



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden (LQS EWS) Stand September 2015

Anlagen:

1. Zuordnungstabelle
2. Abbildung geologisches Säulenprofil (inkl. Anlagen 2.1 bis 2.5)
3. Matrix kritischer Stockwerksbau mit Fallbeispielen
4. Beispiele für Arbeitsanweisungen
5. Verbindliche Arbeitsanweisungen

Einleitung

Oberflächennahe Geothermie mit den Nutzungsformen Erdwärmesonden (EWS), Grundwasserwärmepumpen und Erdwärmekollektoren ist eine weit verbreitete Technik zur klimafreundlichen Wärmeversorgung von Gebäuden und eine Säule zur Umsetzung des Erneuerbare-Wärme-Gesetzes Baden-Württemberg.

Gut 30% der CO₂-Emissionen in Baden-Württemberg werden durch Heizen und Warmwasserbereitung in Gebäuden verursacht. Ungefähr zwei Drittel der 2,3 Millionen baden-württembergischen Gebäude, nämlich die Gebäude, die vor 1978 errichtet wurden, verursachen rund 90% der CO₂-Emissionen. Diese Bilanz soll mit Hilfe des Erneuerbare-Wärme-Gesetzes Baden-Württemberg verbessert werden. Ab dem 1. Januar 2010 müssen 10% des Wärmebedarfs von bestehenden Wohngebäuden durch erneuerbare Energien gedeckt werden, wenn die Heizungsanlage ausgetauscht wird.

Im Land werden jährlich schätzungsweise 50.000 Heizungen ausgetauscht. Dies ist ein großes Potenzial für die Nutzung von Erdwärme mittels Wärmepumpen. In den letzten Jahren wurde dieses Potenzial verstärkt genutzt. Von 2006 bis 2009 wurden jährlich etwa 3.500 bis 4.000 Erdwärmesonden neu gebaut. Mittlerweile wird in Baden-Württemberg aus über rund 12.500 EWS-Anlagen mit ca. 34.000 Erdwärmesonden Wärme gewonnen.

Irritationen über die Sicherheit der oberflächennahen Geothermie sind durch die bekannten und aktuellen Schadensfälle eingetreten. Daher wurden im Arbeitskreis Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden (LQS EWS) unter Federführung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Maßnahmen entwickelt, um ähn-

liche Vorkommnisse in der Zukunft möglichst zu vermeiden und gleichzeitig sicherzustellen, dass die Nutzung der Geothermie in weitem Rahmen möglich bleibt.

Ziele und Zielgruppen

Ziel ist es, die Qualität bei der Herstellung von EWS-Anlagen zu verbessern und damit das Risiko für Schäden durch Geothermiebohrungen zu minimieren. Die Qualität einer EWS-Anlage wird bestimmt durch die richtige Dimensionierung des Gesamtsystems und durch eine fachgerechte Bauausführung. Grundlage hierfür ist eine durchdachte Vorplanung mit Berücksichtigung des zu erwartenden geologischen und hydrogeologischen Baus, u.a. mit einem prognostischen Bohrprofil. Hinweise auf hydrogeologisch/geotechnische Risiken gibt für weite Teile des Landes das Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (ISONG).

Zur Minimierung der Bohr- und Ausbaurisiken werden im Folgenden in Abhängigkeit von den Gefährdungen durch den geologischen Untergrund Leitlinien vorgeschrieben, die von der unteren Wasserbehörde (UWB) in die wasserrechtliche Erlaubnis aufgenommen werden. Sie dienen neben dem Schutz des Grundwassers, auch dem Schutz des Bauherren und Dritter und sind in der beigefügten Zuordnungstabelle (siehe Anlage 1) übersichtsmäßig dargestellt. Der Geltungsbereich der Leitlinien ist an die jeweilige geologische und hydrogeologische Situation angepasst. Grundsätzliche Anforderungen in den Leitlinien bedeuten, dass sie in der Regel einzuhalten, aber Ausnahmen möglich sind.

Interessierte Bauherren finden Anregungen, worauf sie im Vorfeld der Auftragsvergabe und bei der Herstellung der Erdwärmesonde achten sollten. Es empfiehlt sich, ähnlich wie beim Hausbau, einen externen und unabhängigen Sachverständigen mit der „Bauüberwachung“ zu beauftragen. Dies könnte beispielsweise durch eine(n) Fachplaner(in) wahrgenommen werden, der die EWS-Anlage dimensioniert und das wasserrechtliche Verfahren begleitet hat oder durch eine(n) unabhängige(n) mit der örtlichen Geologie vertraute(n) Geologen(in) oder einem(r) Gutachter(in) mit gleichwertiger Qualifikation.

1 Bohrunternehmen, Versicherungsschutz und Bohrpersonal

1.1 Zertifizierung und gleichwertige Anerkennung

Es dürfen nur Bohrunternehmen beauftragt werden, die als Fachfirmen nach dem Arbeitsblatt DVGW W 120-2 zertifiziert sind oder nachweisen können, dass sie die im DVGW W 120-2 festgelegten Anforderungen gleichwertig erfüllen. Es ist wichtig, dass die Zertifizierung durch ein akkreditiertes Zertifizierungsunternehmen (in Deutschland die Zertbau und DVGW-Cert) erfolgt ist.

Das Arbeitsblatt DVGW W 120 ist überarbeitet worden. Es werden neue Anforderungen an die Qualitätssicherung und an die Qualifikation des Personals gestellt. Da ein Zertifikat nach fünf Jahren ausläuft, gibt es nach der Einführung des überarbeiteten Arbeitsblattes eine fünfjährige Übergangszeit, bis alle Firmen nach dem neuen Arbeitsblatt DVGW W 120-2 zertifiziert sein werden. Die hier aufgeführten Leitlinien beruhen auf dem neuen Arbeitsblatt DVGW W 120-2, wobei die Übergangsfristen berücksichtigt werden.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

1.1 Es dürfen nur Bohrunternehmen beauftragt werden, die als Fachfirmen nach DVGW W 120-2 oder in der Übergangszeit nach DVGW W 120 (Gruppe G) von einer akkreditierten Zertifizierungsstelle zertifiziert sind oder nachweisen können, dass sie die im DVGW W 120-2 festgelegten Anforderungen gleichwertig erfüllen.

1.2 Versicherungsschutz

Im Zuge der Zertifizierung bewertet der zuständige Sachverständige oder die zuständige Sachverständige, ob die Bohrfirma über einen branchenüblichen Versicherungsschutz gegen Umwelt- und Gebäudeschäden verfügt. Eine Regeldeckungssumme ist dabei nicht festgelegt. Diese soll für Haftpflichtversicherungen bei mindestens 5 Mio. € Deckungssumme liegen. Um Ansprüche Dritter bei Schäden zügig regulieren zu können, muss das beauftragte Bohrunternehmen oder der Bauherr über eine verschuldungsunabhängige Versicherung mit einer Deckungssumme in Höhe von 1 Mio. Euro zur Abdeckung etwaiger durch die Bohrung verursachter Schäden verfügen.

Auch erhöhte Georisiken (z.B. artesische Verhältnisse oder Naturgas) sind durch eine entsprechende Zusatzversicherung (Arteserversicherung) abzudecken.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

1.2 Die Bohrfirma, die mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt wird, muss über eine Haftpflichtversicherung in Höhe von mind. 5 Mio. € Deckungssumme verfügen. Für erhöhte Georisiken (artesische Verhältnisse oder Gasführung) ist grundsätzlich ein geeigneter Versicherungsschutz zu gewährleisten. Über eine verschuldensunabhängige Versicherung mit einer Deckungssumme in Höhe von mind. 1 Mio. Euro zur Abdeckung etwaiger durch die Bohrung verursachter Schäden muss entweder die beauftragte Bohrfirma oder der Bauherr verfügen. Entsprechende Versicherungsnachweise sind der unteren Wasserbehörde mindestens zwei Wochen vor dem geplanten Beginn der Bohrarbeiten vorzulegen. Die Bohrfreigabe wird erst im Anschluss an die Prüfung dieser Unterlagen erteilt.

1.3 Qualifikation des Bohrpersonals und der Geräteführer

Nach DVGW W 120-2 (Stand Juli 2013) sind in Kap. 6 die personellen Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter einer Bohrfirma für EWS-Bohrungen beschrieben. Diese Qualifikation wird bei der Zertifizierung überprüft.

Neben den Anforderungen des DVGW W120-2 gilt, dass der / die Bohrgeräteführer(in) seine / ihre Qualifikation nachzuweisen hat, da er / sie entscheidend für das Gelingen der EWS-Bohrung ist.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

1.3 Zusätzlich zum Nachweis der Zertifizierung nach DVGW W120-2 (oder Übergangsweise DVGW W 120 (Gruppe G)) hat der/die Bohrgeräteführer(in) für jede Bohrstelle seine/ihre Qualifikation für Bohrungen im Bereich der oberflächennahen Geothermie nachzuweisen durch:

- eine mindestens zweijährige Berufserfahrung im Bereich der oberflächennahen Geothermie,
- Referenzprojekte und –bohrungen für geothermische Zwecke
- die Teilnahme an geeigneten Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen zur oberflächennahen Geothermie
- eine Ausbildung als Fachkraft für Bohrungen für geothermische Zwecke, Brunnenbauer, Facharbeiter für geologische Bohrungen, Facharbeiter für Tiefbohrtechnik oder eine gleichwertige Ausbildung.

Die Bohrung ist von dieser qualifizierten Person durchzuführen, die der unteren Wasserbehörde vorab zu benennen ist.

Die Bohrfreigabe wird erst im Anschluss der Prüfung dieser Unterlagen erteilt.

2 Bohrverfahren, Ausrüstung, geologische Ansprache und Dokumentation

Die Durchführung des Bohrprojektes obliegt dem Bohrunternehmer. Er wählt das an die Geologie angepasste Bohrverfahren, bestimmt den Bohrablauf sowie das eingesetzte Bohrgerät (DIN 18301, DIN 18302, DVGW-Regelwerk).

Die Bohrung muss sich an den örtlichen Gegebenheiten zur geologischen und hydrogeologischen Situation orientieren und geeignet sein, auch unvorhergesehene Situationen sachgerecht zu beherrschen. In Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (beispielsweise Gasführung, Hohlräume, artesisches Grundwasser oder kritischem Stockwerksbau) ist mit erhöhten Anforderungen an die Planung und Ausführung der Bohrung zu rechnen. In Form von Arbeitsanweisungen soll das Bohrunternehmen oder das Projekt betreuende Ingenieurbüro die geplante Ausführung mit allen Angaben für den Geräteführer darlegen, um am Standort eine sichere Bohrung und das sichere Einbringen und Abdichten der Erdsonden gewährleisten zu können. Dabei wird beispielhaft aufgeführt, welche Maßnahmen vor Ort zu beachten sind und wie diese eingesetzt und dokumentiert werden. Die Arbeitsanweisung ist individuell für das Bauvorhaben festzulegen, wobei auf standardisierte Arbeitsanweisungen für gleichartige Arbeiten zurückgegriffen werden kann. Die Arbeitsanweisung ist auf der Baustelle vorzuhalten und dem Sachverständigen bei der Bauüberwachung oder bei Kontrollen den zuständigen Personen zu zeigen. Beispiele für Arbeitsanweisungen sind in Anlage 4 dargestellt.

2.1 Bohrwerkzeug

In Baden-Württemberg werden 90% aller Erdwärmesondenbohrungen im Imlochhammerverfahren hergestellt. In Lockergesteinen bzw. geklüftetem Gestein wird i.d.R. zur Stabilisierung der Bohrlochwandung mit einer Schutzverrohrung gebohrt. Die Schutzverrohrung wird in bindigen Boden oder Fels eingebunden. Die Verrohrung wird nach der Verpressung aus dem Bohrloch gezogen.

