

Donnerstag 20. Oktober 2016 17:00-17:30

Evaluierung von Erdwärmesonden in Tirol – Ergebnisse der Befundaufnahme

Rupert Ebenbichler

Wasser Tirol – Wasserdienstleistungs-GmbH, www.wassertirol.at

1. Tiroler Energiestrategie

Tirol hat sich zum Ziel gesetzt, in Übereinstimmung mit europäischen und österreichischen Strategien bis zum Jahre 2050 energieautonom zu sein. Dafür soll der Energiebedarf im Jahressaldo auf Basis der Nutzung eigener heimischer, erneuerbarer Energieträger gedeckt werden. Das Kernziel Tirols für das Jahr 2050 besteht dabei aus der Halbierung des Endenergieeinsatzes bezogen auf das Jahr 2005 auf rund 50.000 TJ bei gleichzeitiger Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien auf nahezu 100 %.

Die Ressourcen-, Klima- und Energiestrategie des Landes beschreibt einen möglichen Weg, den angestrebten Endenergieeinsatz des Jahres 2050 mit heimischen, erneuerbaren Energieressourcen zu decken. Die diesbezüglichen Zielpfade weisen einen Mix aus sämtlichen Energieressourcen Tirols aus.

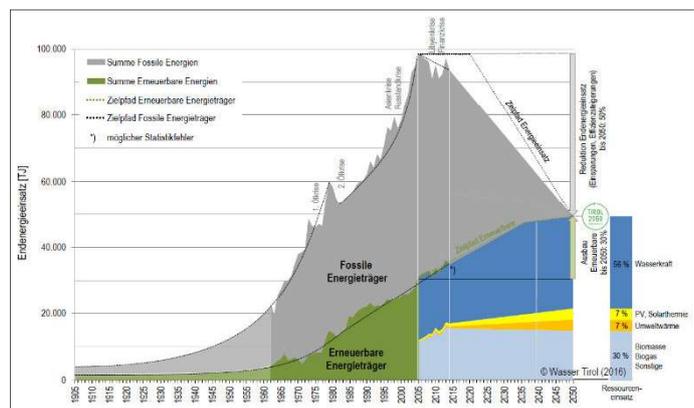


Abb. 1: Tiroler Energiestrategie und Ressourceneinsatzszenario (Amt der Tiroler Landesregierung (2016))

Umweltwärme aus Luft, Grundwasser und Erdwärme lässt sich mittels Wärmepumpen-Technologie energetisch nutzen. Bei optimaler Auslegung, Errichtung und Betrieb der Wärmepumpenanlage können durch den Einsatz von einer kWh Strom rund vier kWh Heizwärme gewonnen werden.

Der Anteil der Umweltwärme soll bis zum Jahr 2050 rund 7 % des Gesamt-Endenergiebedarfes betragen – dies entspricht rund 920 GWh/a. Gegenüber 2014 (rund 170 GWh/a) soll die Energiegewinnung aus Umweltwärme um rund 750 GWh/a bzw. 440 % gesteigert werden (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 2016).

Die Erdwärmesondentechnologie spielt somit, gemeinsam mit Grundwasser- und Luftwärmepumpenanlagen, eine tragende Rolle in der energiestrategischen Ausrichtung Tirols.

2. Anlagenbestand und Anlagenentwicklung

Abb. 2 stellt die anteilmäßige Entwicklung der von den Tiroler Energieversorgungsunternehmen (EVU) geförderten Wärmepumpenanlagen nach Wärmequelle dar.

Es zeigt sich, dass die Anzahl geförderter Erdwärmesonden in Tirol im Jahre 2010 mit rund 240 Anlagen ihr Maximum aufweist.

Seitdem ist die Anzahl geförderter Erdwärmesonden rückläufig – im Jahr 2015 betrug sie rund 100 Anlagen, was rund 30 % aller geförderten Wärmepumpensysteme ausmacht.

