

Rudersberg-Zumhof Sanierung einer Erdwärmesonde mit neuem Verfahren

In der Vergangenheit haben in Baden-Württemberg fehlerhafte Erdwärmesondenbohrungen zu einigen Schadensfällen mit Hebungen bzw. Setzungen geführt. Die Beseitigung der Ursachen erwies sich stets als schwierig. Jeder Schadensfall wurde auch wegen unterschiedlicher Randbedingungen und fehlender Standard-Verfahren mit einer anderen Methode oder Variante saniert. Jetzt gelang in Rudersberg, etwas östlich von Stuttgart, im zweiten Versuch die Sanierung einer längsläufigen Erdwärmesonde im Bereich eines Gipskeuperquellens. Hierzu hat eine im „Ländle“ ansässige Firma ein Bohrverfahren mit einer neuen Überbohrkrone auf die vorhergehende missglückte Sanierung abgestimmt, die Erdwärmesonde erfolgreich überwaschen, gezogen und das Loch dann abgedichtet.

1. Historie

In einem Neubaugebiet im Teilort Zumhof der Gemeinde Rudersberg, Rems-Murr-Kreis, wurden in den Jahren 2007 und 2009 für insgesamt sieben Häuser 20 Erdwärmesonden mit Tiefen von 40 bis 70 m gebohrt. Alle wurden von der gleichen Bohrfirma gebohrt. Die Firma war damals noch nicht zertifiziert; daher war zur Überwachung ein Sachverständiger vorgeschrieben gewesen. 2007 gab es noch keine Beschränkung der Bohrtiefe auf den Gipsspiegel; 2009 mussten die Bohrtiefen dann beschränkt werden.

Geologisch liegt das Gebiet im Gipskeuper und die Bohransatzpunkte auf Höhe Engelhofer Plate/Corbula Bank und im Bereich der Endteufe an der Grenze zum Übergang zum Lettenkeuper. Den Behörden war unbekannt, dass 2007 bei einer Bohrung das Bohrgestänge bei einer – unbekannt – Bohrtiefe abgebrochen war und Zugversuche nach wenigen Metern zu erneutem Bruch geführt hatten. Daraufhin Firma hat die Bohrung unverpresst mit dem etwas hochgezogenen Gestänge aufgegeben und eine neue Bohrung abgeteuft.

2. Hebungen

Bis 2010 blieben die Folgen unbemerkt. Dann meldete sich ein Anwohner bei der Gemeinde, dass sich seine Garage und sein Haus voneinander wegbewegten.

Da das Gebäude nur 30 m von der nächsten Erdwärmesonde in dem o.g. Neubaugebiet entfernt lag und man durch einen Erdwärme-Schadensfall in Schorndorf, ebenfalls Rems-Murr-Kreis, und durch den Fall in Staufen sensibilisiert war, hat das Landratsamt die Bohrfirma und den Sachverständigen zu Auffälligkeiten befragt und das Gebiet besichtigt.

Im Baugebiet waren keine weiteren Schäden bekannt oder augenfällig und die Firmen teilten auch keine Auffälligkeiten bei den Bohrungen mit. Nachdem aus den geologischen Profilen bekannt war, dass in allen Bohrungen das Mineral Gips (Anhydrit war nicht diagnostiziert worden) vorhanden ist, ging man davon aus, dass das Gebäude im Bereich eines Erdfalles sein könnte, was in dieser Gegend nicht unüblich ist.

Erst im April 2012, nachdem sich die Schadensmeldungen mehrten, wurde durch eine Nachvermessung im Auftrag der Gemeinde festgestellt, dass sich das gesamte Gebiet, das auf einer Kuppe liegt, um bis zu 40 cm gehoben hat.

Hochgenaue Nachvermessungen ergaben Hebungsgeschwindigkeiten von bis zu 7 mm pro Monat. Aktuell, nach den im Mai 2014 beendeten Sanierungen, beträgt die Hebungsgeschwindigkeit im August 2014 nur noch 3,6 mm pro Monat.

<Bild 1a>

<Bild 1b>

3. Erkundung

Erst dann wurde bekannt, dass 2007 ein Bohrgestänge an der Geländeoberkante abgebrochen war, nachfolgend „havarierte Bohrung“ genannt. Die Bruchkante des Gestänges war sehr oberflächennah und wurde schnell freigelegt.

Das Gestänge konnte mit einer Kamera bis in ca. 61 m Tiefe befahren werden, dann war der Imlochhammer sichtbar. Das Maß des Hochziehens bei den damaligen Zugversuchen konnte der Bohrgeräteführer nicht mehr angeben. Erst am Ende der Sanierung stellte sich heraus, dass das Bohrloch damals bereits auf Endteufe bei 70 m war.

