

23. August 2017

# **Bericht «Analyse von Erdwärmesondenanlagen»**

Abschätzung des Anteils unterkühlter  
Erdwärmesonden von Anlagen, die  
vor Einführung der SIA 384/6 erstellt  
wurden  
Schlussbericht



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

**Autoren**

Ruedi Kriesi, Dr. sc. techn.,  
Kriesi Energie GmbH  
Meierhofrain 42  
8820 Wädenswil

**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](http://www.energieschweiz.ch/beratung)  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

# Inhalt

|                                                                    |                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>                                                           | <b>Zusammenfassung.....</b>                                | <b>4</b>  |
| <b>2</b>                                                           | <b>Einleitung .....</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>3</b>                                                           | <b>Technischer Hintergrund.....</b>                        | <b>6</b>  |
| <b>4</b>                                                           | <b>Befragung der Systemanbieter .....</b>                  | <b>7</b>  |
| 4.1                                                                | Rückmeldungen der GKS-Arbeitsgruppe Wärmepumpen .....      | 7         |
| 4.2                                                                | Befragung mittels Fragebogen .....                         | 8         |
| <b>5</b>                                                           | <b>Erfassung des Anteils unterkühlter Sonden.....</b>      | <b>10</b> |
| 5.1                                                                | Methode.....                                               | 10        |
| 5.2                                                                | Messungen durch Systemlieferanten .....                    | 10        |
| 5.3                                                                | Messungen durch Sondenbetreiber .....                      | 11        |
| 5.4                                                                | Verwendetes Messsystem.....                                | 12        |
| <b>6</b>                                                           | <b>Bewertungsschlüssel für Erdwärmesonden.....</b>         | <b>13</b> |
| 6.1                                                                | Problemstellung.....                                       | 13        |
| 6.2                                                                | Lösung.....                                                | 13        |
| 6.3                                                                | Bewertungsschlüssel.....                                   | 17        |
| <b>7</b>                                                           | <b>Messresultate, Auswertungen.....</b>                    | <b>20</b> |
| 7.1                                                                | Auswertung der Einzelmessungen .....                       | 20        |
| 7.2                                                                | Überblick über die Messresultate .....                     | 22        |
| 7.3                                                                | Schwache Wirkung auf das Jahresminimum.....                | 24        |
| 7.4                                                                | Starke Wirkung auf das Jahresminimum.....                  | 25        |
| 7.5                                                                | Temperaturdifferenzen Dezember/April – Jahresminimum ..... | 27        |
| <b>8</b>                                                           | <b>Merkblatt zur Regeneration von Erdwärmesonden.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>9</b>                                                           | <b>Folgerungen, weiteres Vorgehen.....</b>                 | <b>32</b> |
| <b>ANHANG I, Teilnahmebestätigung gegenüber Servicefirma .....</b> |                                                            | <b>35</b> |
| <b>ANHANG II, Montageanleitung .....</b>                           |                                                            | <b>36</b> |
| <b>ANHANG III, An Sondenbetreiber versandte Unterlagen .....</b>   |                                                            | <b>42</b> |

# 1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden im Winter 16/17 91 Erdwärmesonden gemessen und entsprechend des Minimums der Mitteltemperatur von Vor- und Rücklauf in unterkühlte, normale und langzeitstabile Sonden eingeteilt. Dazu wurde ein neuer Beurteilungsschlüssel geschaffen, durch Simulationen der Geowatt AG justiert und durch Diskussionen mit der Branche optimiert. Dessen Kriterium ist die Erreichbarkeit einer minimalen Mitteltemperatur von mindestens  $-1.5^{\circ}\text{C}$  nach 50 Betriebsjahren gemäss der SIA 384/6:2010, Erdwärmesonden.

81 der 91 Anlagen wurden anhand einer Montageanleitung durch die Betreiber selbst mit Messfühlern ausgerüstet, 10 Anlagen durch Servicemitarbeiter von zwei Wärmepumpenlieferanten. Am Ende der Heizsaison sandten die Betreiber die Fühler an die Kriesi Energie GmbH zur Auswertung. Als Gegenleistung erhielten sie einen Messbericht zu ihrer Anlage.

Etwa 20% der Sonden sinken nur wenig unter den Ausgangswert des ungestörten Erdreichs ab und scheinen damit langzeitstabil. Demgegenüber wurde ein erstaunlich hoher Anteil von 1/3 als knapp oder klar unterkühlt bewertet. Während die Anzahl nahe gelegener Sonden einen starken Einfluss auf die Mitteltemperatur hat, erscheinen Sondenalter, -tiefe und spezifische Belastung erstaunlich unwichtig.

Eine deutliche Verlängerung der Nutzungszeit unterkühlter Sonden ist damit oft nicht durch eine Entlastung, sondern nur durch Regeneration zu erreichen. Mit einem Vorschlag für ein neues Merkblatt wird eine Übersicht zu den möglichen Massnahmen gegeben.

Bewilligungen für Erdwärmesonden sollten weiterhin ohne grossen Planungsaufwand und selbst bei geringen Abständen zu Nachbarsonden erhältlich sein, weil die planbaren Kriterien wenig Einfluss haben, die – oft unbekannten – Wasserbewegungen im Untergrund aber sehr viel. Hingegen sollten an allen Anlagen regelmässig die Sondentemperaturen gemessen und solche, die sich dem Gefrierpunkt nähern, mit einer Regeneration ausgerüstet werden, um eine langzeitige Nutzung und den problemlosen Zubau neuer Sonden auf Nachbargrundstücken zu gewährleisten.

Die Erkenntnis, dass wohl ein wesentlicher Anteil der älteren Erdsonden in der Schweiz ohne Regeneration die geforderte Minimaltemperatur vor Ablauf der 50 Jahre Lebensdauer erreichen wird, ist neu und sollte gestreut werden. Gleichzeitig sollte auf die Möglichkeiten zur Regeneration hingewiesen werden, um den betroffenen Betreibern auch sogleich klar zu machen, dass die Folgekosten kein grösseres Hindernis zum weiteren Betrieb der Erdwärmesonden darstellen.

## 2 Einleitung

Erdwärmesonden wurden vor Einführung der SIA 384/6 meist nach Faustformeln und oft mit relativ hohen Belastungswerten je Sondenmeter geplant und erstellt. Mit Einführung der SIA 384/6 wurde dies für Neuanlagen bereinigt. Nur ist es so, dass in Gebieten mit einer hohen Erdwärmesondendichte sich der Untergrund im Laufe von 20 bis 50 Betriebsjahren auch bei korrekter Auslegung einer Erdwärmesonde abkühlen kann und somit eine Nachwärmung des Untergrunds für deren weiteren effizienten Betrieb erforderlich machen. Das wird der durchschnittliche Betreiber aber kaum erkennen, bevor die Wärmepumpe wegen Unterkühlung abstellt oder die Elektrizitätsrechnung stark steigt, weil in diesem Fall eine Widerstandsheizung automatisch die Wärmebereitstellung übernimmt. Bei zu starker Abkühlung sollte der Betreiber aber beim Einbau einer neuen Wärmepumpe Massnahmen zur künftigen Entlastung der Erdsonde resp. zur Regeneration ausführen, damit diese auch für die erwartete Lebensdauer der neuen Wärmepumpe und darüber hinaus problemlos nutzbar bleibt.

Anhand einer Umfrage in der Branche wurde in einem ersten Teil dieser Arbeit erkannt, dass die Schätzungen des Anteils unterkühlter Sonden und damit des tatsächlich zu erwartenden Problems weit auseinander gehen (sh. Kap. 3.2), ja dass nicht einmal eine einheitliche Meinung besteht, wie eine bestehende Sonde bezüglich Unterkühlung beurteilt werden soll. Mit Messungen an einer grösseren Anzahl älterer Anlagen sollte deshalb festgestellt werden, wie relevant das Problem unterkühlter Sonden tatsächlich ist. Zudem sollte der Branche ein Beurteilungsschlüssel zum Zustand bestehender Anlagen anhand von Temperaturmessungen vorgeschlagen werden.

Die Information zum Anteil unterkühlter Sonden ist von grossem Interesse, weil Erdwärmesonden nach wie vor an vielen Standorten die beste Möglichkeit bieten, Heizungen mit fossilen Brennstoffen zu ersetzen, und bereits einige 10'000 Anlagen bestehen, die mehr als 10 Jahre alt sind. Früher wurden Erdwärmesonden aber kürzer ausgelegt als heute, womit unter diesen ein grösserer unterkühlter Anteil erwartet wird.

Entsprechend der stark divergierenden Beurteilung der Situation blieb das Interesse der Branche am Thema gering. Dies divergiert mit dem wachsenden Unbehagen der Politik, das sich z.B. 2015 in einer Anfrage im Zürcher Kantonsrat zur Vermeidung von Konflikten bei zu starker Abkühlung (Nr. 272) äusserte.

