

Schlussbericht, 22. August 2018

Gewässerschutz bei Erdwärmesondenbohrungen

Übersicht über Abdichtungssysteme zum Schutz des Grundwassers



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Dr. Maurus Hess, CSD Ingenieure AG

Fabrice Rognon, CSD Ingenieure AG

Calame Nicole, CSD Ingenieure AG

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Inhalt

1	Einleitung	6
1.1	Ausgangslage und Motivation	6
1.2	Aufgabenstellung	7
1.3	Vorgehensweise.....	8
2	Grundlagen	10
2.1	Erdwärmenutzung mittels Sonden und Gewässerschutz	10
2.2	Erdwärmesonden im Grundwasser aus energetischer Sicht.....	11
2.3	Gesetzliche und technische Grundlagen	11
2.3.1	Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, BAFU, 2009	11
2.3.2	SIA Norm 384/6 Erdwärmesonden, 2010	12
2.4	Gefährdungsbilder.....	13
2.4.1	Grundwasserverschmutzung durch Eintritte aus der Oberfläche	13
2.4.2	Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke	13
2.4.3	Wegfliessen der Hinterfüll-Suspension.....	13
2.4.4	Arteser.....	14
2.5	Vorgehen und Erläuterung Interviews.....	14
2.6	Akteure	15
2.6.1	Bauherrschaft.....	15
2.6.2	Behörden.....	15
2.6.3	Bohrfirmen.....	16
2.6.4	Geologiebüros	16
2.6.5	Hersteller und andere Anwender von Abdichtungssystemen	17
2.7	Kriterien	17
2.7.1	Praxistauglichkeit	18
2.7.2	Zuverlässigkeit	18
2.7.3	Kosten	18
2.7.4	Grenzen	19
2.7.5	Verkaufszahlen	19

2.7.6	Empfehlungen	19
3	Beurteilung Abdichtungssysteme.....	20
3.1	Permanente Verrohrung.....	20
3.1.1	Beschreibung des Systems	20
3.1.2	Praxistauglichkeit	20
3.1.3	Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz	21
3.1.4	Kosten	21
3.1.5	Einsatzhäufigkeit	21
3.1.6	Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern.....	22
3.2	Erdwärmesonden-Strumpf	22
3.2.1	Beschreibung des Systems	22
3.2.2	Praxistauglichkeit	23
3.2.3	Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz	23
3.2.4	Kosten	24
3.2.5	Einsatzhäufigkeit	24
3.2.6	Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern.....	24
3.3	Erdwärmesonden-Gewebepacker	25
3.3.1	Beschreibung des Systems	25
3.3.2	Praxistauglichkeit	26
3.3.3	Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz	26
3.3.4	Kosten	27
3.3.5	Einsatzhäufigkeit	27
3.3.6	Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern.....	27
3.4	Bohrloch-Packer.....	27
3.4.1	Beschreibung des Systems	27
3.4.2	Praxistauglichkeit	28
3.4.3	Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz	29
3.4.4	Kosten	29
3.4.5	Einsatzhäufigkeit	29
3.4.6	Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern.....	29
3.5	Weitere Verfahren zur Abdichtung.....	30

3.5.1	Spezielle Hinterfüllung	30
3.5.2	Injektionen	30
4	Synthese der Einsatzmöglichkeiten.....	32
5	Fazit	35
6	Quellen	37
7	Anhang A Liste der Interviewpartner	38

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Motivation

Die Energiegewinnung aus dem Untergrund in Form von Erdwärme ist ein wichtiger Bestandteil der schweizerischen Energiepolitik. Im Rahmen der Energiestrategie 2050 wurde dies auch vom Bundesrat entsprechend verabschiedet.

In der vorliegenden Untersuchung geht es um die oberflächennahe Erdwärmenutzung mittels Erdwärmesonden (EWS). In den vergangenen Jahren wurden immer häufiger Heizungen mit EWS-Wärmepumpen-Anlagen gebaut (vgl. Abbildung 1) und mittlerweile auch saniert. Vermehrt werden Erdwärmesonden auch zur Gebäudekühlung eingesetzt und der Untergrund als Wärmespeicher genutzt.

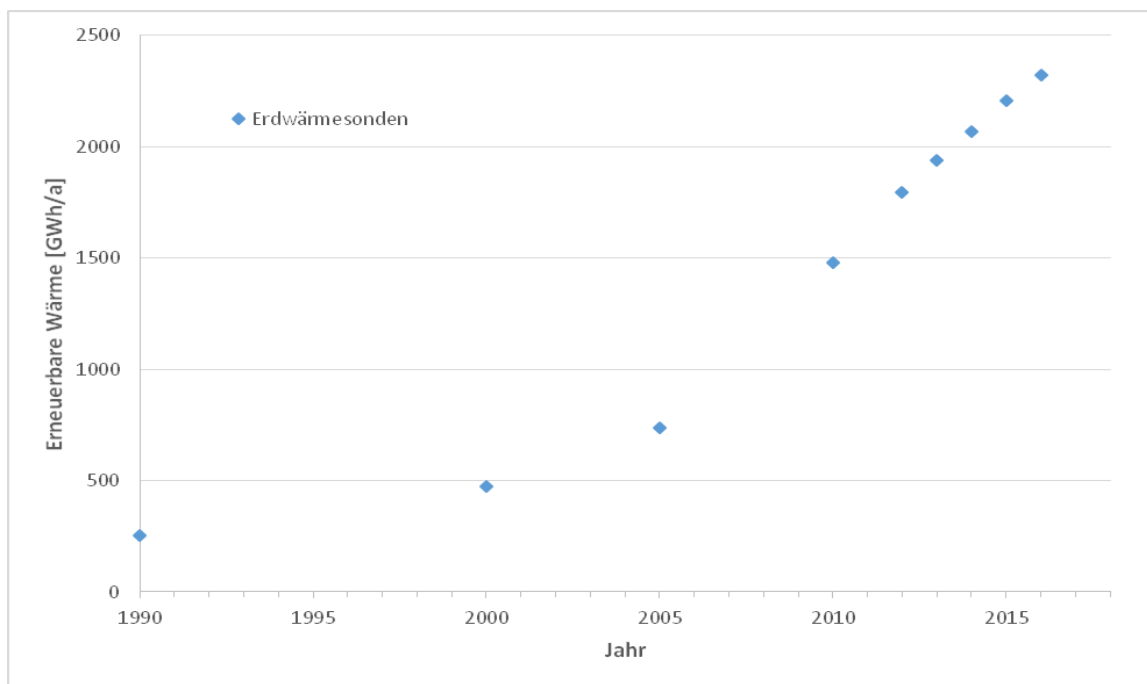


Abbildung 1: Entwicklung Erdwärmenutzung mittels Sonden und Sole-Wasser-Wärmepumpen seit 1990. (Quelle: BfE: Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2013. Bern, Sept. 2014)

Im Jahr 2016 wurden in der Schweiz rund 2'500'000 Laufmeter Erdwärmesonden abgeteuft. Nicht bekannt ist allerdings, wie gross der Anteil an innerhalb von Grundwasservorkommen installierten ist.

Die Ausführungsqualität der Erdwärmesonden ist dabei essentiell. Einerseits ist sie ausschlaggebend für eine gute thermische Anbindung der Erdwärmesonden an den Untergrund und somit für die Leistungsfähigkeit der Erdwärmesonden und die Effizienz des Gesamtsystems Heizung-Kühlung. Andererseits hat der Schutz der Umwelt, und im Speziellen des Grundwassers, oberste Priorität. Die fachgerechte Ausführung der Bohr- und Ausbuarbeiten ist ein wesentlicher

Faktor, um den umweltschutztechnischen Anforderungen bei Erdwärmesondenbohrungen gerecht zu werden.

Beeinträchtigungen der Grundwasserverhältnisse werden bei Erdwärmesondenbohrungen zum Beispiel durch folgende, grob zusammengefasste Ursachen erzeugt:

- Grundwasserverschmutzung während des Bohrvorgangs, während des Bohrlochausbaus und dessen Hinterfüllung oder während des Betriebs der Erdwärmesondenanlage
- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke oder Oberflächenwassers mit dem Grundwassers durch die Bohrung
- Aufstieg von gespanntem oder artesisch gespanntem Grundwasser

Es resultiert eine Vielzahl möglicher Gefährdungsbilder für das Grundwasser, im Speziellen für den obersten Grundwasserleiter. Einige der oben erwähnten Ursachen können dabei nicht nur Grundwasserleiter, sondern auch Oberflächengewässer in Mitleidenschaft ziehen.

Wenn die Gefahr besteht, dass das Grundwasser durch Erdwärmesondenbohrungen beeinträchtigt wird, werden diese in der Regel entweder gar nicht, oder nur unter speziellen Auflagen zugelassen. Die Definition der speziellen Auflagen liegt in der Kompetenz der Kantone. Als Grundlage für die Bewilligungspraxis dient die Vollzugshilfe des Bundes „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“, welche in Kapitel 2.3 kurz erläutert wird.

Eine fachgerechte Planung und Realisierung einer Erdwärmesondenanlage kann diese Risiken weitgehend minimieren. Erhebliche Fortschritte wurden dabei in den letzten Jahren auch im Bereich der technischen Hilfsmittel zur Bohrlochabdichtung gemacht. Von diversen Anbietern sind unterschiedliche Produkte hergestellt worden, welche bei den verschiedenen Gefährdungsbildern eingesetzt werden können. Die Verwendung von Abdichtungsmassnahmen, wie im vorliegenden Bericht beschrieben und beurteilt, sind mögliche spezielle Auflagen der kantonalen Behörden.

Wichtigstes Ziel der hiermit dargelegten Arbeit ist es, die einzelnen Gefährdungsbilder aufzuführen und mit den auf dem Markt zur Verfügung stehenden Produkten in Bezug zu bringen. Dabei werden diese Produkte auf ihre Praxistauglichkeit, ihre Zuverlässigkeit sowie ihr Aufwand-Nutzen-Verhältnis hin beurteilt.

Grundsätzlich soll die Hinterfüllung der Erdwärmesonde die Aufgabe der Abdichtung des Bohrlochs in der Vertikalen und in der Horizontalen übernehmen. In der Praxis ist die Hinterfüllung allerdings nie vollständig lückenlos (siehe auch Hess et al. 2015 für EnergieSchweiz) und speziell bei Bohrungen im Grundwasser müssen erhöhte Anforderungen an die Abdichtung gestellt werden.

1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projekts werden Abdichtungssysteme zum Schutz des Grundwassers bei Erdwärmesondenbohrungen vorgestellt und beurteilt. Dazu werden verschiedene Akteure aus der Branche befragt: Bohrfirmen, Behörden, Geologiebüros sowie Lieferanten von Abdichtungssystemen. Damit wird der aktuelle Wissens- und Erfahrungsstand aufgearbeitet und eine Übersicht über die heute angewendeten Abdichtungssysteme erstellt. Es handelt sich somit

weder um eine Priorisierung der verschiedenen Systeme noch um eine technische Richtlinie zu deren Anwendung.

Inhalt der Aufgabenstellung ist nur die Auflistung, Kategorisierung und Beurteilung der wichtigsten Abdichtungsmassnahmen zum Schutz des Grundwassers bei EWS-Bohrungen. Andere potenzielle Gefahren (wie zum Beispiel Gasaustritt) sind nicht Bestandteil vorliegender Studie, wenn gleich einzelne hier vorgestellte Abdichtungssysteme auch zu deren Vermeidung oder Verminderung eingesetzt werden können.

Berücksichtigt werden dabei marktreife und markterprobte Produkte und Verfahren, welche kommerziell erhältlich und heute im Einsatz sind (also keine Einzel- und Spezialanfertigungen oder Prototypen).

1.3 Vorgehensweise

Kern dieser Arbeit sind die Erfahrungen von Akteuren der Erdwärmesondenbranche, bestehend aus Bohrfirmen, Behörden, Geologen und Herstellern und Anwendern von Abdichtungssystemen. Das Ziel dabei ist es, möglichst viele Informationen aus der Praxis im Umgang mit diesen Systemen zu erhalten. Als Grundlage zu Sammlung der Erfahrungen diente eine Tabelle, welche die verschiedenen, gängigen Abdichtungssysteme verschiedenen Beurteilungskriterien gegenüberstellt.