Bohrungen haben eine gewisse Abweichung aus der Lotrechten. Diese Abweichung kann beim Imlochhammerverfahren besonders stark ausgeprägt sein. Eine Verrohrung oder eine geführte Bohrung mit Stabilisatoren verbessern die Vertikalität des Bohrlochs, ebenso ein Bohren mit hängendem Bohrgestänge und Meißel. Aus genehmigungsrechtlichen Gründen muss die ganze Bohrung innerhalb der Grundstücksgrenzen verbleiben. Notwendige Abstände zu Grundstücksgrenzen richten sich nach der zum Ausführungszeitpunkt vorhandenen Sonden auf dem angrenzenden Grundstück. Sind keine Sonden vorhanden, ist grundsätzlich der gemäß VDI 4640 vorgegebene halbe Mindestabstand zweier benachbarten Sonden (z.B. 3 Me-

ter) bei Bohrtiefen von 100 Metern einzuhalten. Für größere Bohrtiefen oder ggf. geringere Abstände bedarf es einer Einzelfallbetrachtung.

Neben den Imlochhammerverfahren gibt es weitere Verfahren, wie Schneckenbohrungen, die im Lockergestein der Rheinebene hauptsächlich angewandt werden, oder Schrägbohrverfahren. Schrägbohrverfahren werden bis zu einer Tiefe von 40 Metern mit kleinerem und leichterem Bohrgerät ausgeführt. Sie stellen damit eine Alternative bei Grundstücken dar, die für ein größeres Bohrgerät schwer zugänglich sind.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

- 2.1.1** Das an die Geologie angepasste Bohrverfahren ist von der ausführenden Bohrfirma zu wählen.
- 2.1.2** Erforderliche Arbeitsanweisungen sind auf der Baustelle vorzuhalten und zu beachten.
- 2.1.3** Die ganze Bohrung ist innerhalb der Grundstücksgrenzen abzuteufen. Zur Grundstücksgrenze ist grundsätzlich der halbe Mindestabstand zwischen zwei benachbarten Sonden nach VDI 4640 einzuhalten.

2.2 Bohrlochdurchmesser

Der Mindestbohrdurchmesser wird einerseits durch den Durchmesser des eingebrachten Sondenbündels (einschließlich Verpressschlauch), andererseits durch weitere geologische und hydrogeologische Erfordernisse vorgegeben. Grundsätzlich muss gewährleistet sein, dass das Sondenbündel mit dem erforderlichen Abdichtungs- und Überwachungsequipment problemlos bis an die Bohrlochsohle eingebracht und der verbleibende Ringraum vollständig abgedichtet werden kann.

Je nach der geologischen und hydrogeologischen Situation kann ein größerer Bohrlochdurchmesser als ein Standardmaß (üblich sind 125 mm Bohrlochdurchmesser bei Doppel U Sonden mit einem 32-mm-Sondenrohr und 135 mm Bohrlochdurchmesser bei Doppel U Sonden mit einem 40-mm-Sondenrohr) erforderlich sein. Dies trifft zu, wenn

- der Einbau von zusätzlichem Equipment (z.B. mehrere Verpressschläuche bei hydrogeologischem Stockwerksbau) notwendig ist,
- eine einzementierte Sperrverrohrung erforderlich ist,
- mit dem Anbohren eines Artesers zu rechnen ist,
- mit größeren Hohlräumen im Untergrund zu rechnen ist.

Zur Abdichtung mehrerer Grundwasserstockwerke untereinander oder in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (bei-

spielsweise Karsthohlräume oder größere Spalten) kann es notwendig sein, mehrere Verpressschläuche mitzuführen. Alternativ können Verpressgestänge oder Verpresslanzen eingesetzt werden. In Anlage 2 ist die hinsichtlich ihrer Grundwasserführung und Gliederung in Grundwasserleiter und -geringleiter charakterisierte Schichtenfolge in Baden-Württemberg dargestellt. Sie dient als Orientierung für das Auftreten von Grundwasserstockwerken am jeweiligen Bohrstandort in Abhängigkeit von der an der Erdoberfläche anstehenden geologischen Einheit und der geplanten Bohrtiefe.

Desweiteren kann es erforderlich sein, in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (beispielsweise kritischer Stockwerksbau oder Arteser) Vorkehrungen zu treffen, um eine Nachverpressung eventuell undichter Ringraumverfüllungen zu ermöglichen. Dies ist z.B. durch das vorsorgliche Mitführen eines weiteren Nachverpressschlauches als Manschettenrohr möglich. Das Manschettenrohr kann auch zu nachträglichen Messungen (siehe Kap. 4) genutzt werden.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

- 2.2.1** Anzahl und Länge eventuell erforderlicher Verpressschläuche, -gestänge oder -lanzen sind an die jeweilige geologisch/hydrogeologische Situation anzupassen.
- 2.2.2** Der Bohrlochdurchmesser ist in Abhängigkeit vom Durchmesser des eingebrachten Sondenbündels und der jeweiligen geologisch/hydrogeologischen Situation (Erfordernis von mehreren Verpressschläuchen oder einem zusätzlichen Manschettenschlauch) von der ausführenden Bohrfirma vor Bohrbeginn festzulegen.

2.3 Ausrüstung auf der Bohrstelle und auf dem Bauhof

Die Ausrüstung auf der Bohrstelle und auf dem Bauhof muss zur Umsetzung der erforderlichen Arbeiten geeignet sein. Durch immer auf der Baustelle vorzuhaltenden pneumatischen Packer auf der Bohrstelle kann bei unvorhergesehenen Problemen (z.B. Antreffen eines Artesers, Wasserzutritte, Hohlräume oder Gasaustritte) schnell reagiert und das weitere Vorgehen geplant und abgestimmt werden. Außerdem ist es erforderlich, dass je nach Logistik und anstehenden Arbeiten neben dem(r) Geräteführer(in) mindestens ein oder zwei weitere Mitarbeiter(innen) der Bohrfirma auf der Bohrstelle tätig sind.

Wird erwartet, dass gasführende Schichten erbohrt werden können, ist ein Gasmessgerät auf der Bohrstelle vorzuhalten, um bei Bedarf dauerhaft Gasaustritte (Kohlendioxid, Methan oder Schwefelwasserstoff) messtechnisch zu erfassen.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

2.3.1 An der Bohrstelle müssen mindestens zwei Mitarbeiter(innen) der Bohrfirma tätig sein.

Die Container für das ausgetragene Bohrgut müssen grundsätzlich für die unmittelbare Probenahme gut einsehbar und sofort erreichbar sein.

Ist dies nicht möglich, ist der Container von einer zusätzlichen Person zu überwachen.

2.3.2 Pneumatische Schlauchpacker, die an die eingesetzte Bohrtechnik angepasst sind, Zusätze für eine schwere Spülung, Preventer und Absperreinrichtungen sind so vorzuhalten, dass sie jederzeit kurzfristig einsetzbar sind.

2.3.3 An der Bohrstelle ist grundsätzlich mindestens ein pneumatischer Packer vorzuhalten, der bei unvorhergesehenen Problemen (z.B. Antreffen eines Artersers, Wasserzutritte, Hohlräume oder Gasaustritte) schnell eingesetzt werden kann. Grundsätzlich ist ein Lichtlot und Feinmessmanometer bzw. Druckmessdose auf der Bohrstelle vorzuhalten, um Wasserspiegellagen und Druckpotentiale im offenen Bohrloch bestimmen zu können.

2.3.4 Sind Gasaustritte während der Bohr- und Ausrüstungsarbeiten zu erwarten, sind ein Gasmessgerät vorzuhalten und bohrbegleitende Gasmessungen durchzuführen.

2.4 Dokumentation des Bohrvorgangs, Ansprache der Geologie und des Grundwassers

Die detaillierte Bohrgutansprache, die geologische Gliederung der erbohrten Schichtenfolge und das Erkennen von Grundwasserzutritten sind Voraussetzung für die Erstellung eines sachgerechten Hinterfüllkonzeptes und dessen Durchführung mit dem Ziel einer dauerhaft wirksamen Abdichtung des Ringraumes.

Die Ergebnisse der Bohrung sind folgendermaßen zu dokumentieren:

- sorgfältige Probenahme (Beprobung gemäß DIN EN ISO 22475-1, Probenahme alle Meter, mindestens jedoch alle 2 m),
- Aufnahme der Schichtenfolge (gemäß DIN EN ISO 14688-1/2 und DIN EN ISO 14689-1),
- geologische Gliederung des Bohrprofils,

- Messung der Wasserstände (angebohrt und Ruhewasserstand) und der Grundwasserpotenziale,
- Darstellung (gemäß DIN 4023),
- bei durchgeführten geophysikalischen Messungen (unsichere geologische Aufnahme) Darstellung der Ergebnisse.

Prinzipiell sind bei Imlochhammerbohrungen mit Luftspülung ohne Verrohrung im Festgestein Grundwasserzutritte erkennbar. Der Container, der das Bohrklein aufnimmt, soll neben dem Bohrgerät stehen, so dass spätestens nach 2 m Bohrfortschritt jeweils eine Probe des Bohrkleins genommen werden kann und Veränderungen der Menge des austretenden Wassers jederzeit erkannt werden können.

In der Praxis kann das Erkennen des hydrogeologischen Baus erschwert sein. Beispielsweise kann gespanntes Grundwasser, das durch Spülung oder Druckluft verdrängt wurde, verzögert austreten und so nicht richtig erkannt werden. Die Bestimmung der Wasserstände und Druckpotentiale ist nach sorgfältiger Planung im Vorfeld mit dem dazu erforderlichen Equipment auf der Bohrstelle durchzuführen und zu dokumentieren, bevor die Verfüllung erfolgt (vgl. Arbeitsanweisung „Bestimmung von Grundwasserständen und –potenzialen“ in Anlage 4).

Sind aus vorhandenen Projekten in der unmittelbaren Umgebung des Bohrvorhabens ausreichend verlässliche Informationen und Kenntnisse über Wasserspiegellagen und Druckpotentiale vorhanden, können diese Informationen genutzt werden. Im Zuge der neuen Bohrung sind die Erkenntnisse zu plausibilisieren und in der Dokumentation die Bestätigung oder festgestellte Abweichungen darzustellen.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

2.4.1 Die bei der Bohrung angetroffene Schichtenfolge ist durch eine sorgfältige Probenahme (Beprobung gemäß DIN EN ISO 22475-1, Probenahme alle Meter, mindestens jedoch alle 2 m), Aufnahme der Schichtenfolge (gemäß DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14668-2 und DIN EN ISO 14689-1), deren Darstellung (gemäß DIN 4023) sowie durch eine geologische Gliederung des Bohrprofils zu dokumentieren. Ergänzend sind die Grundwasserstände in die Darstellung der Schichtenfolge einzutragen.

2.4.2 Beim Antreffen von Artesern oder kritischem Stockwerksbau sind ein pneumatischer Schlauchpacker, Feinmessmanometer bzw. Druckmessdose und ein Lichtlot einzusetzen, um die Wasserspiegellagen (angebohrt und Ruhewasserstand) und die Druckpotentiale zu dokumentieren. Bei verdrängtem Grundwasser ist mit der Bestimmung der Wasserspiegellagen und der Druckpotentiale zu warten, bis das Wasser nachgeflossen ist.