Die Verfügbarkeit der jetzt vorliegenden ersten etwas breiteren Datengrundlage soll das Problembewusstsein fördern und die Bereitstellung automatischer Temperaturüberwachungen und günstiger Regenerationsmethoden unterstützen.

### 3 Technischer Hintergrund

Erdwärmesonden haben als Quelle insbesondere im städtischen Bereich klare Vorteile gegenüber Aussenluft dank

- lautlosem Betrieb,
- entfallendem Platzbedarf im Aussenraum,
- ungefähr konstanter Temperatur im Winter, mit folglich guten Leistungsziffern auch bei tiefen Aussentemperaturen,
- einfacher Kühlmöglichkeit im Sommer durch Wärmeabgabe von der Fussbodenheizung an die kühle Erdsonde.

Erdwärmesonden werden aufgrund der geltenden SIA 384/6 für trockenen Untergrund geplant. Auslegungsbasis ist eine Nutzungszeit von 50 Jahren. Nach dieser Zeit darf die minimale Mitteltemperatur der Sonde die als zuträgliches Minimum erachteten  $-1.5^{\circ}\text{C}$  erreichen. Diese Randbedingung bedeutet, dass spätestens der zweite langjährige Nutzer einer Sonde eine Lösung finden muss.

Zudem gibt es aber verschiedene Gründe, weshalb Erdwärmesonden stärker auskühlen können als geplant:

- Vor der SIA 384/6 wurden Erdwärmesonden um bis 1.5 Mal höher belastet,
- Bauten brauchen im Betrieb durch Benutzerverhalten und Fehler bei der Bauausführung oft mehr Wärme als geplant,
- Der ursprüngliche Abstand zu Nachbarsonden wird während der Betriebsphase durch nachträglich erstellte Sonden reduziert. Angesichts des stark steigenden Sondenbestands wird sich diese Problematik künftig verstärken.

Glücklicherweise sind die Voraussetzungen im Untergrund sehr oft besser als von der SIA 384/6 angenommen. Horizontale Wasserbewegungen in von der Sonde erreichten Schichten führen Wärme aus einer wesentlich grösseren Umgebung zu, als dies mit reiner Wärmeleitung im trockenen Untergrund geschieht. Die Temperaturen dieser Sonden sinken deshalb oft kaum ab, auch wenn sie stärker belastet werden als geplant.

Der Anteil der Erdwärmesonden im trockenen Untergrund, der entsprechend für Unterkühlung gefährdet ist, ist in der Branche nicht bekannt. In einer Umfrage haben die technischen Leiter der befragten Firmen den Anteil von 1 bis 90% geschätzt. Zudem wird von vielen allein die früher übliche höhere Sondenbelastung als Problem erachtet. Das wirkliche Problem liegt aber eher bei der Anzahl nahe gelegener Nachbarsonden (sh. Kap. 4 und Bilder 7.3-1, 7.4-1).

In Gesprächen äussern Vertreter der Branche auch häufig die Befürchtung, dass eine Anlagen-Erneuerung durch die bessere Leistungsziffer der neuen Wärmepumpen die Unterkühlung der Sonde deutlich beschleunigen könnte. Diese Befürchtung konnte mit der vorliegenden Studie entschärft werden, denn tatsächlich ist die spezifische Sondenbelastung im Rahmen der zu erwartenden Verbesserung der mittleren Leistungsziffer COP ein schwacher Faktor für die Sondentemperatur: Steigt die mittlere Leistungsziffer COP von bisher 3 auf 4, so erhöht sich der aus der Sonde bezogene Wärmeanteil um nur 12% (Wärme aus Sonde/Wärmeabgabe =  $1 - 1/\text{COP}$ ; COP = 3 heisst Wärme aus Sonde/Wärmeabgabe = 67%; COP = 4 heisst Wärme aus Sonde/Wärmeabgabe = 75%;  $(75-67)/67 = 12\%$ ).

Beim Ersatz einer Wärmepumpe sollte der Betreiber wissen, ob seine Sonde ohne Regeneration für die Lebensdauer der neuen Anlage weiter verwendet werden kann. Ansonsten würde er passende Massnahmen besser zum Zeitpunkt des Wärmepumpenersatzes ergreifen, wenn ohnehin Arbeiten nötig sind. Das kann durch zusätzliche Sonden, Dämmung des beheizten Gebäudes, ganz oder teilweisen Ersatz durch Aussenluft als Wärmequelle oder durch Regeneration der Sonde geschehen. Für letzteres eignen sich Sonnenkollektoren, verglast oder unverglast, Asphaltkollektoren, passive und aktive Raumkühlung oder aktive Kühlung der Aussenluft (sh. Kap. 8).

## 4 Befragung der Systemanbieter

### 4.1 Rückmeldungen der GKS-Arbeitsgruppe Wärmepumpen

Anlässlich einer Präsentation des Projekts in der Arbeitsgruppe Wärmepumpen des Verbands GebäudeKlima Schweiz, GKS, am 29.11.2016, äusserte sich die Gruppe sehr positiv zum beschrittenen Weg. Sie war durch ein Referat der Geowatt AG, Ernst Rohner, für das Thema sensibilisiert und zeigte sich an einer Mitarbeit der Branche sehr interessiert.

Am 27.6.17 wurden der gleichen Gruppe die Resultate präsentiert. Die Gruppe erachtete diese als ausgezeichnete Basis, um geeignete Massnahmen zu ergreifen. Sie schlug vor, eine Arbeitsgruppe zu bilden, um mit einem proaktiven Vorgehen Ihre Kunden beraten zu können. Sie lieferte zudem auch Hinweise zur Verbesserung der erst anfangs Juli erfolgten Rückmeldung an die Sondenbetreiber.

## 4.2 Befragung mittels Fragebogen

Versandter Fragebogen:

|              |                                                                                          |                        |  |                                                                            |  |  |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------|--|--|
| 1            | Bei wie vielen Prozent der installierten EWS sinkt min. VL-Temp. nach 20 Jahren zu stark |                        |  |                                                                            |  |  |
| 2            | Tiefe Sondentemperaturen sind häufiger, wenn                                             |                        |  |                                                                            |  |  |
| a            | dichte Felder                                                                            |                        |  |                                                                            |  |  |
| b            | stark belastete EWS                                                                      |                        |  |                                                                            |  |  |
| c            | sehr alte EWS, vor 1990                                                                  |                        |  |                                                                            |  |  |
| d            | andere:                                                                                  |                        |  | 2: Benutzerverhalten/Bauausführung; 5: schlechter Untergrund/Hinterfüllung |  |  |
| 3            | offizielle Bewertungsmethode erwünscht?                                                  |                        |  |                                                                            |  |  |
| a            | ja                                                                                       |                        |  |                                                                            |  |  |
| b            | nein                                                                                     |                        |  |                                                                            |  |  |
| 4            | Erfasst die eigene Steuerung Vor- und Rücklauf Temperatur der Erdsonden?                 |                        |  |                                                                            |  |  |
| neue Regler: | aa                                                                                       | nur Momentanwerte      |  |                                                                            |  |  |
|              | ab                                                                                       | auch Jahrestiefstwerte |  |                                                                            |  |  |
|              | ac                                                                                       | welche Werte           |  | 2: viele Möglichkeiten, 4: je nach Typ, 6: keine                           |  |  |
| alte Regler: | ba                                                                                       | nur Momentanwerte      |  |                                                                            |  |  |
|              | bb                                                                                       | auch Jahrestiefstwerte |  |                                                                            |  |  |
| 5            | Rat bei zu tiefer EWS-Temp.                                                              |                        |  |                                                                            |  |  |
| a            | zusätzliche Sonden                                                                       |                        |  |                                                                            |  |  |
| b            | Dämmen des Gebäudes                                                                      |                        |  |                                                                            |  |  |
| c            | Ersatz durch L-/W-WP                                                                     |                        |  |                                                                            |  |  |
| d            | WP-Boiler für WW                                                                         |                        |  |                                                                            |  |  |
| e            | ES-Regeneration                                                                          |                        |  |                                                                            |  |  |
|              |                                                                                          | Regeneration mit:      |  |                                                                            |  |  |
|              | ea                                                                                       | Raumkühlung            |  |                                                                            |  |  |
|              | eb                                                                                       | Sonnenkollektoren      |  |                                                                            |  |  |
|              | ec                                                                                       | Aussnufkkühler         |  |                                                                            |  |  |
|              | ed                                                                                       | andere                 |  | 2: El-Heizung                                                              |  |  |
| 6            | Merkblatt zum Vorgehen bei unterkühlter Sonde erwünscht?                                 |                        |  |                                                                            |  |  |
| a            | ja                                                                                       |                        |  |                                                                            |  |  |
| b            | nein                                                                                     |                        |  |                                                                            |  |  |
| 7            | Interesse an Beteiligung an weiteren Messungen, gratis                                   |                        |  |                                                                            |  |  |
| a            | ja                                                                                       |                        |  |                                                                            |  |  |
| b            | nein                                                                                     |                        |  |                                                                            |  |  |

Der Fragebogen wurde an 9 Mitglieder der Arbeitsgruppe Wärmepumpen des GKS sowie 6 weitere Systemanbieter versandt. Diese sind in Tabelle 4.2-1 zusammengefasst.

