

Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftlern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 25 (2020)

Heft: 1-2

Artikel: Seitliche Ablenkung von Erdwärmesonden im Kanton Aargau

Autor: Genoni, Oliver

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-977305>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Seitliche Ablenkung von Erdwärmesonden im Kanton Aargau

Oliver Genoni¹

Zusammenfassung

Erdsondenbohrungen werden grundsätzlich vertikal abgeteuft. Die Auswertung von 2'733 räumlich vermessenen Erdwärmesonden zeigt jedoch, dass diese im Durchschnitt eine maximale seitliche Ablenkung von 9.5 m (bzw. 4.7% ihrer Tiefe) von der Vertikalen aufweisen. Abweichungsrichtung und -distanz sind in erster Linie durch die geologischen Verhältnisse vorgezeichnet. So finden sich die grössten Abweichungen in den steilgestellten mesozoischen Schichten des Faltenjuras. Umweltschutztechnisch oder energetisch sind die beobachteten Abweichungen vernachlässigbar, jedoch stellen sich, mit der zunehmenden Nutzungsdichte des Untergrundes, vermehrt bau- und nutzungsrechtliche Fragen. Ein Grundeigentümer besitzt gegen geneigte Erdsondenbohrungen Abwehrrechte, jedoch muss er sein privates Nutzungsinteresse auf entsprechender Tiefe einwandfrei belegen können.

Abstract

Borehole heat exchanger (BHE) are in principle drilled vertically. Downhole deviation logging of 2'733 boreholes however show a mean maximal deviation from the vertical axis of 9.5 m (resp. 4.7% of the total depth). Direction and distance are generally determined by geological conditions so that the largest deviations are found in the steeply dipping Mesozoic layers of the Jura Mountains. No harm due to any deviation have been observed regarding environment protection or energetic issues. As the density of usage in the underground is ever increasing, questions regarding building laws and right of utilization are gaining in importance. A landowner has a right of defense against an intruding BHE, however he has to be able to claim an undisputable interest of usage in the corresponding depth.

1 Einleitung

Erdwärmesonden (EWS) ist die am häufigsten angewandte Technik zur Nutzung der Geothermie und liefert dank klimafreundlicher Wärmeversorgung einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen. 85.4% oder 2'981.6 GWh der geothermischen Heizenergie (Erdwärmesonden, Grundwasserwärmenutzungen, Energiepfähle, Thermen etc.) werden durch Erdwärmesonden realisiert (BFE 2018). Der grosse Erfolg dieser Technologie und somit die grosse Anzahl realisierter Anlagen bedeutet auch, dass Erdwärmesonden schweizweit die grösste raumgreifende Nutzung des mitteltiefen Untergrundes (bis rund 400 m) darstellen. Vor allem in städtischen Gebieten ist der Untergrund teilweise flächendeckend, bzw. raumumfassend mit Erdwärmesonden abgedeckt, so dass die Erdwärmenutzung an manchen Orten raumplanerisch sowie energetisch an seine Grenzen kommt (Knüsel 2015).

Allein im Kanton Aargau wurden im Jahr 2019 1'146 neue Erdsondenbohrungen mit einer Gesamtlänge von 228 km bewilligt. Seit 2013 verlangt das neu verabschiedete Gesetz über die Nutzung des tiefen Untergrundes und die Gewinnung von Bodenschätzen des Kanton Aargau (GNB, Anhang) die räumliche Vermessung von Bohrungen. Diese Bestimmungen werden im Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässer (EG UWR, Anhang) genauer definiert: So sind alle Bohrungen, nicht nur Erdsondenbohrungen, tiefer als 100 m in ihrem dreidimensionalen Verlauf zu vermessen und die Resultate der kantonalen Fachstelle zuzustellen.

¹ Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt, Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau, oliver.genoni@ag.ch

Nach einer rund drei Jahre andauernden Test- und Einführungsphase bei ausgewählten Bohrungen gelten die Bestimmungen für alle Bohrungen, so dass sich seit 2016 ein beträchtlicher Datensatz an Bohrlochvermessungen zusammengetragen hat. So liegen zur Auswertung der Verlauf von 2'733 einzelnen EWS-Bohrungen mit einer Gesamtlänge von 559.4 km vor.

2 Grundlagen

2.1 Vermessungspflicht von Bohrungen im Kanton Aargau

Die Neigungsmessung einer 2010 in Baden AG durchgeführte Erdsondenbohrung zeigte den Endpunkt rund 100 m nördlich des Ansatzpunktes. Bei einer Bohrstrecke von 225 Meter bedeutet dies eine erreichte Bohrtiefe von rund 200 Meter und eine Abweichung von rund 50%¹. Diese erstaunliche Erkenntnis führte unweigerlich zur Frage, inwieweit Erdsondenbohrungen, deren Verlauf bis dato unbekannt sind, sich aber in den meisten Fällen nicht mehr an der «vorgesehenen» Lage im Untergrund (d.h. vertikal in die Tiefe) befinden, künftig zu Konflikten führen. Es sind dies zum Beispiel Konflikte mit bestehenden Erdwärmenutzungen durch die gegenseitige thermische Beeinflussung («Wärmeklau») oder eine Einschränkung des Nutzungsrechtes von Grundeigentümer, deren Parzelle von einer fremden Erdsondenbohrung gequert wird. Weiter könnten Konflikte mit Schutzobjekten im Untergrund wie Tiefenaquifere bestehen, sollten solche geologischen Einheiten durch eine massive Bohrablenkung unbeabsichtigt erbohrt werden.

Es bestanden bereits zu Beginn des letzten

Jahrzehnts Bestrebungen, Nutzungen im Untergrund vermehrt in der Raumplanung zu berücksichtigen, bzw. zu koordinieren. (Gutzwiller 2009, ARE 2011, CHGEOL 2012, EGK 2013). Mit diesem Hintergrund nahm der Kanton Aargau die Bohrlochvermessung in seinen Gesetzen auf. Die im weiteren Verlauf auf Bundesebene weitergeführte Diskussion (2. Etappe Revision Raumplanungsgesetz [siehe Anhang], Schw. Bundesrat 2014, Schw. Bundesrat 2018 und weitere darin geführten Motionen und Postulate) bestätigt die bislang ungeklärte Situation. Wesentliche Punkte, die Vermessung proaktiv, also nicht erst bereits im Schadensfall, durchzuführen waren die Begründungen, a) dass die Vermessung von Bauten nichts Außergewöhnliches, sondern eher die Norm bei bewilligungspflichtigen Objekten, darstellt b) eine Vermessung nach der Installation und Inbetriebnahme der Erdsonde mit grossem Aufwand verbunden ist und c) es ohne Dokumentationspflicht privatrechtlich faktisch zu einer Beweislastumkehr kommt, da der Nachbar und potenziell Geschädigter und nicht der Bauherr die Lage der Bohrung/Bauwerk beweisen muss.

2.2 Eignungskarte Erdwärmenutzung

Erdsondenbohrungen sind im Kanton Aargau nicht überall möglich. Die Eignungskarte Erdwärmenutzung² (Fig. 1) stellt in Grün die für Erdsonden zulässigen Gebiete dar, in den dunkelgrünen Gebieten ist zusätzlich die geologische Begleitung der Bohrarbeiten erforderlich. In den rot und blau dargestellten Gebieten sind Erdsonden nicht erlaubt, wobei in den blauen Gebieten die Nutzung von Grundwasser zu Wärme- oder Kühlzwecken beantragt werden kann.

¹ Im Artikel wird die ausgeführte Bohrstrecke (*measured depth, MD*) als «Bohrlänge» bezeichnet, die absolute Tiefe unter Terrain (*true vertical depth, TVD*) als «Bohrtiefe» und die Prozentangaben der Abweichung bezeichnet den Maximalwert der Ablenkung aus der Vertikalen in Bezug auf die Bohrtiefe TVD.

² Eignungskarte und Eignungsabklärung unter: www.ag.ch/erdwaerme

Während sich die blauen Gebiete hauptsächlich an den Lockergesteins-Grundwasserleiter orientieren, zeichnen sich durch die roten, und teilweise auch durch die dunkelgrünen Gebiete mit geologischen Erschwernissen, die tektonischen Begebenheiten ab. Grundsätzlich führen neben planerischen Ausschlusszonen (Grundwasserschutz, konzessionierte Salzabbaugebiete etc.) vor allem geologische und bohrtechnische Gründe für die Sperrung eines Gebietes. So sind in Figur 1 rot punktuell, bzw. durch kleinräumige rote Flächen dargestellt die Grundwasserschutzzonen ersichtlich, die grossflächigen Strukturen leiten sich jedoch durch die tektonische Überprägung, bzw. das Vorhandensein bestimmter Lithologien nahe der Oberfläche ab.