Sind aus vorhandenen Projekten in der unmittelbaren Umgebung des Bohr-

vorhabens ausreichend Informationen und Kenntnisse über Wasserspiegellagen und Druckpotentiale vorhanden, können diese Informationen genutzt und verifiziert werden.

2.5 Bohrtiefenbeschränkung beim Abteufen von EWS-Bohrungen in sulfatführenden Gesteinen (Gipsspiegelbegrenzung) sowie auf die Grabfeld-(km1)/Erfurt-Formation (ku)-Grenze

Beim Abteufen von Bohrungen für Erdwärmesonden in anhydrithaltige Gesteine kann nicht ausgeschlossen werden, dass es aufgrund des Zutrittes von Wasser in ehemals trockene Gebirgsabschnitte zu einer Umwandlung von Anhydrit in Gips kommt. Dieser Prozess erfolgt unter Volumenzunahme und kann Geländehebungen sowie hieraus resultierende Schäden bewirken. Diese können sehr schnell einsetzen und auch über die unmittelbare Umgebung des Bohransatzpunktes hinaus reichen. Als Konsequenz ist beim Erreichen von Sulfatgestein (Gips-/Anhydritspiegel) die EWS-Bohrung abubrechen. Anlass für diese Bohrtiefenbeschränkung ist der in der Vergangenheit wiederholt beobachtete Zusammenhang von Gebäudeschäden durch Geländehebungen nach Erdwärmesondenbohrungen.

Bei einer Bohrung in sulfatführendes Gebirge kann je nach dem Grad der Auslaugung bzw. Umwandlung von Anhydrit in Gips i.d.R. folgende Abfolge beobachtet werden:

- Auslaugungshorizont (z.B. Gipskarst)
- oberer Gipsspiegel (darunter folgt Gips führendes Gebirge)
- oberer Anhydritspiegel (darunter folgt Anhydrit - und (eventuell Gips-) führendes Gebirge)
- unterer Anhydritspiegel
- unterer Gipsspiegel

Das Niveau, in dem sulfatfreies (ausgelaugtes) Gebirge in Gips führendes Gebirge übergeht, wird als oberer Gipsspiegel bezeichnet. Am Übergang von Gips- zu Anhydrit-führendem Gebirge spricht man vom Anhydritspiegel.

Die Geländehebungen werden durch die Umwandlung von Anhydrit in Gips verursacht, die zu einer Volumenzunahme von bis zu 61 % führen. Die Tiefenlage des Gips-/Anhydritspiegels kann engräumig stark variieren bzw. die Sulfatgesteine können lokal vollständig ausgelaugt sein. Gips kann von einem in der regionalen Geologie erfahrenen Geowissenschaftler auf der Bohrstelle makroskopisch zweifelsfrei erkannt werden. Eine Unterscheidung zwischen Gips und Anhydrit ist dort jedoch nicht möglich ist und kann eindeutig nur analytisch im Labor erfolgen. Deshalb wird mit der

Gipsspiegelbegrenzung ein Sicherheitsabstand zu dem darunter folgenden quellfähigen Anhydrit sichergestellt.

Anhydrit führendes Gebirge kann in der Grabfeld-Formation (Gipskeuper (km1)), in der Salinarformation der Heilbronn-Formation (Mittlerer Muschelkalk (mmS)) sowie im Beaumont-Horizont an der Basis der Steigerwald-Formation (Bunte Mergel-Formation (km3)) angetroffen werden.

Der Gipsspiegel begrenzt deshalb die unkritische Bohrtiefe. Er ist von einem mit der regionalen Geologie vertrauten Geowissenschaftler vor Ort während des Abteufens der Bohrung zu bestimmen.

Die Lage des Gipsspiegels hängt von der Morphologie der Geländeoberfläche, den Vorflutverhältnissen, der Menge und Ausbildung der Sulfatgesteine sowie von weiteren Faktoren (z.B. Tektonik, Überdeckung) ab. Sie kann besonders in den Ausstrichbereichen der in Frage kommenden Schichten kleinräumig stark variieren und ist deshalb nicht im erforderlichen Detaillierungsgrad zu prognostizieren. Eine Kartierung der Tiefenlage des Gipsspiegels liegt, außer im Stadtgebiet von Stuttgart, nicht vor. Sie kann (u.a. wegen der fehlenden Aufschlussdichte) flächendeckend für Baden-Württemberg in einem für die Fragestellung erforderlichen Detaillierungsgrad nicht realisiert werden.

Im Informationssystem Oberflächennahe Geothermie von Baden-Württemberg – ISONG- werden Hinweise zur Bohrtiefenbegrenzung beim Antreffen von Sulfatgestein gegeben. Da eine hinreichend genaue Angabe zur Tiefenlage des Gipsspiegels nicht möglich ist, kann in ISONG keine genaue Bohrtiefenbeschränkung erfolgen. Im prognostischen Bohrprofil, das in ISONG ausgegeben wird, wird deshalb die Tiefenlage der Oberkante der Grabfeld-Formation (Gipskeuper) bzw. der Oberkante der Salinarformation der Heilbronn-Formation im Mittleren Muschelkalk angegeben. Unterhalb dieser stratigraphischen Grenzen ist mit dem Auftreten von Gips und Anhydrit zu rechnen. Für den Beaumont-Horizont an der Basis der Steigerwald-Formation, dessen Tiefenlage nicht prognostiziert werden kann, wird im ISONG ein entsprechender textlicher Warnhinweis gegeben.

Unter der Schichtenfolge der Grabfeld-Formation (Gipskeuper) und der Erfurt-Formation (Unterkeuper), mit einem Wechsel von Dolomitsteinen, Ton-/Schluffsteinen und Sandsteinen, folgen gut geklüftete Karbonatgesteine (vor allem Dolomitsteine) des Oberen Muschelkalks (Abb. 1). Die Erfurt-Formation ist ein schichtig gegliederter Grundwasserleiter, der Obere Muschelkalk ein Kluft- und Karstgrundwasserleiter.

Mesozoische, paläozoische und proterozoische Schichten

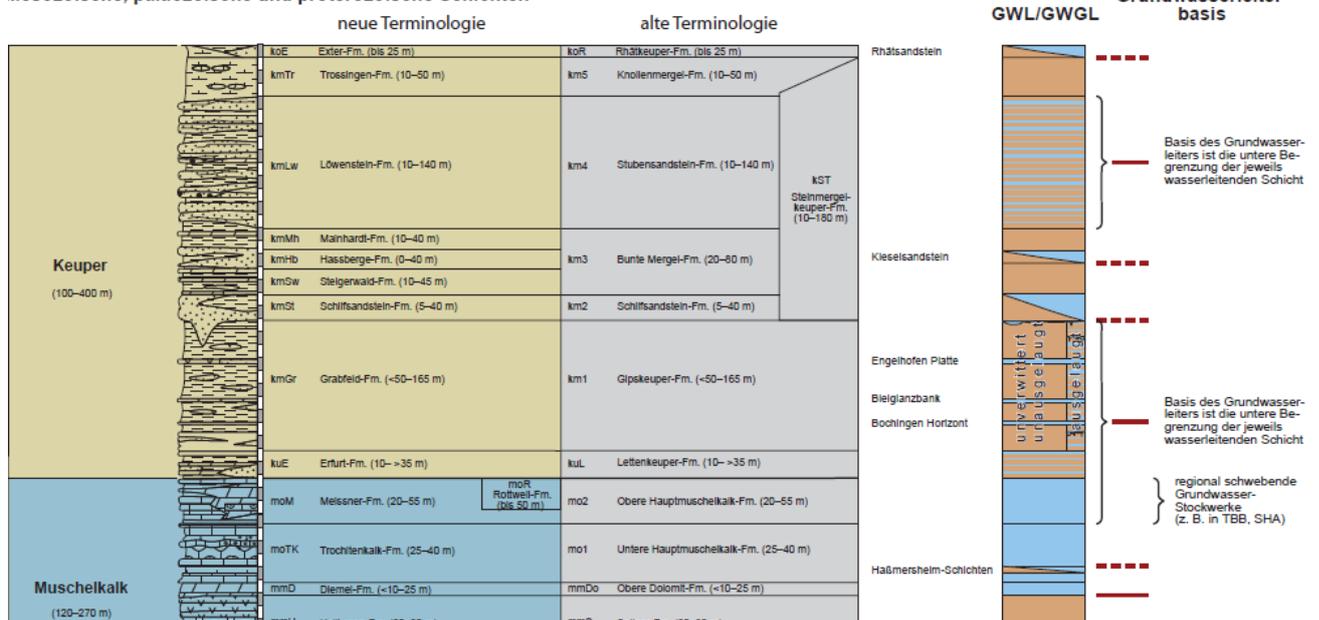


Abb. 1: Lithologische Ausbildung der Gesteine des Keupers und des Oberen Muschelkalks sowie Art des Grundwasserleiters

Aufgrund der heterogenen Lithologie und Durchlässigkeit sind im Unteren Gipskeuper und Unterkeuper häufig mehrere Grundwasserstockwerke mit unterschiedlichen Druckpotenzialen (frei, gespannt, artesisch gespannt) entwickelt. Grundwasser führend sind hier die Auslaugungsbereiche und einige Dolomitbänke des Gipskeupers sowie die Karbonatgesteine im Unterkeuper und im Oberen Muschelkalk.

Diese Konstellation mit hohen Druckpotenzialunterschieden des Grundwassers führte in der Vergangenheit bei EWS-Bohrungen mehrfach zu Problemen. Einerseits kam es zu spontanen Druckentlastungen und Geländesetzungen (Schadensfälle Schorn-dorf, Leonberg-Eltingen), andererseits wurde beim Verpressvorgang zur Herstellung der Ringraumabdichtung das eingebrachte Injektionsgut verdünnt bzw. ausgespült. Hierdurch kam es zu einem Misslingen der Ringraumabdichtung und somit zu Wasserwegsamkeiten bzw. einer Verbindung der ursprünglich getrennten Grundwasserstockwerke (Schadensfälle Staufen, Rudersberg, Wurmlingen, Renningen, Böblingen).

In vielen Fällen reichen EWS-Bohrungen aufgrund der praktizierten Gipsspiegelbegrenzung nicht bis in die Erfurt-Formation (Unterkeuper). In vergleichsweise wenigen Fällen greift die Gipsspiegelbegrenzung wegen einer standortbedingten vollständigen Gipsauslaugung in der Grabfeld-Formation (Gipskeuper) jedoch nicht. Um bei dieser Konstellation entsprechende Schadensfälle zukünftig zu vermeiden, ist eine ergänzende Bohrtiefenbeschränkung notwendig, wonach die Grabfeld-(km1)/Erfurt-Formation (ku)-Grenze nicht mehr durchbohrt werden darf.

Als Konsequenz ist beim Erreichen der Grenze Grabfeld-Formation („Gipskeuper“) / Erfurt-Formation („Unterkeuper“) die EWS-Bohrung abubrechen.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

- 2.5.1** Bei einer EWS-Bohrung, die in der Mainhardt-Formation (Obere Bunte Mergel) oder der Grabfeld-Formation (Gipskeuper) bzw. in der Salinarformation der Heilbronn-Formation im Mittleren Muschelkalk Gips-/Anhydritbereiche erreichen könnte, ist die Bohrung beim Antreffen des Gipsspiegels abubrechen
- 2.5.2** Bei einer EWS-Bohrung, die die Grenze zwischen der Grabfeld-(km1)/Erfurt-Formation (ku) erreicht, ist die Bohrung spätestens mit Erreichen des Grenz-dolomits, der lithologisch unterschiedlich ausgebildet sein kann, abubrechen.