Die Meinungen zum Anteil der unterkühlten Erdwärmesonden gehen, wie erwähnt, mit 1 bis 90% weit auseinander. Als Ursache werden hohe Sondenbelastungen, nicht aber grosse Sondendichten gesehen. Einigkeit besteht, dass ein breit anerkannter Beurteilungsschlüssel zur Bewertung des Zustands einer Erdsonde und ein Merkblatt zum Vorgehen bei unterkühlter Sonde geschaffen werden soll.

Alte und auch ein grosser Teil der neuen Wärmepumpen scheinen lediglich Momentanwerte der Sondentemperaturen zu speichern. Damit wird die Interpretation des Resultats unpräzise, weil möglicherweise die Laufzeit der Anlage unmittelbar vor einer Panne kurz oder sogar unbekannt ist. Der Temperaturabfall in den ersten Betriebsminuten ist aber meist gross. Als Massnahme bei unterkühlten Erdwärmesonden wird offenbar geraten, zusätzliche Sonden zu erstellen, während Regeneration noch im Hintergrund steht.

Tabelle 4.2-1: Antworten der Branche zum Fragebogen

|                                                                                   |                           |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|
| Geschätzter Anteil zu kalter Sonden                                               |                           | 35% (1%-90%) |
| Ursache für kalte Sonden                                                          |                           |              |
| - Zu dichte Anordnung                                                             |                           | 20%          |
| - Zu hohe spez. Belastung                                                         |                           | 80%          |
| - Alte Sonden                                                                     |                           | 40%          |
| - Benutzerverhalten                                                               |                           | 20%          |
| - Schlechter Untergrund/Hinterfüllung                                             |                           | 20%          |
| Offizielle Bewertungsmethode für Sondentemperatur erwünscht                       |                           | 100% ja      |
| Neue Regler erfassen Sondentemperatur,                                            | Momentanwerte             | 80%          |
|                                                                                   | Momentanwerte und weitere | 40%          |
| Alte Regler erfassen Sondentemperatur,                                            | Momentanwerte             | 60%          |
|                                                                                   | Momentanwerte und weitere | 0%           |
| Empfohlene Massnahmen bei Unterkühlung:<br>(Anz. Antworten mal Priorität 1 bis 6) | Zusätzliche Sonden        | 79%          |
|                                                                                   | Haus isolieren            | 67%          |
|                                                                                   | L/W-Wärmepumpe einbauen   | 21%          |
|                                                                                   | WP-Boiler für Warmwasser  | 67%          |
|                                                                                   | Regeneration der Sonde    | 25%          |
| Empfohlene Art der Regeneration:<br>(Anz. Antworten mal Priorität 1 bis 6)        | Raumkühlung               | 29%          |
|                                                                                   | Sonnenkollektoren         | 29%          |
|                                                                                   | Aussenluftkühler          | 42%          |
|                                                                                   | Elektroheizung            | 17%          |
| Merkblatt zur Regeneration erwünscht:                                             |                           | 100% ja      |

## 5 Erfassung des Anteils unterkühlter Sonden

### 5.1 Methode

Zur Erfassung des Sondenzustands sollten an 150 mindestens zehn Jahre alten Erdwärmesonden die Temperaturen an Ein- und Austritt während einer Heizperiode gemessen werden. Es war vorgesehen, dass hiervon 90 Anlagen durch vier Wärmepumpen-Lieferanten ausgewählt und installiert, und 60 direkt durch die Kriesi Energie GmbH bestimmt und durch die Nutzer installiert werden, letztere verteilt auf die vier Kantone SO, SG, ZH und GR. In Praxis bewährte sich fast nur der zweite Weg.

Aufgrund der gemessenen Werte wurden die Sonden anhand des Bewertungsschlüssels gemäss Kapitel 5 in die Kategorien „langzeitstabil“, „normal“ und „unterkühlt“ eingeteilt werden. Neben dem Sondenalter sind als zusätzliche Parameter zur Beurteilung Standort, d.h. auch Höhe ü.M., Sondenlänge, die spezifische Heizleistung in W pro m Sondenlänge und die Summe der eigenen und der nahe liegenden Nachbarsonden bekannt.

Die Auswahl der Sonden erfolgte im Übrigen vollkommen zufällig. Dank der grösseren Zahl lässt sich damit eine grobe statistische Aussage zum unterkühlten Anteil der älteren Sonden in der Schweiz machen. Die Ungenauigkeit wird allerdings gross sein, weil die Standortgemeinden ebenfalls zufällig gewählt wurden und für die generelle Situation in der Schweiz aus geologischer Sicht nur grob repräsentativ sein können. Es wäre deshalb wünschenswert, wenn weitere Messungen erfolgen würden, um die Datengrundlage zu verbessern.

### 5.2 Messungen durch Systemlieferanten

Systemlieferanten besuchen in unregelmässigen Abständen ihre Kunden für Unterhaltsarbeiten an den Wärmepumpen. Es schien für diese deshalb einfach, die beiden Messfühler bei ohnehin stattfindenden Anlagebesuchen zu installieren. Adresse und einige Angaben zur Anlage sollten die Servicefirmen der Kriesi Energie GmbH liefern, die die Betreiber im Frühjahr 2017 direkt hätte anschreiben sollen mit der Bitte, ihr die Messfühler zur Auswertung mit einem vorfrankierten Antwortbeutel zuzustellen.

Mit seiner Unterschrift hat der Sondenbetreiber bestätigt, dass er die Messdosen nach Aufforderung an die Kriesi Energie GmbH zurück senden wird und hat sein Einverständnis gegeben, dass die Messresultate nicht nur ihm, sondern auch der Servicefirma zugestellt werden dürfen (Formular sh. Anhang I).

Gedanke dahinter war, dass das Interesse der Betreiber zur Teilnahme auf der Gratisbeurteilung des Sondenzustands beruht, während die Servicefirma an der entstehenden Kundenbindung durch ihre allenfalls über den Standardbericht der Kriesi Energie GmbH hinausgehende Interpretation der Resultate interessiert sein müsste. Tatsächlich sagten auch 4 Firmen ihre Teilnahme zu.

Tabelle 5.2-1: Von den 90 den Lieferanten zugestellten Fühlerpaaren konnten leider nur gerade deren 10 sinnvoll ausgewertet werden. Eine Firma sandte 20 Paare rasch zurück, so dass diese noch vor der kältesten Periode direkt durch die Kriesi Energie GmbH verteilt werden konnten, die damit insgesamt 80 Anlagen ausgerüstet hat.

| Gruppe              | Versandte Messfühler | Anzahl Teilnehmer | Verwertbares Resultat | %         |
|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------|
| Firma 1             | 30                   | 9                 | 9                     | 30        |
| Firma 2             | 20                   | 1                 | 1                     | 5         |
| Firma 3             | 20                   | 5                 | 0                     | 0         |
| Firma 4             | 20                   | 5                 | 0                     | 0         |
| <b>Total Firmen</b> | <b>90</b>            | <b>20</b>         | <b>10</b>             | <b>11</b> |

### 5.3 Messungen durch Sondenbetreiber

Von den Verwaltern der Erdwärmesondendaten in den Kantonen Solothurn, St. Gallen, Zürich und Graubünden wurden Listen mit den Standorten von 10 bis 20 Jahre alten Erdwärmesonden erhalten. Mit den öffentlich zugänglichen GIS-Daten und der Homepage [tel.search.ch](http://tel.search.ch) wurden dazu die Adressen der Anlagenbetreiber ermittelt.

Der Anfrage wurde eine Montageanleitung beigelegt (sh. Anhang II), um den Betreibern ihren Aufwand sichtbar zu machen. Zudem wurde damit auch gezeigt, dass die Messstelle an einem isolierten Rohrstück nach Abschluss der Messungen durch einen Klebstreifen sichtbar bleiben wird. Dieser Umstand dürfte einige Betreiber von einer Teilnahme abgehalten haben. Von einem wurde dies auch so bestätigt.

Nur 7 der 72 Antwortenden baten um die Montage durch eine Fachperson, weil sie selber dazu nicht in der Lage wären. Von diesen wurden 3 direkt durch die Kriesi Energie GmbH montiert. Damit konnte der Aufwand für die Montage sehr tief gehalten werden. Erfreulicherweise scheinen die Betreiber die Fühler grossmehrheitlich korrekt montiert zu haben, denn der Teil der wegen falsch installierten Fühlern unbrauchbaren Messresultate war sehr klein. Anhand des Temperaturverlaufs konnte in den meisten Fällen die Korrektheit der Daten eindeutig festgestellt werden. In 8 Fällen wurden die Fühler nicht oder falsch montiert, also in 10% der Anlagen. Unsicher bleibt aber, ob sowohl Vor- und Rücklauf von aussen genügend gedämmt wurden, so dass der Temperaturabfall über die Kunststoff-

rohrwand der Erdwärmesondenleitungen genügend klein war. Entsprechend muss davon ausgegangen werden, dass die realen Temperaturen konstant etwa 1K tiefer liegen als die Messresultate (sh. dazu auch Bild 7.2-4).