Beginnend im nördlichen Kantonsteil, im Bereich des abtauchenden Kristallin, wurden bei Bohrungen entlang des Rheins an mehreren Orten artesisch oder subartesisch gespannte Wässer angetroffen. Dieses steigt über permeable Störungszonen aus teilweise grosser Tiefe in die darüberliegenden Sedimente (Burger 2011). In Laufenburg und in

Mumpf (Pietsch 2015) fanden in Erdsondenbohrungen artesische Austritte statt, welche erst mit grossem Aufwand unterbunden werden konnten. Direkt südlich anschließend liegen den kristallinen und spät-paläozoischen Einheiten die mit süd-südöstlichem Einfallen mächtiger werdenden Sedimentpakete des Mesozoikums auf. Besonders hervorzuheben ist daraus die Bänkerjoch-Formation (Gipskeuper), welche anhydritführend sein kann. Eine Zugabe von Fremdwasser, z.B. durch eine hydraulische Verbindung über eine undichte Bohrung, führt zu Anhydritquellen und kann die Erdsonde durch Quetschung beschädigen. Im schlimmsten Fall kann das Aufquellen zu Geländehebungen und Schäden an Bauten an der Oberfläche führen. Nach diversen Vorkommnissen mit Schadensfolge im Süddeutschen Raum (Grimm et al., 2014) wurden auch im Kanton Aargau entsprechende Schichten gesperrt.

Weiter im Verlauf von Norden nach Süden folgt mit dem Tafeljura eine Zone, in denen Erdsonden mit gewissen Tiefenbeschränkungen unter Aufsicht einer geologischen Fachperson erlaubt sind. Begrenzt wird die-

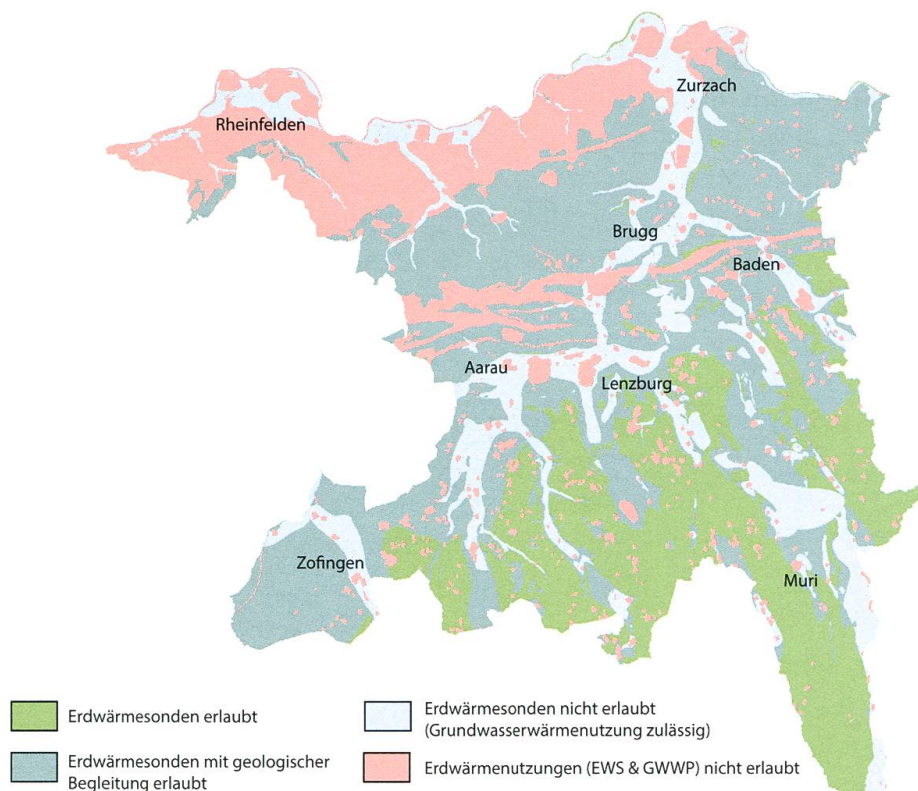


Fig. 1: Eignungskarte Erdwärmesonden Kanton Aargau, Stand Dezember 2019.

se durch den südlich anschließenden Faltenjura, welcher sich in der Eignungskarte durch ein West-Ost ziehendes rotes Band (Verbotszone) kenntlich macht. Gründe für die Sperrung sind wiederum die quellfähigen Gesteine der Bänkerjoch-Formation, die teilweise Gefährdung durch (sub-) artesische Auftritte von Grund- und Tiefenwässer sowie Schutzbereiche der Therme Bad Schinznach und des Bäderkomplex Baden-Ennetbaden.

Der Übergangsbereich des Faltenjuras in das Molassebecken des Mittellandes wird durch die subjurassische Zone markiert. In diesem Bereich von Zofingen über Aarau bis Baden sind wegen der tektonischen Überprägung die Bohrarbeiten ebenfalls geologisch zu begleiten. Besonders hervorzuheben ist in der subjurassischen Zone das Gebiet um die Born-Engelberg-Antiklinale (Gemeinden Oftringen, Rothrist und Kölliken), in denen teilweise unter grossem Druck stehende Erdgaszutritte aus der Unteren Süsswassermolasse (USM) verzeichnet wurden. Diese bedingen, neben der geologischen Begleitung, spezielle bohrtechnische Anpassungen.

Weite Kantonsteile im Süden und Südosten liegen im Molassebecken, ein Anbohren der darunterliegenden mesozoischen Schichten durch EWS-Bohrungen ist nicht mehr möglich. In diesen Bereichen sind Bohrarbeiten ohne geologische Begleitung erlaubt, nur in seltenen Fällen wie z.B. bei grossen (>100 m) quartären Talfüllungen oder bei zu erwartenden artesischen Wassereintritten (vor allem aus der Oberen Meeresmolasse, OMM) wird weiterhin eine geologische Begleitung vorgeschrieben.

2.3 Messverfahren

In der Planung vorgesehen sowie in der Norm SIA 384/6:2010 (siehe Anhang) gefordert, werden Bohrungen für Erdwärmesonden grundsätzlich vertikal erstellt. Ausser

bei Schrägbohrungen sind Abweichungen aus der Vertikalen unbeabsichtigt, jedoch aus bohrtechnischen, operationellen oder geologischen Gründen nicht gänzlich zu vermeiden. Die Messung erfolgt im Normalfall in der bereits eingebauten Erdsonde. Hierbei wird eine Messsonde mit kleinem Durchmesser in einen mit Wasser gefüllten Erdsondenstrang mit einem Kabel eingeführt. Die Umrechnung der aufgezeichneten Rohdaten werden herstelleraufspezifisch in Lagepunkte relativ zum Bohransatzpunkt umgerechnet. Hierbei kommen Filterfunktionen zum Einsatz, welche die entsprechenden Messwerte (z.B. Beschleunigung um 3 Achsen als Neigung aus der Vertikalen und magnetisches Feld in 3 Richtungen als Abweichung von magnetisch Nord) kombinieren und in Ost- und Nordwerte umrechnen. Die Tiefenangabe kann durch die Messung des hydrostatischen Drucks, über die Länge des eingebrachten Messkabels oder aus der Kombination mehrerer 3-Komponenten-Messungen direkt ermittelt werden. Für eine genauere Beschreibung der verschiedenen Messverfahren sei auf Badoux et. al (2017) verwiesen. Der Filterungsprozess sowie eine hohe räumliche Datendichte bewirken eine Unterdrückung der Dreh- und Schraubenbewegungen der Sensoren beim Durchgang durch die Erdsondenrohre sowie dem Schlingern des Messgerätes innerhalb der Rohre. Vereinzelt Gegenüberstellungen mit Messungen in den Sondenrohren sowie im offenen Bohrloch zeigen vergleichbare Ablenkungswerte. Dennoch sind die Verlaufsmessungen mit einem gewissen Fehler behaftet, je nach Firma sind diese mit $\pm 25^\circ$ im Azimut und $\pm 20\%$ in der seitlichen Abweichung angegeben. Diese sind durch den Messvorgang und störenden Einflüssen im Untergrund bestimmt und rühren nicht von der ansonsten sehr hohen Präzision der Sensoren her. Vergleiche zwischen verschiedenen Messsystemen und Messläufen finden sich in auf Badoux et. al (2017).

3 Ablenkung aus der Vertikalen

3.1 Allgemeines

Vorgängig zur Auswertung wurde der Datensatz bereinigt. Hierzu wurden ungeeignete Messreihen (z.B. zu kurze oder lückenhafte) entfernt, doppelte Vermessungen identifiziert und die Umrechnung der Rohdaten in Lagewerte stichprobenartig plausibilisiert. Bei einer durchschnittlichen Bohrlochlänge von 205 m beträgt der Mittelwert (arithmetisches Mittel) aller 2'733 vermessenen Bohrungen 9.5 m, bzw. 4.7% zur Bohrtiefe. Die Prozentangabe bezieht sich analog zum Gesetzestext (EG UWR, Anhang) auf die Tiefe TVD und nicht der Länge MD, wobei sich bei deren Vergleich, ausser bei extrem geneigten Bohrungen, nur sehr kleine Unterschiede ergeben. Die Verteilung der Häufigkeiten ist in Figur 2 dargestellt, die geografische Verteilung der vermessenen Bohrungen ist in Figur 3 ersichtlich.