3 Baustoffe, Mischtechnik und Abdichtung

3.1 Anforderungen an Baustoffe

Bei Baustoffen zur Ringraumabdichtung auf Zement-Bentonit-Basis ist zwischen werkseitig hergestellten Fertigbaustoffen und Eigenmischungen zu unterscheiden. Unabhängig von der Herstellung sind an alle Baustoffe grundsätzlich die gleichen Materialanforderungen zu stellen. Ein entsprechender Nachweis muss erfolgen, insbesondere für den Wasser-/Feststoffwert und die Suspensionsdichte, die Suspensionsstabilität und die Rheologie, die Druckfestigkeit und Hydratationswärme, den erhöhten Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel, die Widerstandsfähigkeit gegen betonaggressive Grundwässer und der Nachweis der wasserhygienischen Unbedenklichkeit. Grundsätzlich sollen nur Baustoffe mit hohem Sulfatwiderstand verwendet werden.

Wasser-/Feststoffwert (W/F-Wert) und Suspensionsdichte

Für die Herstellung einer Suspension ist der jeweilige vom Baustoffhersteller angegebene Wasser-/Feststoffwert (W/F-Wert) einzuhalten. Dieser Wert gibt das Massenverhältnis von Wasser und Baustoff vor. Nur so können die vom Hersteller angegebenen technischen Daten eingehalten werden.

Das richtige Mischungsverhältnis von Wasser und Baustoff ist auf der Baustelle durch Suspensionsdichtemessungen zu kontrollieren.

Übliche Verfahren sind:

- Suspensionsdichtemessung mit der Spülungswaage,

- Suspensionsdichtemessung mit dem Aräometer,
- Suspensionsdichtemessung mit einer 5-kg-Haushaltswaage und einem definierten Litergefäß.

Die Angaben des Herstellers zur Dichte sind einzuhalten. Die Mindestdichte der angesetzten Baustoffsuspension muss $0,3 \text{ g/cm}^3$ größer als die Dichte der eingesetzten Bohrspülung sein, bei Einsatz von Wasser also mindestens $1,3 \text{ g/cm}^3$.

Suspensionsstabilität und Rheologie

Ausreichende Fließeigenschaften der Suspensionen sind Voraussetzung für eine sichere und hohlraumfreie Verfüllung. Die Viskosität des Baustoffes muss so beschaffen sein, dass alle Hohlräume über die Gesamtlänge der Bohrung trotz Fließhindernissen wie Abstandhalter, Zentrierungen und Rohre, aufgefüllt werden. Eine Aussage über die Viskosität liefert die Trichterauslaufzeit (Marshzeit). Es ist die Zeit, die 1 Liter Suspension benötigt, um aus dem Marshtrichter (nach DIN 4126) zu laufen. Erfahrungsgemäß liegen gut zu verarbeitende Suspensionen bei einer Marshzeit von 50 – 100 s.

Die Stabilität einer Suspension wird über das Sedimentationsverhalten beurteilt und über das Wasserabsetzmaß (Vol. %) bestimmt. Dazu wird ein 250 ml Messzylinder mit der jeweiligen Suspension gefüllt und mit einer Folie abgedeckt, um Verdunstungen zu vermeiden. Nach 3 Stunden wird das Volumen des überstehenden Wassers bestimmt und ins Verhältnis zum Gesamtvolumen gebracht. Je größer das Wasserabsetzen ist, desto geringer ist die Suspensionsstabilität. Eine geringe Suspensionsstabilität kann zu ungleichmäßigen Dichteverteilungen im Bohrlochringraum und damit bis zum Abriss der Füllsäule führen. Daher sollte das Wasserabsetzen einer Suspension einen Wert von 2% nicht überschreiten.

Druckfestigkeit und Hydratationswärme

Wichtig für die Gesamtdurchlässigkeit des Systems ist, dass der Baustoffkörper an den Sondenrohren anliegt und auch durch eine Druckbeaufschlagung der Rohre während der Druckprüfung kein dauerhafter Ringspalt erzeugt wird. Bei der Durchführung der Druckprüfung an den Sonden sollte die Konsistenz des eingebrachten Baustoffes entweder noch unterhalb der Stichfestigkeit, also noch innerhalb der Frischsuspensionsphase liegen oder der Baustoff sollte ausreichend fest sein, um dem aufgetragenen Druck (i.d.R. 6 bar) zu widerstehen. Die Druckfestigkeit sollte daher um den Faktor 1,5 höher als der Prüfdruck sein und 1 N/mm^2 betragen. Nach welcher Zeitdauer eine Festigkeit von 1 N/mm^2 unter Bodentemperatur (10°C) erreicht wird, richtet sich nach den Angaben des Herstellers. Liegen keine Angaben

vor, ist eine Abbindezeit zur Erreichung der Festigkeit von 1 N/mm² von 28 Tagen anzunehmen.

Beim Abbindeprozess einer Suspension entsteht sogenannte Hydratationswärme, die im Wesentlichen von der Sorte und Menge des verwendeten Zementes abhängt. Um eine Beschädigung der Sonden durch die Wärmeentwicklung zu verhindern, dürfen nur Baustoffe verwendet werden, deren unter adiabatischen Bedingungen gemessene Hydratationswärmeentwicklung einen Wert von 50°C nicht überschreitet.

Wärmeleitfähigkeit

Damit der Wärmefluss zwischen dem Untergrund und dem Sondenfluid optimal ausgelegt ist, sollte die Wärmeleitfähigkeit (WLF) des Verfüllbaustoffes mindestens so hoch sein wie die des umliegenden Gesteins. Marktgängige Verfüllbaustoffe unterscheidet man in Standardverfüllbaustoffe mit einer WLF von 0,8 W/mK und thermisch optimierte Baustoffe mit einer WLF von ca. 2,0 W/mK. Die Verwendung eines thermisch optimierten Baustoffes führt im Vergleich zu Standardbaustoffen zu einer Reduzierung des Bohrlochwiderstands. Dadurch stellt sich bei gleichem Wärmefluss und gleicher Untergrundtemperatur eine höhere Temperatur des Sondenfluids ein. Dies führt zu einer höheren Systemeffizienz.

Durchlässigkeit und Beständigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel

Um die Abdichtung und die Wiederherstellung der Trennhorizonte sicher zu stellen, muss der Baustoff dauerhaft einen kf-Wert von $\leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s erreichen. Dieser k_f -Wert sollte auch nach einer Frost-Tau-Prüfung mit Wasserkontakt eingehalten werden. Zurzeit gibt es keine verbindlichen Prüfbedingungen für Verfüllbaustoffe zum Nachweis des erhöhten Frost-Tau-Widerstandes. Auch muss davon ausgegangen werden, dass die Sondenrohre nach der Verfüllung des Ringraums nicht zentrisch im Bohrloch sitzen, sondern an der Bohrlochwand und daher am Gebirge anliegen können. Da nicht alle Gebirgsformationen einen erhöhten Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel aufweisen, muss davon ausgegangen werden, dass bei einem nicht frostfreien Betrieb der Erdwärmesonde das angeschlossene Gebirge durch Frost-Tau-Wechsel geschädigt werden kann. U. U. kann es dabei zu nicht beabsichtigten Wasserwegsamkeiten im Gebirge kommen. Um dies zu vermeiden, ist die Erdwärmesondenanlage so zu betreiben, dass ein Einfrieren des Untergrundes vermieden wird. Dabei darf berücksichtigt werden, dass durch die physikalischen Eigenschaften des PE-Sondenrohres die Temperaturdifferenz von der Rohrrinnen- zur Rohraußenwand bis zu 2 Kelvin (K) betragen kann und das Wärmeträgermedium in der Leitung zwischen Wärmepumpe und Sonden bereits erwärmt wird. Daher kann grundsätzlich ein frostfreier Betrieb einer Erdwärmesonde bis zu einer minimalen

Temperatur des Wärmeträgermediums beim Austritt aus der Wärmepumpe in Richtung EWS-Anlage von -3°C erfolgen.

Die Auslegung und Bemessung der EWS-Anlage bleibt davon unberührt und erfolgt grundsätzlich nach den Bemessungsansätzen der VDI 4640.

Widerstand gegenüber betonaggressiven Grundwässern

Bei Bohrungen können betonaggressive Grundwässer angetroffen werden. Dies ist im Vorfeld zu prüfen. Werden nicht ausreichend widerstandsfähige Verfüllbaustoffe eingesetzt, kann es zu Schädigungen am Baustoffkörper kommen und Wasserwegsamkeiten können die Folge sein.

Für die Abschätzung des Angriffspotentials eines Grundwassers wird die DIN EN 206-1 herangezogen. Dort sind Konzentrationsbereiche von betonangreifenden Wasserinhaltsstoffen und ihr Angriffspotential definiert.

Wasserhygienische Beurteilung

Da die eingesetzten Verfüllbaustoffe im direkten Kontakt mit dem Grundwasser stehen, ist die wasserhygienische Unbedenklichkeit vor dem Einbau nachzuweisen. Vom jeweiligen Hersteller ist das Hygienezeugnis anzufordern, indem alle umweltrelevanten Parameter anhand einer Feststoff- und Eluatanalyse geprüft und entsprechend eingestuft sind.

Ein Sicherheitsdatenblatt reicht nicht aus, um die Umweltrelevanz zu beurteilen, da dort lediglich eine Selbsteinstufung des Herstellers angegeben ist.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

3.1.1 Durch baustofftechnische Untersuchungen durch ein akkreditiertes Institut ist nachzuweisen, dass der Baustoff Mindestanforderungen an die Suspensionsdichte, unter Angabe des dazugehörigen Wasser-/Feststoffwertes, die Suspensionsstabilität und die Rheologie, die Druckfestigkeit und die Hydratationswärme erfüllt. Der Baustoff hat dauerhaft einen k_f -Wert von $\leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s zu erreichen. Die wasserhygienische Unbedenklichkeit ist durch ein Hygienezeugnis nachzuweisen.

Die Gleichwertigkeit von Eigenmischungen zu werkseitig hergestellten Fertigbaustoffen ist durch entsprechende baustofftechnische Untersuchungen durch ein akkreditiertes Institut für die Baustelle nachzuweisen.

Grundsätzlich ist ein Baustoff mit hohem Sulfatwiderstand einzusetzen.

3.1.2 Die EWS-Anlage ist so zu betreiben, dass ein Einfrieren des Untergrundes und damit eine Frost-Tauwechsel-Beanspruchung der Ringraumabdichtung

oder des Gebirges nicht erfolgt. Grundsätzlich kann ein frostfreier Betrieb bis zu einer minimalen Temperatur des Wärmeträgermediums beim Austritt aus der Wärmepumpe in Richtung EWS-Anlage von -3°C erfolgen.

- 3.1.3** Bei betonaggressiven Grundwässern nach DIN EN 206-1 ist ein Baustoff mit hohem chemischen Widerstand gegen die im Grundwasser vorhandenen betonaggressiven Stoffe zu verwenden.

3.2 Anmischen der Baustoffsuspension

Voraussetzung für eine gute Anbindung bzw. Abdichtung ist eine einwandfreie Verfüllung ohne Lufteinschlüsse und Hohlräume. Um diese zu vermeiden, ist ein vollständiger Aufschluss der Komponenten (Bentonit) notwendig. Grundsätzlich ist daher ein Kolloidalmischer für das Anmischen und den Aufschluss der Suspension zu verwenden. Die Angaben des Herstellers des Abdichtungsmaterials sind zu beachten (siehe Datenblatt des Baustoffherstellers) und zu erreichen. Um nach Beendigung der Bohrarbeiten evtl. im Bohrlochringraum verbliebene Bohrspülung ohne Mischzonen zu verdrängen, muss die Suspensionsdichte der verwendeten Suspension mindestens $0,3 \text{ g/cm}^3$ größer als die eingesetzte Bohrspülung sein. Sinnvoll ist der Einsatz von automatisch gravimetrisch dosierenden Kolloidal-Mischanlagen (Chargen- oder Kontinuierliches Verfahren). Alternativ kann eine Kolloidal-Chargenmischanlage mit handgeführtem Protokoll über Wassermenge und Feststoff der Chargen eingesetzt werden.