Als Abdichtungssysteme waren folgende vier vorgegeben:

- Permanente Verrohrung
- Erdwärmesonden-Strumpf
- Erdwärmesonden-Gewebepacker
- Bohrloch-Packer

Die Begriffe wurden dabei den von „Energie Schweiz“ publizierten Merkblättern entnommen (www.bfe.admin.ch). Des Weiteren wurde mit der Zeile „weitere Abdichtungssysteme“ die Möglichkeit geboten, Systeme zu besprechen, welche nicht Bestandteil der Merkblätter sind.

Folgende Beurteilungskriterien waren vorgegeben:

- Praxistauglichkeit
- Zuverlässigkeit
- Kosten
- Grenzen
- Kritikpunkte
- Verkaufszahlen Empfehlungen
- Bemerkungen

Auf Basis der Rückmeldung der Akteure fand anschliessend ein telefonisches Interview zur Konkretisierung und zum Erfahrungsaustausch statt.

Vorgehen, Beurteilungskriterien sowie die Auswahl möglicher Akteure fanden in Abstimmung mit dem Bundesamt für Energie statt. Es wurde versucht, innerhalb der Möglichkeiten im Rahmen dieser Studie, einen möglichst breiten und eingehenden Erfahrungsaustausch zu erwirken. Die effektiven Rückmeldungen der Akteure liegen jedoch nicht in der Verantwortung der Autorenschaft und eine Garantie auf Vollständigkeit kann nicht gegeben werden. Sämtliche Akteure, welche bei dieser Studie mitgewirkt haben, sind in Anhang A aufgeführt.

Die kritische Würdigung und das Fazit der Autorenschaft befinden sich im letzten Kapitel dieses Berichts.

2 Grundlagen

2.1 Erdwärmenutzung mittels Sonden und Gewässerschutz

Der Untergrund inklusive Grundwasser besitzt ein grosses Potenzial als umweltschonender und nachhaltiger Energielieferant zur Beheizung oder zur Kühlung von Gebäuden.

Die Erdwärmesonde ist die gängigste Form der Erdwärmenutzung. Es handelt sich dabei in der Regel um Kunststoffrohre, welche standardmässig U-förmig (Einzel- oder Doppel-U-Sonde) oder auch konzentrisch als Innen- und Aussenrohr (Koaxialsonde) in Bohrlöcher eingebaut werden. Die Bohrlöcher werden nach der Sondeninstallation dicht hinterfüllt.

In Abbildung 2 ist die Funktionsweise der Erdwärmesonde schematisch dargestellt. Die Erdwärmesonde bildet ein geschlossenes System und dient als Wärmetauscher mit dem Untergrund. Sie ermöglicht die Entnahme von Erdwärme aus dem Boden (im Heizungsmodus) und den Wärmeeintrag in den Boden (zur Kühlung der Gebäude). Die erforderliche Anzahl und Tiefe von Erdwärmesonden für einen bestimmten Energiebedarf ist abhängig von den thermischen

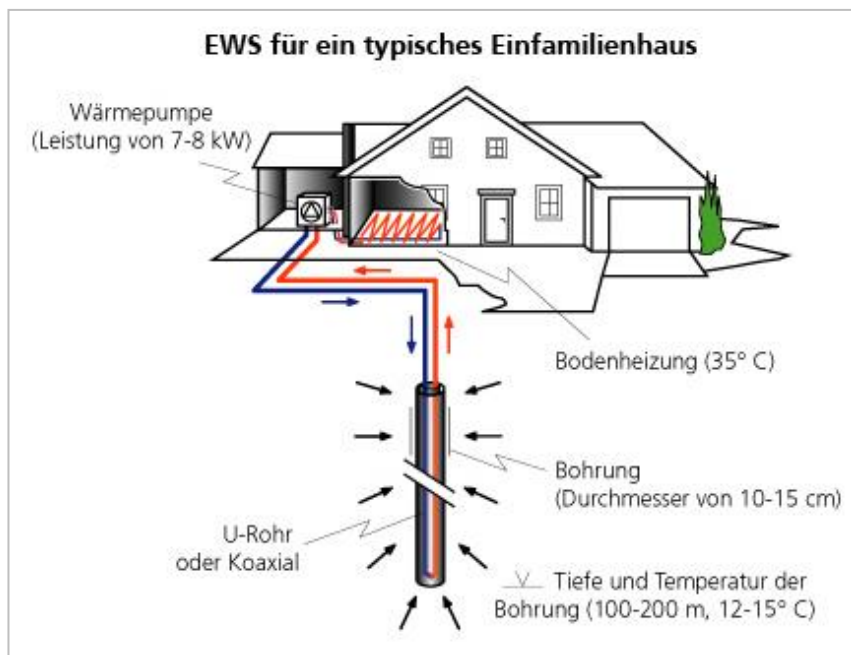


Abbildung 2: Systembild Wärmeversorgung Einfamilienhaus mittels Erdwärmesonde und Wärmepumpe. (Quelle: www.geothermie-schweiz.ch)

Untergrundeigenschaften, deren geometrischer Anordnung, dem Wärmeträgermedium, der Bohrlochgeometrie sowie weiteren Parametern.

Die für die Erdwärmesonden notwendige Bohrung stellt somit einen Eingriff in den Untergrund dar. Ist der Untergrund grundwasserführend, beinhaltet diese somit ein Potential zur Grundwassergefährdung. Die Installation und der Betrieb von Erdwärmesonden sind dann

gewässerschutzrelevant. Der Schutz des Grund- und Trinkwassers hat bei sämtlichen Bewilligungs- und Konzessionsverfahren oberste Priorität.

2.2 Erdwärmesonden im Grundwasser aus energetischer Sicht

Das Grundwasser hat auch einen positiven Effekt auf die Funktionalität von Erdwärmesonden. Eine Reihe von Analysen (z.B. Poppei 2017 BFE und Hochbauamt Zürich 2017) kommt zum Schluss, dass EWS und EWS-Felder, welche nach SIA 384/6 dimensioniert worden sind, häufig eine erhöhte Effizienz haben, wenn sie sich in Wasserströmungen befinden, weil sie auf natürliche Weise regeneriert werden. Diese Studien bieten ebenfalls eine wertvolle Übersicht über bisherige theoretische und praktische Erfahrungen und über den Einfluss des Grundwasserstroms auf die geothermischen Untergrundparameter.

2.3 Gesetzliche und technische Grundlagen

Die Erteilung von Bewilligungen und Konzessionen für Erdwärmesonden liegt in der Schweiz in der kantonalen Hoheit. In der Regel werden Erdwärmesondenbohrungen durch die kantonalen Gewässerschutzbehörden nicht bewilligt, wenn die Gefahr einer Verschmutzung von Grund- und Trinkwasser besteht. Die kantonalen Gewässerschutzbehörden haben die Kompetenz, ihre Grundwasservorkommen zu klassifizieren, und mit speziellen Anforderungen Erdwärmesondenbohrungen im Grundwasserbereich zuzulassen. In der Praxis verbieten somit einige Kantone Erdwärmesonden in grundwasserbeeinflussten Gebieten, andere lassen sie unter speziellen Umständen (z.B. in wenig ergiebigen Randgebieten) oder mit speziellen Anforderungen zu. Solche speziellen Anforderungen, bzw. spezifische Auflagen, können zum Beispiel Abdichtungssysteme sein.

Von EnergieSchweiz wurden vier Merkblätter publiziert, welche Abdichtungssysteme beschreiben: Permanente Verrohrung, EWS-Gewebestumpfer, EWS-Gewebepacker und Bohrloch-Packer. In vorliegender Studie wird diese Einteilung übernommen.

Die Gesetzgebung bezüglich Gewässerschutz ist umfassend. Grundlegende, gewässerschutzrelevante Anforderungen finden sich in der BAFU Vollzugshilfe 2009. Die technischen Anforderungen an eine Erdwärmesondenbohrung inkl. Störfallinterventionen sind in der SIA Norm 384/6 geregelt. Beide werden im Folgenden etwas genauer betrachtet. Entsprechende Verweise auf die zugrunde liegenden Gesetze und Verordnungen finden sich in diesen Dokumenten.

2.3.1 Vollzugshilfe Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, BAFU, 2009

Diese Vollzugshilfe gibt eine Übersicht über die gesetzlichen Grundlagen auf Bundesebene (Bundesverfassung, Gewässerschutzgesetz und Gewässerschutzverordnung) und bietet eine Basis für die Bewilligungspraxis der Kantone. Gebiete, in denen Erdwärmesonden mit spezifischen Auflagen zugelassen werden können, werden darin wie folgt definiert:

1. Gebiete geringer Grundwassermächtigkeit (für die Trinkwassergewinnung technisch nicht nutzbar) im Gewässerschutzbereich Au.

2. Besiedelte Gebiete innerhalb des nutzbaren Teils des Gewässerschutzbereichs A_U, in denen eine Trinkwassergewinnung nicht möglich ist.
3. Gebiete mit Grundwasserstockwerkbau.
4. Gebiete mit gespanntem Grundwasser.
5. Gebiete mit stark mineralisiertem Grundwasser.
6. Gebiete, in denen der geologische oder hydrogeologische Aufbau des Untergrundes ungenügend bekannt ist, sowie Gebiete mit lokalen Verkarstungen oder lokalem Auftreten von Klüften.
7. Gebiete mit bestehenden unterirdischen Anlagen.
8. Gebiete, in denen geogene Probleme zu erwarten sind (z.B. Erdgas, ölhaltige Gesteine, quellende Formationen).
9. Belastete Standorte, sofern die Voraussetzungen nach Artikel 3 Altlastenverordnung erfüllt sind.

Als mögliche spezielle Auflagen in diesen Gebieten wird verallgemeinernd das Einbringen von permanenten Verrohrungen, Packern oder Druckzementationen gemäss Vorgabe der Behörde bzw. des beauftragten Geologen genannt.

2.3.2 SIA Norm 384/6 Erdwärmesonden, 2010

Eine wichtige Bedingung für ein gut abgedichtetes Bohrloch ist die Hinterfüllung. Die Abdichtung ist nebst Einbettung und Schutz sowie der thermischen Anbindung an den Untergrund Hauptaufgabe der Hinterfüllung. (siehe auch Hess et al. 2015 für EnergieSchweiz).

Unter Punkt 4.3.1.2 gibt die SIA Norm 384/6 vor, dass in besonderen Fällen technische Hilfsmittel angewendet werden müssen, zum Beispiel bei Wasserzufluss, artesisch gespanntem Grundwasser, Gaszutritt, Schotterlagen und Klüften. Als übliche bohrtechnische Hilfsmittel werden dabei angepasste Suspensionsmischungen und Erdwärmesonden-Gewebepacker genannt.

In Anhang E.3 ist zudem die minimale Bohrausrüstung bei Arteser-Störfällen wiedergegeben:

- Für die Sofortintervention ist ein Gewebepacker für die Abdichtung der Erdwärmesondenbohrung mitzuführen.
- Im Rahmen einer Sanierung (bei Bedarf) werden Erdwärmesonden mittels Gewebepacker (im Fall Abdichtung mit Erdsondeninstallation) oder mittels Vollpacker (im Fall Abdichtung ohne Erdsondeninstallation) verwendet. Des Weiteren aufgeführt sind Vorrichtungen zur Anmischung von beschwerter oder thixotroper Hinterfüllung sowie entsprechende Zuschlagsstoffe (z.B. Schwerspat).

2.4 Gefährdungsbilder

Dieser Abschnitt beinhaltet eine Zusammenstellung möglicher Gefährdungsbilder, welche nach aktuellem Wissensstand vorrangig bei EWS-Bohrungen auftreten und bei denen die in dieser Studie behandelten Abdichtungssysteme erfolgreich eingesetzt werden können.