Nach Erhalt der Teilnahmebestätigung wurden den Betreibern die beiden Messfühler, zwei Stück diffusionsdichte Dämmung, Klebstreifen zur Fühlerinstallation auf einem unisolierten Rohrstück sowie zwei Stück Kabelbinder zur Fixierung der Messdosen per Post zugestellt (sh. Anhang III). Etwa 15% der Teilnehmer haben sich anhand von Photos zum genauen Vorgehen erkundigt, z.B. betreffend der korrekten Rohrleitung, der richtigen Position am Rohr oder der Verwendbarkeit der Thermometer-Tauchhülse.

Nach Auswertung der Messfühler haben alle einen Normbrief entsprechend der Zuteilung zu den drei Kategorien A, Langzeitstabile/Nachhaltige Sonde, bis C, Unterkühlte Sonde, mit allgemeinen Hinweisen zur Interpretation (sh. Kap. 6) erhalten. Zudem wurden in Einzelfällen zusätzliche Bemerkungen zu Spezialitäten der Anlage angefügt, teils nach Rücksprache mit den Betreibern zum möglichen Hintergrund. Dies betraf Anlagen mit einer weiteren Wärmequelle und deshalb speziellen Differenzen zwischen den Monaten, mit eindeutig falscher Platzierung der Messfühler, unerklärlich hohen Temperaturwerten oder unerklärlich kleinen Spreizungen.

Tabelle 5.3-1: Von den zufällig angeschriebenen 227 Sondenbetreibern haben sich 81 für eine Teilnahme interessiert und die zugestellten Messfühler mit ganz wenigen Ausnahmen selber installiert. So wurden von 75 Anlagen oder 93% der Teilnehmer brauchbare Temperaturwerte erhalten.

| Kanton     | Anzahl Anfragen | Anzahl Teilnehmer | Teilnehmer pro Anfrage, % | Anzahl Gemeinden | Brauchbare Resultate |     |
|------------|-----------------|-------------------|---------------------------|------------------|----------------------|-----|
|            |                 |                   |                           |                  | absolut              | %   |
| Solothurn  | 34              | 16                | 38                        | 3                | 16                   | 100 |
| St.Gallen  | 100             | 32                | 40                        | 9                | 30                   | 94  |
| Zürich     | 52              | 18                | 25                        | 10               | 15                   | 83  |
| Graubünden | 41              | 15                | 37                        | 3                | 13                   | 87  |
|            | 227             | 81                | 32                        | 25               | 74                   | 91  |

## 5.4 Verwendetes Messsystem

Die Messungen werden mit Tinytalk-Messfühlern (sh. Anhang II, Montageanleitung Teil B) des Schweizer Wiederverkäufers Messmatik ausgeführt, die sich in früheren Messungen des Auftragnehmers als zuverlässig gezeigt haben. Die Speicher verfügen über eine Kapazität von 16'000 Messpunkten. Die Intervalle der Messungen lassen sich programmieren und die gespeicherten Daten in eine Exceldatei exportieren und somit dort als Grafik darstellen. Die Fühlergenauigkeit ist mit 0.4K im Bereich von 0 bis 70°C genügend genau. Das System hat sich wiederum sehr gut bewährt, in dem in keinem Fall der ausgewerteten 180 Fühler Datenwerte verloren gegangen sind.

## 6 Bewertungsschlüssel für Erdwärmesonden

### 6.1 Problemstellung

Diskussionen mit verschiedenen Wärmepumpenanbietern haben gezeigt, dass in der Branche keine Einigkeit besteht, wann eine Erdsonde als unterkühlt betrachtet werden soll.

Für die Prognose des Verhaltens einer Erdsonde müssen viele Parameter beachtet werden, wie die Belastung in W/m und in kWh/m/a, die Wärmeleitfähigkeit und –kapazität des umgebenden Erdreichs, die Wirkung von Grundwasserbewegungen, der Standort nördlich oder südlich der Alpen und die Höhe über Meer, die Sondenlänge und Zahl und Abstand der Nachbarsonden. Alle die für die Prognose notwendigen Parameter in einem Bewertungsdiagramm abzubilden wäre nicht machbar. Zudem verändern sich einige der Parameter im Lauf der Zeit.

### 6.2 Lösung

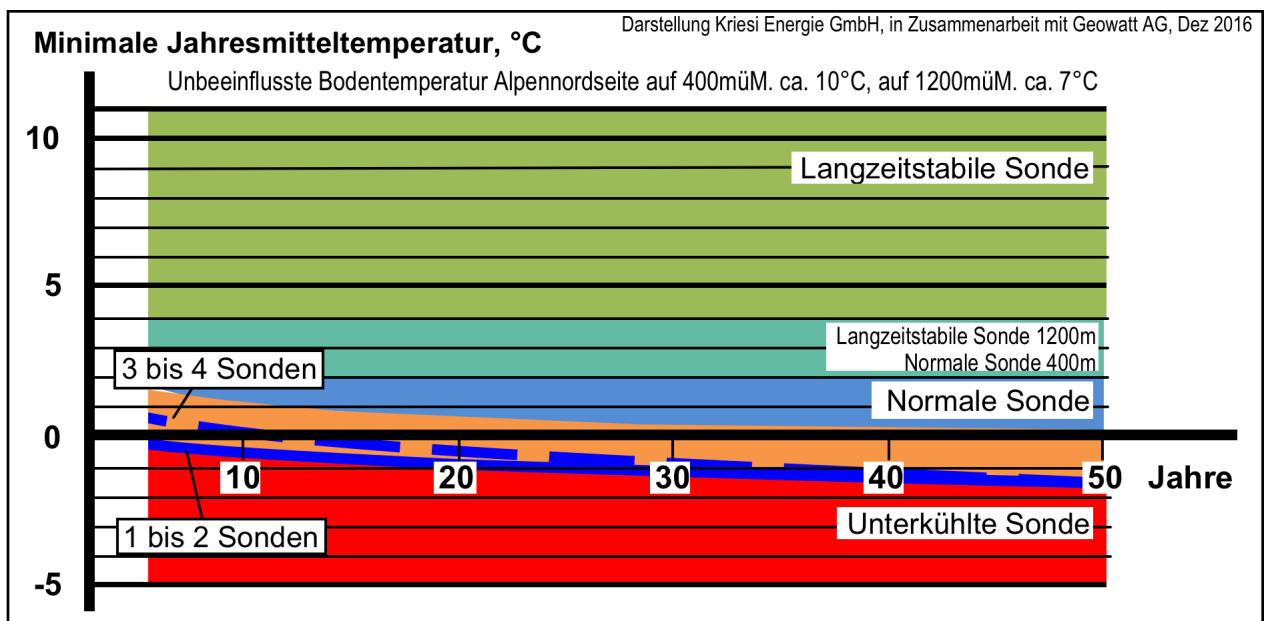
Für die Bewertung genügt eine wesentlich einfachere Darstellung als für eine Prognose, weil nur wenige Eigenschaften von Belang sind: Die Planungsbedingung der SIA 384/6 verlangt, Erdsonden so zu dimensionieren, dass das Jahresminimum der Sondenmitteltemperatur (Mittelwert zwischen Vor- und Rücklauf) nach 50 Betriebsjahren nicht unter  $-1.5^{\circ}\text{C}$  fällt, unabhängig von Standort und Eigenschaften des Untergrunds und des Wärmebezugs sowie eventueller Nachbarsonden. Entsprechend muss ein Bewertungsdiagramm damit lediglich den Endpunkt nach 50 Jahren sowie die übliche Neigung im Falle von 1 bis 2 resp. 3 bis 4 nahe liegender Sonden einbeziehen. Werte für die Neigungen wurden durch Simulationen der Geowatt AG vom 19.12.2016 im Auftrag des Bundesamts für Energie ermittelt.

Die Beurteilung ist also unabhängig von Meereshöhe, spezifischer Sondenbelastung, Sondenlänge, Untergrundeigenschaften und Abstand zu Nachbarsonden, weil die minimale mittlere Erdwärmesondentemperatur (Mittel zw. Vor- und Rücklauf) von  $-1.5^{\circ}\text{C}$  (bei 3K Spreizung) nach 50 Betriebsjahren gem. SIA 384-6 generell gilt. Zum Nachweis der Konformität einer Sonde mit der Norm genügt also ein Vergleich der aktuellen Minimaltemperatur mit den bekannten Absinklinien für 1 bis 2, resp. für 3 bis 4 Sonden. Liegt die Jahresminimaltemperatur einer Sonde über den Grenzklinien, ist sie konform.