Zu bemerken ist, dass der Spitzenwert im obersten Histogramm (73 m Abweichung in Fig. 2) bereits als eine um 5° geneigte Bohrung angesetzt wurde (mehr hierzu Kapitel 4, Fallbeispiel Baden). Diese Bohrung hat jedoch, aufgrund der grossen Tiefe, eine prozentuale Abweichung von rund 28%; Sie ist also nicht der Spitzenreiter im mittleren Histogramm (39% in Fig. 2).

Figur 3 zeigt die über das Kantonsgebiet inhomogene Verteilung der Bohrstandorte, welche durch die zulässigen Gebiete (Abschnitt 2.2) sowie durch die Überbauungsdichte geprägt ist. Besonders zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang der nördliche Kantons- teil im Bereich des Tafeljuras (hellblau), wo durch die teilweise Sperrung (Fig. 1) sowie die geringe Bevölkerungsdichte im Vergleich zum restlichen Kanton nur wenig Erdsondenbohrungen beantragt werden.

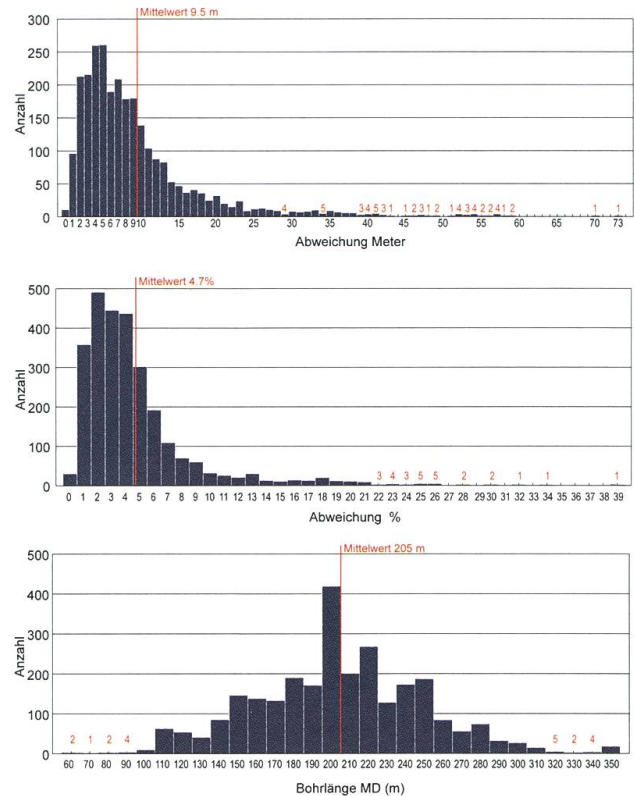


Fig. 2: Histogramme der vermessenen Erdsondenbohrungen im Kanton Aargau (total 2'733). Oben: Maximale Abweichung aus der Vertikalen in Meter. Mitte: Maximale Abweichung aus der Vertikalen im Verhältnis zur Bohrtiefe in Prozent. Unten: Bohrlänge (eingebaute EWS). Zur besseren Sichtbarkeit sind Werte zwischen 1 bis 5 durch Zahlen hervorgehoben.

3.2 Geografische Verteilung und der Einfluss der Tektonik

Bereits aus Figur 3 kann vermutet werden, dass überdurchschnittlich viele Bohrungen mit grossen Ablenkungen (>10%) im Ost-West Band des Faltenjuras zu finden sind, d.h. dass grosse Abweichungen tektonisch bedingt sind. Gerade im Raum Baden/Wettingen ist eine starke Häufung geneigter Bohrungen zu beobachten. Da jedoch in Figur 3 einzelne Bohrungen aufgrund der Darstellung schwer auszumachen sind oder, bei grosser Bohrdichte, gänzlich überdeckt werden, wurden zur besseren Übersicht Durchschnittswerte benachbarter Bohrungen berechnet. Hierbei wird der Kanton in ein Raster von 15x15 rechteckiger Felder unterteilt, wobei jedes Feld (*bin*) dieselben Dimensionen hat ($\Delta N = 3'000 \text{ m} / \Delta E = 3'200 \text{ m}$). Falls ein *bin* zwei oder

mehr Bohrungen beinhaltet, wurden diese zusammengefasst und der Durchschnittswert berechnet und dargestellt, fällt nur eine Bohrung in ein *bin*, wird die Bohrung in der Darstellung beibehalten (Fig. 4, 5 und 6).

Um die Aussagekraft einzelner *bins* abzuschätzen zu können, stellt Figur 6 die Überdeckung, d.h. die Anzahl Bohrungen, aus welchen der jeweilige Mittelwert in Figur 4 und 5 berechnet wurde, dar.

Figur 4 zeigt in sechs *bins* eine mittlere Abweichung von 10% oder mehr (orange – rote Färbung). Fünf dieser sechs *bins* sind im Umfeld des Faltenjuras zu finden. Das mit B bezeichnete *bin* im Raum Safenwil kann, wenn auch auf der tektonischen Hintergrundkarte in Figur 4 nicht ersichtlich, ebenfalls zum Umfeld des Faltenjuras gerechnet werden, genauer in den als subjurassische Zone bezeichneten Übergangsbereich zwischen Faltenjura und Molassebecken (Abschnitt 2.2). Die Auswertung 2D-reflexionsseismischer Daten der Nagra zur Charakterisierung des Standortgebietes Jura Südfuss im Sachplan geologisches Tiefenlager zeigt in diesem Bereich der subjurassischen Zone eine stärkere kompressive tektonische Überprägung als bis anhin angenommen (Madritsch et al. 2013, Meier et. al. 2014).

Lediglich eines der sechs *bins* mit grossen Abweichungen liegen nicht im Umfeld des Faltenjuras: Bin A im Raum Etzgen an der nördlichen Grenze des Kantons.

In bin A befinden sich 17 Bohrungen, wobei 16 davon zu einem Sondenfeld zusammengeschlossen und daher benachbart sind. Figur 7 zeigt die Gegenüberstellung des Bohrlochverlaufs und dem vereinfachten geologischen Profil und stellt einen typischen Verlauf aller 16 Bohrungen des Sondenfeldes dar. Im Quartär sowie in der verwitterten Gneisoberfläche ist der Bohrlochverlauf dank der eingebrachten Verrohrung vertikal. Bereits nach wenigen Metern ausserhalb der

Verrohrung beginnt der Verlauf sich in eine präferenzierte Richtung einzulenken und erreicht bereits nach knapp 20 m die bevorzugte Neigung Richtung Osten, welche bis zum Bohrende beibehalten wird. Sämtliche 16 Bohrungen weichen nach Osten in einem engen Korridor zwischen 72° und 98° von Nord ab und zeigen eine Abweichung zwischen 21 und 47 m.

Die 17. Bohrung aus bin A, ebenfalls in den Gneis (rund 670 m südwestlich der oben beschriebenen 16 Bohrungen) weicht von der oben beschriebenen generellen Einfallrichtung nach Ost ab. Der Verlauf (Fig. 8) ist in der temporären Verrohrung im Rahmen der Unsicherheit vertikal. Unterhalb der Verrohrung lässt sich in den Trias-Schichten eine kleine Ablenkung von rund 5 m in Richtung NW erkennen (orange Bohrstrecke). Auffällig ist jedoch der abrupte Richtungswechsel beim Übergang von der sedimentären zur kristallinen Lithologie bei rund 113 m Bohrtiefe.

Tektonisch lässt sich das Gebiet dem Mettaufer Tafeljura zuordnen, die Schichten fallen mit 5–10° gegen Südosten ein (Diepold et al. 2006). Die beschriebene Ablenkung in den Trias-Schichten (orange Bohrstrecke) entspricht demnach dem generellen Trend, dass sich Bohrungen entgegen dem Schichteinfallen «in den Berg» bohren (Abschnitt 3.3).