2.4.1 Grundwasserverschmutzung durch Eintritte aus der Oberfläche

Durch eine nicht vollständig dichte Bohrung kann eine Verbindung zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser geschaffen werden und die natürliche Filterwirkung des Bodens überbrückt werden. Ist das Oberflächenwasser verschmutzt oder hat eine andere chemische Zusammensetzung als das Grundwasser, kann dies für das Grundwasser eine erhebliche Gefährdung darstellen.

Beispiele für Verschmutzungen sind der Austritt von Maschinen- oder Hydrauliköl oder auch Meteorwasser, welches natürlicherweise eine andere chemische Zusammensetzung hat und zusätzlich durch Kontakt mit Strassen, Dächern o.ä. gefährdende Substanzen aufnehmen kann.

Zu diesem Gefährdungsbild zählen wir in diesem Zusammenhang auch der Austritt von Wärmeträgerflüssigkeit aus den EWS-Schläuchen, bzw. deren Anschlussleitung. Das Wärmeträgermittel wird so gewählt, dass sich am Verdampfer kein Eis bilden kann und keine Korrosion an den im Erdwärmesondenkreislauf eingesetzten Materialien stattfinden kann. In den meisten Fällen besteht es aus einer Mischung von Wasser und Frostschutzmittel. Da der Druckverlust in den Erdwärmesonden in der Regel zu einer Störung der Wärmepumpe führt, ist das Gesamtvolumen, welches austreten kann, begrenzt.

Durch Sorgfalt und sachgemässe Ausführung kann dieses Risiko bereits stark minimiert werden. Tritt trotzdem ein Verschmutzungsfall auf, kann der Ausbreitung mit gut abgedichteten Bohrlöchern entgegengewirkt werden. Sind im potentiellen Einflussbereich der Bohrungen Trinkwassernutzungen vorhanden, werden vergleichende Messungen vor, während und nach den Bohrarbeiten hinsichtlich Wasserqualität der betroffenen Quellen oder an Grundwassermessstationen empfohlen.

2.4.2 Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke

Dieses Gefährdungsbild ist von zentraler Bedeutung, da es irreparable Auswirkungen auf das Grundwasser haben kann. Es beinhaltet die Schaffung neuer Wasserwegsamkeiten, zwischen den Grundwasserstockwerken aber auch zwischen verschiedenen Karst- oder Kluftsystemen. Die Vermischung verschiedener Grundwässer kann einerseits die hydraulischen Verhältnisse im Untergrund beeinflussen und andererseits chemische Zusammensetzungen verändern, welche sich wiederum auf das Umgebungsgestein auswirken können. Es sollte somit unbedingt vermieden werden, dass durch EWS-Bohrungen verschiedene Grundwasserstockwerke miteinander verbunden werden.

2.4.3 Wegfliessen der Hinterfüll-Suspension

Zentrale Aufgaben der Hinterfüllung sind der Schutz der Erdwärmesonde, die Bohrlochabdichtung sowie die thermische Anbindung der Sonde ans Erdreich. Die Ausführung hat gemäss BAFU

Vollzugshilfe „Wärmenutzung aus dem Boden“ zu erfolgen. Weitere technische Vorgaben sind zudem in der SIA Norm 384/6 Anhang F3 zu finden.

Trotzdem kann ohne zusätzliche Abdichtungsmassnahmen die Suspension vor der Aushärtung in Karsten, Klüften, Hohlräumen oder stark durchlässigem Gestein ins umgebende Erdreich eindringen. Ein signifikantes Wegfliessen kann durch die Bohrfirma in der Regel erkannt werden aufgrund des Suspensionsverbrauchs oder aufgrund einer nachträglichen Absenkung der Hinterfüllung im Bohrloch. Die mögliche Gefährdung aufgrund signifikanter Hohlräume kann durch den Bohrmeister auch während den Bohrarbeiten erkannt werden.

Das Gefährdungsbild ist sehr vielseitig. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Hinterfüllung ist das Wegfliessen auf jeden Fall gewässerschutztechnisch als kritisch zu betrachten. Häufig ist dies zudem verbunden mit lückenhafter Hinterfüllung, was zudem aufgrund zusätzlicher Wegsamkeiten und Undichtigkeiten sowie einer Verschlechterung der thermischen Anbindung der Erdwärmesonde unerwünscht ist.

2.4.4 Arteser

Gespanntes Grundwasser entsteht, wenn es durch eine undurchlässige Schicht nach oben abgedichtet wird und dadurch seine eigentliche hydrostatische Druckhöhe nicht erreichen kann. Ist diese Druckhöhe höher als die Terrainoberfläche, spricht man von artesisch gespannt. Wird die stauende Schicht durchbohrt, steigt das darunter liegende, angebohrte Grundwasser im Bohrloch auf seine hydrostatische Druckhöhe an. Bei einem Arteser tritt das Grundwasser an der Oberfläche aus. Zudem führt das Anbohren artesisch gespannten Grundwassers zur Verminderung des hydraulischen Drucks im Aquifer und kann die Grundwasserverhältnisse nachhaltig beeinflussen.

Der Austritt von Grundwasser an die Oberfläche kann nicht nur zu weiträumigen Verschmutzungen sondern auch zu Schäden an bestehenden Bauten führen. Wird gespanntes Grundwasser angebohrt, ist es häufig schwierig, genau nachzuvollziehen wohin das angebohrte Wasser fliesst. Nicht nur aus gewässerschutztechnischer Sicht ist deshalb bei gespanntem Grundwasser generell Vorsicht geboten, und Bohrfirmen müssen die Sofortmassnahmen beherrschen.

2.5 Vorgehen und Erläuterung Interviews

Vorliegende Studie gibt einen Überblick über Abdichtungssysteme zum Grundwasserschutz sowie eine Beurteilung derer Eigenschaften bei verschiedenen Anwendungsgebieten (Gefährdungsbildern). Nur selten ist jedoch der Einsatz eines konkreten Abdichtungssystems gesetzlich vorgeschrieben. Solide Fachkenntnisse sowie ein gutes Einvernehmen zwischen den verschiedenen Akteuren sind somit unerlässlich für eine zielführende Lösungsfindung. Die Lösung hat stets den Anspruch, die gewässerschutztechnischen Anforderungen in einem vertretbaren Aufwand-zu-Ertrags-Verhältnis zu erfüllen.

Um die Praxistauglichkeit dieser Studie auch für die Öffentlichkeit und die involvierten Akteure der Geothermiebranche zu gewährleisten, bilden die Kenntnisse und Erfahrungen von Akteuren im

Bereich EWS-Bohrungen einen zentralen Bestandteil. Diese sind im Wesentlichen Vollzugsbehörden, welche den Gewässerschutz mittels Auflagen sicherstellen (Vertreter der Kantone); Bohrfirmen, welche diese umsetzen; Geologiebüros, welche die Erdwärmesondenbohrungen begleiten und dabei gewässerschutzgefährdende Situationen erkennen, beurteilen und entsprechende Massnahmen verlangen sowie die Bauherrschaft, welche in der Regel die Kosten trägt.

In Abschnitt 2.6 werden die Akteure einer EWS-Bohrung sowie deren Rechte und Pflichten etwas eingehender erläutert.

Im Rahmen dieses Projekts konnte nur eine begrenzte Anzahl Akteure interviewt werden. Es wird daher an dieser Stelle festgehalten, dass es sich nicht um eine repräsentative Umfrage handelt. Die interviewten Akteure im Rahmen dieser Studie haben im Vorfeld des Interviews eine Basis-Tabelle erhalten, welche die einzelnen Abdichtungssysteme verschiedenen Beurteilungskriterien gegenüberstellt. Detailliertere Informationen zu den Kriterien finden sich in Kapitel 2.7. Die Abdichtungssysteme werden in Kapitel 3 im Rahmen der Resultate beschrieben.

Diese Tabelle wurde vom Akteur ausgefüllt und bildete die Grundlage für die Interviews, welche in den folgenden Kapiteln zusammenfassend und sinngemäss wiedergegeben werden. Aus der Wiedergabe der Interviews kann somit nicht auf die Rückmeldung einzelner Akteure geschlossen werden. Die effektiven Rückmeldungen der Akteure liegen nicht in der Verantwortung der Autorenschaft und eine Garantie auf Vollständigkeit kann nicht gegeben werden.

2.6 Akteure

Bei der Auswahl der befragten Interviewpartner wurde versucht, sowohl geografisch wie auch bezüglich ihrer Bedürfnisse im Rahmen der Projektumsetzung einen möglichst umfassenden Erfahrungsaustausch zu ermöglichen. Es wurden Vertreter von Behörden, von Bohrfirmen, Herstellern sowie Geologen befragt. Wie im Folgenden kurz erläutert, haben diese eine unterschiedliche Funktion im Rahmen einer Erdwärmesondenbohrung.

2.6.1 Bauherrschaft

Als erster Akteur ist grundsätzlich der Bauherr zu nennen. Die Bauherrschaft ist der Käufer der Erdwärmesondenanlage, daher Träger der finanziellen Last und des Standortrisikos und somit in erster Linie interessiert an einer nachhaltig funktionierenden Anlage. Der Bauherr ist auch verantwortlich für eine gewässerschutzkonforme Umsetzung und interessiert an einer fachgerechten Ausführung. Sind die gewässerschutzrechtlichen Auflagen an einem Standort jedoch zu hoch für eine wirtschaftlich funktionierende Anlage, wird er sich frühzeitig für eine andere Energiequelle entscheiden.

2.6.2 Behörden

Die Kantone haben den Auftrag, Oberflächengewässer und Grundwasser zu schützen. Die gewässerschutzrechtliche Bewilligung einer Erdwärmesondenanlage sowie die Verfügung spezifischer Auflagen liegen in der Kompetenz der Kantone. Je nach kantonaler Gesetzgebung werden die entsprechenden Gemeinden in den Bewilligungsprozess miteinbezogen. Eine Studie

der CSD Ingenieure AG im Auftrag des Bundesamts für Energie zeigte zu diesem Thema unter anderem Folgendes auf (Stand 2015; Präsentation CSD am 10. September 2015 am Seminar Erdwärmesonden in Bern, organisiert durch „Energie Schweiz“):

- In ca. der Hälfte der Kantone muss das Gesuch für eine gewässerschutzrechtliche Bohrbewilligung über eine kantonale Instanz eingereicht werden, in der anderen Hälfte über eine kommunale Instanz.
- In 16 Kantonen stellt die Gemeinde bei jeder Erdwärmesonde eine Baubewilligung aus (Baugesuch in jedem Fall erforderlich) oder sie wird zumindest im Rahmen des Bewilligungsverfahrens angehört. In den anderen 10 Kantonen wird die Gemeinde nur in bestimmten Fällen angehört (z.B. bei nur Grenzabstandunterschreitung oder bei Neubauten) oder die Gemeindekompetenz ist aus vorliegenden Unterlagen nicht restlos geklärt.

Das heisst, Bohrbewilligungen werden durch die Kantone erteilt. Der tatsächliche Gesuchsablauf kann innerhalb der Schweiz aber stark variieren.

2.6.3 Bohrfirmen

Zahlreiche Bohrfirmen zur Erstellung von Erdwärmesonden sind in der Schweiz tätig. Ihre Aufgabe im Rahmen einer Erdwärmesondenanlage besteht in der Regel aus der Baustelleneinrichtung und –sicherung, den Bohrarbeiten, dem Einbringen der Sonde, der Hinterfüllung sowie der Druck- und Durchflussprüfung inkl. Protokollierungen.

Die meisten Bohrfirmen sind Mitglied in der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS). Ein entsprechendes FWS-Gütesiegel wird zudem verliehen, durch welches „ein hohes Qualitätsniveau bei der Erstellung und Nutzung von Erdwärmesondenanlagen erreicht und auch für die Zukunft gewährleistet wird“ (www.fws.ch). Diese Bohrfirmen garantieren und anderem eine umweltschonende Erstellung der Erdwärmesonde, ein Abteufen der Bohrungen nach dem neuesten Stand der Technik und den Einsatz von technisch hochwertigem Sondenmaterial.

Die Bohrfirmen werden in der Regel durch die Bauherrschaft, die Bauherrschaftsvertretung oder durch den Heizungsplaner beauftragt.