Viele Sonden erreichen dank Wasserbewegungen im Erdreich jeden Sommer oder sogar nach jeder Einschaltung wieder fast oder vollständig die Temperatur des unbeeinflussten Erdreichs. Sie sind damit langzeitstabil. Die Grenze zwischen langzeitstabiler und normaler Sonde ist etwas willkürlich gelegt. Sie ergibt

sich für das Mittelland durch die unbeeinflusste Erdreichtemperatur von 11°C und die maximal zu erwartende Betriebsabsenkung von etwa 7K. Unter Betriebsabsenkung wird dabei der Temperaturabfall verstanden, der sich bei laufender gegenüber abgestellter Wärmepumpe ergibt. Zur Anwendung des Diagramms wird dabei von einer Mindestlaufzeit der Wärmepumpe von 4 Stunden ausgegangen. Auf 1200m.ü.M., mit einer Temperatur des unbeeinflussten Erdreichs von nur noch 7°C, finden sich dank Wasserbewegungen im Untergrund langzeitstabile Sonden auch mit tieferer Temperatur. Hier muss aber die spezifische Sondenbelastung kleiner gewählt werden, um dank kleinerer Betriebsabsenkung trotz der tieferen Ausgangstemperatur Jahresminimaltemperaturen über dem Gefrierpunkt zu erhalten.

Bild 6.2-1: Einteilung älterer Erdsonden in die Kategorien „Langzeitstabil“, „Normal“, „Unterkühlt“ aufgrund des Jahresminimalwertes der gemessenen Sondenmitteltemperatur.



Die Sondenmitteltemperatur wird während des Jahres in Form einer Sinusschwingung mit einer grösseren oder kleineren, weitgehend von der spezifischen Sondenbelastung abhängigen Amplitude variieren. Der Wert lässt sich aus 6 gerechneten Fällen der Geowatt AG ableiten. Für 1 bis 4 Sonden und Differenzen zwischen ungestörtem Erdreich und Minimalwert von 11 bis 16 K ergibt sich mit dieser einfachen Betrachtungsweise ein maximaler anlagebedingter Fehler von +/- 6%, bei maximaler Abweichung zwischen Jahresmaximum und -minimum von 6K also von +/-0.4K. Dieser Fehler liegt im Bereich der Messgenauigkeit der für diese Arbeit verwendeten Thermometer. Um den Einfluss der Spreizung zwischen Sondenein- und austritt zu eliminieren, wird die Sondenmitteltemperatur als Krite-

rium verwendet. Diese Monatskorrektur kann aber wetterbedingt vom verwendeten Mittelwert abweichen (sh. Kap. 7.5).

Bild 6.2-2: Dimensionsloser Normjahresverlauf der minimalen Sondentemperatur  
(Aus Simulationen der Geowatt AG vom 19.12.2016, im Auftrag des Bundesamts für Energie)

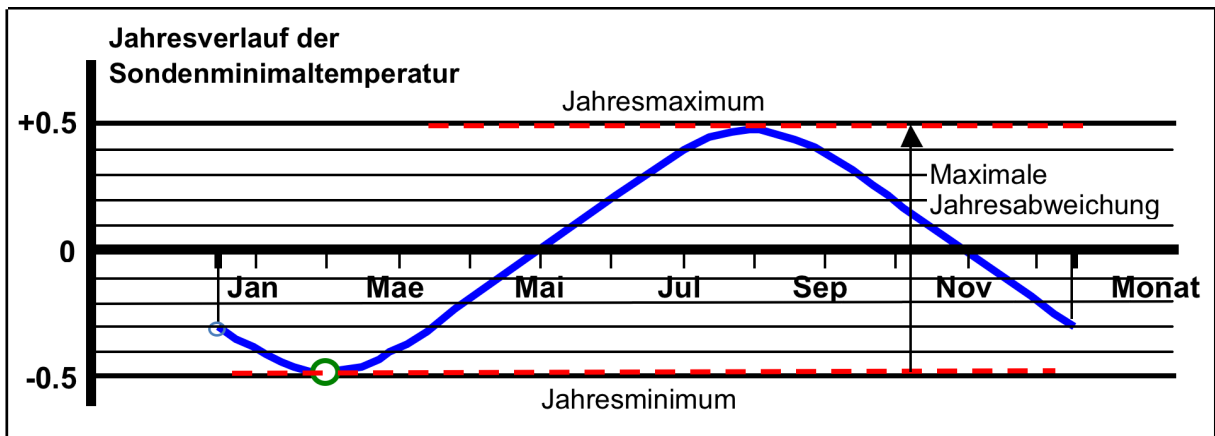
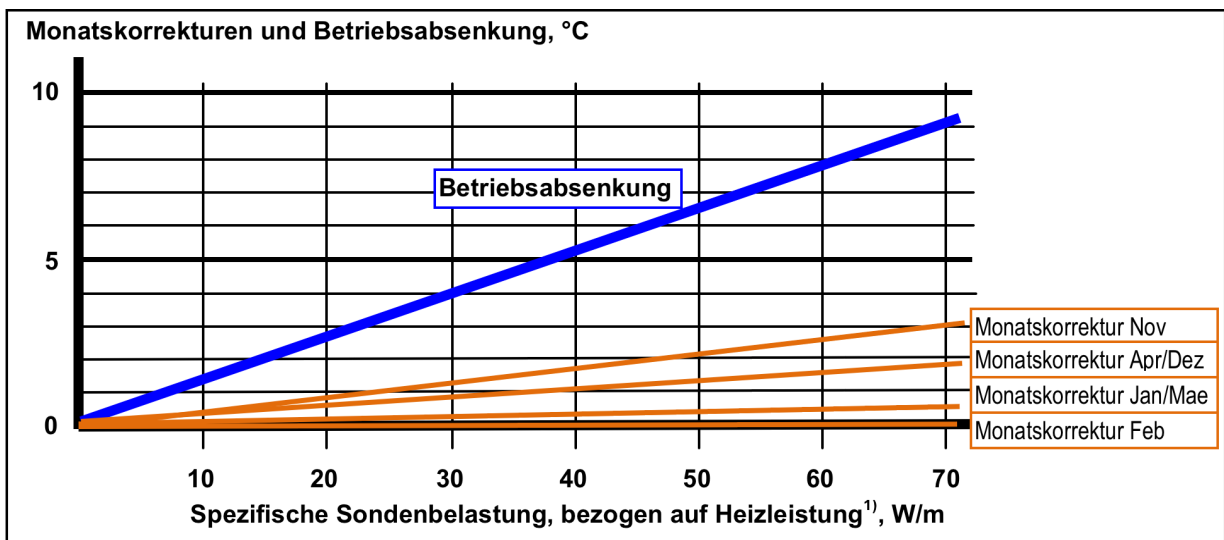


Bild 6.2-3: Monatliche Minima der Sondenmitteltemperatur.

(gem. Simulationen der Geowatt AG vom 19.12.2016 im Auftrag des Bundesamts für Energie)

- Maximale Monatskorrektur =  $0.085 \times \text{spez. Sondenbelastung (in } ^\circ\text{C resp. K)}$ . Der Wert kann bei starker Abweichung der Monatstemperaturen vom langjährigen Mittelwert variieren. Es werden nur die Monate November bis April dargestellt, weil in üblichen Anlagen im Sommer die minimale Laufzeit der Wärmepumpe von 4 Stunden zur korrekten Anwendung des Diagramms in Bild 6.2-1 nicht erreicht wird.
- Betriebsabsenkung nach >4 Stunden Betrieb gegenüber >12 Stunden abgeschalteter Wärmepumpe =  $0.13 \times \text{spezifische Sondenbelastung (in } ^\circ\text{C resp. K)}$



Der in Kapitel 6.3 vorgeschlagene und zur Beurteilung der Sonden im Rahmen dieser Arbeit verwendete Bewertungsschlüssel erlaubt die Beurteilung anhand der gemessenen Sondentemperaturen in 3 Fällen:

A. Der Servicetechniker trifft auf eine betriebsbereite Anlage. Nachdem die Wärmepumpe vor der Messung mindestens 4 Stunden in Betrieb stehen muss, für die Warmwasserbereitung üblicherweise aber deutlich weniger Zeit benötigt wird, wird hierfür bevorzugt ein Zeitpunkt während der Heizperiode gewählt. Vom Mittelwert von Vor- und Rücklauf der Erdsonde wird die Monatskorrektur gemäss Bild 2 (sh. Kap. 6.3, Bewertungsschlüssel, Beispiel A) abgezogen und das Resultat mit den minimal erforderlichen Kurven der Jahresminimaltemperatur in Bild 1 verglichen. Je nach Bereich wird die Sonde als „Langzeitstabil“, „Normal“ oder „Unterkühlt“ beurteilt.