Es wird empfohlen eine Rückstellprobe der angesetzten Baustoffsuspension von jeder Charge zu nehmen. Mindestens eine Rückstellprobe ist zu nehmen. Diese ist in einem Zylinder zu füllen, der einen Durchmesser von 10 cm und eine Höhe von 10 cm nicht unterschreitet und mindestens eine ebene Fläche aufweist (z.B. in einer Ruck-Zuck-Dose oder zylindrische Dose mit Schraubverschluss). Die Rückstellprobe ist zu beschriften, vor Kälte, übermäßiger Hitze und Austrocknung zu schützen, erschütterungsfrei zu lagern und mindestens bis Ende der Gewährleistungsfrist (i.d.R. 2 Jahre) aufzubewahren.

Die Suspensionsstabilität ist über das Wasserabsetzmaß (Vol.-%) zu bestimmen und zu dokumentieren. Der entsprechende Versuchsablauf ist unter 3.1 beschrieben. Übersteigt das Wasserabsetzmaß 2 Vol.-%, weist dies auf eine potentielle geringe Stabilität der Baustoffsuspension hin. Das verfüllte Bohrloch sollte danach sorgfältig beobachtet werden, ob es Hinweise auf größere Nachsackungen oder einen Füllsäulenabriss mit schädlichen Auswirkungen gibt.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

- 3.2.1** Das Verfüllmaterial ist vollständig aufzuschließen und zu durchmischen, die Angaben des Herstellers zur Mischtechnik sind zu beachten. Grundsätzlich sind automatisch gravimetrisch dosierende Kolloidal-Mischanlagen (Chargen- oder Kontinuierliches Verfahren oder alternativ Kolloidal-Chargenmischanlagen mit handgeführtem Protokoll über Wassermenge und Feststoff der Chargen) einzusetzen. Die Anlagen müssen einen stetigen Volumenstrom von mind. 40 l/min und einen Druck von 20 bar gewährleisten können. Zur Beherrschung besonderer Verhältnisse zum Beispiel bei Strömungen sind Pumpen mit größeren Volumenströmen > 75 l/min vorzusehen.
- 3.2.2** Das Abdichtungsmaterial ist nach den Angaben des Herstellers anzumischen (siehe Datenblatt des Baustoffherstellers). Dabei ist die angegebene Dichte zu erreichen und beim Einsatz von Bohrspülungen hat die Suspensionsdichte der verwendeten Suspension mindestens 0,3 g/cm³ größer als die eingesetzte Bohrspülung zu sein.
- Durch Dichtemessung der angesetzten Baustoffsuspension (mit Hilfe Aräometers, Spülungswaage oder 5 kg-Haushaltswaage und einem definierten Litergefäß) ist zu überprüfen, ob die erforderliche Dichte erreicht wird.
- 3.2.3** Eine Rückstellprobe des Abdichtungsmaterials ist zu nehmen kühl und trocken gelagert mindestens bis zum Ende der Gewährleistungsfrist aufzubewahren.
- 3.2.4** Ein Absetztest ist durchzuführen und zu dokumentieren. Ein hohes Absetzmaß an Wasser deutet auf ein potentielles Entmischen der Suspension hin (Wasserabsetzen der Suspension > 2%).

3.3 Sondeneinbau, Abdichtung und Dokumentation

Beim Einbau sind die EWS-Schläuche über die ganze Sondenlänge einzubringen. Dabei ist das Sondenbündel je nach Wasserverhältnissen von einer gebremsten Haspel oder einem Injektionsgestänge mit glatter Wandung abzulassen. Um grundwasserstauende Schichten und Hohlräume besser abdichten zu können, ist beispielsweise ein zweiter Injektionsschlauch zusätzlich bis in die Tiefe mitzuführen, in der ein weiteres Grundwasserstockwerk oder ein Hohlraum erkannt wurden. Zur Abdichtung von Störungszonen kann geeignetes Material – z.B. eine Mischung aus Suspension und Kies – eingebaut werden. Alternativ kann eine Abdichtung mit einem beweglichen Verpressgestänge erfolgen. Die EWS werden beim Einbau vor dem Verfüllen des Bohrlochs mit Wasser befüllt.

Alle Ringräume werden bei freihängenden EWS-Schläuchen verfüllt. Die Bau-

stoffsuspension muss unter Druck in das Bohrloch gepumpt werden. Der Ringraum muss von unten nach oben mit der Suspension im Kontraktorverfahren verfüllt werden. Die Schutzverrohrung muss solange im Erdreich verbleiben bis das Abdichtungsmaterial oben am Bohrloch sichtbar austritt und die gleiche Dichte wie die angemischte Suspension aufweist (nach Datenblatt des Herstellers. Bei Einsatz einer Bohrspülung muss die Suspensionsdichte der verwendeten Suspension mindestens $0,3 \text{ g/cm}^3$ größer als die eingesetzte Bohrspülung sein). Dann erst wird die Verrohrung gezogen und entsprechend nachverpresst. Ziel ist eine hohlraumfreie Verfüllung. Bei großen Verrohrungstiefen muss das Abdichten der Bohrung und Ziehen der Verrohrung abschnittsweise erfolgen. Hierbei ist zu gewährleisten, dass der Baustoff-suspensionsspiegel immer innerhalb der Verrohrung steht.

Ist die Standfestigkeit der Bohrung auch ohne Verrohrung gewährleistet, kann diese auch vorab gezogen werden.

Mit der Herstellung einer weiteren Sondenbohrung kann erst begonnen werden, wenn der aushärtende Baustoff in der bereits abgedichteten Bohrung nicht negativ beeinträchtigt wird. Beispielsweise könnte beim Imlochhammerverfahren durch die eingebrachte Druckluft das nicht ausreichend standfeste Abdichtungsmaterial wieder ausgeblasen werden. Dies kann verhindert werden, indem beispielsweise ein ausreichender Abstand zwischen den Sonden eingehalten wird oder mit der nächsten Bohrung begonnen wird, wenn eine ausreichende Anfangsstandsicherheit des Baustoffes (nach Angaben des Herstellers) im bereits abgedichteten Bohrloch erreicht worden ist.

Der Abdichtungsvorgang ist im Bohrloch automatisch vom Bohrlochtiefsten aufwärts zu überwachen und zu dokumentieren. Dabei sind der Baustoffsuspensionsspiegel und das Volumen des eingebrachten Baustoffes über Zeit und Tiefe kontinuierlich zu messen, elektronisch aufzuzeichnen und grafisch darzustellen. Beispielsweise kann eine Druckmesseinheit als kabelgebundene Messsonde oder eine Messsonde zur Detektion magnetisierbarer (magnetische Suszeptibilitätsmessung) oder elektrisch leitfähiger Materialien ins Bohrloch eingeführt werden. In Abhängigkeit von der eingebrachten Suspensionsmenge und dem bekannten natürlichen Wasserstand im Bohrloch lassen die Druckmessverfahren Rückschlüsse auf den momentanen Suspensionsstand zu. Bei der magnetischen Suszeptilitätsmessung geben die Signalstärke und die Meterangaben Hinweise auf den Stand der Suspensionssäule im Bohrloch. Ein gleichbleibender Stand der Suspensionsspiegels in der Bohrung bei kontinuierlicher Verfüllung weist auf einen Suspensionsverlust hin. Somit können Verlustzonen lokalisiert und Verlustmengen reduziert werden. Dies erlaubt ein fachgerechtes und tiefenbezogenes Einbringen von Suspensionen, Sanden oder Kiesen zur

Überbrückung von Klüften, Hohlräumen oder Wasserhorizonten. Die Auswertung des Suspensionsspiegels- und Volumenprotokolls erlaubt Rückschlüsse auf die Abdichtung und ist Bestandteil der Dokumentation durch das Bohrunternehmen. Weitere Informationen über die automatische Abdichtungsüberwachung sind unter <http://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare-energien/geothermie/lqs-ews/> zu finden.

Sämtliche dokumentierte Schritte, wie Ansprache des Untergrundes, Schichtenprofil mit eingetragenen Wasserständen und Potentialen, Ausbauplan der Bohrung (mit Angaben zur Bohrtiefe, Sondeneinbautiefe, Bohrlochdurchmesser, Sondenart/-dimensionierung, Unterkante Verpressrohr/-Gestänge), Sondeneinbau und Druckprüfung der Sonde, Anmischung der Baustoffsuspension nach Herstellerangaben, Dichtemessung, genommene Rückstellproben und Verbleib, Abdichtungsvorgang mit evtl. eingebrachten Stopfmitteln sowie das von der Bohrfirma interpretierte Messprotokoll des automatisch überwachten Abdichtungsvorgangs sind in einem kurzen Bericht zusammenzufassen und der unteren Wasserbehörde nach Abschluss der Arbeiten zu übergeben. Gleichzeitig sind die wichtigsten Daten zur Erfassung in der Grundwasserdatenbank zur Verfügung zu stellen. Entsprechende Informationen und Zugangsvoraussetzung sind unter <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/38495/> abrufbar.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

- 3.3.1** Die wassergefüllten Sonden sind zusammen mit einem oder mehreren Verpressschläuchen bzw. Verpressgestänge oder –lanze hängend über die ganze Länge einzubauen. Das Sondenbündel ist von einer gebremsten Haspel oder einem Injektionsgestänge abzulassen.
- 3.3.2** Das Bohrloch ist ohne zeitliche Verzögerung unmittelbar im Anschluss an die Bohrarbeiten und eventuell notwendiger Messungen (z.B. Grundwasserstand und Druckpotential) nach Einbau der Sondenrohre grundsätzlich **tagesgleich** im Kontraktorverfahren von unten nach oben abzudichten.
- 3.3.3** Mit der Herstellung einer weiteren Sondenbohrung kann erst begonnen werden, wenn der aushärtende Baustoff in der bereits abgedichtenden Bohrung nicht negativ beeinträchtigt wird.
- 3.3.4** Der Abdichtungsvorgang ist im Bohrloch automatisch zu überwachen und zu dokumentieren. Dabei sind das Volumen der in die Bohrung eingebrachten Baustoffsuspension und der Anstieg des Baustoffsuspensionsspiegels im Bohrloch während der Abdichtungsphase über die ganze Tiefe und Zeit (inkl. 15 minütiger Nachlaufzeit) kontinuierlich zu erfassen und elektronisch aufzu-

zeichnen. Die Tiefenangabe über den Stand der Baustoffsuspension im Bohrloch und das Volumen muss für den Bohrgeräteführer auf der Baustelle am Gerät oder den Geräten einsehbar sein. Die Tiefenangabe des Baustoffsuspensionsspiegels muss mind. auf +/-2 Meter genau sein. Eine graphische Auswertung des Volumens und des Anstiegs der Baustoffsuspensionssäule über die Zeit und die Tiefe sind zu erstellen, von der Bohrfirma zu interpretieren und dem Dokumentationsbericht beizufügen.

Das System zur automatischen Abdichtungsüberwachung muss auf dem Bohrgerät fest installiert bzw. aufgebaut sein. Sensible Messtechnik oder Geräte zur Datenaufzeichnung, -auswertung und -speicherung dürfen nach der Messung wieder abgebaut werden.