Weitere Messungen, mit denen man Rückschlüsse auf den Ringraum ziehen kann, waren in dem Gestänge nicht möglich.

Untersuchungen in den Erdwärmesonden ergaben Temperatur-Anomalien, wie sie auch bei dem Gipskeuperquellen in Staufen gemessen wurden. Beim Gipskeuperquellen wird bei Wasserzutritt in einer exothermen Reaktion das Mineral Anhydrit in Gips umgewandelt, welcher bis zu 60 % mehr Volumen einnimmt. Aus den gemessenen Hebungen und Temperaturanomalien wurde dann die Arbeitsthese eines Gipskeuperquellens in Folge der missglückten Erdwärmehohrung entwickelt.

Weiterhin wurde bei einer Erdwärmesonde eine Längsläufigkeit von Wasser entlang der Sonde unterhalb von 20 m bis zur Endtiefe bei ca. 56 m festgestellt.

<Bild 2>

Die hydro-geologischen und mineralogischen Verhältnisse sind durch eine Erkundungsbohrung überprüft worden. Dabei wurde sowohl Grundwasser in diversen Tiefen als auch Anhydrit in 46 bis 64 m Tiefe gefunden, was die Arbeitsthese des Anhydritquellens bestätigte.

4. Sanierung der havarierten Bohrung

Als erster Teil der Sanierung wurde das abgebrochene Bohrgestänge überbohrt, da es nicht gezogen werden konnte, wie die Bohrfirma bereits seinerzeit festgestellt hatte. Der Hammer steckte fest und die Verhältnisse waren mit den Jahren durch das Gipskeuperquellen und die Korrosion schlechter geworden.

Eines reines Absprengen des Bohrhammers und Zugversuche am außen glatten Rohr kamen deshalb nicht in Frage, weil die Verhältnisse unterhalb des Hammers unbekannt waren und erforscht werden sollten. Tatsächlich waren, wie sich später herausstellte, 8 m „Luft“ unter dem Hammer.

Daher wurde das Gestänge konventionell überbohrt. Dies erwies sich jedoch als schwierig. Eine korrodierte Stange riss ab, der Hammer sackte um fast 8 m ab und es bestanden latente Gefahren durch Gipskeuperquellen und die Instabilität des Bohrlochs.

Nach der Bergung des Hammers im April 2013 wurde das Bohrloch mit Quellton abgedichtet, damit es auch bei zukünftigen Hebungen und Verschiebungen dicht bleibt.

5. Erster Überbohrversuch der Erdwärmesonde

Als nächster Schritt stand die Sanierung der längsläufigen Erdwärmesonde an.

Schwierig ist das Überbohren, weil die Erdwärmesonde aus PE besteht und die Zementation i.d.R. härter ist als Gipskeupergestein; weiterhin ist es wichtig, dem Bohrungsverlauf zu folgen und diesen zu nicht verlieren.

Für die Sanierung dieses Bohrlochs sollte die 56 m tiefe Sonde ganz ausgebaut werden, weil auch hier die vermutete Endteufe der Bohrung – mindestens – 60 m betragen sollte und somit unter der Erdwärmesonde unbekannte Verhältnisse vorlagen. Auch war seinerzeit beim Ausbau im Ringraum nicht-Sulfat-beständiger Zement verpresst worden, der daher auch entfernt werden sollte.

Da nach Lagemessungen die Bohrung aus der Vertikalen, zunächst bis 10 m Tiefe um 1 m nach Osten und dann um 3 m nach Norden, abweichen sollte, erschien eine großkalibrige Bohrung nicht realisierbar.

Daher griff man auf Erfahrungen aus einer anderen Sanierung in Renningen (Landkreis Böblingen) zurück. Hierzu wurden in die Erdwärmesondenschläuche Stahlseile einzementiert, die dann als Führung für eine Überbohrkrone an einer Rohrtour mit \varnothing 177,8 mm dienen sollte.

<Bild 3>

Dieses Verfahren musste im August 2013 abgebrochen werden, nachdem bereits beim Setzen des Standrohres alle vier Stahlseile in 4 m Tiefe „sauber“ durchgeschnitten wurden. In diesem Zusammenhang wurde die Erdwärmesonde in 4 m Tiefe freigelegt und mit Schachtringen mit einem Durchmesser von ca. einem Meter verbaut.