Zu erwähnen ist, dass sich die Ablenkungsrichtungen im Gneis bei allen 17 Bohrungen nicht wie erwartet entgegen des regionalen Trends des Einfallens neigt, sich also nicht nach Nordwesten ausrichtet (siehe dazu auch Abschnitt 3.3), sondern gegen Osten bzw. Nordosten richten. Dies mag durch die Absenz einer klaren Schichtung des Grundgebirges zu erklären sein, im Gegensatz zu den sedimentären Schichtabfolgen des Mesozoikums. Aufgrund der wenigen Daten und der fehlenden räumlichen Verteilung kann nicht abschließend bestimmt werden, ob sich die Bohrungen z.B. nach dem allgemeinen Störungsmuster auszurichten. So wur-

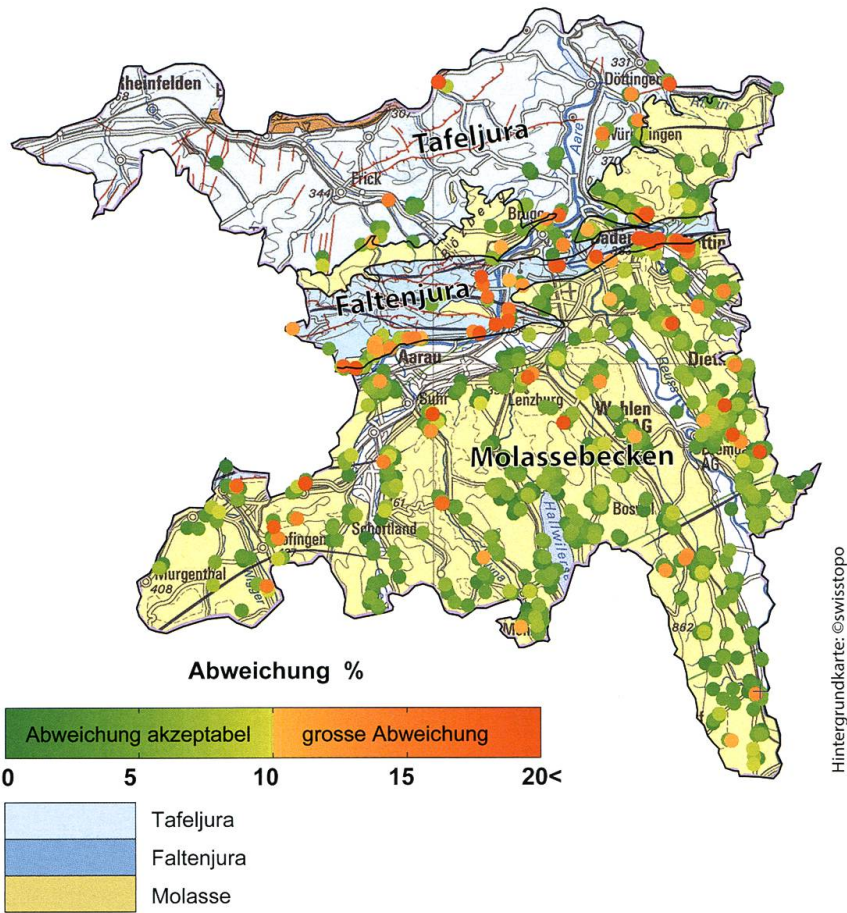


Fig. 3: Prozentuale Ablenkung aller vermessenen Bohrungen mit tektonischer Hintergrundkarte. Die Farbgebung (grün-gelb für akzeptabel und orange-rot für grosse Ablenkungen) spiegelt die in § 15 Abs. 3 EG UWR gegebene 10% wieder (Anhang).

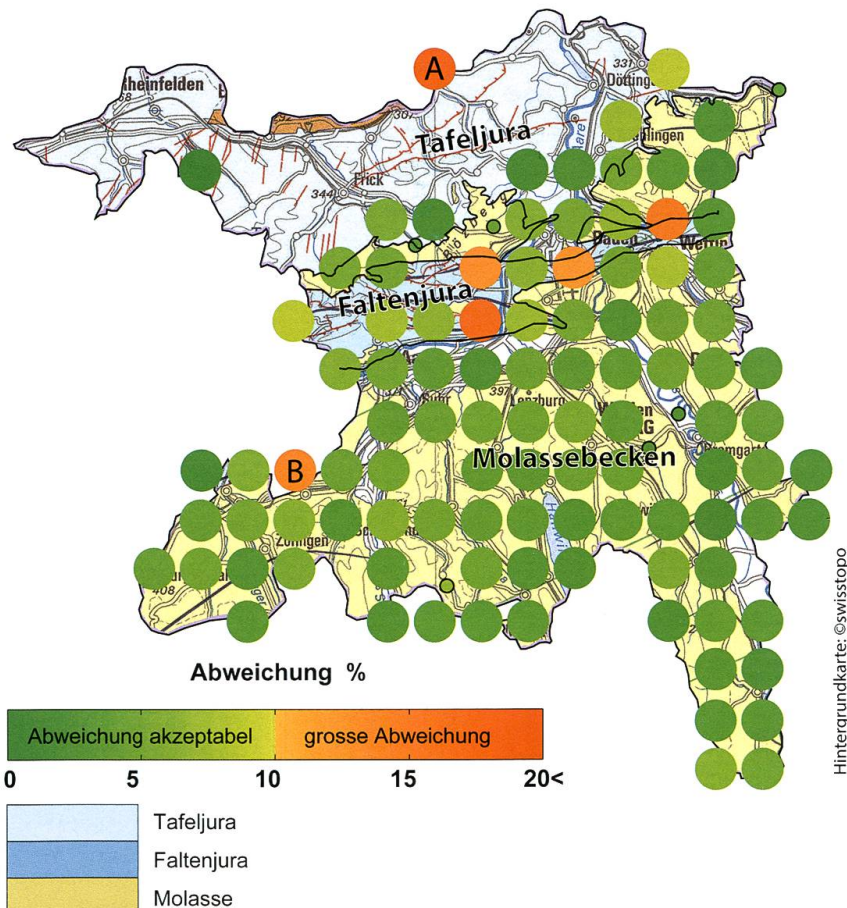
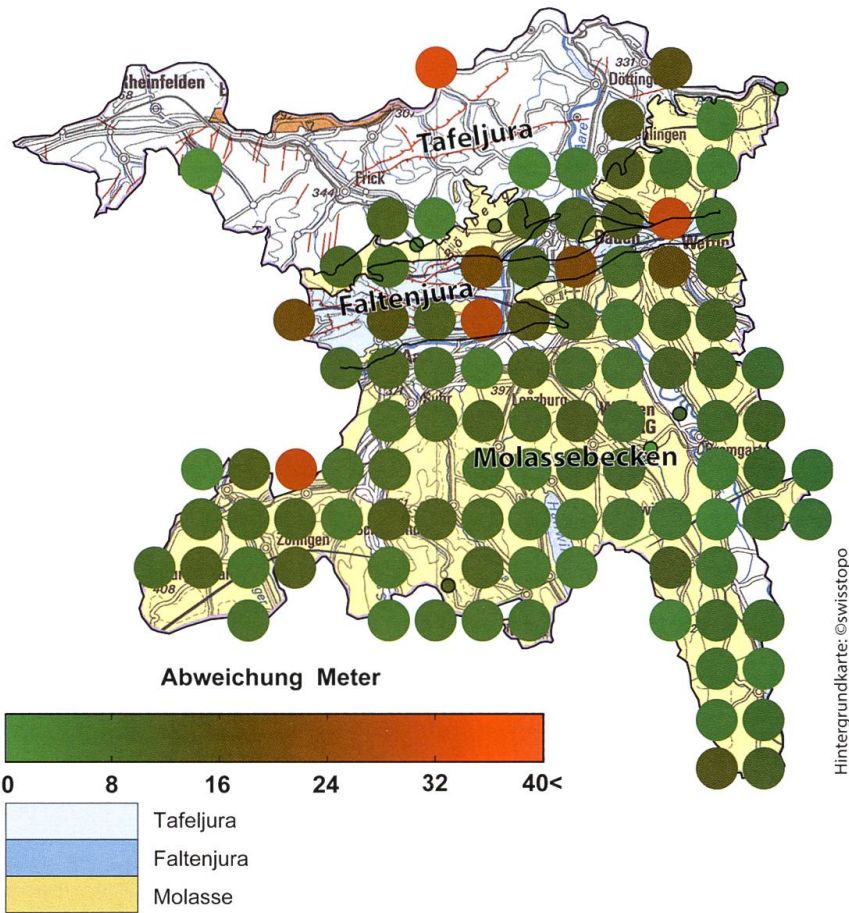
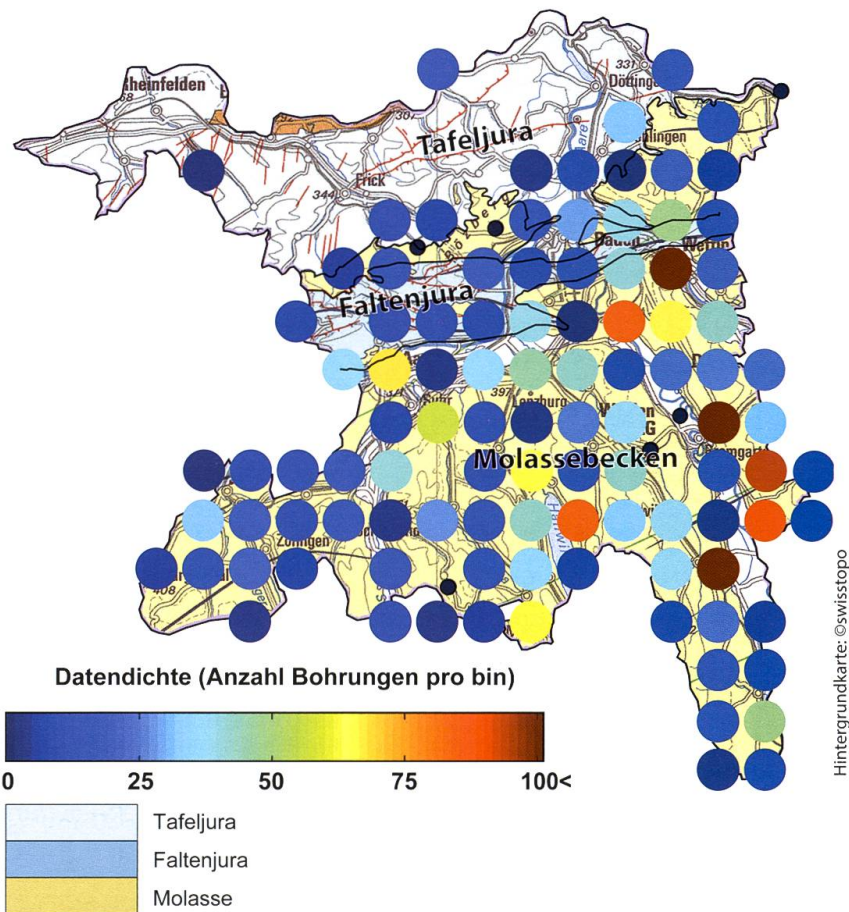