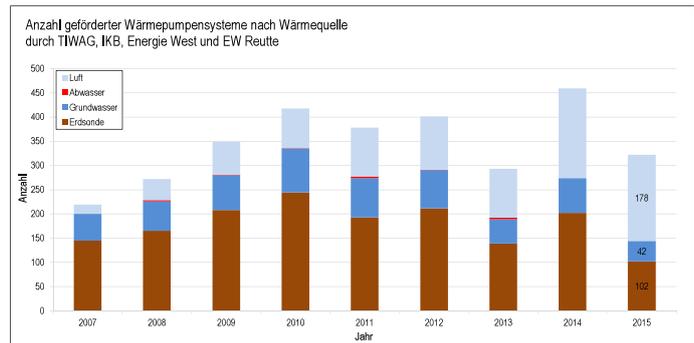


Abb. 2: Anzahl geförderter Wärmepumpensysteme durch Tiroler EVU (Amt der Tiroler Landesregierung (2016))

Gemäß dem Wasserinformationssystem (WIS) des Landes Tirol kann ein starker Anstieg der Anzahl errichteter Erdwärmesonden seit dem Jahr 2005 festgestellt werden (Abb. 3). Bis 2008 wurden starke Zuwächse verzeichnet (jeweils in etwa Verdoppelung der errichteten Anlagen gegenüber dem Vorjahr), seitdem nahmen die Zuwächse tendenziell ab. Für das Jahr 2015 sind rund 2.200 Anlagen im Bestand verzeichnet.

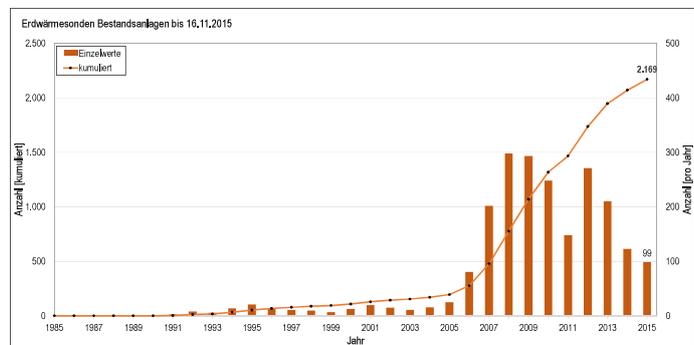


Abb. 3: Entwicklung der Anzahl von Erdwärmesonden in Tirol (Amt der Tiroler Landesregierung (2016))

Um das o.g. Ausbauziel an Wärmepumpenanlagen bis 2050 erreichen zu können, bedarf es beispielsweise der Installation von jährlich rund 2.000 Wärmepumpen zur Versorgung von Niedrigenergiehäusern (Erde, Grundwasser, Luft). Unter der Annahme, dass zukünftig rund 30 % der Umweltwärmenutzung auf Erdwärmesonden entfallen sollen (analog zu der derzeitigen Verteilung der Wärmepumpensysteme), impliziert dies weiters einen notwendigen Zubau von Erdwärmesondensystemen bis 2050 in Höhe von rund 640 Stück pro Jahr. Damit liegt das notwendige Ausbauziel um mehr als das Doppelte über den Zahlen des Jahres 2008 mit damals rund 300 Anlagen (Abb. 3).

3. Veranlassung und Zielsetzung

In den letzten Jahren wurden immer wieder Schadensfälle an und durch Erdwärmesonden bekannt, wie z.B. bei Staufen im Breisgau (D) oder auch mehrere Fälle in der Schweiz (BASSETTI et al. 2006). Auf Grundlage dieser Erfahrungen wurde u.a. in der Schweiz und Deutschland ein Handlungsbedarf erkannt, woraus u.a. die Erstellung der SIA-Norm 384/6 (2009) in der Schweiz sowie weitere Leitfäden in deutschen Bundesländern folgten und seitdem angewendet werden.