2.6.4 Geologiebüros

Die behördlich geforderten Dienstleistungen vom Geologiebüro beschränken sich in der Regel auf die geologische Begleitung der Bohrarbeiten. Diese beinhaltet in der Regel Instruktionen des Bohrmeisters vor Bohrstart zu zur erwartenden Geologie und möglicher Gefährdungen, die Aufnahme des geologischen Profils und eines Berichts. Häufig übernimmt der Geologe dabei eine Art Bindegliedfunktion zwischen den Projektbeteiligten, welche vor allem bei Störfällen sehr wichtig wird. Häufig wird auch die Erstellung eines vorgängigen Gutachtens durch ein Geologiebüro verlangt.

Es hängt also auch von der kantonalen Gesetzgebung ab, ob und in welcher Form ein Geologiebüro in die Erdwärmesondenbohrung miteinbezogen werden muss. Eine Studie der CSD Ingenieure AG im Auftrag des Bundesamts für Energie zeigte zu diesem Thema unter anderem

Folgendes auf (Stand 2015; Präsentation CSD am 10. September 2015 am Seminar Erdwärmesonden in Bern, organisiert durch "Energie Schweiz"):

- In 17 Kantonen muss jede Erdwärmesondenbohrung geologisch begleitet werden. In 6 davon wird je nach Standort und Tiefe ein vorgängiges Gutachten gefordert.
- In 9 Kantonen ist die geologische Begleitung nur in ausgeschiedenen Zonen Pflicht. In 3 davon wird je nach Standort und Tiefe ein vorgängiges Gutachten gefordert.

Es ist grundsätzlich sinnvoll, an Standorten ohne bereits bestehende Bohrungen in unmittelbarer Umgebung stets einen Geologen beizuziehen. Vor allem bei grösseren Anlagen mit Vorteil bereits in einer frühen Phase der Projektierung, denn die Beschaffenheit des Untergrunds hat nicht nur Einfluss auf die bohr- und gewässerschutztechnische Umsetzung, sondern auch auf die Dimensionierung der Anlage.

Das Geologiebüro wird in der Regel durch die Bauherrschaft, die Bauherrschaftsvertretung, den Heizungsplaner oder die Bohrfirma beauftragt.

2.6.5 Hersteller und andere Anwender von Abdichtungssystemen

Diverse Firmen in der Schweiz und im Ausland stellen Produkte zur Abdichtung von Bohrlöchern her. Die meisten von den in der Schweiz verwendeten Abdichtungssystemen werden dabei in Deutschland und in der Schweiz hergestellt. Der Stand der Technik hängt somit nicht nur von den gewässerschutztechnischen Anforderungen und den Bedürfnissen der Bohrfirmen ab, sondern wesentlich auch von der Innovationskraft dieser Herstellerfirmen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Hersteller von Abdichtungssystemen oder deren Anwender angefragt oder interviewt. Für einen technischen Vergleich zwischen einzelner Produkte, Typen oder Materialien im Rahmen dieser Studie sind die dabei preisgegebenen Informationen allerdings nicht ausreichend.

Vom Bundesamt für Energie ist in einem nächsten Schritt geplant, Hersteller von Abdichtungssystemen zusätzlich zu technischen Details einzelner Produkten zu befragen und eine Übersicht zu erstellen.

2.7 Kriterien

In diesem Abschnitt werden die insgesamt sieben Beurteilungskriterien erläutert, welche als Grundlage für die geführten Interviews und somit zur Beurteilung der verschiedenen Abdichtungssysteme dienen.

Die Beurteilung einer Methode hängt naturgemäss von der Betrachtungsweise ab. Es ist somit zu erwarten, dass von den verschiedenen Akteuren die einzelnen Kriterien unterschiedlich interpretiert werden. Da dieser Interpretationsspielraum ein wichtiger Bestandteil der vorliegenden Studie ist, wurden im Rahmen der geführten Interviews die Kriterien bewusst nicht genauer definiert.

2.7.1 Praxistauglichkeit

Die Praxistauglichkeit ist ein zentrales Kriterium. Bohrloch, Erdwärmesonde und entsprechende Abdichtungssysteme befinden sich im Untergrund und sind weder zugänglich noch direkt sichtbar. Die Erkenntnisse über die Beschaffenheit des Untergrunds beschränken sich in der Regel (falls überhaupt erkennbar) auf die Wahrnehmung des Bohrmeisters sowie auf die geologische Interpretation der Bohr-Cuttings (auch Bohrklein genannt). Bohr-Cuttings bezeichnet das durch den Bohrprozess zertrümmerte Gestein, welches durch die Bohrspülung an die Oberfläche gebracht wird. In der Regel wird eine Bohrkleinentnahme alle zwei Meter gefordert oder empfohlen.

Entsprechend sind im Moment des Einbaus von Abdichtungssystemen häufig noch Unsicherheiten vorhanden in Bezug auf das Gestein sowie Ausmass und Tiefe der Grundwasserzirkulation. Das Abdichtungssystem muss dabei funktionstüchtig in einer bestimmten Tiefe und in einem begrenzten Bohrlochdurchmesser installiert werden.

Innerhalb dieser Rahmenbedingungen wird seitens Behörden die Praxistauglichkeit vor allem in Bezug auf die Platzierbarkeit und Funktionstüchtigkeit bei einem gewissen Gefährdungsbild interpretiert. Für die ausführende Bohrfirma definiert sich die Praxistauglichkeit hingegen eher über eine möglichst komplikationsfreie Einbaumöglichkeit. Der Geologe übernimmt hier die wichtige Funktion, ein der Situation angepasstes System vorzuschlagen.

Um die Resultate einheitlich darstellen zu können, wird die Praxistauglichkeit bei der Präsentation der Resultate aus technischer Sicht der Bohrfirma beim Einbau des Abdichtungssystems wiedergegeben.

2.7.2 Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit beschreibt im Wesentlichen, ob das Abdichtungssystem bei fachgerechtem Einbau seine Wirkung mit einer möglichst hohen Erfolgsquote pro Einbau und auf lange Zeit ausüben kann. Dies ist häufig nur schwer beurteilbar und obliegt in einem gewissen Mass dem Gefühl des Betrachters. Zwar wurden bereits für diverse Abdichtungssysteme Tests durchgeführt, für Langzeituntersuchungen sind aber häufig die Systeme selbst noch zu jung. Ausserdem fehlen die technischen Möglichkeiten, um die Funktion der eingebauten Systeme im Bohrloch repräsentativ zu überprüfen.

Um die Resultate einheitlich darstellen zu können, wird die Zuverlässigkeit bei der Präsentation der Resultate aus gewässerschutztechnischer Sicht wiedergegeben.

2.7.3 Kosten

Die Kosten sind generell ein wichtiger Punkt. Nur Abdichtungssysteme, welche in einem vernünftigen Aufwand-zu-Ertrag-Verhältnis stehen, werden regelmässig eingesetzt. Dieses ist jedoch nicht einfach messbar. Der Ertrag misst sich in der Erfolgsquote, eine nachhaltig funktionstüchtige Anlage zu erstellen, welche sämtlichen behördlichen Auflagen (im Wesentlichen gewässerschutzrechtliche) gerecht wird. Der Aufwand misst sich einerseits in den direkten Beschaffungskosten des Abdichtungssystems. Und andererseits im Zusatzaufwand für die Bohrfirma und für weitere Projektbeteiligte hinsichtlich dessen Installation.

2.7.4 Grenzen

Die Grenzen der Abdichtungssysteme wurden in der Regel technisch interpretiert. Innerhalb des Abwägens von Vor- und Nachteilen der jeweiligen Systeme dürfen eigentliche Einsatzgrenzen nicht ausser Acht gelassen werden. Die Einsatzgrenzen können zum Beispiel räumlich (z.B. der Einbau ist nur über eine gewisse Bohrtiefe praktikabel) oder aufgrund der Intensität (wie Arteserstärke) interpretiert werden.

2.7.5 Verkaufszahlen

Zahlreiche verschiedene Systeme und Produkte zur Abdichtung von EWS-Bohrungen sind auf dem Markt erhältlich. Die am meisten verwendeten Produkte werden durch Herstellerfirmen direkt an Bohrunternehmungen verkauft. Darüber hinaus gibt es jedoch eine beachtliche Zahl an Produkten, welche durch Bohrunternehmungen selbst hergestellt werden. Nicht selten handelt es sich um Einzelanfertigungen, welche nicht eindeutig einem bestimmten System gemäss obiger Definition zugeordnet werden können.

Effektive Verkaufszahlen durch die Herstellerfirmen sind grundsätzlich nicht zugänglich. Im Rahmen dieser Studie kann jedoch ein ungefähres Bild über die Marktanteile der einzelnen Systeme geliefert werden.

2.7.6 Empfehlungen

Vorliegende Studie soll den Akteuren der Geothermie Branche eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Abdichtungssysteme bieten. Da es sich um eine praxisorientierte Studie handelt, wird ein Grossteil der Informationen auch von diesen Akteuren eingeholt. Entsprechend wurde bei den Interviews viel Wert auf Empfehlungen durch die Akteure gelegt.

3 Beurteilung Abdichtungssysteme

In diesem Abschnitt werden die aktuell auf dem Markt zur Verfügung stehenden Abdichtungssysteme, welche auch bei den Interviews behandelt wurden, vorgestellt. Ein zentrales Anliegen dieser Studie sind die Begriffsdefinitionen. Die meisten Abdichtungssysteme lassen sich innerhalb der vier Merkblätter von "Energie Schweiz" kategorisieren. Weitere Abdichtungssysteme sind im Rahmen der Studie noch dazu gekommen. Die Vielfalt an Produkten, Typen und Materialien ist sehr gross und kann nicht im Einzelnen behandelt werden, da sonst das zentrale Anliegen mit der Schaffung einer Übersicht verloren gehen würde.

3.1 Permanente Verrohrung

3.1.1 Beschreibung des Systems

Die Permanente Verrohrung ist vom konzeptionellen Standpunkt her ein einfaches System um ein Bohrloch abzudichten. Kernstück ist ein Vollrohr, welches die Erdwärmesonde inkl. der Hinterfüllung vom Umgebungsgestein und somit vom umgebenden Grundwasser trennt.

Die Permanente Verrohrung wird im Rahmen dieser Studie wie folgt definiert: Die Permanente Verrohrung beinhaltet zusätzlich eingebaute Vollrohre zur Abdichtung der Erdwärmesonde und der Hinterfüllung gegenüber dem Umgebungsgestein. Die Erdwärmesonde kann dabei normal genutzt werden.

Für das Rohr kommen verschiedene Materialtypen in Frage. Dies sind im Wesentlichen Stahl (z.B. zusätzlich eingebaute Stahlrohre oder auch im Boden belassene Mantelverrohrung) oder Kunststoff (PVC, PE) bei Einbau nach der Bohrung.

Bei Anwendung in Erdwärmesonden werden normalerweise Kunststoffrohre über die abzudichtende Tiefe in einem separaten Arbeitsschritt in das Bohrloch mit eingebaut. Der Raum zwischen der Permanenten Verrohrung und der Erdwärmesonde wird anschliessend hinterfüllt. Ein unkontrolliertes, horizontales Wegfliessen der Suspension ins Umgebungsgestein kann so vermieden werden. Dies entspricht der sogenannten „vereinfachten Ausführung“ gemäss Merkblatt "Energie Schweiz".

Um die Zirkulation von Wasser komplett zu unterbinden (auch in vertikaler Richtung) ist eine Druckzementation des Ringraums zwischen Rohr und Bohrlochwand sowie eine Fusszementation am unteren Ende des Rohres erforderlich.