Beim Ausgraben wurde dann festgestellt, dass die Kubatur der ursprünglichen Bohrung bei bis zu 350 mm lag, vermutlich weil beim Bohren der Erdwärmesonde damals ohne Doppel-Drehkopf gebohrt worden war und die Hilfsverrohrung nicht mit dem 150 mm-Bohrhammer mitgeführt, sondern nur nachgeführt worden war. Diese größere Kubatur konnte mit der extra angefertigten Krone und dem Gestänge dann nicht mehr überschritten werden: Es wären immer wieder die zur Führung unabdingbaren Seile durchtrennt worden. Ein größeres Überbohrkaliber wäre zu unflexibel, um der Bohrung zu folgen, und der Innenraum wäre nicht geräumt worden.

6. Überlegungen zur Sanierung

Für die weitere Planung musste zusätzlich berücksichtigt werden, dass in den Erdwärmesonden jetzt auch Stahlseile einzementiert waren. Der Arbeitskreis, der gleich nach Bekanntwerden des Schadensfalls aus Vertretern von Umweltministerium und Regierungspräsidium, des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) sowie Fachbüros, Gemeinde, Betroffenen und dem Landkreis gebildet worden war, wurde durch weitere Verfahrens- und Bohr-Sachverständige erweitert. Neben Überlegungen, nun doch großkalibrig zu überbohren, gab es Planungen für Greiferverfahren, über Ausgraben (Schachten) bis hin zur chemischen Auflösung der Zementation.

Es wurde festgestellt, dass die Zementation zu 70 % aus Kalk besteht, den man durch Salzsäure auflösen kann. Erste Versuche durch ein Büro aus Nürnberg verliefen positiv und es wurde eine Säure-Konzentration gefunden, die beherrschbar erschien und mit ca. 2 cm/h einen gewissen Bohrfortschritt erzielte. Das Verfahren erreichte jedoch nicht in absehbarer Zeit die erforderliche Praxistauglichkeit. Die für das Bohrloch erforderliche Schichtung zwischen Salzsäure und inhibierter Spülung ließ sich nicht langfristig oder gar im Bohrloch selbst stabil einstellen.

Ein in früheren Zeiten übliches Handschachten erwies sich durch die heute geltenden Arbeitsschutzbestimmungen als zu aufwendig. Daraufhin wurde ein maschinelles Schachten mit ca. 4 m Durchmesser geplant und ausgeschrieben.

In einem letzten Versuch, das aufwendige Ausschachten zu vermeiden, wurde nochmals ein Überbohren versucht. Die Firma, die damals die Erdwärmesonden gebohrt hatte, hat zusammen mit der Firma Burkhardt eine neue Bohrkronen entwickelt. Diese hatte zwar ein großes Bohrkaliber, um die Kubatur zu umschließen, aber auch ein deutlich dünneres Gestänge, mit dem man flexibler dem Bohrverlauf folgen konnte.

7. Neue Überbohrtechnik

7.2 Planung und Versuche

Grundsätzlich musste bei der Planung und Entwicklung der besonderen Situation vor Ort Rechnung getragen werden. Hierzu trugen zum einen die nicht verifizierte Verlaufsmessung mit der Abweichung von über 3 Metern bei Endteufe sowie ein Knick bei ca. 10 m Tiefe und zum anderen die vom vorherigen Versuch einzementierten Stahlseile in den 4 Erdwärmesonden-

Schläuchen bei. Des Weiteren musste der enormen Kubatur der Hinterfüllung und somit einem möglichen Abstand der Sondenrohre von über 350 mm entgegnet werden.

Da ein Zerbohren der Erdwärmesonde durch die in voller Länge einzementierten Stahlseile mit einem Durchmesser von 14 mm nicht mehr möglich war, wurden die Überlegungen in Richtung Überbohren verfeinert. Resultierend aus den vorhandenen Erkenntnissen hat sich dann schnell ein Bohrdurchmesser von mehr als 500 mm herauskristallisiert. Da sich alle Beteiligten darüber einig waren, dass ein Rohr mit diesem Durchmesser viel zu steif für den erwarteten Krümmungsradius wäre, wurde hierfür eine Lösung gesucht. Diese wurde dann in Zusammenarbeit mit der Bohrfirma und der Fa. Burkhardt immer weiter verfeinert und in Modellen getestet. Ziel war es, ein Bohrwerkzeug zu bauen, das ohne spannende Schneiden, welche eine Gefahr für die Erdwärmesonde und die Drahtseile dargestellt hätten, das Gestein und die Hinterfüllung lösen kann und gleichzeitig den notwendigen Raum für die Zirkulation der Spülung erzeugt. Die „Steuerung“ der Bohrkronen musste gleichzeitig über die Erdwärmesonde mit den Stahlseilen erfolgen. Dies war nicht einfach, konnte jedoch durch das Herstellen einer ovalen Bohrkronen ermöglicht werden.