Arbeitsanweisungen zu den Systemen der automatischen Abdichtungsüberwachung sind auf der Baustelle bereit zu halten und die beschriebenen Arbeitsschritte auf der Baustelle einzuhalten (siehe Anlage 5 der LQS EWS, Stand März 2015). Insbesondere ist beim Einsatz einer dotierten Baustoffsuspension nach Abschluss des Abdichtungsvorganges die EWS über die gesamte Länge nochmals zu messen.

- 3.3.5** Während des Abdichtungsvorgangs sind der Wasser-/Feststoffwert und die Suspensionsdichte zu dokumentieren, indem regelmäßige Dichtemessungen der Suspension (mit Hilfe eines Aräometers, einer Spülungswaage oder einer 5 kg-Haushaltswaage und einem definierten Litergefäß) mit einem Soll/Ist-Vergleich durchgeführt werden. Bei Einsatz eines Chargenmischers ist die Suspensionsdichte je Charge zu bestimmen und zu dokumentieren.
- 3.3.6** Der Abdichtungsvorgang ist erst dann abzuschließen, wenn die Dichte der aus der Bohrung austretenden Suspension mit der Dichte der angesetzten Suspension übereinstimmt. Der Abschluss der Verfüllung ist entsprechend zu dokumentieren.
- 3.3.7** Sämtliche dokumentierte Schritte, wie Ansprache des Untergrundes, Schichtenprofil mit Wasserständen und Potentialen, Ausbauplan der Bohrung (mit Angaben zur Bohrtiefe, Sondeneinbautiefe, Bohrlochdurchmesser, Sondenart/-dimensionierung, Unterkante Verpressrohr/-Gestänge), eingemessene Bohransatzpunkte, Sondeneinbau und Druckprüfung der Sonde, Anmischung der Baustoffsuspension nach Herstellerangaben, Dichtemessung, genommene Rückstellproben und Verbleib, Abdichtungsvorgang mit evtl. eingebrachten Stopfmitteln sowie das von der Bohrfirma interpretierte Messprotokoll der automatischen Abdichtungsüberwachung und sind in einem kurzen Bericht zusammenzufassen und der unteren Wasserbehörde nach Ab-

schluss der Arbeiten zu übergeben. Gleichzeitig sind die wichtigsten Daten zur Erfassung in der Grundwasserdatenbank zur Verfügung zu stellen.

3.4 Abdichten von Grundwasserstockwerken

Sobald sich ein Grundwasserfluss im Bohrloch einstellt, kann die Ringraumverfüllung ausgespült und dadurch eine vollständige Abdichtung des Bohrlochs verhindert werden. Ab welchem Druckpotentialunterschied von einem kritischen Stockwerksbau gesprochen werden kann, ist aus Anlage 3 „Matrix kritischer Stockwerksbau mit Fallbeispielen“ ersichtlich.

Die Grundwasserbewegung ist vor dem Verfüllvorgang durch geeignete Maßnahmen vollständig zu unterbinden, beispielsweise durch Verrohrung, Packer oder schwere Spülung. Werden Spülungszusätze zur Stabilisierung des Bohrloches (wie Schwespat oder Kreide) verwendet, sind die Vorgaben des DVGW-Merkblattes W 116 einzuhalten.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

3.4.1 Bei Grundwasserverhältnissen mit größeren Potentialdifferenzen (gespanntes Grundwasser oder Wasserbewegungen von oben nach unten) ist ein Grundwasserfließen vor dem Verfüllvorgang durch geeignete Maßnahmen zu unterbinden.

3.4.2 Bei mehreren Grundwasserstockwerken hat die Abdichtung gezielt stockwerksbezogen zu erfolgen, beispielsweise durch den Einbau zusätzlicher Verpressschläuche, Packer oder Verwendung einer beweglichen Verpresslanze.

3.5 Abdichtung bei Gasaustritten (CO₂, Erdgas)

Hinweise auf mögliche Gasaustritte vermittelt das Informationssystem ISONG. Bei Abdichtung von CO₂ Austritten ist die Zement angreifende Eigenschaft von kalklösender Kohlensäure zu berücksichtigen. Im späteren Betrieb der Sonde muss durch die technische Bauausführung der Anlage gewährleistet sein, dass schleichend austretende Gase (Migration) sich nicht in gefährlichen Konzentrationen ansammeln können.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

3.5 Bei Abdichtung von CO₂ Austritten ist die Zement angreifende Eigenschaft von kalklösender Kohlensäure zu berücksichtigen.

3.6 Verfüllung von größeren Klüften und von Hohlräumen

Tonpellets stellen eine Alternative zur Zement-Bentonit-Suspension zur Verfüllung von Hohlräumen und Klüften dar. Da für den Verfüllvorgang andere Misch- und Pumpanlagen notwendig sind, ist ein Einsatz im Vorfeld sorgfältig zu planen.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

- 3.6.1** Bei Hohlräumen hat die Abdichtung gezielt zu erfolgen, beispielsweise durch den Einbau zusätzlicher Verpressschläuche oder Verwendung einer Verpresslanze.
- 3.6.2** Bei Verwendung von Tonpellets als Ringraumabdichtung ist die Misch- und Pumpenanlage im Vorfeld sorgfältig zu planen und ausreichend zu dimensionieren.

3.7 Vorgehen bei Suspensionsverlusten

Treten beim Hinterfüllen von Erdwärmesonden Verlusthorizonte auf, können die Bohrungen meist nicht weiter im Kontraktorverfahren verfüllt werden. Wird ein Verlusthorizont detektiert, darf erst mit Stopfmitteln gearbeitet werden, wenn der Nachweis erbracht wurde, dass der Horizont nicht mit Suspension verfüllt werden kann. Dies ist der Fall, wenn das eingebrachte Suspensionsvolumen das Fünffache des theoretischen Volumens in diesem betreffenden Bereich übersteigt. Die Horizonte müssen dann möglichst genau und kleinräumig mit Stopfmitteln, meist aus Kies oder Sand, überbrückt werden. Da diese Stopfmittel höhere Durchlässigkeiten als die Suspension aufweisen, ist es wichtig, dass diese nur in dem lokalisierten Verlusthorizont und nicht in darüber liegende grundwasserstauenden Dichtschichten eingebracht werden. Unerlässlich ist es, dass die eingebrachten Stopfmittel teufengerecht detektiert und immer in Verbindung mit Suspension eingebaut werden. Die Suspension im Porenraum sorgt zum einen für einen guten Wärmeübertrag und dichtet zusätzlich ab. Mit dem Vorgehen, das in der Arbeitsanweisung zur Verfüllung von Erdwärmesondenbohrungen beim Auftritt von Suspensionsverlusten (siehe Anlage 5) detailliert beschrieben ist, soll gewährleistet werden, dass immer alle Grundwasserstauer wiederhergestellt werden.

Es ist zu beachten, dass grundsätzlich eine Möglichkeit zum Einbau der Suspension in die betroffenen Horizonte auf der Baustelle vorhanden sein muss.

Lösungen können sein:

- Der Verpressschlauch wird gezogen und steht dann in der gewünschten Tiefe zur Verfügung.

- Es wird eine am Verpressschlauch angebrachte Stahllanze eingebaut.
- Es wird ein Verpressgestänge eingebaut.

Je nach verwendetem Verpresssystem ist nach der Arbeitsanweisung zur „Verwendung von mehreren Verpressschläuchen, Verpresslanze oder Verpressgestänge beim Verfüllen von Erdwärmesondenbohrungen“ (siehe Anlage 5 der LQS EWS, Stand März 2015) vorzugehen.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

3.7.1 Bei Suspensionsverlusten oder Einsatz von Stopfmitteln ist gemäß der Arbeitsanweisung „Verfüllung von Erdwärmesondenbohrungen beim Auftritt von Suspensionsverlusten“ (siehe Anlage 5 der LQS EWS, Stand März 2015) vorzugehen. Bei Einsatz von mehreren oder beweglichen Verpressleitungen oder Verpresssystemen ist gemäß der Arbeitsanweisung zur „Verwendung von mehreren Verpressschläuchen, Verpresslanze oder Verpressgestänge beim Verfüllen von Erdwärmesondenbohrungen“ (siehe Anlage 5 der LQS EWS, Stand März 2015) vorzugehen.

4 Bauüberwachung und geophysikalische Messungen

4.1 Bauüberwachung

Bei der Planung eines EWS-Projektes sollte bereits eine **externe und unabhängige** Überwachung des Baus der EWS-Anlage durch eine(n) Sachverständige(n) vorgesehen werden, die oder der die Bohrung geologisch und hydrogeologisch begleitet, die Baustelle und den Einbau der ersten Sonde (bei Sondenfeldern entsprechende Anzahl der Leitlinie 4.1.3) überwacht und das von der Bohrfirma interpretierte Messprotokoll zur automatischen Abdichtung des Ringraums plausibilisiert. Sachverständig ist, wer mit der regionalen Geologie vertraut ist, über ausreichende Fachkenntnisse im Bereich der Heizungstechnik und Dimensionierung von EWS-Anlagen, über vertiefte Kenntnisse über Bohrtechnik, Baustoffe, Misch- und Messtechnik und geophysikalische Messungen verfügt und eine Qualifikation als Geowissenschaftler(in) oder gleichwertig nachweisen kann.

Die Schwerpunkte der Bauüberwachung richten sich nach den geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen. Beispielsweise ist bei sulfathaltigem Gestein der Schwerpunkt auf die Bestimmung des Sulfatspiegels zu legen, während beim kritischen Stockwerksbau die Wasserspiegellagen und Druckpotentiale richtig

bestimmt werden müssen und die Plausibilisierung der interpretierten Messprotokolle der automatischen Abdichtungsüberwachung wichtig ist.

Generell ist von den Sachverständigen zu prüfen, ob alle erforderlichen Geräte, beispielsweise das System zur automatischen Abdichtungsüberwachung, auf der Baustelle vorhaben bzw. auf dem Bohrgerät fest aufgebaut, einsatz- und funktionsfähig sind. Sollte der oder die Sachverständige feststellen, dass das Gerät zur automatischen Abdichtungsüberwachung nicht funktionsfähig ist, hat der oder die Sachverständige in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen die Verpressarbeiten zu überwachen.

In der Umgebung vorhandene und übertragbare Kenntnisse über die Untergrundverhältnisse können bei verlässlicher Bestimmung und Dokumentation der in früheren Projekten angetroffenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse genutzt und der Umfang der Bauüberwachung entsprechend angepasst werden. Die Überwachung hat in Absprache mit der unteren Wasserbehörde je nach Kenntnis über die geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen gezielt zu den relevanten Arbeitsschritten zu erfolgen. Dabei ist aber auf die ordnungsgemäße Durchführung der Arbeiten zu achten, diese zu dokumentieren und gegenüber der unteren Wasserbehörde schriftlich zu bestätigen.