3.1.2 Praxistauglichkeit

Die Permanente Verrohrung wird üblicherweise vor der Sondenabteufung und Hinterfüllung ins Bohrloch eingebracht. In den meisten Fällen werden Kunststoffrohre (z.B. PVC, PE) in einem separaten Arbeitsschritt nach der Bohrung über die gewünschte Bohrtiefe installiert. Auch das Belassen der Stahl-Mantelverrohrung im Untergrund, welche bei Imlochhammer-Bohrungen im Lockergestein mitgeführt wird, gehört in diese Kategorie. In beiden Varianten müssen einzelne

Rohrstücke zusammenschraubt werden. Die Variante mit Kunststoffrohren birgt das einbautechnische Risiko, dass bei Imlochhammerbohrungen das Kunststoffrohr mit nur geringfügig geringerem Durchmesser (gängig sind Rohre mit einem Durchmesser von 125 mm) in die Mantelverrohrung eingebracht wird, wodurch sich die Permanentverrohrung durch das Ziehen der temporären Mantelverrohrung wieder verschieben kann. Bei Einbau in geringerer Bohrtiefe wird das Risiko dieser Komplikation aber als gering eingeschätzt. Entsprechend ist der Einbau von permanenter Verrohrung grundsätzlich eher für oberflächennahe Einsätze geeignet.

Gegen die Praxistauglichkeit der Permanenten Verrohrung spricht ausserdem, dass sie relativ gross und sperrig ist und somit nicht beliebig mitgeführt werden kann. Ein Einsatz erfordert in der Regel eine Sonderlieferung mit entsprechenden Kosten und Wartezeiten.

Zu beachten ist ausserdem, dass bei EWS-Bohrungen in der Regel Bohrdurchmesser von 135 bis 178 mm verwendet werden, wodurch der Platz im Bohrloch begrenzt ist, vor allem bei grösseren Durchmesser der EWS-Schläuche (40 mm oder grösser). Aus denselben Gründen bildet die Permanentverrohrung mit den EWS-Schläuchen ein ziemlich starres Konstrukt, was eine Kombination mit anderen Abdichtungssystemen im gleichen Tiefenbereich praktisch ausschliesst.

3.1.3 Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz

Die einzelnen Rohrstücke sowohl bei Stahl- als auch bei Kunststoffrohren sind dicht verschraubbar und bieten bei fachgerechter Montage ein zuverlässiges Abdichtungssystem. Voraussetzung ist, dass für die Verrohrung ein Material gewählt wird, welches unter den gegebenen chemischen Bedingungen inert ist.

Die Abdichtung durch das Rohr selbst ist allerdings auf die horizontale Richtung zwischen der hinterfüllten Erdwärmesonde und dem Umgebungsgestein, bzw. dem Grundwasser, beschränkt. Es bietet keine zuverlässige Abdichtung bei vertikalen Wasserströmungen ohne Ringraum- und Fusszementation.

Zu erwähnen ist zudem, dass allfällige, beim Einbau eintretende Schäden nicht erkennbar und somit nicht behebbbar sind.

3.1.4 Kosten

Die Kosten für die Verwendung von Stahlrohren sind als vergleichsweise hoch zu bezeichnen (ca. 200 SFr./m bei Standarddurchmesser). Kunststoffrohre sind um einiges günstiger erhältlich (ca. 20 bis 30 SFr./m bei Standarddurchmesser). Bei Letzteren müssen jedoch die zusätzlichen Aufwendungen für den Einbau in einem separaten Arbeitsschritt mit einkalkuliert werden. Die Kosten hängen somit auch von der abzudichtenden Bohrlochlänge ab.

3.1.5 Einsatzhäufigkeit

Die Permanente Verrohrung als Abdichtungssystem bei EWS-Bohrungen wird vergleichsweise selten eingesetzt. Der Grund liegt bei Stahlrohren im Preis, bei Kunststoffrohren im Zusatzaufwand durch den relativ aufwendigen, separaten Arbeitsschritt und möglichen Komplikationen beim Einbau aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse im Bohrloch.

Effektive Zahlen zum Marktanteil permanenter Verrohrung zur Abdichtung von Erdwärmesondenbohrungen liegen nicht vor. Er wird aber als geringer als 5% eingeschätzt.

3.1.6 Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern

Aufgrund der Einschränkung, dass die Permanente Verrohrung keine zusätzliche Abdichtung in vertikaler Richtung darstellt, bietet sie keine geeignete Lösung zur Abdichtung von vertikalen Wasserströmungen (z.B. gespanntes Grundwasser) oder zur Trennung von verschiedenen Grundwasserstockwerken.

Sehr geeignet ist die Permanente Verrohrung allerdings zum Schutz eines Grundwasserleiters vor Kontakt mit der Hinterfüllung oder anderen grundwassergefährdenden Substanzen innerhalb der EWS-Bohrung (z.B. Wärmeträgerflüssigkeit bei einem Leck). Auch das Wegfliessen der Hinterfüllsuspension in das Umgebungsgestein, in das Grundwasser oder in Klüfte und Hohlräume kann zuverlässig vermieden werden. Da der fachgerechte Einbau mit zunehmender Tiefe technisch anspruchsvoller und auf Schäden anfälliger wird, wird die Verwendung nur im oberflächennahen Bereich grundsätzlich empfohlen.

Die Permanente Verrohrung ist bei korrekter Verwendung insgesamt ein praktikables und zuverlässiges, aber auch relativ aufwendiges Abdichtungssystem zwischen Grundwasserleiter und EWS-Bohrung.

3.2 Erdwärmesonden-Strumpf

3.2.1 Beschreibung des Systems

Der Erdwärmesonden-Strumpf (Abbildung 2) ist ein wasser- und zementundurchlässiges Material in Form einer Folie, bzw. eines Geotextils, welches dehnbar ist und leicht über die Erdwärmesonde gestülpt werden kann. Durch den Strumpf wird ein Wegfliessen der Verfüllsuspension verhindert und die Sonde inkl. Hinterfüllung gegenüber dem Umgebungsgestein und dem Grundwasser abgedichtet. Die Erdwärmesonde kann dabei normal genutzt werden.

Der Erdwärmesonden-Strumpf erfüllt somit einen ähnlichen Zweck wie die Permanente Verrohrung, nämlich die Suspension um die Erdwärmesonde festzuhalten und so die Abdichtung der Erdwärmesonden inkl. Hinterfüllung vom Umgebungsgestein und vom Grundwasser zu gewährleisten. Im Gegensatz zur Permanenten Verrohrung wird der Strumpf in der Regel über die gesamte Sonde gestülpt und gemeinsam mit ihr in das Bohrloch abgeteuft. Der Strumpf wird anschliessend mit Suspension hinterfüllt, womit sich dieser an die Bohrlochwand anpressen und zusätzlich für eine vertikale Abdichtung sorgen kann.

In der Praxis wird der Strumpf häufig nicht über die ganze Länge der Erdwärmesonde, sondern nur über einen gewissen Tiefenbereich verwendet. Damit die Abdichtungsfunktion gewährleistet bleibt, muss dabei der Strumpf exakt und zuverlässig an der richtigen Position befestigt und abgedichtet werden können.

Eine spezielle Form des Erdwärmesonden-Strumpfs bildet die Membran-Erdwärmesonde (patentiert durch Broder AG). Es handelt sich dabei (vereinfacht) um eine Koaxialsonde (im Gegensatz zur Doppel-U-Sonde) bei der das Aussenrohr durch eine dichte oder

wasserundurchlässige Membran aus Polyestergewebe ersetzt wird, welche sich durch die Zirkulation des Wärmeträgermediums (Wasser) an die Bohrlochwand anpresst.

3.2.2 Praxistauglichkeit

Der Erdwärmesonden-Strumpf wird im gewünschten Bohrtiefenbereich über den EWS-Schlauch und zusammen mit diesem in das Bohrloch abgeteuft. Es handelt sich also dabei nicht um einen eigentlichen, separaten Arbeitsschritt, sondern allenfalls um einen Mehraufwand bei der Vorbereitung der EWS-Schläuche, bevor sie via Haspel in das Bohrloch eingebracht werden sowie bei der Hinterfüllung.

Dieser Mehraufwand wird in der Regel als annehmbar betrachtet. Allerdings hängt dies auch von der Einbaulänge ab. Aufgrund des begrenzten Bohrlochdurchmessers wird es zunehmend schwieriger, den um die Sonde gestülpten Strumpf schadlos mit ins Bohrloch einzuführen. Nicht zuletzt deshalb werden Strümpfe häufig nur abschnittsweise eingebaut. Strumpflängen von 100 m werden in der Regel und Strumpflängen von ca. 30 – 50 m meistens noch als praktikabel



bezeichnet. Ein grosser Vorteil ist zudem, dass der Strumpf relativ handlich ist und somit auch standardmässig durch den Bohrtrupp mitgeführt werden kann und mit anderen Abdichtungssystemen kombiniert werden kann.

Zu berücksichtigen ist ausserdem, dass zusätzliche Verpressschläuche für den Strumpf selbst sowie für den Bohrlochbereich unterhalb des Strumpfes mit abgeteuft werden müssen, was zusätzlich Platz im Bohrloch beansprucht. Der korrekte Einbau und vor allem die fachgerechte Hinterfüllung des Strumpfs sowie des Bereichs unter- und oberhalb ist äusserst wichtig für dessen Funktionstüchtigkeit und erfordert Fachwissen und Erfahrung der Bohrfirma.

Abbildung 2: Einbau eines Erdwärmesonden-Strumpfs (Quelle: CSD Ingenieure AG)

3.2.3 Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz

Einmal fachgerecht installiert, ist der Gewebestrumpf bei Einbau über die gesamte Bohrlänge eine zuverlässige Methode, um das Wegfliessen der Suspension im Untergrund zu vermeiden.

Wird der Strumpf jedoch nur abschnittsweise eingebaut und an den Sondenschläuchen befestigt, ist nur schwer kontrollierbar, ob sich der Strumpf während des Einbaus relativ zum Sondenschlauch verschiebt und effektiv an der richtigen Stelle platziert wird. Auch die Abdichtung an den jeweiligen Enden ist so nur schwierig zu gewährleisten. Grundsätzlich ist zu empfehlen, den Strumpf über die ganze EWS-Länge einzubauen.

Ein Beschädigungsrisiko für das Geotextil besteht generell beim Einbau der Sonde und beim Zurückziehen der Mantelverrohrung. Da es sich um ein System mit flexiblem Gewebe handelt, ist nach aktuellem Wissensstand eine Prüfung der Dichtheit nach dem Einbau – zum Beispiel über den Verfülldruck der Suspension – nicht zuverlässig möglich. Entsprechend können allfällige Beschädigungen nicht erkannt, bzw. auch nicht behoben werden.

Analog zur Permanenten Verrohrung ist der Strumpf ein zuverlässiges System, um den Grundwasserleiter von der Erdwärmesonde inkl. deren Hinterfüllung über die gesamte Bohrtiefe abzudichten. Die vertikale Bohrlochabdichtung ist hingegen nicht der primäre Zweck dieses Systems. Im Gegensatz zur Permanenten Verrohrung kann der Strumpf aber zusätzlich beitragen, auch den vertikalen Wasserstrom zu unterbinden, weil er sich durch die Hinterfüllung an die Bohrlochwand anpresst.

Die Zuverlässigkeit kann nicht abschliessend beurteilt werden. Denn allfällige, beim Einbau eintretende Schäden sind kaum erkennbar und somit nicht behebbbar.

3.2.4 Kosten

Die Kosten für die Verwendung von Erdwärmesonden-Strümpfen werden in der Regel als annehmbar bis relativ gering bezeichnet. Sie liegen in etwa bei 20 bis 50 SFr./m. Die Kosten hängen somit auch von der abzudichtenden Bohrlochlänge ab. Ein gewisser Zusatzaufwand für den Bohrtrupp beim Einbau und bei der Hinterfüllung muss mit einkalkuliert werden.

3.2.5 Einsatzhäufigkeit

Der Erdwärmesonden-Strumpf wird als Abdichtungssystem bei EWS-Bohrungen vergleichsweise häufig eingesetzt. Er ist relativ günstig und kann ohne grossen Zusatzaufwand eingebaut werden. Daher haben viele Bohrfirmen solche Produkte standardmässig mit auf der Baustelle oder zumindest an Lager. Effektiv verwendet wird er in der Regel aufgrund behördlicher Verfügung oder auf Anweisung des Geologen. Nur selten, aber immer häufiger, wird er auf Eigeninitiative von der Bohrfirma eingebaut, um z.B. bei Hohlräumen und Klüften dem Suspensionsverlust entgegen zu wirken.