Ein Versuch im Realmaßstab auf dem Firmengelände der Bohrfirma bei einer vorher bis 10m Tiefe eingebauten Erdwärmesonde zeigte die grundsätzliche Funktion sowie das Optimierungspotenzial an Krone und System.

Ergebnis war, dass der noch bis 27m freie Injektionsschlauch in der Bohrung auch mit einem Drahtseil versehen werden musste und alle fünf Drahtseile durch den Kraftdrehkopf geführt und gespannt werden sollten, um so einen gleichmäßigen Zug auf alle Drahtseile zu gewährleisten. Des Weiteren konnte durch die in Augenscheinnahme der Bohrkronen die hauptsächlich beanspruchten Bereiche identifiziert und beim Neubau der Krone verstärkt werden. Die Krone wurde dann mit einem Bohrdurchmesser von ca. 550 mm und einer Baulänge von ca. 2 m hergestellt. Ziel war, durch einen seitlichen Freischnitt der Krone ein horizontales „Wandern“ durch die Führung der Stahlseile zu ermöglichen. Für das Bohrgestänge galt es, den bestmöglichen Kompromiss zwischen Flexibilität, Stabilität und dem erforderlichen Innendurchmesser zu finden. Mussten doch die 5 HD-PE Rohre mit 32 mm Durchmesser mit den erforderlichen und einzeln lösbaren Verbindungen in vier Metern Tiefe und in ca. zwei Metern über GOK zum Nachsetzen der Bohrgestänge untergebracht, und gleichzeitig die Bohrspülung vorbeigeleitet, werden.

<Bild 8>

Um dem Rechnung zu tragen, wurde ein Bohrgestänge $\varnothing 177,8 \times 8,8$ mm ins Auge gefasst. Da die Kombination aus einem Gestänge mit einem Innendurchmesser von ca. 160 mm mit zusätzlichen Querschnittverengungen und einem Bohrdurchmesser von ca. 550 mm und der daraus erforderliche Spülstrom als direkte Spülbohrung wenig Erfolg versprach, wurde auch hierfür eine Lösung gesucht. Ziel war es dann, die Bohrung als Luft-Hebe-Bohrung mit indirekter Spülungsrichtung abzuteufen. Dies bedeutet, dass die Bohrgutförderung im Gestänge nach oben stattfindet und die gereinigte Spülung im Ringraum nach unten fließt. Hierfür muss durch ein zusätzliches Rohr – möglichst weit unten – Druckluft in das Bohrgestänge eingeblasen werden.

Durch die so erzielte Verminderung der Dichte im Bohrgestänge wird der Spülstrom in Gang gesetzt. Da die innenliegende Erdwärmesonde ein Einhängestänge ausschloss und ein Doppelwandgestänge zu steif gewesen wäre, fiel die Wahl auf ein einwandiges Gestänge mit außenliegenden Luftkanälen mit Doppelwand-Gewindeverbindern, welche ein schnelles und effektives Arbeiten ermöglichten. Nachdem hierzu dann ein schlüssiges Konzept erarbeitet und mit den beteiligten Behörden und den Spezialisten des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in Freiburg abgestimmt wurde, ist die Wasserrechtliche Erlaubnis hierzu beantragt worden. Da das Schachtverfahren parallel ausgeschrieben und vorbereitet wurde, wurde dann unter Hochdruck mit den erforderlichen Vorbereitungen begonnen. Vereinbart war, dass es bei Nichterfolg der Überbohrung zu keiner zeitlichen Verzögerung des Schachtverfahrens führen darf.

Da laut den vorhergehenden Messungen davon auszugehen war, dass die Erdwärmesonde ab ca. 21 Metern Tiefe nicht bzw. nur unvollständig hinterfüllt wurde, wurde eine Traverse gebaut

welche gewährleisten konnte, dass alle 4 Drahtseile der Erdwärmesonde mit der gleichen Last beaufschlagt wurden und das Drahtseil im Injektionsrohr separat gespannt werden konnte. Die Traverse wurde auf die 500 kN Hakenlast der verwendeten Bohranlage Prakla RB 50 sowie die Mindestbruchkraft der verwendeten Stahlseile von je 140 kN ausgelegt.