Fig. 4: Gemittelte prozentuale Abweichung pro Einheitsfläche (*bin*) mit 3'000 x 3'200 m ($\Delta N/ \Delta E$) Kantenlänge. Fällt nur eine Bohrung in ein *bin*, wird die Bohrung beibehalten. Mit A und B gekennzeichnete Felder werden im Haupttext detaillierter beschrieben. Die Farbgebung (grün-gelb für akzeptabel und orange-rot für grosse Ablenkungen) spiegelt die in § 15 Abs. 3 EG UWR gegebene 10% wieder (Anhang).



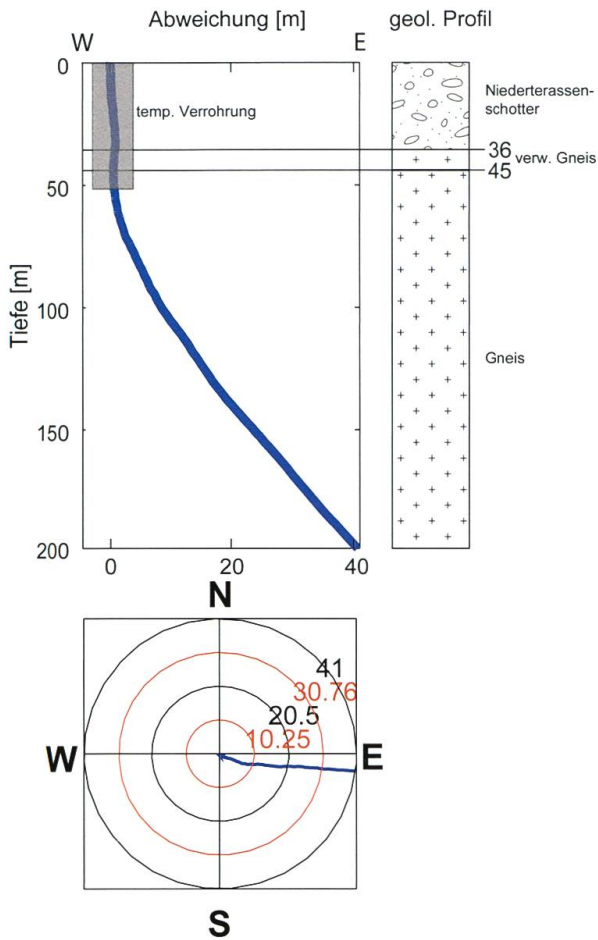
Hintergrundkarte: ©swisstopo

Fig. 5: Gemittelte absolute Abweichung pro Einheitsfläche (*bin*) mit 3000 x 3200 m ($\Delta N/ \Delta E$) Kantenlänge. Fällt nur eine Bohrung in ein *bin*, wird die Bohrung beibehalten.



Hintergrundkarte: ©swisstopo

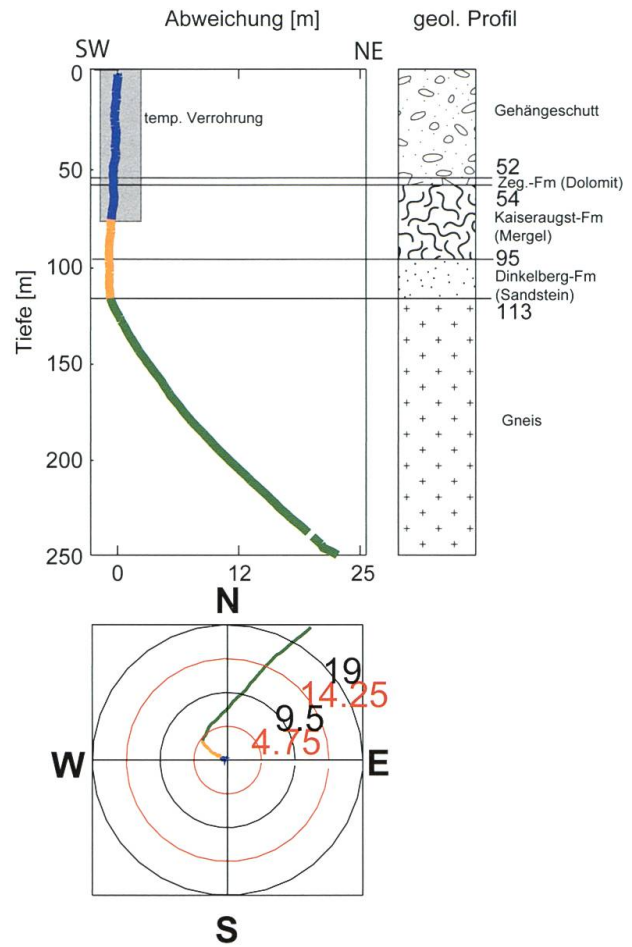
Fig. 6: Anzahl Bohrungen pro bin (Überdeckung). Bins mit nur einem Datenpunkt werden, analog zu Figur 4 und Figur 5 durch die Bohrung selbst angezeigt.



ID1800 --- dev: 40.9 m (21%) / azi: 98.1 deg ---

Fig. 7: Bohrlochverlauf Etzgen und zugehöriges geologisches Profil. Die dargestellte Bohrung ist repräsentativ für 16 von 17 Bohrungen in bin A aus Figur 4.

den im Grundgebirge nördlich des Rheins mehrere WNW–ESE, d.h. herzynisch streichende Störungen, nachgewiesen (Diepold et al. 2006). Dieses generelle Bruchmuster lässt sich auch östlich der Aare beobachten (Grabenzone Rietheim – Zurzach, Bitterli et al. 2000), ebenso lässt in der nächstgelegenen Tiefbohrung Kaisten im oberen Kristallinbereich (300 – 850 m) ein vorwiegend NW – SE streichendes Bruchmuster erkennen (Peters 1989). Denkbar wäre auch, dass die präferierte Neigung nicht entlang des Streichens, sondern entgegen des Fallens der Bruchstrukturen ausrichtet.



ID1199 --- dev: 22 m (8.6%) / azi: 45 deg ---

Fig. 8: Gegenüberstellung Bohrlochverlauf Etzgen und zugehöriges geol. Profil einer Kristallinbohrung innerhalb bin A. Die Blickrichtung der Seitenansicht (obere Abbildung) ist von Südosten, der orange Bohrabschnitt weicht «in die Bildebene ab» und ist nur in der Aufsicht (untere Abbildung) ersichtlich.

3.3 Einfallsrichtung und Vortriebsart

Es liegen insgesamt 1'521 Richtungsangaben zur Auswertung vor. Da die Abweichungen gemäss Abschnitt 3.2 von den tektonischen Begebenheiten abhängen, wurden die Neigungsrichtungen ebenfalls entsprechend der Dreiteilung Molasse – Faltenjura - Tafeljura dargestellt (Fig. 9). Das Einfallen der flachliegenden mittelländischen Molasse (OSM, OMM und USM) ist generell in Richtung Südosten (Landesgeologie 2017). Dementsprechend ist das ausgeprägte Nordwest-Einfallen der Bohrungen im Molassebecken erkennbar, die Bohrungen richten sich demnach entge-

gen der generellen Einfallsrichtung aus. Analoges ist in den Jura-Einheiten zu erkennen, die Bohrungen richten sich hier verstärkt nach NNW aus, senkrecht zum generellen WSW-ENE-Streichen der Mesozoischen Einheiten (Fig. 3). Daraus lässt sich schliessen, dass ohne stabilisierende Massnahmen oder eine richtungshaltende Verrohrung der offene Bohrvortrieb sich senkrecht zur generellen Schichtlagerung ausrichtet, die Steifheit des Bohrgestänges alleine hält die Bohrung nicht in der Vertikalen, bzw. der Spielraum bei den Gewinden lässt eine automatische Korrektur zu einem gewissen Masse zu.