Effektive Zahlen zum Marktanteil des Gewebestrumpfs zur Abdichtung von Erdwärmesondenbohrungen liegen nicht vor. Er wird aber auf ca. 30 bis 50% eingeschätzt.

3.2.6 Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern

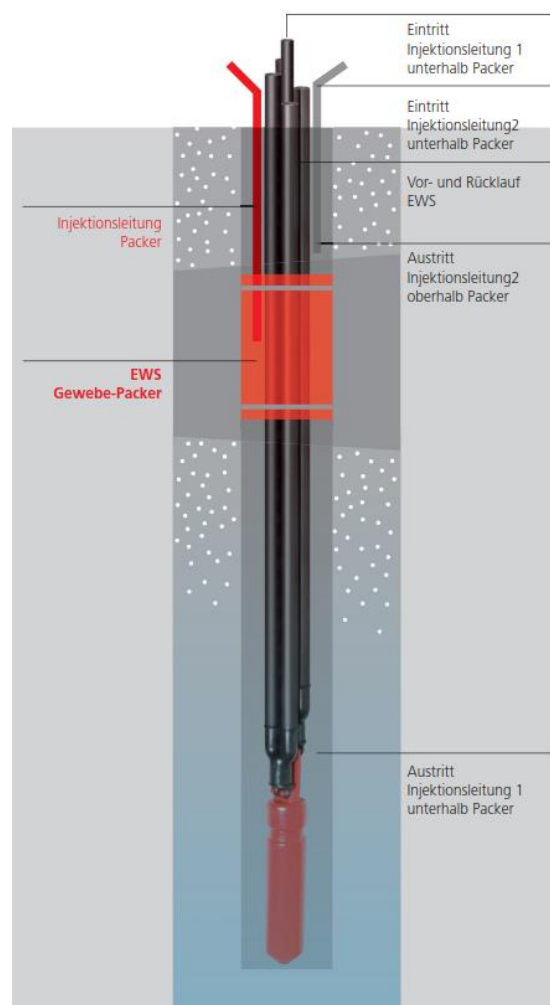
Der Erdwärmesonden-Strumpf dient primär der horizontalen Bohrlochabdichtung indem er Suspensionsverlust ins Umgebungsgestein verhindern kann. Darüber hinaus kann er auch der vertikalen Abdichtung über grössere Tiefenbereiche dienen, oder zumindest einen Beitrag leisten in Kombination mit anderen Systemen. Die Einsatzmöglichkeiten sind somit vielseitig und er bietet einen zuverlässigen Nutzen bei vielen Gefährdungsbildern. Der Grundwasserleiter wird von der

EWS und der Hinterfüllung abgedichtet und Suspensionsverlust im Lockergestein, in Karsten, Klüften oder in Hohlräumen kann zuverlässig unterbunden werden. Durch die Abdichtung zur Bohrlochwand kann er auch der Vertikalströmung bei gespanntem Grundwasser entgegenwirken. Zur sicheren Trennung von Grundwasserstockwerken sowie bei Artesern kann der Strumpf durchaus einen Beitrag leisten, sollte aber nur in Kombination mit anderen Systemen (z.B. Gewebepacker oder Bohrlochpacker) verwendet werden.

Bei einem fachgerechten und schadlosen Einbau bietet der Erdwärmesonden-Strumpf zuverlässigen und vielseitigen Schutz des Grundwassers und kann grundsätzlich über grosse Tiefenbereiche eingesetzt werden.

3.3 Erdwärmesonden-Gewebepacker

3.3.1 Beschreibung des Systems



Beim Erdwärmesonden-Gewebepacker handelt es sich um einen Filtergewebeschauch (o.ä.), welcher an einer bestimmten Bohrtiefe (bzw. an einer bestimmten Position der Erdwärmesonde) angebracht wird.

Im Unterschied zu den bisher diskutierten Abdichtungssystemen hat der Erdwärmesonden-Gewebepacker im Wesentlichen den Zweck, den vertikalen Wasserfluss zu unterbinden. Dazu wird er direkt an der Sonde im Bereich der abzudichtenden Tiefe angebracht und gemeinsam mit der Sonde abgeteuft. Der Gewebepacker besteht aus stabilem Gewebe und wird anschliessend mit einer Zementsuspension unter Druck gefüllt, womit dieser an die Bohrlochwand expandiert und das Bohrloch so nach unten und nach oben (vertikal) abdichtet. Durch die Anbringung an der Sonde mittels Dichtmanschetten kann die Erdwärmesonde auch mit Gewebepacker genutzt werden. Es können im Prinzip mehrere Gewebepacker an einer Sonde angebracht werden.

Abbildung 3: Schema eines Erdwärmesonden-Gewebepackers (Quelle: HakaGerodur AG)

3.3.2 Praxistauglichkeit

Der Erdwärmesonden-Gewebepacker wird analog dem Strumpf an der gewünschten Sondentiefe mit dem EWS-Schlauch in das Bohrloch abgeteuft. Somit handelt sich auch beim Gewebepacker nicht um einen eigentlichen, separaten Arbeitsschritt. Ein Mehraufwand entsteht durch die Bohrfirma im Rahmen der Vorbereitung der Erdwärmesonde, bevor sie via Haspel in das Bohrloch eingebracht wird, sowie bei der Hinterfüllung.

Der Gewebepacker ist in der Regel kurz. Das Produkt „Geotight“ (siehe Abbildung 3) ist standardmässig 2.5 m, kann aber in grösseren Längen geliefert werden. Der Mehraufwand durch den Einbau ist somit normalerweise nicht längenabhängig. Der Mehraufwand bei diesem Abdichtungssystem wird in der Regel als annehmbar betrachtet und ist unabhängig von der Einbautiefe. Die Gefahr einer Beschädigung beim Einbau ist beim Gewebepacker relativ gering. Er gilt als handlich und benötigt ähnlich wie der Strumpf relativ wenig Platz und kann dadurch standardmässig durch den Bohrtrupp mitgeführt werden kann.

Ob der Gewebepacker letztlich korrekt und an der richtigen Position installiert ist, ist nur schwer kontrollierbar. Entsprechend kann dies auch nicht behoben werden. Zu berücksichtigen ist ausserdem, dass zusätzliche Verpressschläuche für den Gewebepacker selbst sowie für den Bohrlochbereich unterhalb mit abgeteuft werden müssen, was zusätzlich Platz im Bohrloch beansprucht. Der korrekte Einbau und vor allem die fachgerechte Hinterfüllung des Gewebepackers sowie des Bereichs unter- und oberhalb ist äusserst wichtig für die Funktionstüchtigkeit und erfordert Fachkenntnis und Erfahrung der Bohrfirma.

Der EWS-Gewebepacker kann somit grundsätzlich auf beliebiger Tiefe zur vertikalen Abdichtung praktikabel eingesetzt und auch mit weiteren Gewebepackern oder mit anderen Systemen kombiniert werden.

3.3.3 Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz

Im Gegensatz zur Permanenten Verrohrung und dem Erdwärmesonden-Strumpf wird der Gewebepacker primär zur vertikalen und nicht zur horizontalen Abdichtung eingesetzt.

Bei fachgerechtem Einbau kann er am zuverlässigsten und nachhaltigsten den vertikalen Wasserstrom unterbinden, weil er unter Druck gefüllt den Bereich um die EWS bis zur Bohrlochwand dicht abzusperren vermag. Er ist somit in erster Linie geeignet, um verschiedene Grundwasserstockwerke zu trennen, um gegen verschmutztes Oberflächenwasser abzudichten oder zur Abdichtung bei (artesisch) gespanntem Grundwasser. Da der Gewebepacker um die Sonde herum gelegt ist, kann bei diesem System die Erdwärmesonde sogar bei angebohrtem Arteser betrieben werden. Bei starkem Arteserdruck ist allerdings unter Umständen ein Sondeneinbau und somit ein Einbau des Gewebepackers nicht möglich. Besonders wichtig ist auch hier, dass der Gewebepacker vollständig und mit optimal abgestimmten Druck- und Mischungsverhältnissen injiziert wird.

Zu erwähnen ist letztlich, dass die Zuverlässigkeit nicht abschliessend beurteilt werden kann. Denn allfällige, beim Einbau eintretende Schäden sind kaum erkennbar und somit auch kaum behebbar. Der Gewebepacker wird aus stabilem Gewebe hergestellt. Während der Druckinjektion

kann somit über den Druckaufbau mittels Manometer die Dichtheit überprüft werden. Ausserdem ist das Gewebe wasserdurchlässig. Damit wird der Aushärtvorgang beschleunigt, was bei Sofortinterventionen hilft und die Kontrolle verbessert.

3.3.4 Kosten

Die Kosten für die Verwendung von Erdwärmesonden-Gewebepackern werden in der Regel als vertretbar bezeichnet, liegen aber einiges über den Kosten eines Erdwärmesonden-Strumpfs bei vergleichbarer Länge. Ein gewisser Zusatzaufwand für den Bohrrupp beim Einbau und bei der Hinterfüllung muss mit einkalkuliert werden.

3.3.5 Einsatzhäufigkeit

Der Erdwärmesonden-Gewebepacker wird als Abdichtungssystem bei EWS-Bohrungen vergleichsweise häufig eingesetzt, weil er ohne grossen Zusatzaufwand eingebaut werden kann. Daher haben die meisten Bohrfirmen solche Produkte standardmässig mit auf der Baustelle oder zumindest an Lager. Effektiv verwendet wird er in der Regel aufgrund behördlicher Verfügung oder auf Anweisung des Geologen.

Effektive Zahlen zum Marktanteil des EWS-Gewebepackers zur Abdichtung von Erdwärmesondenbohrungen liegen nicht vor. Er wird aber auf ca. 30 bis 50% eingeschätzt.

3.3.6 Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern

Der Erdwärmesonden-Gewebepacker dient vorrangig der vertikalen Abdichtung im Bohrloch. Dabei bietet er einen zuverlässigen Schutz gegen eintretendes Oberflächenwasser, die Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke oder den Austritt artesisch gespannten Grundwassers.

Die zur Abdichtung wirksame Länge im Bohrloch beträgt allerdings nur wenige Meter, was bedeutend weniger ist als die typische Mächtigkeit von schützenswerten Grundwasserleitern. Zum Schutz des gesamten Grundwasserleiters gegenüber der diesen durchdringenden Erdwärmesonde und deren Hinterfüllung ist er somit eher ungeeignet.

Der Gewebepacker kann unter Berücksichtigung des Platzdargebots im Bohrloch grundsätzlich beliebig mit anderen Abdichtungssystemen oder mit weiteren EWS-Gewebepackern kombiniert werden. Bei einem fachgerechten Einbau kann mit dem Einbau eines Erdwärmesonden-Gewebepackers eine zuverlässige, vertikale Bohrlochabdichtung gewährleistet werden, welcher grundsätzlich in beliebiger Tiefe eingesetzt werden kann.

3.4 Bohrloch-Packer

3.4.1 Beschreibung des Systems

Die herkömmlichste Form von Abdichtungssystemen bei Bohrlöchern bildet der Bohrloch-Packer (siehe Abbildung 4). Analog dem Erdwärmesonden-Gewebepacker liegt der Hauptzweck im Unterbinden eines vertikalen Wasserflusses an einer bestimmten Bohrtiefe. Dazu wird der Bohrloch-Packer im offenen Bohrloch mittels eines Schlauches oder eines Gestänges (z.B. Einbaugestänge am Bohrgerät) an die entsprechende Stelle gebracht und mittels Druckmedium

(z.B. Druckluft aus Kompressor) oder auch durch Kompression entlang der Längsachse ausgedehnt bis zur kompletten Ausfüllung des Bohrlochs. Dieser kann im Prinzip mehrfach eingebaut und beliebig verschoben werden.

Die bei Erdwärmesondenbohrungen eingesetzten Bohrloch-Packer werden häufig auch mit „Schlauchpacker“ oder umgangssprachlich mit „Ballon“ bezeichnet.