<Bild 4>

So war man darauf vorbereitet, dass jederzeit Zugversuche stattfinden konnten. Da die Bohranlage standardmäßig über einen Spüldurchlass von 150 mm verfügt, musste hier nichts angepasst werden. Direkt am Spülkopfkrümmer wurde eine speziell angefertigte Dichtungspackung zur Abdichtung der Stahlseile angebaut, welche dann mit zunehmendem Verschleiß nachgespannt werden konnte. Durch die Verwendung einer Bohranlage RB 50 mit klappbarer Mastverlängerung und somit einer Masthöhe von ca. 17,5 m konnte trotz dieser Anbauten mit Gestängelängen von 6 Metern gearbeitet werden. Für den Fall, dass bei indirekter Spülungsrichtung zu Problemen mit der Aufrechterhaltung des Spülstroms kommen könnte, wurden auf der Baustelle zwei Duplex-Kolbenpumpe, eine Triplex-Kolbenpumpe, zwei Excenterschnecken-Pumpen sowie eine Kreiselpumpe vorgehalten. So wurden mögliche Stillstände bei auftretenden Problemen auf ein Mindestmaß reduziert. Die Bohrkronen wurden dann so gebaut, dass die Luft nur ca. 0,3 Meter über der Bohrlochsohle in die Krone eingeströmt ist und daher ein Bohren im Luft-Hebe-Verfahren schon sofort auf Höhe der Schachtsohle in 4 Metern Tiefe möglich wurde. Die äußeren Schneiden wurden mit Widia-Schneidplatten und durch drei Rollen eines Rollenmeißels an der Schneide und einen im Inneren der Krone ergänzt. Die drei unteren Rollen wurden jedoch im Verlauf der Bohrung aufgrund der Gefahr der Beschädigung der Stahlseile wieder entfernt. In die Bohrkronen wurden 3 Noppen zum Zertrümmern des in die Krone einwachsenden Bohrkerns aus Fels, Hinterfüllung und Erdwärmesonde eingebaut. Diese wurden übereinander nach je 1/3 des Umfangs eingesetzt und führten dazu dass der Kern gebrochen und zerkleinert wurde.

<Bild 5 >

Durch den vorher gesetzten Schacht konnten die Drahtseile in vier Metern Tiefe wieder angeschlossen und über den Abfangtisch der Bohranlage verlängert werden. Von den dort angebrachten Verbindungen führten die Seile dann durch den Kraftdrehkopf an die Traverse, die an der Hakenflasche der Hauptwinde angebaut wurde.

7.2 Bohrung

Die Bohranlage wurde zentrisch über der Erdwärmesonde ausgerichtet und aufgebaut. Um eine zusätzliche Stauhöhe von ca. 1,0 Meter zu gewinnen und einen gleichbleibend hohen Spülspiegel zu gewährleisten, wurde ein Stahl-Standrohr \varnothing 630 mm bis zur Schachtsohle eingebaut und der Ringraum zum Schacht hin vertont. Um das Vorgehen auf der Baustelle zu erleichtern und um ein Produkt mit allen erwünschten Prüfungen und Freigaben einzusetzen, wurde die Spülung mit dem Fertigprodukt Stüwamix angemischt. Zu erwähnen gilt hier, dass durch den Einsatz eines Kolloidalmischers der Fa. Hermel Zerspanungstechnik ein vollständiger Aufschluss der Spülungszusätze erreicht und somit auch Spülungszusätze eingespart werden konnten. Die Proben- Entnahmeeinrichtung wurde mit einem starken Magneten ergänzt, welcher dann ständig auf auftretende Späne der Stahlseile untersucht wurde.

Mit den Bohrarbeiten wurde begonnen, nachdem eine Zugkraft von ca. 50 kN verteilt auf die 5 Stahlseile aufgebracht wurde. Schon nach ca. 0,5 bis 1 Meter stellte sich ein anfangs nicht nachvollziehbares Phänomen ein. So konnte nur bis zu einem bestimmten Punkt gedreht werden. Danach wurde eine deutliche Erhöhung der Zugkraft auf den Seilen beobachtet. Ein Drehen gegen die Bohrrichtung führte zum Abbau der Zugkraft. Nach wenigen Umdrehungen trat aber auch hier das gleiche Problem auf. Nachdem dann noch ca. 0,5 Meter oszillierend gebohrt

wurde, wurde entschieden, die Krone auszubauen. Es wurde offenbar, dass ein Kantholz zum Verdrehen der Drahtseile und so zu der Zugkrafterhöhung geführt hatte. Leider wurde in diesem Zusammenhang aber auch eines der Drahtseile abgerissen, welches aber nach dem Abpumpen der Spülung wieder angeschlossen werden konnte.