Bei EWS-Feldern wird die Anzahl der zu überwachenden Sonden grundsätzlich festgelegt. Ein Sondenfeld umfasst mind. 5 Bohrungen und die Heizleistung der Wärmepumpe ist > 30 KW. Werden mehrere Bohrungen für benachbarte Gebäude (mind. 5) gemeinsam ausgeführt, so wird dies als ein Sondenfeld angesehen. Werden bei einem Gebäude mehr als 5 Bohrungen für eine Heizleistung ≤ 30 KW benötigt, wird dies nicht als ein Sondenfeld betrachtet. Je nach geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten kann die Anzahl und/oder der Umfang der Überwachung verdichtet oder gelockert werden, beispielsweise, wenn bei verlässlicher Bestimmung und Dokumentation der in früheren Projekten angetroffenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ausreichend Erkenntnisse über den geologischen Aufbau aus benachbarten Bohrungen oder aus bereits ausgeführten Bohrungen innerhalb eines Projektes vorhanden sind.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

4.1.1 Werden EWS-Anlagen in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (siehe Zuordnungstabelle) errichtet, hat eine externe und unabhängige Überwachung durch eine(n) Sachverständige(n) in Abstimmung mit der unteren Wasserbehörde je nach Kenntnis über die geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnisse gezielt zu wichtigen Arbeitsschritten zu erfolgen. Dies umfasst vor allem die Untergrund-

ansprache, die Baustelleneinrichtung und -organisation, die Funktionsfähigkeit der erforderlichen Geräte, die Anmischung der Baustoffsuspension nach Herstellerangaben und die Dokumentation nach LQS EWS (bei der ersten EWS-Bohrung oder bei Sondenfelder gemäß Leitlinie 4.1.3). Ausgenommen von der Überwachungspflicht ist der Verpressvorgang, wenn dieser mit Hilfe eines Gerätes zur automatischen Abdichtungsüberwachung erfolgt. Sollte der oder die Sachverständige feststellen, dass das Gerät zur automatischen Abdichtungsüberwachung nicht funktionsfähig ist, hat der oder die Sachverständige in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen die Verpressarbeiten zu überwachen.

Die von der Bohrfirma interpretierten Messprotokolle zum Abdichtungsvorgang sind anhand der Untergrundansprache von der oder dem Sachverständigen zu plausibilisieren. Die ordnungsgemäße Durchführung der überwachten Arbeiten ist nach deren Abschluss zu dokumentieren und gegenüber der unteren Wasserbehörde schriftlich zu bestätigen. Die Bohrfreigabe wird erst im Anschluss an die Abstimmung der Überwachung mit der UWB erteilt.

- 4.1.2** Sachkundig ist, wer mit der regionalen Geologie vertraut ist, über ausreichende Fachkenntnisse im Bereich der Heizungstechnik und Dimensionierung von EWS-Anlagen und über vertiefte Kenntnisse über Bohrtechnik, Baustoffe, Misch- und Messtechnik verfügt und eine Qualifikation als Geowissenschaftler(in) oder gleichwertig nachweisen kann. Die Sachkunde ist über geeignete Fortbildungsmaßnahmen zu erlangen und gegenüber der unteren Wasserbehörde nachzuweisen.
- 4.1.3** In einem Sondenfeld wird die Anzahl der fachlich zu überwachenden Sonden grundsätzlich festgesetzt (1 Bohrung bei ≤ 5 Sonden, 2 Bohrungen bei ≤ 7 , 3 Bohrungen bei ≤ 7 , bei > 10 Sonden ist die Anzahl in Absprache mit der unteren Wasserbehörde festzusetzen). Eine Verdichtung oder Lockerung kann in Abhängigkeit der Geologie und der vorliegenden verlässlichen Bestimmung und Dokumentation von Erkenntnissen über den geologischen Aufbau, die aus benachbarten Bohrungen oder aus bereits ausgeführten Bohrungen innerhalb eines Projektes vorhanden sind, erfolgen.

4.2 Geophysikalische Messungen

Mittlerweile stehen verschiedene messtechnische Möglichkeiten zur Verfügung. Prinzipiell lassen sich dabei folgende Messverfahren unterscheiden:

- Temperaturmessungen,

- Messungen der natürlichen (radioaktiven) Strahlung von Gesteinen und/oder Abdichtungsmaterialien mit der Gamma-Sonde,
- Messungen der Dichte mit der Gamma-Gamma-Sonde
- Messung der magnetischen Suszeptibilität.

Verschiedene Verfahren können auch kombiniert eingesetzt werden, z.B. Temperatur- und Dichtemessungen oder Messung der magnetischen Suszeptibilität.

Temperaturmessungen

Temperaturmessungen werden bereits standardmäßig angewandt. Die Temperaturmessungen können einen Grundwasserfluss anzeigen. Eine signifikante Temperaturänderung kann auf horizontale Grundwasserströmung im Bereich eines Grundwasserleiters hindeuten oder ein Hinweis auf eine vertikale Grundwasserbewegung in einem unzureichend abgedichteten Ringraum sein. Der Nachweis einer undichten Ringraumabdichtung bedarf zusätzlicher Untersuchungen, z.B. ergänzender anderer geophysikalischer Messungen oder auch Wasserstandsänderungen in benachbarten Grundwassermessstellen.

Die Hydratationswärme des abbindenden Zementes kann die Messung beeinflussen und ist entsprechend zu berücksichtigen. Die Hydratationswärme wird im Wesentlichen zu Beginn des Abbindeprozesses freigesetzt. Sie ist bereits nach weniger als einer Woche weitgehend abgeklungen.

Messmethoden

- Kabellose Messsonde

Es gibt drahtlose Bohrlochmessfühler zur Messung eines Temperaturtiefenprofils. Diese Sonden zeigen unabhängig vom Bohrlochverlauf die Messpunktlage unter dem Flüssigkeitsspiegel im untersuchten Sondenrohr an. Eine Version mit einer dünnen und länglichen Form kann senkrecht in eine Sonde eingelassen werden, aber den Sondenkreislauf nicht vollständig durchlaufen. Eine kompaktere Version, die den Sondenkreislauf vollständig durchlaufen kann, ist zurzeit in der Entwicklung.

- Kabelgebundene Messsonde

Einen geringen Durchmesser weisen kabelgebundene Messsonden auf. Sie geben allerdings die Temperatur nicht bezogen auf die Geländeoberkante an, sondern beziehen sich auf die Kabellänge. Bei stark von der Vertikalen abweichenden Sondenschläuchen kann Tiefe und Kabellänge deutlich unterschiedlich sein.

- Glasfaseroptische Messungen

Glasfaserkabel, die zu Temperaturmessungen genutzt werden, können bereits vor dem Einbau auf den EWS-Schläuchen befestigt werden und zusammen mit ihnen eingebaut werden. Auch in bestehende Sondenschläuche können sie nachträglich eingeführt werden. Wenn Glasfaserkabel bei der Erstellung der EWS eingebaut werden, kann zu einem späteren Zeitpunkt ohne Zugang zu den Sondenrohren eine Temperaturmessung im Bohrloch erfolgen.

Art der Messungen

- Ruhetemperaturmessungen

Hinweise auf gravierende Fehlstellen in der Ringraumabdichtung, die mit massivem Grundwasserfließen verbunden sind, können in geeigneten Fällen bereits an Ruhetemperaturprofilen erkannt werden, da das erwartete Temperaturprofil in einer umlaufenden Ringraumabdichtung durch zirkulierendes Grundwasser beeinflusst wird. Der Temperaturgradient nimmt dann unerwartet niedrige Werte an.

- Kurz-Thermal-Response-Test

Beim Kurz-Thermal-Response-Test wird durch die kurze Heizphase im Wesentlichen nur der unmittelbare Ringraum einer EWS aufgeheizt. Durch die Messung von mehreren Temperaturprofilen in der Abkühlphase können im geeigneten Fall Wasserbewegungen im Ringraum als thermische Anomalien identifiziert werden.

- Enhanced Geothermal Response Test (EGRT)

Der Enhanced Geothermal Response Test (EGRT) ermöglicht eine tiefendifferenziertere Bestimmung der thermischen Eigenschaften (Bohrlochwiderstand, Wärmeleitfähigkeit) des Untergrunds. Der konventionelle Thermal Response Test (TRT) liefert demgegenüber Integralwerte für das Gesamtsystem.

Ein integriertes Heiz- und Messkabel (sog. Hybridglasfaserkabel) wird am Sondenrohr befestigt und mitverpresst oder kann in eine bestehende Sonde nachträglich eingebaut werden. Zur Bestimmung der tiefenaufgelösten Ringraumeigenschaften ist ein Kurz-EGRT von 1-2 Stunden Dauer ausreichend.

Bei hinreichender Kenntnis des geologischen Aufbaus können Aussagen über die Wärmeleitfähigkeit einzelner Schichten und den thermischen Bohrlochwiderstand getroffen werden. U.U. können Aquifere identifiziert und Filtergeschwindigkeiten des Grundwassers aus scheinbaren Wärmeleitfähigkeiten bestimmt werden. Durch Messen der Bodentemperaturen vor Heizbeginn kann überprüft werden, ob die Hydratationswärme abgeklungen und der Abbindeprozess des Abdichtungsmaterials abge-

geschlossen sind. Hinweise auf Wasserströmungen im Ringraum, die auf Undichtigkeiten in der Ringraumabdichtung hindeuten, sind möglich.

Gamma-Messungen

- Gamma-Log-Messung

Gamma-Log-Messungen werden üblicherweise eingesetzt, um Informationen über den geologischen Aufbau zu erhalten. Vor allem Tone und Tonsteinlagen weisen eine erhöhte natürliche Gamma-Strahlung auf. Mit den Messergebnissen kann das geologische Profil präzisiert werden.

Um Fehlstellen in der Ringraumabdichtung mit Hilfe eines Gamma-Logs identifizieren zu können, müssen die Abdichtungsmaterialien mit strahlenden Substanzen dotiert werden (z.B. mit Zirkon-Sand). Im Brunnenbau werden ähnliche Verfahren zur Kontrolle von Abdichtungen der Ringräume von Bohrungen und Grundwassermessstellen seit langem erfolgreich eingesetzt. Zu berücksichtigen ist eine Überlagerung der natürlichen Strahlung des Untergrundes, die eine Interpretation der Hinterfüllungskontrolle erschweren kann. Um einen ausreichenden Kontrast zur natürlichen Strahlung des Untergrundes zu ermöglichen sollten Baustoffe mit einer Gammastrahlung von 300 API im angemischten Zustand eingesetzt werden.

- Gamma-Gamma-(γ - γ)-Log-Messung:

Bei einer Gamma-Gamma-Dichtemessung wird eine Messsonde zur Befahrung der Sondenrohre eingesetzt, die aus einer Gammaquelle und einem γ -detektor besteht. Einen Einfluss auf die Messung haben die Energie der Quelle, der Abstand zwischen Quelle und Detektor sowie die Dichte der umgebenden von den γ -Photonen durchstrahlten Matrix. Für die Aufdeckung einer Dichteanomalie ist die relative Signaländerung maßgeblich. Eine Dotierung der Ringraumabdichtung ist nicht notwendig.

Die Signaländerung gibt Hinweise auf eine Dichteanomalie, beispielsweise durch Lufteinschluss.

- Mini-Kamera

Eine Kamerabefahrung ist derzeit bis 150 m Tiefe möglich. Dabei sind Knicke und größere Risse im Sondenschlauch erkennbar. Bei stärkerer Abweichung der Bohrung aus der Vertikalen ist das Verfahren nur eingeschränkt einsetzbar, da dann die Kamera einseitig am Sondenrohr anliegt und das fokussierte Sichtfeld nur sehr klein ist.

Messung der magnetischen Suszeptibilität

Die Verwendung von magnetisch dotierten Baustoffuspensionen ermöglicht neben der Messung des Anstiegs der Suspensionssäule während der Verpressung eine

Wiederholung der Messung zu späteren Zeitpunkten. Eine Kontrollmessung ist beispielsweise während der Anbindearbeiten möglich. Diese kann zu eigenen Dokumentationszwecken, beispielsweise Tiefe der Bohrung, vollständige Verpressung der Bohrung und Anbindung der EWS an das umgebende Gebirge vom ausführenden Bohrunternehmen vorgenommen werden. Treten jedoch in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnisse beispielsweise nicht eindeutig interpretierbare Messsignale auf oder ist ein Bauherr oder eine Bauherrin nicht in der Lage die Messdaten zu interpretieren, wird empfohlen die Messungen durch eine(n) externe(n) und unabhängige(n) Sachverständige(n), der oder die auf dem Gebiet geophysikalischer Messung sachkundig ist, durchführen zu lassen.