Abbildung 4: Bohrloch-Packer (Quelle: Comdrill Bohrausrüstungen GmbH)

Dieses Abdichtungssystem besteht im Wesentlichen aus einem dehnbaren Gewebeschlauch, welcher auf ein Stahlrohr gestülpt ist und durch einen zusätzlichen Schlauch zur Expansion gebracht werden kann. Das Stahlrohr für die korrekte Positionierung im Bohrloch ist über ein Gewinde mit dem Einbaugestänge verbunden und kann bei erfolgreicher Abdichtung wieder getrennt werden.

3.4.2 Praxistauglichkeit

Ähnlich wie der Erdwärmesonden-Gewebepacker wird der Bohrloch-Packer an einer bestimmten Bohrtiefe eingebaut um an Ort und Stelle abzudichten. Im Gegensatz zum Gewebepacker wird er aber nicht über die Erdwärmesonde mit eingebaut, sondern in einem separaten Arbeitsschritt, z.B. durch das Einbaugestänge des Bohrgeräts, an die gewünschte Stelle gebracht. Es ist also bei diesem System stets mit einem beträchtlichen Mehraufwand zu rechnen, zumindest im Vergleich zum Strumpf oder zum Gewebepacker, welche mit der Sonde zusammen eingebaut werden.

Der Bohrlochpacker wird bei den gängigen Produkten auch nicht mit einer Zementmischung injiziert, sondern mit einem anderen Medium (z.B. Luft) gefüllt. Deshalb muss auch ein zusätzlicher Schlauch mit eingeführt werden, welcher ein gewisses Risiko zum Abreißen in sich trägt. Erfahrungsgemäss werden manchmal mehrere Versuche bis zum erfolgreichen Einbau benötigt.

Der Bohrloch-Packer gilt ansonsten als handlich, er benötigt relativ wenig Platz und kann dadurch standardmässig durch den Bohrtrupp mitgeführt werden. Er stellt jedoch eine ideale Lösung dar zur vertikalen Bohrlochabdichtung ohne Sondereinbau dar. Da man unabhängig ist vom Einbau

einer EWS kann mit diesem System sehr praktikabel und zuverlässig ein Arteser auf beliebiger Tiefe gestoppt werden.

Ob der Bohrloch-Packer letztlich korrekt und an der richtigen Position installiert ist, lässt sich bei artesischem Wasserzutritt auch an der Oberfläche beurteilen. Zum Bestimmen der Position ist eine gute Zusammenarbeit zwischen dem Bohrmeister und dem Geologen unabdingbar. Nur durch die Kombination aus den Erkenntnissen der Bohrarbeiten und dem Grundlagenwissen des Geologen über den Untergrund kann die abzudichtende Bohrtiefe optimal definiert werden.

Im Prinzip kann das Bohrloch oberhalb des Bohrloch-Packer für die Installation einer EWS genutzt werden. Dies ist aber situativ zu beurteilen.

Der Bohrlochpacker kann somit grundsätzlich auf beliebiger Tiefe zur vertikalen Abdichtung des Bohrlochs praktikabel eingesetzt werden. Allerdings kann keine Erdwärmesonde durchgeführt werden, wodurch dieses System in der Regel nur bei Arteser zur Anwendung kommt.

3.4.3 Zuverlässigkeit in Bezug auf Gewässerschutz

Der Bohrloch-Packer bildet eine gute Lösung zur Erstintervention bei artesischem Wasseraustritt und wird in der Regel verwendet, wenn die Installation einer Erdwärmesonde aufgrund des Artesers nicht mehr erlaubt oder aufgrund des zu hohen Arteserdrucks ein anderes System nicht mehr in Frage kommt. Verschiedene Erfahrungen selbst bei starken Artesern zeigen eine gute und umgehende Abdichtung und insgesamt eine hohe Erfolgsquote.

Zu erwähnen ist letztlich, dass die Zuverlässigkeit mangels Langzeitstudien nicht abschliessend beurteilt werden kann.

3.4.4 Kosten

Die Kosten für die Verwendung von Bohrloch-Packern sind vor allem durch den Zusatzaufwand des Bohrtrupps bestimmt und daher schwer zu beziffern. Da diese in der Regel nur zum Tragen kommen, wenn das Bohrloch nicht mehr – oder zumindest nicht über die ganze Länge – mit einer Erdwärmesonde genutzt werden kann. Unter diesen besonderen Umständen sind letztlich auch der Mehraufwand und allfällige Komplikationen beim Einbau vertretbar.

3.4.5 Einsatzhäufigkeit

Insgesamt wird der Bohrloch-Packer als Abdichtungssystem bei EWS-Bohrungen vergleichsweise wenig eingesetzt. Effektive Zahlen zum Marktanteil liegen nicht vor. Er wird aber auf unter 5% eingeschätzt, bezogen auf alle getroffenen Abdichtungsmassnahmen. Dies hat vor allem damit zu tun, dass er erst eingesetzt wird, wenn bei der entsprechenden Tiefe keine Erdwärmesonde mehr eingebaut werden kann oder darf.

3.4.6 Diskussion der Einsatzmöglichkeiten in Bezug auf Gefährdungsbildern

Der Bohrloch-Packer dient ausschliesslich der vertikalen Abdichtung im Bohrloch. Es besteht allerdings keine Möglichkeit, eine Erdwärmesonde durchzuführen. Damit ist auch gesagt, dass dieses System praktisch nur dann eingesetzt wird, wenn keine andere Möglichkeit mehr zur Abdichtung besteht oder erlaubt ist. Es kommt somit in der Regel bei Austritt von artesisch gespanntem Grundwasser zum Einsatz.

Das Bohrloch kann damit im Rahmen einer Erstintervention in beliebiger Tiefe und zuverlässig abgedichtet werden.

3.5 Weitere Verfahren zur Abdichtung

Im Folgenden sollen noch zwei weitere Verfahren kurz vorgestellt werden, welche bei der Abdichtung von Bohrlöchern hilfreich sein können.

3.5.1 Spezielle Hinterfüllung

Die Hinterfüllung hat an sich bereits eine tragende Rolle bei der Ausführung einer Erdwärmesondenbohrung. Nebst dem Schutz der Erdwärmesonde sowie deren thermischen Anbindung an den Untergrund hat sie auch eine Abdichtungsfunktion gegenüber der Umgebung und insbesondere dem Grundwasser.

In der BAFU Vollzugshilfe für die Wärmenutzung aus dem Untergrund ist die Standardmischung aus Bentonit, Zement und Wasser beschrieben. In dieser Zusammensetzung hat der Bohrmeister die Möglichkeit, den Verpressdruck oder mit der Zusammensetzung die Dichte und die Viskosität der Suspension zu variieren. Bei gewässerschutzrelevanten Anforderungen ist es aber in der Regel nicht ausreichend, um nachweislich und nachhaltig die Erdwärmesonde gegenüber dem Grundwasser abzudichten.

Darüber hinaus gibt es diverse Produkte auf dem Markt, um mit der Hinterfüllung vorderhand bereits gewissen Anforderungen entsprechen zu können. So gibt es zum Beispiel Zusätze in Fertigmischungen von quellfähigen Substanzen (z.B. Tonminerale), welche bei kleinen Klüften oder Hohlräumen durch die Volumenzunahme bei Wasserkontakt ein Wegfliessen der Suspension verhindern können. Auch gibt es Zusätze, welche die Dichte der Suspension erhöhen (z.B. „Schwerspat“). Bei gering artesisch gespanntem Grundwasser ist dies allenfalls ausreichend als Gegendruck, um gegen dieses abdichtend zu wirken.

Es bleibt aber festzuhalten, dass diese Zusätze in der Hinterfüllung oben genannte Abdichtungssysteme nicht ersetzen können. Ob deren Anwendung nachhaltig erfolgreich ist, ist kaum nachweisbar. Sie können aber eine gute Ergänzung dazu bilden. Zum Beispiel kann nach dem Abdichten eines Artesers mittels Bohrloch-Packer der darüber liegende Bohrlochbereich durch eine mit Schwerspat angereicherte Suspension hinterfüllt werden.

Bei allen Zusätzen zur Hinterfüllung muss jedoch stets genau abgeklärt werden, ob diese auch verträglich sind mit dem Grundwasser. Auch weitere technische Anforderungen wie z.B. die Druckverhältnisse in und um die Erdwärmesonde müssen berücksichtigt werden.

3.5.2 Injektionen

Injektionen kommen bei EWS-Bohrungen normalerweise erst zum Einsatz, wenn aus dem fertig gestellten und hinterfüllten Bohrloch immer noch das artesisch gespannte Grundwasser austritt. Dabei werden in der Regel flüssige Kunststoffe (PU-Schaum, bzw. Kunstharz) in das bereits ausgehärtete Bohrloch und, bzw. oder, in den umgebenden Boden injiziert. Dieses härtet aus und vergrößert sein Volumen, was die gewünschte Verdichtung und Abdichtung zur Folge hat.

Zur Stabilisierung des Baugrundes oder für Abdichtungsmassnahmen zwischen Gebäude und Erdreich werden solche oder ähnliche Injektionsmethoden seit längerem bereits erfolgreich angewandt.

Mit diesem Verfahren können Arteser häufig nachträglich erfolgreich abgedichtet werden. Allerdings kann sie nur bis in Tiefen von ca. 10 bis 20 m angewandt werden. Es ist grundsätzlich als relativ teure und aufwendige Notlösung zu betrachten, wenn alle anderen Möglichkeiten ausgeschöpft worden sind.

4 Synthese der Einsatzmöglichkeiten

Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften der Abdichtungssysteme, basierend auf den geführten Interviews.

Abdichtungssystem	Horizontale Abdichtung	Vertikale Abdichtung
Permanente Verrohrung (MA < 5%)	Geeignet Oberflächennah praktikabel Über beliebige Strecke zuverlässig Sondeneinbau möglich Aufwendig	Nicht geeignet
EWS-Gewebestrumpf (MA = 30 – 50%)	Geeignet In beliebiger Tiefe praktikabel Über beliebige Strecke zuverlässig Sondeneinbau möglich Wenig aufwendig	bedingt geeignet In beliebiger Tiefe praktikabel Über beliebige Strecke zuverlässig Sondeneinbau möglich Gegen schwache Arteser Wenig aufwendig
EWS-Gewebepacker (MA = 30 – 50%)	Nicht geeignet, bzw. nur auf sehr kurze Distanzen	Sehr geeignet In beliebiger Tiefe sehr praktikabel Über begrenzte Strecke sehr zuverlässig Sondeneinbau möglich Gegen schwache bis mittlere Arteser Wenig aufwendig
Bohrloch-Packer (MA < 5%)	Nicht geeignet	geeignet In beliebiger Tiefe sehr praktikabel Über begrenzte Strecke sehr zuverlässig Sondeneinbau nicht möglich Gegen schwache bis starke Arteser Wenig aufwendig

Tabelle 3: Synthese Abdichtungssysteme und deren Merkmale. MA = aufgrund Interviews geschätzter Marktanteil (keine effektiven Zahlen zur Verfügung).

Wir reduzieren uns dabei auf die vier Kategorien von Abdichtungssystemen gemäss Kapitel 3.1 bis 3.4 (Auflistung in Zeilen), da die auf dem Markt erhältlichen Produkte in der Regel auch diesen Kategorien zugeordnet werden können.

Eine wichtige Erkenntnis aus dieser Arbeit ist, dass eine Einteilung in horizontale und vertikale Abdichtung zur Beurteilung der Eigenschaften einzelner Systeme sinnvoll ist. Die Gefährdungsbilder lassen sich diesen wie folgt zuordnen:

Die horizontale Bohrlochabdichtung im Bereich des zu schützenden Grundwasserleiters ist vor allem relevant bei:

- Wegfliessen der Suspension im Grundwasser, in Hohlräumen, Klüften u.ä.
- Eintritt von verschmutztem Oberflächenwasser oder Wärmeträgerflüssigkeit in die Bohrung

Die vertikale Bohrlochabdichtung ist vor allem relevant bei:

- Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke und Wasserwegsamkeiten
- Arteser
- Eintritt von verschmutztem Oberflächenwasser oder Wärmeträgerflüssigkeit in die Bohrung

Die Zuordnung ist nicht eindeutig. Zum Beispiel kann gegen Eintritt von verschmutztem Oberflächenwasser die horizontale und vertikale Abdichtung ähnlich relevant sein und ist deshalb bei beiden Kategorien aufgeführt.