Auch in Tirol sind mittlerweile mehrere Schadens- und Konfliktfälle im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Erdwärmesonden bekannt. Eine qualitätsvolle Errichtung und der effiziente Betrieb dieser Anlagen ist jedoch Voraussetzung dafür, dass sie als ein Eckpfeiler der Energiestrategie fungieren können. Deshalb wurde im Jahr 2012 seitens des Landes Tirol überlegt, mit Rahmen einer Befundaufnahme an ausgewählten Anlagen, die Qualität der Erstellung der Erdwärmesonden zu überprüfen. Dabei sollte v.a. die Erfüllung des geforderten Grundwasserschutzes sowie die Effizienz der Anlagen bis zur Schnittstelle zur Wärmepumpe abgeklärt werden. Im Jahr 2014 wurde dafür eine „Erdwärmesonden-Evaluierung“ beauftragt und im Januar 2015 abgeschlossen.

4. Anlagenauswahl

Die Erdwärmesonden-Evaluierung umfasste sowohl bereits **bestehende Systeme** als auch **in Bau befindliche Anlagen**. Letztere wurden mitberücksichtigt, um im Rahmen von Baustellenbesuchen Mängel im Bauablauf vor Ort feststellen zu können.

Aufgrund einer relativ geringen Anzahl an zu untersuchenden Sonden sollte deren Auswahl möglichst verschiedene Systeme in verschiedenen geologischen Verhältnissen abdecken. So berücksichtigte die Vorauswahl vor allem auch die gegebenen Grundwasserbedingungen. Entsprechend der Auswahlkriterien kamen 112 Anlagen in die nähere Auswahl zur Teilnahme am Evaluierungsprogramm.

In einem nächsten Schritt wurde versucht, mit den Betreibern in Kontakt zu treten und diese für eine Teilnahme zu gewinnen. Schlussendlich konnten **vier bestehende Anlagen** sowie **vier in Bau befindliche Anlagen** mit Einverständnis der Betreiber untersucht werden. Weitere Betreiber konnten nicht zu einer Teilnahme bewegt werden, da

- die Betreiber z.T. nicht erreicht werden konnten,
- Betreiber kein Interesse zeigten (u.a. aufgrund der geplanten Ausfallzeit der Anlage bzw. der notwendigen Öffnung des bestehenden Systems),
- die Untersuchung aufgrund der Einbauart technisch nicht durchführbar war.

Die untersuchten Anlagen stellen somit lediglich eine Stichprobe dar und können nicht als repräsentativ angesehen werden.

5. Durchgeführte Erhebungen

Die ausgewählten Anlagen wurden im Rahmen von Vor-Ort-Terminen von der Fa. Wasser Tirol sowie der Fa. Erd-Sonden TV durchgeführt:

5.1. Baulicher Zustand

Die Sonden der vier ausgewählten, bestehenden Anlagen wurden mittels Kamerabefahrung auf ihren Bauzustand untersucht. Hierfür wurde eine speziell für diese Zwecke entwickelte Kamera eingesetzt. Die Durchführung der Kamerabefahrungen erfolgte durch die Fa. Erd-Sonden TV.

Aufgrund der Abmessungen der Kamera kann eine Befahrung nur erfolgen, wenn sich in der Befahrungsstrecke keine Hindernisse wie z.B. T-Stücke, Y-Stücke oder auch 90° Winkel befinden. Im Bereich zwischen Sonde und Verteiler wird das System geöffnet und die Kamera in die Sonde manuell eingeführt. Das permanent aufgezeichnete Bild wird direkt auf einen Laptop vor Ort übertragen und das erzeugte Video gespeichert. Die Auswertung der Videos kann vorhandene verschiedenartige Mängel aufdecken. Erkannt werden können u.a. Quetschungen, Knicke und Verdrillungen der Erdwärmesonde. Darüber hinaus können auch Verschraubungen im Horizontal-bereich der Sonde, die gemäß Normen zu unterlassen sind, von Schweißnähten unterschieden werden.