B. Der Servicetechniker trifft auf eine seit mindestens 12 Stunden defekte Wärmepumpe. Durch Einschalten der Sondenpumpe während mindestens 1 Stunde lässt sich die Sondentemperatur ablesen. Um von diesem Wert zum Jahresminimalwert zu gelangen, wird wiederum die Monatskorrektur abgezogen. Zusätzlich wird in diesem Fall die Betriebsabsenkung abgezogen, d.h. die Temperaturdifferenz, die sich bei laufender Wärmepumpe durch den Bohrlochwiderstand ergibt, also durch den Wärmefluss aus der nächsten Umgebung des Erdreichs bis zur Sole (sh. Kap. 6.3, Bewertungsschlüssel, Beispiel B). Auch diese Betriebsabsenkung ist weitgehend allein von der spezifischen Erdwärmesondenbelastung abhängig, wiederum mit einem vernachlässigbaren Fehler von  $\pm 6\%$  gemäss den von Geowatt gerechneten Varianten.

C. Liegt eine Messreihe mindestens über das Winterhalbjahr vor, so kann der minimale Mittelwert aus Vor- und Rücklauf direkt in Bild 1 eingezeichnet werden, um die Sonde wiederum einem der 3 Bereiche zuordnen zu können. Diese Methode bietet die deutlich grösste Bewertungssicherheit.

## 6.3 Bewertungsschlüssel

### Bewertung des Zustands älterer Erdwärmesonden

(Für mindestens 8 Jahre in Betrieb stehende Sonden, Standorte in der Schweiz von 200 bis 1300müM. Minimumbestimmung durch Auswertung >150 Messpunkte/Monat oder manuelle Messung an kältesten Tagen im Monat während mindestens 1 Wintermonat, mit Messfühlern je in Vor- und Rücklauf, max. Fühlerfehler +/-0.5 Grad)

#### 1. Anlagedaten:

|                                            |               |         |                |
|--------------------------------------------|---------------|---------|----------------|
|                                            | Name, Vorname | Adresse | PLZ, Ort       |
| Sondenbetreiber                            |               |         |                |
|                                            | Höhe ü.M.     | Adresse | PLZ, Ort       |
| Sondenstandort                             |               |         |                |
| Sondenzahl und -tiefe:                     |               |         | Anzahl x Meter |
| Heizleistung der installierten Wärmepumpe: |               |         | kW             |
| Sondenalter:                               |               |         | Jahre          |

#### 2. Messdaten:

Minimale Mitteltemperatur von Vor- und Rücklauf der Erdsonde während Messperiode:

(Messung nach mindestens 3 Stunden Laufzeit der Wärmepumpe)

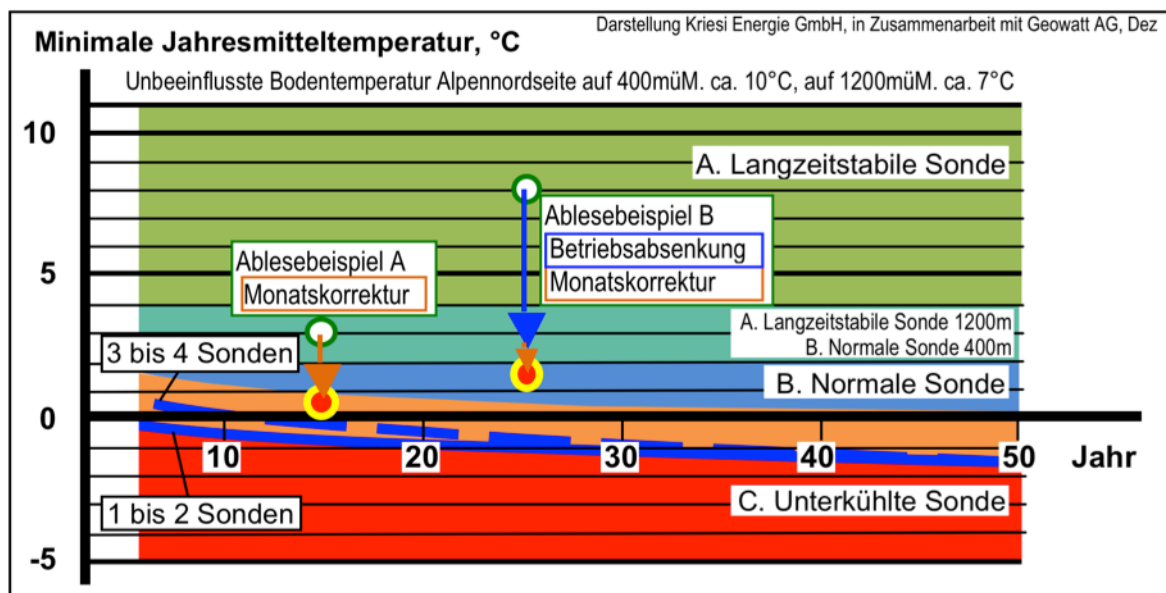
| Monat    | Mini. Mitteltemp. °C | Monat    | Mini. Mitteltemp. °C | Monat   | Mini. Mitteltemp. °C |
|----------|----------------------|----------|----------------------|---------|----------------------|
| November |                      | Dezember |                      | Januar* |                      |
| Februar* |                      | März     |                      | April   |                      |

\* Monate mit minimalem Fehler zur Bestimmung der minimalen Jahresmitteltemperatur

#### 3. Beurteilung, Ablesewert und Sondenkategorien

##### Bild 1: Bestimmung der Sondenkategorie aufgrund tiefster Jahresmitteltemperatur

Kriterium für Unterkühlte Sonde: Minimale Jahresmitteltemperatur wird nach 50 Betriebsjahren tiefer liegen als -1.5°C (von SIA 384/6 geforderte Minimaltemperatur zur Vermeidung von Sondenschäden)

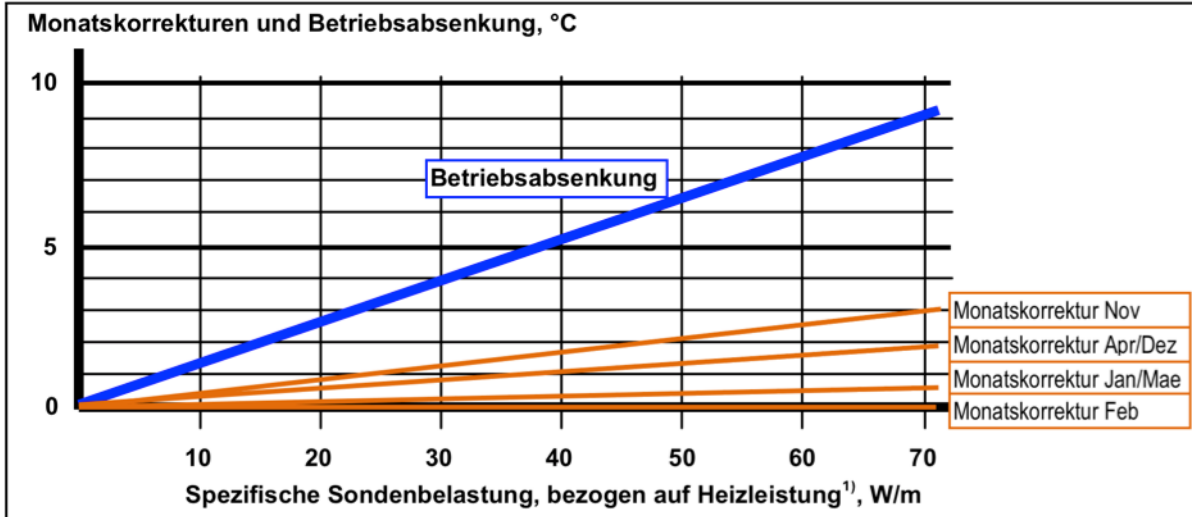


Bewertung durch Zuordnung zu Kategorien A bis C (Erklärungen s. Kap. 5. Hinweise):

- A. „Langzeitstabile Sonde“: Langfristig gute Wirkungsgrade der Wärmepumpe zu erwarten;
- B. „Normale Sonde“: Dürfte ohne Regeneration während 50 Betriebsjahren über Minimalwert bleiben;
- C. „Unterkühlte Sonde“: Wird für die längerfristige Verwendbarkeit wahrscheinlich eine Entlastung der Sonde oder eine Regeneration benötigen.