Damit lassen sich folgende, wesentliche Punkte daraus ableiten und hervorheben:

- Geeignet zur horizontalen Bohrlochabdichtung sind die Permanente Verrohrung und der EWS-Gewebestumpf. Durch das Anpressen an die Bohrlochwand kann der Strumpf zusätzlich in vertikaler Richtung abdichten (zumindest unterstützend, zum Beispiel in Kombination mit einem Packer).
- Die Permanente Verrohrung sollte eher oberflächennah verwendet werden.
- Der Strumpf sollte über die gesamte Bohrtiefe verwendet und die gesamte EWS umhüllen.
- Zur vertikalen Bohrlochabdichtung sind EWS-Gewebepacker und Bohrloch-Packer geeignet, aufgrund ihrer standardmässig kurzen Länge jedoch weniger zur horizontalen Abdichtung.
- Alle Abdichtungssysteme existieren in Produktausführungen, welche für die Praxis tauglich sind und mit vertretbarem Aufwand einbaufähig. Wesentliche Abstriche gibt es lediglich bei der Permanenten Verrohrung, weil sie bereits im unverbauten Zustand viel Platz benötigt und nicht standardmässig mitgeführt werden kann.
- Bezüglich Zuverlässigkeit fehlen Langzeitstudien oder –messungen und die Möglichkeit zur Überprüfung in der fertig gestellten Erdwärmesondenbohrung. Nur bei der Arteserabdichtung kann der Erfolg praktisch umgehend erkannt werden. Die nachhaltige Wirkung ist damit aber ebenfalls nicht nachgewiesen. Insgesamt werden die Produkte aber als ausgereift anerkannt und es wird ihnen eine gute Zuverlässigkeit zugesprochen.

- Das Risiko einer Beschädigung im Rahmen des Einbaus wird beim EWS-Gewebestrumpf als höher betrachtet als bei den anderen Abdichtungssystemen, was vor allem der Geotextil-Folie zuzusprechen ist.
- Zur Abdichtung eines Artesers eignen sich der EWS-Gewebestrumpf (bei schwachen Artesern), der EWS-Gewebepacker (bei schwachen bis mittleren Artesern) sowie der Bohrloch-Packer auch bei stark artesischem Grundwasseraustritt.
- Bei allen Systemen ausser dem Bohrloch-Packer kann die EWS durchgeführt und auf die ursprünglich geplante Bohrtiefe gesetzt und genutzt werden. Eine Verwendung der EWS oberhalb der Bohrloch-Packer Position ist grundsätzlich möglich.
- Die verschiedenen Systeme können und sollen unter Umständen mehrfach eingebaut und miteinander kombiniert werden. Die wesentliche Einschränkung ist dabei der limitierte Bohrdurchmesser und das entsprechende Platzangebot im Bohrloch.
- Die Kosten sind zwischen den einzelnen Abdichtungssystemen nur schwer vergleichbar. Permanente Verrohrung und EWS-Gewebestrumpf beinhalten Preise pro Meter, EWS-Gewebepacker und Bohrloch-Packer pro Stück. Vor allem wenn der Einbau einen speziellen Arbeitsschritt beinhaltet (Permanente Verrohrung und Bohrloch-Packer) ist der Kaufpreis des einzubauenden Produkts nicht der kostentreibende Faktor. Umso mehr, wenn Wartezeiten und spezielle Lieferungen erforderlich sind.

5 Fazit

Aus den durchgeführten Arbeiten, Recherchen und Interviews ziehen wir folgendes Fazit:

Es hat in den letzten Jahren eine verstärkte Sensibilisierung hinsichtlich Gewässerschutzthemen auch bei Erdwärmesondenbohrungen stattgefunden. Dies ist deutlich spürbar. Immer mehr Bohrfirmen beteiligen sich aktiv an der Findung von Lösungen und neuen Produkten zur Abdichtung und bilden ihre Bohrmeister entsprechend aus.

Technische Details zu den einzelnen Abdichtungssystemen und im Speziellen zu einzelnen Produkten sind nur wenig bekannt und gegebenenfalls in einem nächsten Schritt zusammen mit den Herstellern zu evaluieren.

Entsprechend ausgereift sind Produkte zur Abdichtung von Erdwärmesondenbohrungen geworden. Auch bei Bohrungen im Grundwasser finden sich in der Regel Lösungen um den gewässerschutzrechtlichen Anforderungen zu entsprechen. Gegebenenfalls können auch verschiedene Systeme kombiniert werden.

Bei den Kenntnissen von Abdichtungssystemen, deren Verwendung sowie deren Vor- und Nachteile waren zum Teil Lücken ersichtlich. Auch die Erfahrungen waren häufig nur auf einzelne Systeme oder sogar einzelne Produkte beschränkt. Beim gewässerschutzrelevanten Ereignis ist jedoch das zielführendste Vorgehen, das Abdichtungssystem oder Kombinationen davon auf das konkrete Gefährdungsbild abzustimmen. Auch in Bezug auf die Namensgebung der einzelnen Systeme, bzw. deren Definition, tauchen noch viele verschiedene Interpretationen und Missverständnisse auf. Zusammen mit den Merkblättern des BFE soll vorliegende Studie einen Beitrag zur Klarheit leisten.

Informationen zu schützenswerten Grundwasserleitern sowie zur Geologie am Bohrstandort und in der näheren Umgebung sind grundsätzlich von grosser Wichtigkeit. Frühzeitig in der Vorbereitungsphase sollten durch die Bauherrschaft bereits Vorabklärungen diesbezüglich mit den Behörden und mit einem Geologiebüro gemacht werden. Entsprechende Vorkehrungen hinsichtlich Gewässerschutz können so bereits mit der Kontaktaufnahme mit Bohrfirmen getroffen werden. Dies ist die Basis für eine seriöse Planung und eine fachgerechte Ausführung, und es erhöht die Wahrscheinlichkeit, mögliche Mehraufwendungen frühzeitig zu erkennen oder zu vermeiden.

Im Idealfall ist ein Geologiebüro bei der Planung und bei der Ausführung involviert. Das Geologiebüro hat hierbei die Aufgabe, die Bohrfirma bzw. die Bauherrschaft bei der Realisierung einer anlagen- und gewässerschutztechnisch einwandfreien Erdwärmesonde zu unterstützen. Voraussetzung sind entsprechende Legitimationen durch Behörden und Bauherrschaft. Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortungen zwischen allen Beteiligten über das ganze Projekt sind klar festzulegen.

Bei grösseren Projekten empfiehlt es sich eine Probebohrung durchzuführen. Diese bringt Planungssicherheit hinsichtlich bohrtechnischer und gewässerschutztechnischer Realisierbarkeit sowie die geologischen Grundlagen für eine nachhaltige Anlagendimensionierung.

Gestützt auf Erfahrungen und Erkenntnissen bestehender Anlagen sowie der vorliegenden Studie schlagen wir mit Fokus Gewässerschutz folgendes Vorgehen für die Realisierung von Erdwärmesondenbohrungen vor:

- a. Konzept durch Geologen / Fachplaner in Absprache mit den Behörden hinsichtlich Anforderungen Gewässerschutz, technische Realisierbarkeit und Anlagendimensionierung
- b. Bei Erdwärmesondenfeldern: Probebohrung begleitet durch Geologe mit Verfeinerung des Konzepts aus a.).
- c. Bohrkonzert inkl. (allenfalls) erforderlicher Bohrlochabdichtung, Absprache mit Behörden, Ausschreibung der Bohrarbeiten.
- d. Bohrung und Realisierung der Gesamtanlage, mit den gewässerschutztechnischen Anforderungen und entsprechender Begleitung durch Geologiebüro

6 Quellen

- 1) Merkblatt EnergieSchweiz: Permanente Verrohrung
- 2) Merkblatt EnergieSchweiz: Erdwärmesonden-Gewebestrumpf
- 3) Merkblatt EnergieSchweiz: Erdwärmesonden-Gewebepacker
- 4) Merkblatt EnergieSchweiz: Bohrloch-Packer
- 5) Hess et al. 2015 für EnergieSchweiz: Qualitätssicherung Erdwärmesonden. Übersicht Messmethoden zur Prüfung der Hinterfüllung.
- 6) Poppei et al. 2017 für EnergieSchweiz: Erdwärmesonden in dicht bebautem Gebiet – Abklärung von Konsequenzen und mindernden Faktoren anhand von Fallbeispielen.
- 7) Poppei et al. 2017 für Stadt Zürich, Amt für Hochbauten der Stadt der Zürich: Grenzabstände bei Erdwärmesonden. Untersuchungen zu neuen Bemessungs- und Planungsgrundlagen. Schlussbericht.

7 Anhang A Liste der Interviewpartner

Organisation **Amt für Umweltschutz Uri**
Name, Vorname Walker, Simon
Funktion Sachbearbeiter Gewässerschutz
Strasse, Nr. Klausenstrasse 4
PLZ, Ort 6460 Altdorf
Internet Adresse www.ur.ch/afu

Organisation **Amt für Umweltschutz Waadt / Direction générale de l'environnement (DGE), canton de Vaud**
Name, Vorname Castella, Jérôme
Funktion Responsable de domaine Eaux souterraines
Strasse, Nr. Valentin 10
PLZ, Ort 1014 Lausanne
Internet Adresse <https://www.vd.ch/autorites/departements/dte/environnement/responsables-par-domaine/responsables-eau/#c105454>

Organisation **Augsburger Forages SA**
Name, Vorname de Varreux, Nicolas
Funktion Responsable technique - géothermie
Strasse, Nr. Rte d'Yvonand 2
PLZ, Ort 1522 Lucens
Internet Adresse www.augsburger-forages.com

Organisation **Broder AG**
Name, Vorname Mathias Broder
Funktion Geschäftsinhaber
Strasse, Nr. St. Gallerstrasse 128
PLZ, Ort 7320 Sargans
Internet Adresse www.broder.ch

Organisation **e-therm ag**
Name, Vorname Buchli, René
Funktion Geschäftsführer
Strasse, Nr. Postgässli 23
PLZ, Ort 3661 Uetendorf
Internet Adresse www.e-therm.ch

Organisation **Geo Explorers AG**
Name, Vorname Ebert, Andreas
Funktion Co-Geschäftsführer
Strasse, Nr. Wasserturmplatz 1
PLZ, Ort 4410 Liestal
Internet Adresse www.geo-ex.ch

Organisation **Blétry AG**
Name, Vorname Blétry, Didier
Funktion Inhaber
Strasse, Nr. Benkenstrasse 52
PLZ, Ort 5024 Küttigen
Internet Adresse www.bletryag.ch

Organisation **CSD Ingenieure AG**
Name, Vorname Diverse Mitarbeitende
Strasse, Nr. Hessestrasse 27d
PLZ, Ort 3097 Bern-Liebefeld
Internet Adresse www.csd.ch

Organisation **Haka Gerodur AG**
Name, Vorname **Menzl, Michael**
Strasse, Nr. Mooswiesenstrasse 67
PLZ, Ort 9201 Gossau
Internet Adresse <http://www.hakagerodur.ch>

Organisation **HDG Umwelttechnik GmbH**
Name, Vorname Müller, Tobias A.
Strasse, Nr. Am Rohrbach 14
PLZ, Ort D-88410 Bad Wurzach
Internet Adresse www.hdg-gmbh.com

Organisation **Bospi AG**
Name, Vorname Nadalet, René
Strasse, Nr. Bernstrasse 74
PLZ, Ort 4923 Wynau
Internet Adresse www.bospi.ch

Organisation	Comdrill Bohrausrüstungen GmbH
Name, Vorname	Diverse Mitarbeiter
Strasse, Nr.	Im Kressgraben 29
PLZ, Ort	D-74257 Untereisesheim
Internet Adresse	www.comdrill.de