Randbedingungen für Messungen

Die Möglichkeit Kontrollmessungen durchführen zu können, ist für EWS-Anlagen in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (beispielsweise kritischer Stockwerksbau) relevant. Um eine Messung zu ermöglichen wird grundsätzlich ein Mindestinnendurchmesser der Sondenrohre von 25 mm benötigt. Ein Verseilungs- oder Korkenziehereffekt erschwert kabelgebundene Messungen, da die Messgeräte nicht oder nur schwer in die Sonde eingeführt und wieder herausgezogen werden können. Dieser Effekt sollte durch einen sorgfältigen Einbau der Sonde vermieden bzw. reduziert werden.

Um die Messgeräte einsetzen zu können, sollte die EWS grundsätzlich zugänglich sein. Wünschenswert sind:

- eine lichte Höhe der Überbauung von mindestens 1,80 m,
- ein Zugang per PKW oder Fußweg,
- ein Überstand von < 1 m,
- kein Winkelstück, das angeschlossen ist,
- der Anschluss an die Verbindungsleitung zum Haus ermöglicht ein nachträgliches Messen (z. B. Anschlussstutzen mit Messzugang).

Diese Randbedingungen erleichtern eine Messung und sollten, wenn möglich eingehalten werden. Oft lassen jedoch die Grundstückverhältnisse es nicht zu, dass die EWS unbebaut bleibt. Es ist darauf zu achten, dass die EWS danach mit einfachem Aufwand wieder zugänglich gemacht werden kann. Es sollten keine tragenden Bauteile darüber errichtet werden. Alternativ zu einem Messstutzen kann die EWS aufgeschnitten und nach der Messung wieder fachtechnisch verschweißt werden.

Falls in Bereichen mit einer dichten Bebauung eine dauerhafte Überbauung einer EWS oder eines EWS-Feldes sich nicht vermeiden lässt, ist in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen für ein EWS-

Feld ein Konzept im Vorfeld zu erarbeiten, wie Messungen ermöglicht werden können. Denkbar sind Messungen an ausgewählten EWS, bevor beispielsweise eine Bodenplatte über dem Sondenfeld errichtet wird, oder der Zugang am Sondenverteiler für ein kabelloses Messsystem. Alternativ oder ergänzend können repräsentative EWS mit Glasfaserkabeln ausgerüstet werden, deren Anschluss durch die Bodenplatte mitgeführt wird. Auch bestehende in der Nähe gelegene geeignete, oder zum Monitoring neu zu errichtende Grundwassermessstellen können in die Konzeption einbezogen werden. Eine solche Ausrüstung kann hilfreich sein, um bei Verdacht nachzuweisen, ob Geothermieprojekte bestimmte Schäden, z.B. an Gebäuden, verursachen oder nicht verursachen.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

- 4.2.1** In Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (siehe Zuordnungstabelle) sind EWS für geophysikalische Messungen grundsätzlich zugänglich zu halten. Der Mindestinnendurchmesser der Sondenrohre soll grundsätzlich 25 mm betragen. Für EWS-Felder, die überbaut werden, sind angepasste Konzepte zu entwickeln oder Vorkehrungen zu treffen, die eine Messung ermöglichen.
- 4.2.2** Falls die automatische Abdichtungsüberwachung Hinweise auf nicht beherrschte Probleme gibt oder der/die Sachverständige die ordnungsgemäße Durchführung der Arbeiten nicht bestätigen kann, ist in Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (siehe Zuordnungstabelle) durch geeignete Messverfahren nachzuweisen, dass die Ringraumabdichtung erfolgreich war.

Empfehlung für Bauherren

Falls eine dotierter Baustoff suspension zur Abdichtung der Erdwärmesondenbohrung eingesetzt wird, wird empfohlen, durch eine(n) externe(n) und unabhängige(n) Sachverständige(n), der oder die auf dem Gebiet geophysikalischer Messungen sachkundig ist, vor oder während der Anbindearbeiten eine geophysikalische Messung der Sonden hinterfüllung durchzuführen. Die Ergebnisse sind durch den oder die Sachverständige zu interpretieren und der unteren Wasserbehörde zur Verfügung zu stellen.

Sachkundig für geophysikalische Messungen ist, wer eine Qualifikation als Geowissenschaftler(in), Geophysiker(in) oder gleichwertig sowie ausreichende Fachkenntnisse im Bereich der geophysikalischer Messungen und Referenzen gegenüber der unteren Wasserbehörde nachweisen kann und mit der regionalen Geologie vertraut

ist. Fachkenntnisse können auch über geeignete Fortbildungsmaßnahmen mit Abschlussprüfung erlangt werden.

5 Mängel und Beseitigung, Stilllegung

Feststellungen und Handlungsbedarf

Erste Erkenntnisse auf gravierende Fehlstellen in der Ringraumabdichtung mit unkontrolliertem Grundwasserfließen können Ruhetemperaturprofile geben. Diese Ergebnisse sind in einem zweiten Schritt durch weitere Methoden wie einer Temperaturmessung mit Aufheizphase und oder einer Dichtemessung zu verifizieren.

Ein Handlungsbedarf im Sinne einer Sanierungsnotwendigkeit ergibt sich dann, wenn konkrete Hinweise vorliegen, dass unkontrolliert Grundwasser aus einem Aquifer wegfleßt und dadurch Schäden verursacht werden können oder Schäden durch das Bohrverfahren entstanden sind. Zu Schäden zählen:

- Gebäudeschäden, beispielsweise durch Setzungsprozesse aufgrund von Grundwasserabsenkung, durch Hebungsprozesse aufgrund von Quellprozessen (z.B. Anhydritquellen) oder Sackung des Geländes beim Anfahren eines Hohlraumes,
- dauerhaftes Versiegen oder dauerhafter massiver Rückgang einer Quellschüttung,
- unkontrollierter Austritt eines Artesers,
- Kurzschluss mehrerer Grundwasserleiter mit einer nicht kleinräumigen und nachhaltigen Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Grundwassers, wenn eine natürliche Verbindung in unmittelbarer Umgebung nicht zu erwarten ist,
- eine nicht kleinräumige und nachhaltige Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Grundwassers (beispielsweise durch belastete Flächen in Siedlungsgebieten),
- Beschädigung von Kanälen, sei es durch den Bohr- und/oder Verpressvorgang,
- Verunreinigung eines Oberflächengewässers.

Monitoring

Falls sich Hinweise auf ein Schadensereignis durch Messungen bestätigen, aktuell aber kein Sanierungsbedarf besteht, empfiehlt sich ein Monitoringprogramm. Dabei ist in geeigneter und verhältnismäßiger Weise zu überprüfen, ob sich die Situation nicht verschlechtert.

Dafür kommt eine Wiederholung der vorgenommenen Messungen (Dichtheit der Hinterfüllung und/oder Temperaturmessung) in der Sonde in Betracht, ersatzweise oder zusätzlich auch eine Überwachung des Nahfeldes der beschädigten EWS. Das Monitoring ist nach den gewonnenen Erkenntnissen anzupassen, in dem die Wiederholungsintervalle ausgedünnt oder verdichtet werden. Wenn das Monitoring Erkenntnisse liefert, dass der Zustand sich nicht nachteilig verändern wird, ist es zu beenden.

Sanierungsverfahren

Grundsätzlich sind zerstörungsfreie Verfahren denen, die eine EWS zerstören, vorzuziehen. Zerstörende Sanierungsverfahren sind aufwendig und kostenintensiv. Sie können nur dann eingesetzt werden, wenn eindeutig nachgewiesen ist, dass Dritte oder das Wohl der Allgemeinheit durch eine EWS geschädigt werden und eine Sanierung ein verhältnismäßiges Mittel ist, um den Schaden zu stoppen oder zu beheben.

Zerstörungsfrei

In Gebieten mit schwierigen geologischen und hydrogeologischen Untergrundverhältnissen (z.B. kritischer Stockwerksbau, Arteser) wird empfohlen, Vorkehrungen zu treffen, um mit einem einfachen Verfahren undichte Zementationen nach zu verpressen. Beispielsweise kann ein weiterer Nachverpressschlauch mit Manschettenöffnung in 30 cm bis 50 cm Abständen in das Bohrloch eingebaut werden. Dies kann größere Bohrlochdurchmesser erfordern. Alternativ zu einem Manschettenschlauch kann auch der nicht gezogene Injektionsschlauch freigespült werden. In diesem wären sowohl Messungen, wie auch eine nachträgliche Sanierung mit dem Hochdruckschneideverfahren möglich.

Zerstörend

- Hochdruckschneideverfahren

Die betroffenen Sondenschläuche oder der Injektionsschlauch werden mit einem Hochdruckwasserstrahl in verschiedenen Tiefen aufgeschnitten und abschnittsweise nachverpresst. Die behandelten Sondenschläuche werden bei diesem Verfahren zerstört. Die unmittelbar benachbarten Sonden bleiben trotz der starken Drücke (rd. 700 bar am Düsenaustritt) unversehrt. Ein Betrieb der sanierten EWS mit Wasser als Wärmeträgermedium ist zu prüfen.

- Zwei-Komponenten-Schaum

Als weiteres Sanierungsverfahren ist eine Abdichtung beispielsweise eines Artesers mit einem Zwei-Komponenten-Schaum (PU-Schaum) am Markt erhältlich.

- **Überbohrung**

Eine Überbohrung kann erfolgen, sofern die Bohrung nicht zu stark aus der Lotrechten abweicht, bzw. die schadhafte Stelle nicht zu tief liegt. Dies ist im Einzelfall zu prüfen.

Nachweis der Vertikalität einer Bohrung

Erfahrungsgemäß weichen Imlochhammerbohrungen ohne Verrohrung aus der Lotrechten ab. Diese Abweichungen sind vor allem in Gebieten mit einem Schichteinfallen gravierend. Der Bohrhammer stellt sich dann senkrecht auf das Schichteinfallen. Es gibt Messsonden, die Inklination und Azimut messen können.

Stilllegung einer EWS

Falls eine Ringraumabdichtung im Laufe der Zeit undicht werden sollte und zu einem sanierungsbedürftigem Schaden führt, ist es erforderlich, dass die Sondenrohre der stillgelegten EWS-Anlage nicht verpresst und abgedichtet sind. Die EWS ist daher nach Stilllegung frei zu spülen und mit Wasser zu füllen.

Leitlinie (s. Zuordnungstabelle):

5.1 Wird eine EWS stillgelegt, ist dieses der zuständigen UWB anzuzeigen. Wärmeträgermedien, die auf wassergefährdenden Stoffen basieren, sind mit Wasser auszuspülen und fachgerecht zu entsorgen. Die Sonde ist anschließend mit Wasser zu befüllen und dicht zu verschließen.

Quellen und Dank:

Grundlage der Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden sind die Ergebnisse der Arbeitskreissitzungen Qualitätssicherung Erdwärmesonden. Als Quelle dienen die Besprechungsprotokolle, in denen die Anregungen der Experten und Mitglieder des AKs zusammengefasst wurden sowie die schriftlichen Vorschläge einzelner Mitglieder und Experten. Allen Experten und Mitgliedern sei an dieser Stelle für die konstruktive Mitarbeit an den Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden ausdrücklich gedankt.