#### 4. Vorgehen, falls Messung nicht zur kältesten Jahreszeit oder bei abgeschalteter Wärmepumpe erfolgt ist (sh. dazu auch Kap. 5, Hinweise):

Bild 2: Korrekturfaktoren



##### 4.1. Messung, wenn Wärmepumpe seit >4 Stunden in Betrieb ist:

Minimaltemperatur gem. Bild 1 = Messwert – Monatskorrektur gem. Bild 2

Spezifische Sondenbelastung = Wärmepumpenwärmeleistung / Gesamte Sondenlänge (in W/m)

**Ablesebeispiel A:** Messung an 15-jähriger Einzelsonde im Mittelland im Nov. im Betrieb >4 Stunden:  
 Sondenlänge 200m; Wärmepumpenheizleistung 12kW;  
 D.h. Spezifische Sondenbelastung (Basis Heizleistung<sup>1)</sup>):  $12000\text{W}/200\text{m} = 60\text{W/m}$   
 Gemessene Vorlauftemperatur = 5°C; Gemessene Rücklauftemperatur = 1°C  
 D.h. Sondenmitteltemperatur:  $\frac{1}{2} \times (1.0^\circ\text{C} + 5.0^\circ\text{C}) = 3.0^\circ\text{C}$   
 Monatskorrektur gemäss Bild 2: 2.5K  
 Minimale Jahrestemperatur:  $3^\circ\text{C} - 2.5\text{K} = 0.5^\circ\text{C}$   
 Die Mitteltemperatur der Sonde liegt über dem Minimalwert der Einzelsonde. D.h. sie dürfte bei gleicher Belastung nach 50 Betriebsjahren immer noch über dem verlangten Minimum von  $-1.5^\circ\text{C}$  liegen. Da der Wert knapp an der Grenze liegt, wird empfohlen, die Sondentemperatur vor Ersatz der Wärmepumpe erneut zu messen und Möglichkeiten zur Entlastung oder Regeneration der Sonden zu prüfen.

##### 4.2. Messung, wenn Wärmepumpe seit >12 Stunden aus, Sondenpumpe ein seit >1 Stunde:

Minimaltemperatur gem. Bild 1 = Messwert – Monatskorrektur – Betriebsabsenkung gem. Bild 2

Spezifische Sondenbelastung = Wärmepumpenwärmeleistung / Gesamte Sondenlänge (in W/m)

**Ablesebeispiel B:** Messung an 25-jähriger Einzelsonde im Dez. nach 1 Stunde Laufzeit Sondenpumpe:  
 Sondenlänge 125m; Wärmepumpenheizleistung 5kW;  
 D.h. Spezifische Sondenbelastung (Basis Heizleistung<sup>1)</sup>):  $5000\text{W}/125\text{m} = 40\text{W/m}$   
 Gemessene Sondentemperatur = 8°C;  
 Monatskorrektur gemäss Bild 2: 1K  
 Betriebsabsenkung gemäss Bild 2: Ca. 5.3K  
 Minimale Jahrestemperatur:  $8^\circ\text{C} - 1\text{K} - 5.3\text{K} = 1.7^\circ\text{C}$   
 D.h. die Mitteltemperatur der Sonde dürfte bei gleicher Belastung nach 50 Betriebsjahren immer noch klar über dem verlangten Minimum von  $-1.5^\circ\text{C}$  liegen.

<sup>1)</sup> Die spezifische Sondenbelastung wird auf die Heizleistung bezogen, weil nur diese in den Geografischen Informationssystemen, GIS, verfügbar und für den Anlagenbetreiber am einfachsten zu ermitteln ist. Diese Vereinfachung ist zulässig, weil der Unterschied der Kühlleistung mit steigender Jahresarbeitszahl klein ist (12% bei einem Anstieg von 3 bis 4).

## 5. Hinweise:

- Zu 4.1: Die Messungen sollten w.m. während der kältesten Periode im Jahr, d.h. in den Monaten Januar und Februar, und bei seit mindestens 4 Stunden laufender Wärmepumpe erfolgen. Mit höherer Laufzeit sinkt die Sondentemperatur zwar immer weiter ab. Nach mehr als 4 Stunden Betrieb ist der weitere Abfall jedoch nur noch klein. Müssen die Messungen während anderen Wintermonaten durchgeführt werden, so ergeben sich Fehler bei der Ermittlung der tatsächlichen Minimaltemperatur, weil die Monatskorrektur gemäss Bild 2 wetterabhängig von Jahr zu Jahr variiert. Messungen während den Sommermonaten werden ausgeschlossen, weil die Fehler zu gross und allein für die Warmwasserbereitung genügend hohe Laufzeiten der Wärmepumpe selten erreicht werden.
- Zu 4.2: Müssen die Messungen durchgeführt werden, wenn die Wärmepumpe defekt ist, also allein mit laufender Umwälzpumpe im Solekreis, ergeben sich grössere Fehler, weil zusätzlich zur Monatskorrektur die Betriebsabsenkung gem. Bild 2 eingerechnet werden muss. Letztere zeigt einen Mittelwert für den Temperaturabfall, der sich bei seit mindestens 4 Stunden laufender gegenüber abgestellter Wärmepumpe ergibt.
- Die Messungen sollten mit präzisen, speichernden Messinstrumenten vorgenommen werden. Die üblichen, an den Rohrleitungen angebrachten analogen Anzeigen sind zu ungenau. Bei nur manueller Erfassung müssen im Monatsverlauf viele Werte erfasst werden, um einen Zeitpunkt während der kältesten Tage und bei mindestens seit 4 Stunden laufender Wärmepumpe zu erwischen.
- Empfohlen wird die Position der Messfühler in den Tauchröhrchen der analogen Temperaturanzeigen in Vor- und Rücklauf des Sondenkreises. Aber Vorsicht: Es gibt Fühlervarianten, die direkt in die Flüssigkeit eingetaucht sind und deshalb nicht heraus gezogen werden dürfen. Wird die Temperatur, wie üblich, im warmen Heizraum an der Aussenseite der Kunststoffrohre gemessen, so müssen die Fühler auf der Aussenseite mit mindestens 2cm isoliert werden. Der Messwert liegt dann etwa 1°C zu hoch. Dieser übliche Messfehler wird mit dem orangen Bereich zwischen Normaler und Unterkühlter Sonde berücksichtigt. Ist der Kontakt des Messfühlers mit der Rohroberfläche schlecht oder der Fühler gegen den Raum nicht gedämmt, wird eine um mehr als 1°C zu hohe Temperatur gemessen.
- Die Aussagen zu den Kategorien A bis C beruhen auf einer ähnlichen Sondenbelastung in der Messperiode wie in den früheren und künftigen Jahren, d.h. einem ähnlichen Wärmebedarf des beheizten Gebäudes. Im konkreten Fall sind deshalb grössere Abweichungen möglich.
- Die gemessene Sondentemperatur ist weitgehend unabhängig vom Fabrikat der Wärmepumpe<sup>1)</sup>. Sie ist primär vom Standort (d.h. den Verhältnissen im Untergrund), der Anzahl weiterer Sonden im nahen Umkreis, der jährlich entnommenen Wärmemenge sowie von der Sondenbelastung (Wärmeleistung pro Meter Sondenlänge) und dem Sondenalter abhängig.
- Eine Erhöhung des Wärmebezugs resultiert in einer tieferen Nutzungsdauer der Sonde gegenüber der Prognose. Dies kann z.B. Folge einer Erweiterung der beheizten Gebäudefläche, vermehrtem Lüften mit offenen Fenstern, einer Erhöhung des Warmwasserbedarfs oder einer Schwimmbadheizung sein.
- Werden in der näheren Umgebung weitere Sonden gebaut, resultiert ebenfalls eine tiefere Nutzungsdauer gegenüber der Prognose.
- Eine höhere Nutzungsdauer der Sonde gegenüber der Prognose wird erreicht durch (sh. dazu auch BFE-Merkblatt zur Sondenregeneration):
  - o Reduktion des Wärmebezugs, also z.B. durch Dämm-Massnahmen am Haus, durch Installation eines Sonnenkollektors zur Warmwasserbereitung oder zur Heizungsunterstützung, oder durch einen Wärmepumpenboiler zur Warmwasserbereitung mit Wärmebezug aus der Aussenluft;
  - o Reduktion der Sondenbelastung durch Erstellung einer zusätzlichen Sonde;
  - o Rückgabe eines Teils der Wärme an die Sonde im Sommer, z.B. durch aktive oder passive Raumkühlung, einen Sonnenkollektor (kann auch unverglast auf einem Dach oder in den Belag eines Vorplatzes, einer Parkfläche oder eines Gehwegs integriert sein) oder einen Aussenluftkühler.
- Geeignester Zeitpunkt für Massnahmen zur Erhöhung der Nutzungsdauer ist bei Ersatz der bestehenden Wärmepumpe.

## 7 Messresultate, Auswertungen

### 7.1 Auswertung der Einzelmessungen

Am nachfolgenden Beispiel wird gezeigt, wie die relevanten Sondenmitteltemperaturen der ca. 90 Anlagen ermittelt wurden. Gemessen wurden Vor- und Rücklauftemperatur in Abständen von 4 Stunden. Bei einer Messperiode von etwa anfangs Dezember bis Ende Mai ergab dies etwa 1100 Wertepaare pro Anlage. Durch Darstellung der Temperaturwerte entsprechend aufsteigend geordneter Spreizung lassen sich die Betriebsphasen der Wärmepumpe und damit die relevanten Sondentemperaturen eindeutig erkennen, wie in Bild 7.1-2 gezeigt. Spreizungen unter 1K sind ein Hinweis, dass mindestens der Fühler an der Leitung von der Wärmepumpe zur Sonde einen schlechten thermischen Kontakt hatte, die realen Werte, zusammen mit dem üblichen Temperaturverlust über die Rohrwand, also 1 bis 2K tiefer sein dürften.