Zu erwähnen ist der in der Figur 9 ersichtliche Ausschlag nach Osten im oberen Diagramm (Tafeljura). Hier zeichnen sich die 17 ostwärts abgelenkten Bohrungen aus oben beschrieben bis A im Gneis ab, welche durch ihre Lage (Mettauer-Tafel) zwar tektonisch dem Tafeljura zugeschrieben werden, wie erläutert jedoch eine grosse Bohrstrecke im darunterliegenden Grundgebirge aufweisen.

Weiter zeigen im Einzelnen ausgewählte Sondenfelder oder ganze Ortsteile entgegen der Erwartung ein konstantes Einfallen nach Süden. Eine mögliche Erklärung ist, dass sich diese Lokationen auf der Nordflanke einer Antiklinalstruktur befindet und so die Schichten, lokal gesehen, nach Norden einfallen. Die Gründe für dieser «Sonderfälle» sind in einer fallweisen Detailbetrachtung zu finden.

Erdwärmesondenbohrungen werden in der Regel entweder schlagend (Imlochhammer) oder drehend (im Kanton Aargau kommen meist PDC-Meissel zur Anwendung) abgeteuft. Der Gesteinsabtrag geschieht bei der Imlochhammer-Bohrung schlagend-zertrümmernd, bei der Rotationsbohrung drehend-schabend. Beide Bohrarten zeigen eine ähnliche Abweichung über das ganze Kantonsgebiet (Hammer 4.8% und Rotation 4.5%). Erst die erneute Unterteilung in Jura- und Molassebereiche zeigt Unterschiede: Im Falten- und Tafeljura ergeben sich durch Imlochhammerbohrungen grössere Abweichungen als durch Rotationsbohrungen, im Molassebecken scheint dies genau umgekehrt zu sein, wobei die Diskrepanzen im Jura ausgeprägter sind als im Molassebecken (Fig. 9). Eine Erklärung hierfür mag sein, dass im Jura ausgeprägte Diskontinuitäten (markante Schichtwechsel, Klüfte, Karst) anzutreffen sind. Der vertikale (schlagende) Energieeintrag sowie der wesentlich raschere Bohrvortrieb bei Hammerbohrungen erlaubt eine schnellere Ausrichtung beim Durchgang durch die Dis-

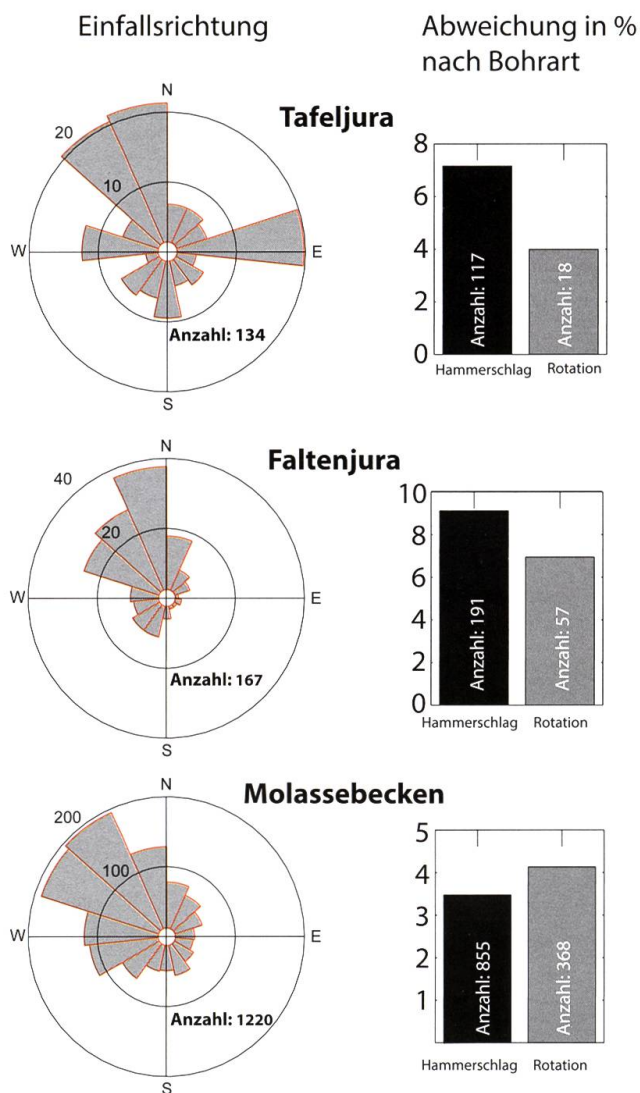


Fig. 9: Einfallsrichtung und Abweichungen nach Bohrart aufgeschlüsselt in die Grosstektonischen Einheiten Molassebecken – Faltenjura – Tafeljura. Die zu den jeweiligen Darstellungen hinter liegenden Anzahl Vermessungen ist ebenfalls angegeben.

kontinuitätsfläche. Die Diskrepanzen in der Molasse (3.5% Hammer vs. 4.1% Rotation) sind theoretisch durch die angegebene Ungenauigkeit in der Auswertung zu erklären (Abschnitt 2.3), eher wahrscheinlich ist jedoch, dass die rein statistische Auswertung der Inhomogenität des Molassebeckens nicht gerecht wird. Imlochhammer und PDC-Bohrungen kommen bei unterschiedlichen Untergrundverhältnissen zum Einsatz, eine feinere Aufteilung des Molassebeckens würde hier Klarheit schaffen.

Somit kann zumindest festgehalten werden, dass aus obiger Darstellung zwar ein Unterschied der Bohrkronenwahl in unterschiedlicher Geologie ersichtlich ist. Das Verhalten des Bohrkopfes beim Bohrvorgang sowie die Suche nach Gründen der unterschiedlichen Ablenkung bedingt jedoch Kenntnisse weiterer Parameter wie Bohrandruck/Schlagdruck, Drehzahl und Bohrfortschritt. Weiter wären hierfür repräsentative Hammerschlag- und Rotationsbohrungen in derselben Geologie gegenüberzustellen und unbeabsichtigte Einflussfaktoren wie Alter des Materials (Ermüdung) oder die Erfahrung des Geräteführers auszuschließen. Diese Detailuntersuchungen sind nicht Bestandteil der eher generellen Darstellungen dieses Artikels.

4 Fallbeispiel Baden

In Baden wurde ein Erdsondenfeld geplant (hier Sondenfeld B genannt, geplant auf 280 m Tiefe). Rund 40 m südlich der Projektparzelle bestand bereits ein Sondenfeld A mit Bohrungen auf 220 m Tiefe. Im Wissen um die generell grossen Ablenkungen in Baden wurden vor Bohrausführung die Ablenkungsmessungen des bestehenden Sondenfeldes konsultiert. Es zeigte sich, dass die bestehenden Bohrungen mit Abweichungen von 48 bis 59 m tatsächlich unter die Projektparzelle reichen. Aus diesem Grund wurden die Bohrungen des Sondenfeldes B bereits um 5° nach Norden geneigt angesetzt. Dank der anfänglichen Neigung und der «natürlichen», bzw. erwarteten Ausrichtung nach Norden konnten die Bohrungen des Sondenfeldes B abgeteuft werden, ohne dass das bestehende Sondenfeld A tangiert wurde (Fig. 10).

Speziell in diesem Fall kam hinzu, dass in rund 120 m Distanz zur nördlichsten Bohrung des Sondenfeldes B der äußerste Thermenschutzbereich der Thermalquellen von Baden und Ennetbaden beginnt. Wenn auch ein Eindringen in den Schutzbereich durch diese Distanz unwahrscheinlich erscheint, wurde den schräg angesetzten Bohrungen nur unter der Auflage zugestimmt, dass diese nicht in den Thermenschutzbereich reichen dürfen.