Nach der Wiederaufnahme der Bohrarbeiten konnte bis auf 8 m Tiefe gebohrt werden. Dort wurde dann eines der Drahtseile durchtrennt. Hier fiel dann auch die Entscheidung, die 3 Rollenmeisel zu entfernen und die Krone innen zu glätten. Dies führte zwar zu einem merklichen Rückgang des Bohrfortschrittes, war jedoch ein zusätzlicher Sicherheitsgewinn. Um genügend Freiraum zum erneuten Anschluss des Seils zu erhalten, wurde mit den 4 verbliebenen Seilen bis auf 12 m Tiefe weitergebohrt. Um einen sicheren Zugang zu gewährleisten, wurde das Standrohr gezogen und ein Standrohr Ø 815 mm auf 6,4 m Tiefe eingebaut. Danach wurde die Bohrung mit einer Hohlbohrschnecke Ø 700 mm außen und Ø 450 mm innen bis 12 m Tiefe aufgeweitet. Auch hierbei wurden die Stahlseile immer unter Spannung gehalten. Darauf folgend wurde ein Standrohr Ø 630 mm bis auf 12 m Tiefe eingebaut und erneut abgedichtet. In dieser Rohrtour war es dann möglich, das Drahtseil zu fangen und zu verbinden. Hierzu wurde die Bohrung bewettert und mit einer speziellen Personenwinde und einer zusätzlichen Sicherung mit Rettungswinde befahren.

Danach konnte die Erdwärmesonde ohne besondere Vorkommnisse bis ca. 20,2 m überbohrt werden. Da die Bohrkronen immer wieder ausgebaut wurden, konnten in dieser teilweise Brocken aus reiner Hinterfüllung mit einer Kantenlänge von über 25 cm geborgen werden. Da an diesen keine Anformungen der Erdwärmesonden vorhanden waren, ist davon auszugehen, dass die Kubatur noch größer als die angenommenen 35 cm war.

Da die aufgebrachte und ständig über einen Drillometer überwachte Zugkraft auf der Erdwärmesonde bei ca. 20,2 m schlagartig nachließ und auch durch mehrmaliges Nachspannen kein erneuter Aufbau möglich war, wurden verschiedene Versuche durchgeführt. Um genauere Erkenntnisse über den Zustand der Bohrung zu bekommen, wurde dann entschieden, den ehemaligen Injektionsschlauch vorab einzeln zu ziehen. Da dieser dann eine Länge von ca. 41 m und keine Beschädigungen aufwies, konnte davon ausgegangen werden, dass auch die Erdwärmesonde unbeschädigt ist und auch diese sich aus der ab ca. 21 m nicht hinterfüllten Bohrung ziehen lässt.

Um zusätzliche Sicherheiten für das weitere Vorgehen zu generieren, wurde dann zuerst eine Hilfsverrohrung Ø 323,9 mm über die Erdwärmesonde bis in 21 m Tiefe eingebaut. Danach wurde die komplette Spülung ausgetauscht und eine inhibierte Spülung eingesetzt. Diese musste gewährleisten, dass kein freies Wasser in den Anhydrit gelangt, was dort ein zusätzliches Quellen verursachen könnte. Da sowohl in Stufen als auch in der Erkundungsbohrung in Rudersberg gute Erfahrungen mit einem Rezept gesammelt wurden, fiel die Entscheidung, die gleichen Zusätze zu verwenden. Die Spülung wurde dann mit den folgenden Bestandteilen angemischt:

Spülungszusatz	Konzentration
AMC-PAC UL CMC	30 kg/m ³
Kaliumcarbonat (Pottasche)	60 kg/m ³
Zitronensäure	2,5 kg/m ³
Premiumbentonit	nach Anforderung
Stopfmittel	nach Anforderung

Nachdem die Bohrung komplett mit der Spülung aufgefüllt und ausreichend Reserve angemischt wurde, konnte mit dem Ziehen der EWS begonnen werden. Auch hier konnte durch den Kolloidalmischer, der dem Injektor vorgeschaltet wurde, eine sehr gute Spülungsqualität erreicht werden.

Die Erdwärmesonde konnte dann mit einer Zugkraft von ca. 15 kN geborgen werden. Bei einer Tiefe des Sondenfußes von ca. 22 m trat eine kurzzeitige Erhöhung auf 20 kN auf. Dies ist

wahrscheinlich auf ein Verkippen der Stahlstange zurückzuführen, welche beim Einbau der Erdwärmesonde zum Begradigen des ersten Stücks verwendet wurde. Dies hat auch dazu geführt, dass die U-Bögen am unteren Ende der Erdwärmesonde mittig getrennt wurden. Nachdem die Sondenrohre dann komplett geborgen werden konnten, wurde ein sehr stabiles Bohrgestänge mit \varnothing 60,3 mm in die alte Bohrung eingebaut. Durch einige Versuche mit Pilotspitze und mehrfach abgewinkelten Bohrstangen gelang auch dies: Nach kurzer Bohrstrecke von 1,2 m konnte das Gestänge bis 56 m Tiefe eingefahren werden. Durch den Einbau dieses Führungsgestänges konnte gewährleistet werden, dass beim nachfolgenden Aufweitvorgang die ehemalige Bohrspur nicht verlassen wird. Für diesen Vorgang wurde dann kurzfristig ein auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmter Stufenmeißel gebaut. Dieser hatte die Besonderheiten, dass er durch das offene Zentrum über das Führungsgestänge gefädelt werden und durch die seitliche Verstärkung dem Bohrungsverlauf leichter folgen konnte.