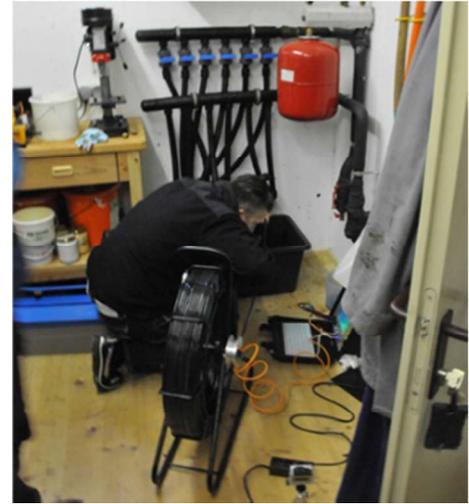


Abb. 4: Einführung einer Kamera in das Sondenrohr

5.2. Bohrlochwiderstand und Wärmeleitfähigkeit

Zur Untersuchung der Qualität der eingebauten Erdwärmesonden wurde bei den vier Bestands-Anlagen ein Enhanced Geothermal Response Test (EGRT) durchgeführt. Dieser dient der Messung von thermischem Bohrlochwiderstand und Wärmeleitfähigkeit.

Der thermische Bohrlochwiderstand gibt Auskunft über die Qualität der thermischen Anbindung des Wärmeträgers an den Untergrund. Die Wärmeleitfähigkeit gibt an, wieviel thermische Energie mittels Wärmeleitung dem Untergrund entzogen werden kann.

Gegenüber dem häufig eingesetzten Thermal Response Test (TRT) weist der im Rahmen der Evaluierung eingesetzte Enhanced Geothermal Response Test (EGRT) den Vorteil auf, dass die Messung in hoher räumlicher Auflösung über die gesamte Bohrlochtiefe durchgeführt wird und somit lokale thermische Einflüsse erkennbar werden. Bei den gegenständlichen Untersuchungen wurde ein verkürzter EGRT von nur einem Tag durchgeführt, um die freiwillig zur Verfügung gestellten Anlagen der Betreiber nicht für mehrere Tage außer Betrieb nehmen zu müssen.



Abb. 5: Messaufbau EGRT

In der Praxis wird eine konstante Wärmeleistung in den Untergrund eingebracht, die Hinterfüllung „aufgeheizt“ und die Rückantwort des Systems (Response) im Rahmen der anschließenden Temperaturerholung gemessen.

Ein ungestörter Verlauf des Bohrlochwiderstands über die Bohrlochtiefe weist auf eine ungestörte Grundwasserhydraulik bzw. auf eine homogene Hinterfüllung der Sonde und homogene Wärmeentzugsleistungen hin. Erkannte Anomalien in der graphischen Darstellung des Bohrlochwiderstandes lassen Rückschlüsse zu, ob und in welcher Qualität die Hinterfüllung (Dichteanomalien) vorliegt. Das tiefenabhängige Profil lässt Aussagen über die vertikale

Wärmeleitfähigkeit zu. Erdwärmesonden mit deutlichen Dichteanomalien weisen grundsätzlich Qualitätsmängel innerhalb der Hinterfüllung auf. Diese können dazu führen, dass Grundwasserstockwerke miteinander verbunden werden oder die Effizienz von Wärmepumpenanlagen sinkt und die laufenden Betriebskosten der Anlagen aufgrund eines höheren Strombedarfs steigen (WASSER TIROL – WASSERDIENSTLEISTUNGS-GmbH 2015).

5.3. Frostschutzgehalt in der Sole

Mit Hilfe eines Refraktometers wurde im Zuge der Begehungen von drei bestehenden Anlagen der Frostschutzgehalt in der Sole bestimmt. Die eingesetzte Sole besteht aus einem Gemisch aus Wasser und Frostschutz (Monoethylen- bzw. 1,2-Propylenglykol). Der Anteil des Frostschutzes beeinflusst u.a.