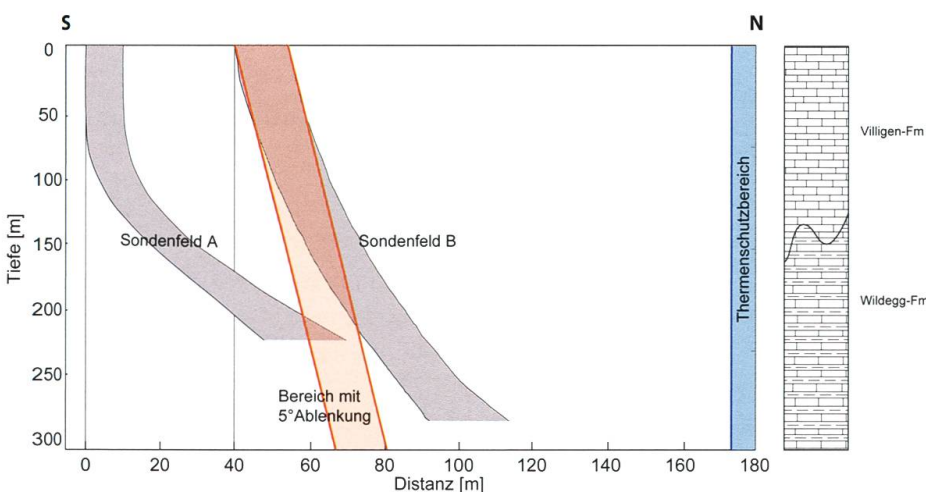


Fig. 10: Ablenkung (Umhüllende) der Sondenfelder A und B. Im Wissen um die Ablenkung des bestehenden Sondenfeld A wurde bei der Planung des Sondenfeld B die Bohrung bereits um 5° geneigt angesetzt (roter Bereich). Zu beachten: Durch das starke Einfallen der Schichten variiert der Übergangsbereich zwischen der Villigen- und Wildegg-Formation auf hier dargestellte Distanz.

5 Rechtliche Situation

Wer Eigentümer einer Liegenschaft ist, kann diese laut Zivilgesetzbuch in den Schranken der Rechtsordnung frei nutzen (ZGB, Anhang). In horizontaler Hinsicht enden die Nutzungsrechte des Grundeigentümers bei den Parzellengrenzen, die im Grundbuch eingetragen sind. In der Vertikalen gibt es keine fixen Parzellengrenzen, sondern das Grundeigentum reicht gemäss Zivilgesetzbuch jeweils so weit in die Tiefe, als der Grundeigentümer ein schutzwürdiges Interesse an der Nutzung seiner Liegenschaft hat (ZGB, Anhang).

Die rechtliche Situation im Untergrund wurde in neuerer Zeit von Abegg & Dörig 2018, die Nutzung der Erdwärme im Speziellen durch Dörig 2020 untersucht. Durch die Erstellung einer Erdsondenbohrung beansprucht der Grundeigentümer ein Nutzungsinteresse bis zur Endtiefe der Bohrung, was somit bedeutet, dass zugleich eine Ausdehnung des Eigentums in die Tiefe erfolgt. Die Tiefengrenzziehung soll dabei nicht als starre Fläche im Untergrund verstanden werden, sondern die Liegenschaftsgrenzen reichen an verschiedenen Punkten der Parzelle unterschiedlich weit in die Tiefe (Abegg & Dörig, 2018). Solange sich die Erdsonde daher innerhalb der horizontalen Parzellengrenze befindet, nutzt der Grundeigentümer ausschließlich sein eigenes Eigentum.

Wenn eine EWS über die Parzellengrenzen hinausragt, nutzt der Grundeigentümer dementsprechend nicht mehr nur seine eigenen, sondern auch fremde Ressourcen. Möglicherweise erstreckt sich die Nachbarsparzelle ebenfalls bis in die entsprechende Tiefe, da der benachbarte Grundeigentümer in diesem Bereich ebenfalls nach ZGB ein Ausübungsinteresse vorweisen kann. Dieser

Fall wäre privatrechtlich zu lösen, da jeder Grundeigentümer Abwehrrechte gegen Substanzeingriffe (Eindringen EWS) oder gegen indirekte Einwirkungen (übermässiger Wärmeentzug, siehe weiter unten) besitzt. Für eine weitere Betrachtung der Abwehrrechte, deren Wirkung und Limitationen sei auf die oben genannten Arbeiten zur rechtlichen Situation verwiesen.

Interessant ist auch die Betrachtung des unwahrscheinlichen aber denkbaren Falls, in dem eine neu erstellte Bohrung unter der eigenen Parzelle eine bereits bestehende, überragende EWS des Nachbarn anbohren und zerstören sollte. Hier stellt sich die Frage, wer nun der Geschädigte ist. Nach momentaner Auffassung (Dörig 2020) und wie oben erläutert, gehört der überragende Teil der EWS zur Liegenschaft, in welcher er sich befindet, d.h. nicht zur «Heimatparzelle» der EWS. Durch die abgelenkte Bohrung liegt daher ein Substanzeingriff vor, der Nachbar bleibt entschädigungslos auf seiner zerstörten Erdsonde sitzen³.

Der öffentliche Untergrund ergibt sich aus dem Negativ des privaten Interessen- bzw. Beherrschungsbereichs (Ruch 2019). Verlässt eine abgelenkte EWS daher die horizontalen Grundstücksgrenzen und kann der benachbarte Grundeigentümer den neu eingenommenen Untergrundbereich nicht für sich beanspruchen, befindet sich der überragende Teil der EWS im öffentlichen Untergrund und damit im Hoheitsgebiet des Kantons. Hier kommt die Regelungskompetenz von öffentlichen Ressourcen des entsprechenden Kantons zum Zug.

Erdwärmesonden bis 400 m Tiefe werden im Kanton Aargau gewässerschutzrechtlich bewilligt und benötigen keine Konzession

³ Eine vorzeitige Einrichtung einer im Grundbuch eingetragenen Dienstbarkeit würde den überragenden Teil der EWS der Störparzelle («Heimatparzelle») zuweisen.

(GNB, Anhang). Seit Inkrafttreten des GNB sind im Kanton Aargau keine EWS erstellt worden, die tiefer als 400 m in den Untergrund reichen. Sofern keine weiteren öffentlichen Interessen wie der Grundwasserschutz dagegensprechen, wird daher vom Kanton die Inanspruchnahme öffentlichen Untergrunds, bzw. das Verlassen des privaten Eigentums, geduldet.

Neben der räumlichen Komponente (Lage der EWS) ist die thermische Komponente gesondert zu betrachten. So hat eine EWS, auch wenn sie sich innerhalb der Parzellengrenzen befindet, über die Betriebsjahre eine thermische Veränderung auf den Nachbarsparzellen zur Folge. Der Nachbar hat jedoch erst ein Abwehrrecht gegen diese Beeinflussung, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Liegenschaft eine «übermässige Einwirkung» erfährt und somit in der eigenen Nutzung der Erdwärme massiv eingeschränkt oder diese gar verunmöglicht wird. Anderenfalls sind thermische Einwirkungen (wie andere indirekte Einwirkungen wie Lärm, Gerüche oder Schattenwurf ausgehend von der Nachbarsparzelle) in einem gewissen Mass zu dulden (Dörig 2020).

Zu erwähnen ist, dass es in der juristischen Fachwelt abweichende Meinungen gibt (Poltier 2019). Es wird u.a. argumentiert, dass der Gesetzgeber bei Erlass des ZGB die Erdwärmennutzung mit den heutigen Technologien nicht vorhersehen konnte. Es sei nicht die Absicht des Gesetzgebers gewesen, dass sich das Grundeigentum mehrere hundert Meter in die Tiefe erstrecken kann. Folgt man dieser Argumentation und nicht der Interpretation bestehenden Rechts nach Dörig 2020, besteht im Untergrund tatsächlich ein nutzungsrechtlich rechtsfreier Raum bis zu der gewissen Tiefe, ab der die Kantone die Erdwärmennutzung als öffentlich erklären (im Aargau die besagten 400 m).

6 Schlussfolgerungen

Es zeigt sich, dass Erdsonden im Schnitt mit 9.5 m, bzw. 4.7% zur Bohrtiefe abgelenkt werden. Grosse Ablenkungen sind tektonisch bedingt, jedoch ist Realität, dass grundsätzlich bei jeder Erdsonde mit einer Ablenkung im Meterbereich gerechnet werden muss. Normalerweise werden Bohrstandorte ausserhalb der Gebäude im Grenzbereich der Parzelle (z.B. in der Auffahrt oder im Vorgarten) mit einem üblichen Grenzabstand von 3 m platziert. Daher muss angenommen werden, dass eine nicht unerhebliche Anzahl EWS die «Heimatparzelle» in einer gewissen Tiefe verlassen. Grundsätzlich richten sich die Erdsonden entgegen dem Einfallen der Schichten aus, d.h. eine gewisse Richtung ist bereits vorgegeben und ist nicht zufällig. Dies führt glücklicherweise dazu, dass sich benachbarte Erdsonden in ein Muster einordnen und sich so gegenseitig meiden.

Weiter soll festgehalten werden, dass Abweichungen gewässerschutzrechtlich nicht bedeutsam sind, ignoriert man die Tatsache, dass bei Aufliegen der Sondenrohre an der Bohrlochwand eine saubere Hinterfüllung inkl. kompletter Einschluss der Sondenstränge erschwert wird.

Die Relevanz von Erdsondenbohrungen ergibt sich aus der grossen Anzahl und der beanspruchten Tiefe. So wurden im Kanton Aargau seit 1987 rund 18'700 EWS-Bohrungen⁴ mit durchschnittlich 174 m Tiefe bewilligt, was theoretisch rund 3.25 Millionen Laufmeter Erdsonden entspricht. Durch die grosse Anzahl sowie die flächenhafte Verteilung über das ganze Kantonsgebiet ist die Wärmenutzung mittels Erdsonde im mitteltiefen Bereich (~50 – 400 m) der relevanteste Eingriff in den Untergrund.