Gebohrt wurde dann mit dem 11 1/2" (292,1 mm) Stufenmeißel und einem sehr stabilen Gestänge \varnothing 193,7 mm mit 5 1/2" API IF Verbindern. Um eine für die nachfolgende Abdichtung optimal gereinigte Bohrlochwand zu erreichen, wurde dieser Vorgang mit direkter Luftspülung durchgeführt und konnte innerhalb weniger Stunden abgeschlossen werden. Das Führungsgestänge wurde dann innerhalb des Bohrgestänges ausgebaut. Da man ganz sicher gehen wollte, dass die Bohrung nicht tiefer als die angegebenen 60 m war und kein Wasser von unten in den Anhydrit gelangen kann, wurde bis 60,5 m gebohrt. Schon beim Bohren konnte durch einen merklich größeren Widerstand das Ende der ehemaligen Bohrung ausgemacht werden. Der durch den unten offenen Meißel erbohrte Kern konnte mit etwas Glück beim Ausbau der Garnitur zu Tage gefördert werden und so den Nachweis der ungestörten Bohrlochsohle erbringen.

<Bild 6>

Sämtliche Einbauteile inklusive der Umspritzung des Sondenfußes und des Stahlstabes konnten aus der Bohrung entfernt werden.

<Bild 7>

Um möglichst viele Daten für das weitere Vorgehen in diesem Gebiet zu gewinnen, fanden direkt im Anschluss an den Aufweitvorgang noch Geophysikalische Messungen statt. So wurden neben einer Gamma-Gamma-Messung auch die Inklination, im oberen Bereich ein optischer und ab dem Wasserspiegel ein akustischer Bohrlochscan als auch eine Kalibermessung ausgeführt. Auch hier kam man zum Ergebnis, dass alle Einbauteile sowie die komplette ehemalige Hinterfüllung entfernt wurden. Um ein weiteres Eindringen von Wasser in den Anhydrit zu vermeiden, wurde die Rückverfüllung der Bohrung mit Tonpellets sofort begonnen und noch in derselben Nacht bis zur Unterkante der Verrohrung, also ca. 20 m über dem Anhydritspiegel, fertig gestellt. Schon bei diesem abschnittweisen und unter ständiger Kontrolle stattfindenden Arbeitsschritt konnte die Abdichtungsfunktion durch einen stetig steigenden Wasserspiegel festgestellt werden. Im Folgenden wurden die Hilfsverrohrung und die Standrohrtouren nach und nach zurückgebaut und die Bohrung verfüllt. Der Schacht mit einer Tiefe von ca. 4 m blieb bestehen und kann für die Kontrolle der Tonsäule verwendet werden.

Bemerkenswert für die Firma Burkhardt ist auch, dass das Vorhaben in einem Wohngebiet, trotz der für die Bewohner teilweise prekären Situation durch die Schäden an Ihren Häusern, in einem harmonischen Miteinander ablief und es trotz der Einschränkungen durch die Baustelle nur positive Rückmeldungen gab. Dies ist heute leider eine Seltenheit und daher besonders zu erwähnen. Auch die gute Zusammenarbeit zwischen Behörden, Eigentümern, Verursacher und ausführender Firma war beispielhaft und zeigt, was möglich ist, wenn an einem Strang gezogen wird. Durch diese Umstände war es möglich, die kompletten Arbeiten mit dem letztlich erfolgrei-

chen Verfahren, inklusive Baustelleneinrichtung- und -räumung innerhalb von 25 Arbeitstagen durchzuführen.

8. Ausblick

Dieser erneute Schadensfall ist ein sog. Altfall. Er wurde gebohrt, bevor 2009 in Baden-Württemberg die Bohrtiefenbeschränkung auf die Oberkante des Gipsspiegels eingeführt, und bevor 2011 die neuen Leitlinien für Erdwärmebohrungen erlassen wurden. Natürlich minimieren die neuen Vorschriften die Risiken erheblich. Verbleibende Restrisiken werden durch die neuen Versicherungslösungen abgefangen.

Das beschriebene Verfahren hat letztendlich zum Erfolg geführt. Die Hebungsgeschwindigkeit nimmt seit Mitte 2013 stetig ab. Insgesamt wurden bei der Sanierung der havarierten Bohrung und der längsläufigen Erdwärmesonde jeweils das gesamte Bohrloch ausgeräumt und mit Quelltongflexibel abgedichtet.