- den Gefrierpunkt,
- die Wärmeleitfähigkeit,
- die Wärmekapazität und
- die Viskosität der Sole.



Abb. 6: Refraktometer zur Bestimmung des Frostschutzgehaltes der Sole.

Über die Bestimmung des jeweiligen Brechungsindex der vorgefundenen Sole können Rückschlüsse auf deren Zusammensetzung wie z.B. den

Frostschutzgehalt gezogen werden. Mit steigendem Frostschutzgehalt verringern sich diese Eigenschaften mit Ausnahme der Viskosität. Diese steigt an, verursacht eine erhöhte Pumpleistung beim Umwälzen der Sole im Kreislauf und somit höhere Betriebskosten der Anlage (ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND 2009).

5.4. Baustellenbegehungen

Im Zuge der Baustellenbegehungen zur Evaluierung derzeit in Bau befindlicher Anlagen fanden weder Kamerabefahrungen noch Untersuchungen zum Bohrlochwiderstand, zur Wärmeleitfähigkeit sowie zum Frostschutzgehalt statt. Das Hauptaugenmerk lag hier vor allem auf der qualitativen Untersuchung

- der Baustelleneinrichtung,
- der mitgeführten und eingesetzten Ausrüstung sowie des Materials,
- der fachgerechten Durchführung der Bohrlochverpressung und
- dem allgemeinen Bauablauf.

6. Ergebnisse der Untersuchung bestehender Anlagen

Im Folgenden sind auszugsweise einige Ergebnisse der Untersuchung an den bestehenden Anlagen dargestellt.

6.1. Baulicher Zustand - Sonden

Die Kamerabefahrungen haben bei drei von vier der untersuchten Erdwärmesonden Dellen (Abb. 7 links und Mitte), starke Quetschungen (Abb. 7 rechts) und starke Verdrillungen der Sonden gezeigt. Die Verdrillungen zeigten sich dabei über die gesamte Sondentiefe und sind während der Befahrung spürbar, da sich die Kamera der Verdrillung widersetzt – eine bildliche Darstellung ist nicht möglich.



Abb. 7: Delle (links und Mitte) und starke Quetschung des gesamten Sondenrohres (rechts).

6.2. Baulicher Zustand - Verschraubungen

Fünf von sechs betrachteten Anlagen wiesen Verschraubungen der Rohre im Horizontalbereich auf (Abb. 8). Verschraubungen können sich im Zuge von Temperaturschwankungen lösen, so dass in der Folge Sole in den Untergrund infiltrieren und somit zu Verunreinigungen der Ressource Grundwasser führen kann.

Aufgrund dieser Thematik sind nicht zugängliche Rohrverbindungen gemäß ÖWAV-Regelblatt 207 als geschweißte Muffen auszuführen und von einem dafür ausgebildeten Schweißer herzustellen.

