Ustaszewski, K. & Schmid, S.M. (2006): Control of preexisting faults on geometry and kinematics in the northernmost part of the Jura fold-and-thrust belt. – Tectonics, 25 (5): TC5003; Washington, DC. – [doi:10.1029/2005TC001915]
- Ustaszewski, K. & Schmid, S.M. (2007): Latest Pliocene to recent thick-skinned tectonics at the Upper Rhine Graben – Jura Mountains junction. – Swiss. J. Geosci., 100: 293–312; Basel.
- VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 (2010): Thermische Nutzung des Untergrunds - Grundlagen, Genehmigung, Umweltaspekte. – VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (Hrsg.): 33 S.; Düsseldorf.
- Veit, E. (1962): Die Öl- und Gasvorkommen der Südpfalz außerhalb Landau. – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 4: 103–122; Freiburg i. Br.
- Villemin, T. & Bergerat, F. (1987): L'évolution structurale du fossé rhénan au cours du Cénozoïque: un bilan de la déformation et des effets thermiques de l'extension. – Bull. Soc. géol. France, (8) 3: 245–255; Paris.
- Wagner, W. (1929): La géologie des puits des mines de potasse de la Haute-Alsace. – Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 1: 447 p., 42 pl.; Strasbourg.
- Wagner, W. (1955): Die tertiären Salzlagerstätten im Oberrheingraben. – Z. Dtsch. Geol. Ges., 105 (1953): 706–728, Taf. 25–27; Hannover.
- Weber, H. (1937): Eozän und Unteroligozän in den Kraichgauhügeln von Ubstadt und Rot-Malsch südlich Heidelberg. – Bad. Geol. Abh., 9: 52–74; Karlsruhe.
- Werner, W. & Franzke, H.J. (2001): Postvariszische bis neogene Bruchtektonik und Mineralisation im südlichen Zentralschwarzwald. – Z. dt. geol. Ges., 152: 405–437; Stuttgart.
- Werner, D. & Parini, M. (1980): The Thermal Anomaly of Landau/Pfalz: An Attempt of Interpretation. – J. Geophys., 48: 28–33; Washington.
- Wetzel, A., Koch, R. & Plein, E. (1997): Platform-basin transition of Bajocian-Bathonian oolitic carbonates in the southern Rhine Graben and Basle area. – Gaea heidelbergensis, 4: 37–52; Heidelberg.
- Wimmenauer, W. (2003) mit Beitr. v. Brüstle, W., Finger, P., Fleck, W., Groschopf, R., Homilius, J., Kösel, M., Maus, H., Münzing, K., Ohmert, W., Plaumann, S., Pucher, R., Schreiner, A., Villinger, E. & Wirsing, G.: Erläuterungen zum Blatt Kaiserstuhl. – Geol. Kt. Baden-Württ. 1 : 25 000, Bl. Kaiserstuhl [ohne Nr.]: IX+280 S., 4 Beil.; Freiburg i. Br.
- Wirsing, G. & Luz, A. (2007): Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg). – LGRB-Informationen, 19: 130 S.; Freiburg i. Br.
- Wirth, E. (1969): Die Probleme des Eozäns im deutschen Anteil der Oberrheinebene und ihrer Randzonen. – Mém. B.R.G.M., 69: 287–306, 1 Beil.; Paris.
- Wirth, E. (1970): Das Eozän im deutschen Anteil der Rheinebene. – In: Illies, J.H. & Mueller, S. (eds.): Graben Problems: 67–68; Stuttgart (Schweizerbart).





- Wittmann, O. (1955): Bohnerz und präeozäne Landoberfläche im Markgräflerland. – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württ., 1: 267–299; Freiburg.
- Wittmann, O. (1965): Geologische und geomorphologische Untersuchungen am Tüllinger Berg bei Lörrach. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 7: 513–552, Abb. 81–84, Taf. 28; Freiburg i.Br.
- Wittmann, O. (1967): Die fazielle Ausbildung des basalen Meeressandes (Stampien) bei Lörrach und die stampische Morphologie. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 49: 35–45; Stuttgart.
- Wittmann, O. (1969): Tektonik des südlichen Oberrheingrabens und seines Rahmens. – Z. Dtsch. Geol. Ges., 121: 61–65; Hannover.
- Wittmann, O. (1977): Markgräfler Bohnerzbergbau. – Markgräflerland, 8 (39): 295–296; Schopfheim.
- Wittmann, O. (1988) mit Beitr. v. Hüttner, R., Garscha, H.W., Jordan, F.-J., Müller, S., Schmid, E. & Villinger, E.: Erläuterungen zu Blatt 8311 Lörrach. – Erl. Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Bl. 8311: 153 S., 9 Taf., 1 Beil.; Stuttgart. [mit Jahreszahl 1987]
- Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R., & Gardner, L. W. (1956): Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. – Geophysics, 21: 41–70; Tulsa, OK.
- Zechner, E., Konz, M., Younes, A. & Huggenberger, P. (2011): Effects of tectonic structures, salt solution mining, and density-driven groundwater hydraulics on evaporite dissolution (Switzerland). – Hydrogeol. J., 7: 1323–1334; Berlin. – [doi: 10.1007/s10040-011-0759-5]
- Zoth, T.A. & Hänel, R. (1988): Appendix. – In: R. Hänel; L. Rybach & L. Stegena (eds.): Handbook of Terrestrial Heat Flow Determinations: 449–466; Dordrecht (Kluwer).