Jedoch wurde das Verfahren mit der neu entwickelten Über-Bohrkrone zu der Sanierung der Erdwärmesonde nur bis ca. 21 m benötigt. Denn durch die komplett fehlende Hinterfüllung im wassergefüllten Bereich der Bohrung konnte die Erdwärmesonde dann gezogen werden. Dieser Umstand wurde vor Sanierungsbeginn zwar andiskutiert, jedoch als eher unwahrscheinlich angesehen. Ständige Beobachtungen und die Betrachtung aller Möglichkeiten haben aber auf der Baustelle zu dieser Entscheidung geführt. Aber auch darunter war die „Bohrung“ besonders. Es ist schließlich nicht normal, dass man ein dünnes Pilot-Gestänge mit kleinem Rollenmeißel als Führung in das Loch einbringen kann, ohne die Zementation vorher ausräumen zu müssen; auch der Flügelmeißel, mit dem dann entlang eines Führungsgestänges das Bohrloch ausgeräumt wurde, ist dafür besonders angefertigt worden. Somit wurde dieses Verfahren vollkommen auf die Vorbedingungen ausgerichtet.

Ausschlaggebend für den Erfolg waren insbesondere die hohe Bereitschaft aller Beteiligten zur Innovation und z.T. sehr persönlichen Einsatz des Bohrunternehmens. Wichtig und hilfreich war es, immer wieder selbstkritisch die Lage zu prüfen und externen Sachverstand einzubeziehen.

Die Erfahrungen zeigen auch, dass die Messungen, die in Erdwärmesonden gemacht werden können, zwar Hinweise auf Mängel geben können, aber nicht alle für die Sanierung relevanten Sachverhalte im Ringraum sicher darstellen können. Bei der Sanierung durch Überbohren erscheint es ganz wesentlich zu sein, die Kubatur der ursprünglichen Bohrung genauer zu kennen. Zusätzlich müssen aber noch bessere Lagemessungen entwickelt werden; die bisherigen sind dazu noch zu ungenau.

Wie beschrieben sind die bisherigen Sanierungsverfahren noch sehr abhängig von den Umständen, die oftmals nicht von vornherein bekannt sind. Alle zu den bisherigen Sanierungen eingesetzten Verfahren haben Vor- und Nachteile oder gar Risiken. Ein universelles Sanierungsverfahren ist derzeit noch nicht verfügbar, wird aber in Zukunft eine zentrale Rolle für die Akzeptanz der Energiequelle Erdwärme spielen

Der Sachstandsbericht zu dem Schadensfall Rudersberg-Zumhof, Stand September 2013, nach Sanierung der havarierten Bohrung, ist auf der Homepage des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg zu finden: <http://www.lgrb-bw.de/geothermie/rudersberg>. Dort ist auch die Entwicklung der Hebungsfigur aufrufbar.

Anhänge:

1. Fotos/Schaubilder (wie 2.)

2. Bildunterschriften

Bild 0 Tietelbild Quelle LRA

Bild 1a Hebungsfigur November 2012, Quelle: LGRB Ba.-Wü.

Bild 1b Hebungsfigur Juni 2014, Quelle: LGRB Ba.-Wü.

Bild 2 längsläufige Sonde, Quelle: LGRB Ba.-Wü.

Bild 3 einzementierte Stahlseile, Quelle: LRA

Bild 4 Traverse zum Längenausgleich und der Zugkraftverteilung, Quelle: Fa. Burkhardt

Bild 5 Bohrkronen, Quelle: Fa. Burkhardt

Bild 6 Bohrkern von 60,5 m Tiefe mit Stufenmeisel

Bild 7 Vollständig geborgene Teile der Erdwärmesonde, Quelle: LRA

Tabelle 1: Spülungsrezept, Quelle: Fa. Burkhardt

3. Adressangaben der Autoren:

3.1. Frank Burkhardt:

B. Eng. Frank Burkhardt

Geschäftsführer

Firma Heinz Burkhardt GmbH & Co. KG

Geologische und hydrologische Bohrungen

Tulpenstr. 15

75389 Neuweiler

Telefon: 07055 9297-0

Fax: 07055 9297-77

E-Mail: frank@burkhardt-bohrungen.de

www.burkhardt-bohrungen.de

3.2. Andreas Krumwieg

Dipl.-Ing. Andreas Krumwieg

Landratsamt Rems-Murr-Kreis

Geschäftsbereich Umweltschutz

Fachbereich Boden- und Grundwasserschutz

Postfach 1413

71328 Waiblingen

Telefon: 07151/501-2763

Fax: 07151-501-2789

E-Mail: a.krumwieg@remm-murr-kreis.de

www.remm-murr-kreis.de