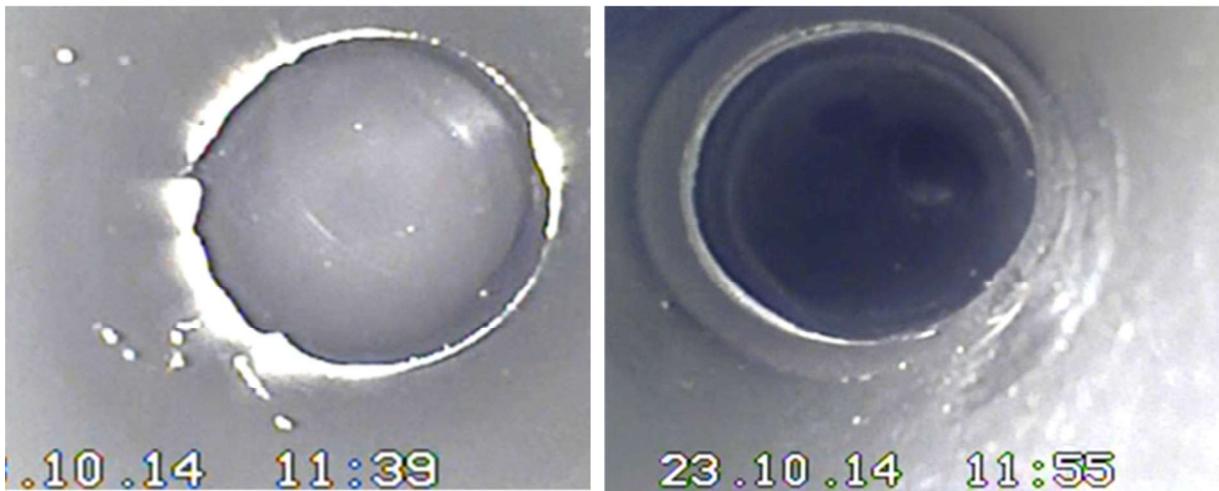


Abb. 8: Unterscheidung zwischen Verschweißungen (links) und Verschraubungen (rechts)

6.3. Baulicher Zustand - Sondentiefe

Im Zuge der Kamerabefahrung wurden ergänzend die ungefähren Tiefen der Sonde ermittelt. Dabei zeigte sich, dass eine Sonde gegenüber der Planung um rund 10 m zu kurz abgeteuft wurde. Dies kann im langfristigen Betrieb zur Überlastung der gesamten Erdwärmesondenanlage führen, sofern die „fehlenden“ Bohrmeter nicht durch andere Sonden ausgeglichen werden.

6.4. Bohrlochwiderstand und Wärmeleitfähigkeit

Mittels der durchgeführten EGRTs konnten Erkenntnisse zur Qualität der Verpressung gewonnen werden. Die Ergebnisse weisen bei drei von vier Sonden auf Hohlräume in der Hinterfüllung und somit auf eine schlechte Anbindung der Erdsonde an den umgebenden Untergrund hin, die durch starke Schwankungen der relativen Bohrlocheigenschaften bei den untersuchten Sonden sichtbar werden. Lediglich eine untersuchte Sonde wies eine gute Verpressung auf.

Abb. 9 zeigt die Darstellung der relativen Bohrlocheigenschaften einer untersuchten Sonde mit mangelhafter Verpressung (links) sowie einer Sonde mit guter Verpressung (rechts) im Vergleich.

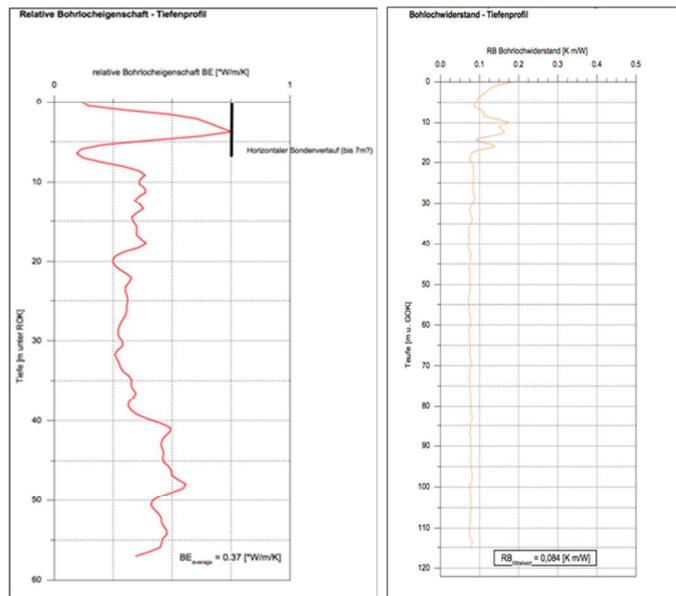


Abb. 9: Relative tiefenabhängige Bohrlocheigenschaft zweier betrachteter Anlagen. Links mangelhafte Verpressung – rechts gute Verpressung

6.5. Frostschutzgehalt in der Sole

Der Frostschutz-Anteil in der Sole wurde bei drei Bestands-Anlagen bestimmt. Gegenüber den Vorgaben des Wärmepumpenherstellers wurden einmal ein zu hoher und einmal ein zu niedriger Glykolgehalt nachgewiesen.