Rechtlich hat der Grundeigentümer im Un-

⁴ Die rund 18'700 (Einzel-) Bohrungen verteilen sich auf rund 10'000 Bewilligungen / Anlagen.

tergrund innerhalb der eigenen Parzellengrenze ein Ausübungsinteresse, welches mit Abwehrrechten geschützt ist. Besteht bereits ein schutzwürdiges Interesse am Untergrund, z.B. durch eine EWS bis in einige hundert Meter in die Tiefe, so erstreckt sich auch das Eigentum in die Tiefe. Es bestehen weiterhin privatrechtliche Unklarheiten in Sachen räumliche Ausdehnung des Eigentums, da die Parzellenfläche nicht eins zu eins in den Untergrund projiziert wird, sondern tiefenabhängig ist sowie zur Frage der «übermäßigen Einwirkung» der thermischen Veränderung. Diese Unklarheiten sind nicht pauschal zu beantworten, sondern sind fallweise zu beurteilen.

Durch die Präsentation eines einzigartigen Datensatzes soll, neben den geologischen und bohrtechnischen Erkenntnissen, auch ein Beitrag zur raumplanerischen und baurechtlichen Diskussion geleistet werden, getreu nach der Überschrift der letztjährigen Ausgabe des Swiss Bulletins: «Chaos im Untergrund – Fakten statt Mythen» (SASEG & SFIG, 2019).

Literatur

- Abegg A. & Dörig L. 2018: Untergrund im Recht. Rechtsgutachten im Auftrag der Bau- Planungs- und Umweltdirektorenkonferenz (BPUK) und der Energiedirektorenkonferenz (EnDK). Oktober 2018, Winterthur
- ARE, 2011: Weshalb sich die Raumplanung um den Untergrund kümmern muss. Bericht der Arbeitsgruppe "Raumplanung im Untergrund". Bundesamt für Raumentwicklung, April 2011, Bern.
- Badoux, V., Ritter, U., Fischer, H. & Soom, S. 2017: Temperatur-, Verlaufsmessungen und Thermal Response Tests in Erdwärmesonden. Schlussbericht vom 6. Oktober 2017, Bundesamt für Energie, EnergieSchweiz
- Bitterli, T., Graf, H.R., Matousek, F. & Wanner, M. 2000: Blatt 1050 Zurzach, Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, Erläut. 102. Landeshydrologie und -geologie (Hrsg.), Bern
- BFE 2018: Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz, Ausgabe 2018. Schlussbericht vom 30. Juli 2019, Geo-Future GmbH. Bundesamt für Energie, EnergieSchweiz.
- Burger, H. 2011. Die Thermalwässer und Mineralwässer im Kanton Aargau und seiner näheren Umgebung. Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft 37: 91–111.
- CHGEOL 2012: Empfehlungen des Schweizer Geologenverbands CHGEOL zur Harmonisierung von Verfügungshoheit, Sachherrschaft und Nutzungsvorschriften. Bericht des Schweizer Geologenverband CHGEOL, Oktober 2012, Solothurn
- Diebold, P., Bitterli-Brunner, P. & Naef, H. 2006: Blatt 1069/1049 Frick-Laufenburg. – Geol. Atlas Schweiz 1:25 000, Erläut. 110. Landeshydrologie und -geologie (Hrsg.), Bern
- Dörig, L. 2020: Das Recht zur Nutzung der Erdwärme, Zürich/St. Gallen 2020
- EGK 2013: Handlungsempfehlungen der Eidgenössischen Geologischen Fachkommission (EGK) zur Regelung der Nutzung des tiefen Untergrundes, Eidgenössische Geologische Fachkommission EGK, Erläuterungsbericht vom 8.12.2013, Bern
- Grimm, M., Stober, I., Kohl, Th. & Blum, Ph. 2014: Schadensfallanalyse von Erdwärmesondenbohrungen in Baden-Württemberg. Grundwasser 19: 275-286.
- Gutzwiller, F. 2009: Motion 09.4067, Im Untergrund herrscht Chaos. Ergänzungen im Raumplanungsgesetz nötig. Ständerat 2009
- Knüsel, P. 2015: Erdwärmesonden im Dichtestress. Schweizerische Bauzeitung TEC21, Nr. 9 – 10, Februar 2015
- Pietsch, J. 2015: Abschätzung möglicher Nachfolgeschäden untiefer Geothermienutzung in Mumpf: Lokalisierung eines permeablen Störungssystems. Regio Basiliensis 56/2: 89–97.
- Peters, Tj., Matter, A., Isenschmid, Ch., Meyer, J. & Ziegler, H.J. 1989: Sondierbohrung Kaisten, Geologie, Textband. Geologische Berichte 10, Landeshydrologie und -geologie (Hrsg.), Bern – auch erschienen als Nagra Technischer Bericht 86-04
- Poltier, E. 2019 : Géothermie et propriété privée. In Michel Hottelier / Benedict Foëx (éds), La sphère privée du propriétaire – Les effets du droit de propriété dans l'espace, Collection Genevoise, Genève / Zurich 2019, Schulthess Éditions Romandes
- Madritsch, H., Meier, B., Kuhn, P., Roth, P., Zingg, O., Heuberger, S., Naef, H. & Birkhäuser, P. 2013: Regionale strukturgeologische Zeitinterpretation der Nagra 2D-Seismik 2011/12. Nagra Arbeitsber. NAB 13-10.
- Meier, B., Kuhn, P., Roth, Ph., Muff, S. & Madritsch, H. 2014: Tiefenkonvertierung der regionalen Strukturinterpretation der Nagra 2D-Seismik 2011/12. Nagra Arbeitsber. NAB 14-34.
- Landesgeologie 2017: GeoMol: Geologisches 3D-Modell des Schweizer Molassebeckens – Schlussbericht. Ber. Landesgeol. 10.

Ruch, A. 2019: Gesetzliche Grundlagen für die Raumplanung im Untergrund, Swiss Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 24/1, 2019
 SASEG & SFIG 2019: Swiss Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 24/1, 2019
 Schweizerischer Bundesrat 2014: Bericht des Bundesrates zur Nutzung des Untergrundes in Erfüllung des Postulats 11.3229, Kathy Ricklin, vom 17. März 2011. Bericht vom 5. Dezember 2014, Bern.

Schweizerischer Bundesrat 2018: Geologische Daten im Untergrund. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Vogler 16.4108 vom 16. Dezember 2016. Bericht vom 7. Dezember 2018, Bern.

Anhang

Tabelle 1: Relevante Auszüge aus Gesetzen und Normen

Dokument	Bestimmung (Auszug)
Gesetz über die Nutzung des tiefen Untergrundes und die Gewinnung von Bodenschätzen, GNB vom 19. Juni 2012 (Stand 1. März 2013) SAR 671.200	§ 2 Art. 3: Erdwärmesonden bis zu einer Tiefe von 400 m benötigen keine Konzession gemäss diesem Gesetz. Sie werden gemäss den Vorschriften des Umweltrechts bewilligt.
Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässer, EG UWR , vom 4. September 2007 (Stand 31. Dezember 2016) SAR 781.200	§ 3 Art. 3: Der Kanton führt ein Verzeichnis, das Standort und Verlauf der durchgeführten Bohrungen beinhaltet. § 15 Art 2: Bohrungen, die tiefer als 100 m sind, müssen zuhänden der kantonalen Fachstelle vermessen und dokumentiert werden.
Änderungsentwurf des Bundesgesetz über die Raumplanung, RPG SR 700	§ 15 Art. 3: Bei einer seitlichen Abweichung von mehr als 10% der Bohrtiefe entscheidet die kantonale Fachstelle, ob die Bohrung genutzt werden kann oder verfüllt werden muss.
SIA 384/6:2010 Erdwärmesonden SN 546 384/6/ Vernehmlassung Entwurf prSIA 384/6 (2019)	Art. 3 Abs 5: Die Nutzungen des Untergrundes, insbesondere die Nutzungen von Grundwasser, Rohstoffen, Energie und baulich nutzbaren Räumen, sind frühzeitig aufeinander sowie auf die oberirdischen Nutzungen und die entgegenstehenden Interessen abzustimmen.
Schweizerisches Zivilgesetzbuch, ZGB vom 10. Dezember 1907 (Stand am 1. Januar 2019) SR 210	2.3.3.3: Die Bohrungen sind prinzipiell senkrecht auszuführen. Für Schrägbohrungen sind die ebenfalls nötigen zusätzlichen Bewilligungen einzuholen (Nachbargrundstücke, Gemeinde, Kanton). Art. 641 Abs.1: Wer Eigentümer einer Sache ist, kann in den Schranken der Rechtsordnung über sie nach seinem Belieben verfügen.
	Art. 667 Abs 1: Das Eigentum an Grund und Boden erstreckt sich nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht.