7. Erkenntnisse im Rahmen der Baustellenbegehungen

Im Zuge der Erdwärmesonden-Evaluierung wurden vier Baustellen besucht, bei denen gerade Erdwärmesonden errichtet wurden. Auf allen Baustellen wurden qualitative Mängel im Bauablauf festgestellt. In diesem Zusammenhang seien auszugsweise genannt:

- Die benötigte Ausrüstung zur Bestimmung der Dichte des Verpressmaterials war auf mehreren Baustellen nicht vorhanden. Die Güte des eingebrachten Verpressmaterials konnte somit nicht bestimmt werden.
- Auf den meisten Baustellen war nur ein Container zum Abtransport des Bohrgutes vorrätig. Ein Absedimentieren des Bohrwassers war nur unzureichend möglich.
- Lediglich ein Bohrunternehmen hatte - für den Fall des Anbohrens eines Artesers - Material zum Abdichten vor Ort.
- Teilweise wurden keine Verpressschläuche (Abb. 10) vorgefunden.
- Eine Verpressung war vom Bohrlochmund aus nicht erkennbar und somit zumindest mehrere Meter abgesunken (Abb. 10). Eine Nachverpressung wurde nicht durchgeführt.



Abb. 10: Erdwärmesonden ohne Verpressschlauch und bei abgesackter Verpressung

- Erdwärmesonden wurden bei gezogenem Casingrohr unverpresst vorgefunden. Damit besteht die Möglichkeit, dass das Bohrloch zu diesem Zeitpunkt bereits eingestürzt und die Sonde gequetscht worden war.
- Eine der Erdwärmesonden wurde ohne Verpressschlauch von oben verpresst. Nach Aussage des anwesenden Bohrmeisters werde dies häufig derart gehandhabt. Diese Art der Verpressung ist nicht zulässig, da eine durchgängige Abdichtung des Bohrlochs hiermit nicht möglich ist.
- In einem Fall wurde der Betonschacht für den Verteilerbalken auf die ungeschützten Erdwärmesonden abgestellt.

8. Prüfung der Einreichunterlagen / Planungsunterlagen

Die Prüfung der vorgelegenen Einreichunterlagen hat gezeigt, dass zum einen die Auslegung der Erdwärmesonden z.T. fehlerhaft erfolgte, zum anderen zusätzliche Abweichungen zwischen Planung und Ausführung ohne nachvollziehbare Begründungen vorliegen. Folgende Mängel seien beispielhaft genannt:

- Die Berechnung der benötigten Sondenmeter war nicht nachvollziehbar dargestellt.
- Zur Berechnung der benötigten Sondenlängen wurden sehr hohe spezifische Entzugsleistungen verwendet.
- Mehrbetriebsstunden bei vorgesehener Warmwasserbereitung durch die Wärmepumpe wurden nicht berücksichtigt.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Die Tiroler Ressourcen-, Klima- und Energiestrategie sieht vor, dass bis zum Jahre 2050 rund 7 % des gesamten Endenergieeinsatzes aus Umweltwärme gedeckt werden soll, wozu neben der Grundwasser- und Luftwärme insbesondere auch Erdwärme gehört.

Erdwärmesondenanlagen stellen in vielen Fällen eine nachhaltige und effiziente Möglichkeit dar, heimische, erneuerbare Ressourcen zu Heizzwecken sowie zur Bereitung von Warmwasser zu nutzen. Eine qualitativ hochwertige Errichtung sowie der Betrieb entsprechend dem Stand der Technik sind Voraussetzung für die optimale, nachhaltige Nutzung der Ressource.

Aufgrund von Berichten über Schadens- und Konfliktfälle im Zusammenhang mit Erdwärmesonden wurde in den Jahren 2014/2015 eine „Erdwärmesonden-Evaluierung“ im Auftrag des Landes Tirol durchgeführt. Diese untersuchte stichprobenartig vier in Betrieb befindliche Anlagen (Schwerpunkt Qualität des Baus und Funktionalität) sowie vier im Bau befindliche Anlagen (Schwerpunkt Baustellenablauf) mit folgenden Ergebnissen:

- Sämtliche in Betrieb befindlichen Erdwärmesonden wiesen geringe bis schwerwiegende Mängel auf. Diese reichten von der gebohrten Tiefe über die Verpressung, die energietechnische Auslegung und Planung bis hin zu der Tatsache, dass eine Kontrolle der ausgeführten Anlagen meist nicht erfolgte.
- Bei allen Baustellenbesuchen wurden kleine bis grobe Mängel im Bauablauf festgestellt.

Die Ergebnisse der Erdwärmesonden-Evaluierung wurden im Rahmen eines Workshops am 28.01.2015 präsentiert und mit den Fachexperten der betroffenen Abteilungen des Landes diskutiert:



Abb. 11: Abschlussworkshop am 28.01.2015 im Landhaus II, Innsbruck.

Im Rahmen der involvierten Fachexperten herrschte einhellige Zustimmung darüber, dass zum Schutze des Konsumenten (Bauherren), des öffentlichen Interesses (Schutz des Grundwassers) und zur Sicherung dieser wichtigen Technologie für die zukünftige Planung und Umsetzung von Erdwärmesondenanlagen ein **Bündel an Maßnahmen zur Qualitätssicherung** gesetzt werden müssen. Als konkrete Maßnahmen wurden beispielsweise diskutiert:

- Erweiterung der Regelwerke in Bezug auf Planung und Auslegung von Erdwärmesonden.

- Einführung einer Förderung für Erdwärmesonden-Anlagen, welche eine dem Stand der Technik entsprechende Planung und Umsetzung ebenso wie eine abschließende Kontrolle als Förderkriterium beinhaltet.
- Einführung eines Überwachungs- und Kontrollorgans für die Bauausführung von Erdwärmesonden eventuell im Zuge des vorangehenden Behördenverfahrens (Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden).
- Vorschreibung einer verbindlichen Abschätzung des Stromverbrauchs der Erdwärmesonden-Anlage durch den Planer, um dem Anlagenbetreiber eine ‚Selbstkontrolle‘ im Betrieb der Erdwärmesonden-Anlage zu ermöglichen.

In weiterer Folge wurde eine Arbeitsgruppe aus Vertretern des Landes Tirol, der Landesinnung Sanitär-, Heizungs- und Lüftungstechniker, von Bohrfirmen und den bei der Evaluierung beteiligten Firmen gebildet, welche die Aufgabe hat, in einem Workshop-Prozess konkrete Maßnahmen zur Qualitätssicherung beim Bau und im Betrieb von Erdwärmesondenanlagen auszuarbeiten und verbindlich festzulegen.

Literaturverzeichnis

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (2016): *Tiroler Energiemonitoring 2015. Statusbericht zur Umsetzung der Tiroler Energiestrategie*. 166 S.

BASSETTI, S. & ROHNER, E. & SIGNORELLI, S. (2006): *Dokumentation von Schadensfällen bei Erdwärmesonden*. 65 S.

WASSER TIROL - WASSERDIENSTLEISTUNGS-GMBH (2015): *Erdwärmesonden-Evaluierung im Rahmen des Tiroler Energiemonitorings*. 55 S.

ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (2009): *ÖWAV-Regelblatt 207 - Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen*. 66 S.