Bild 7.1-1: Beispiel einer 17-jährigen Sonde aus dem Kanton Solothurn, Tiefe 135m, spezifische Kondensatorleistung 30 W/m, Kategorie B-C, „Normale Sonde“ bis „Unterkühlte Sonde“, erstellt anhand der Daten von Bild 7.1-2:

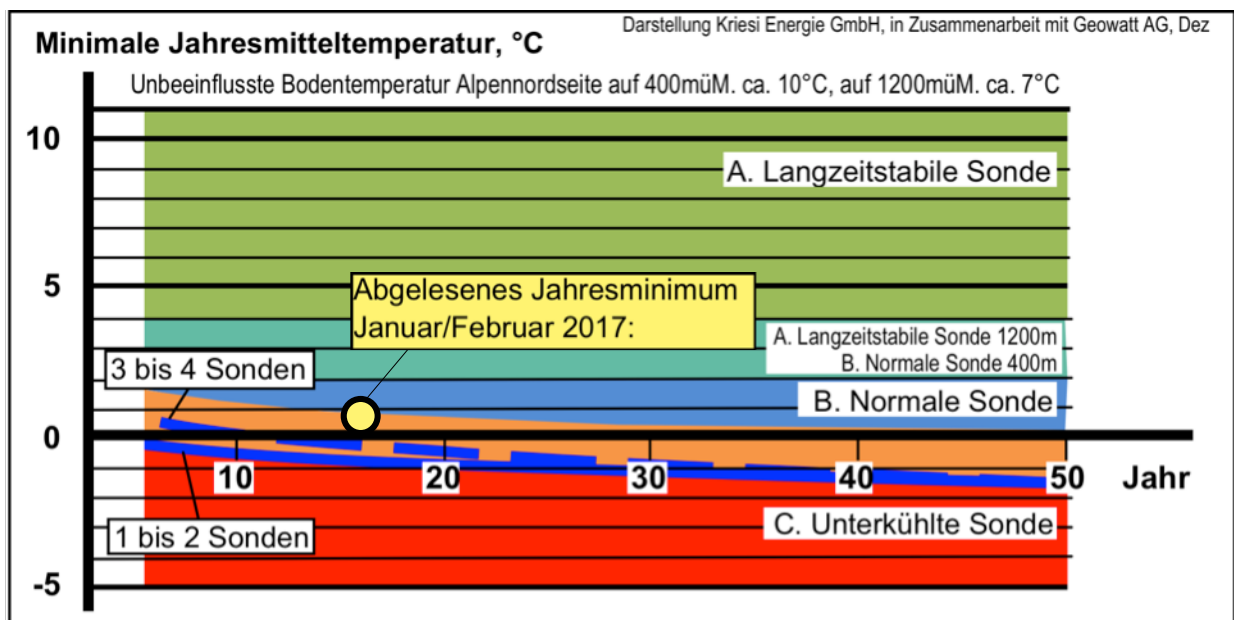
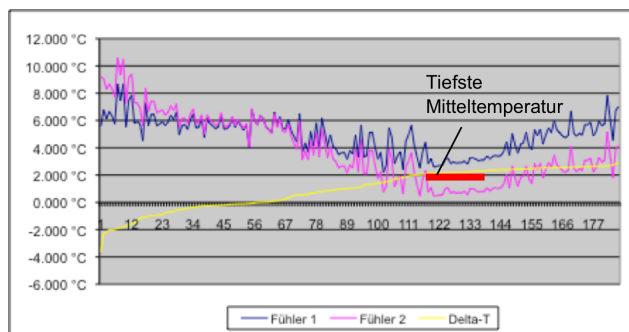
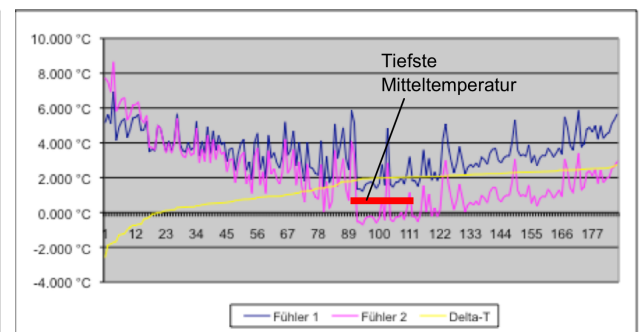


Bild 7.1-2: Die Datengrundlage für Bild 7.1-1 bilden die Vor- und Rücklauftemperaturen der Monate Dezember bis April, geordnet nach deren Differenz, also der Spreizung. Relevant sind die tiefsten Temperaturen, weil sich die Fühler bei abgestellter Wärmepumpe langsam der Raumtemperatur annähern. Zudem muss die Spreizung eine minimale Höhe erreichen, als Hinweis, dass die Anlage schon während einiger Zeit gelaufen ist. Im Mai ist die Laufzeit der Anlage allein für die Warmwasserbereitung so kurz, dass kaum mehr relevante Werte erhalten werden.

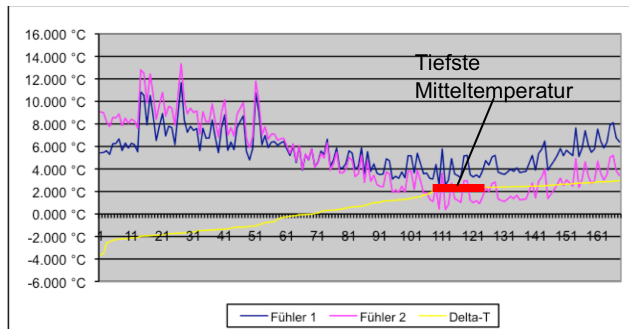
Dezember:



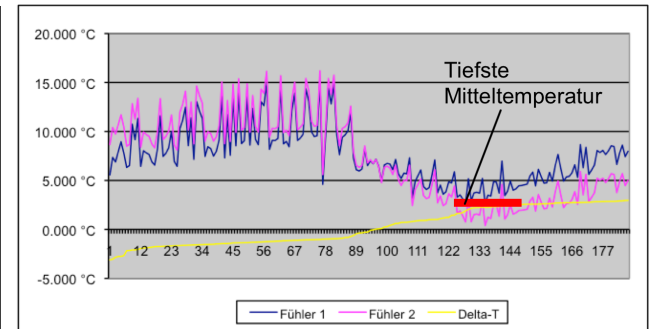
Januar:



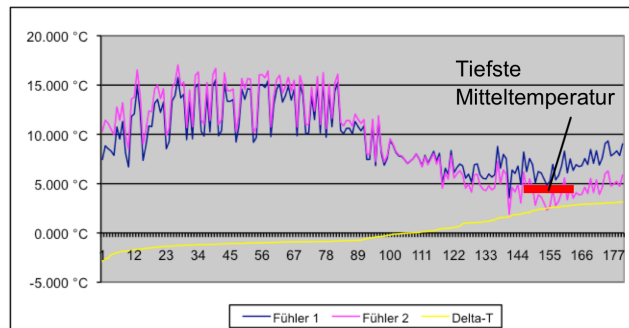
Februar:



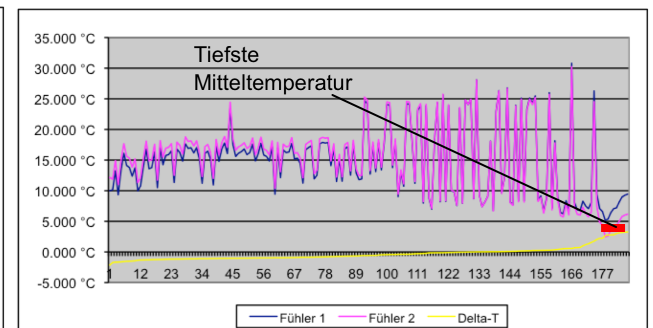
März:



April:



Mai:



## 7.2 Überblick über die Messresultate

Bild 7.2-1: Minimale Jahresmitteltemperaturen der 91 gemessenen Anlagen in Abhängigkeit des Sondenalters. Die Standortkantone der durch die Kriesi Energie GmbH direkt verteilten und die von den Firmen gelieferten Anlagen sind farblich unterschieden, letztere aber unabhängig vom Anlagenstandort. In allen Fällen waren die Wärmepumpen während der Messwerterfassung in Betrieb und in fast allen Fällen wurden die Sondentemperaturen auch während der kältesten Periode im Jahr, also in den Monaten Januar und Februar, erfasst. Eine Korrektur gemäss Bild 6.2-3 war damit nicht notwendig. Eine signifikante Abhängigkeit der Werte vom Sondenalter ist in dieser Darstellung nicht sichtbar.

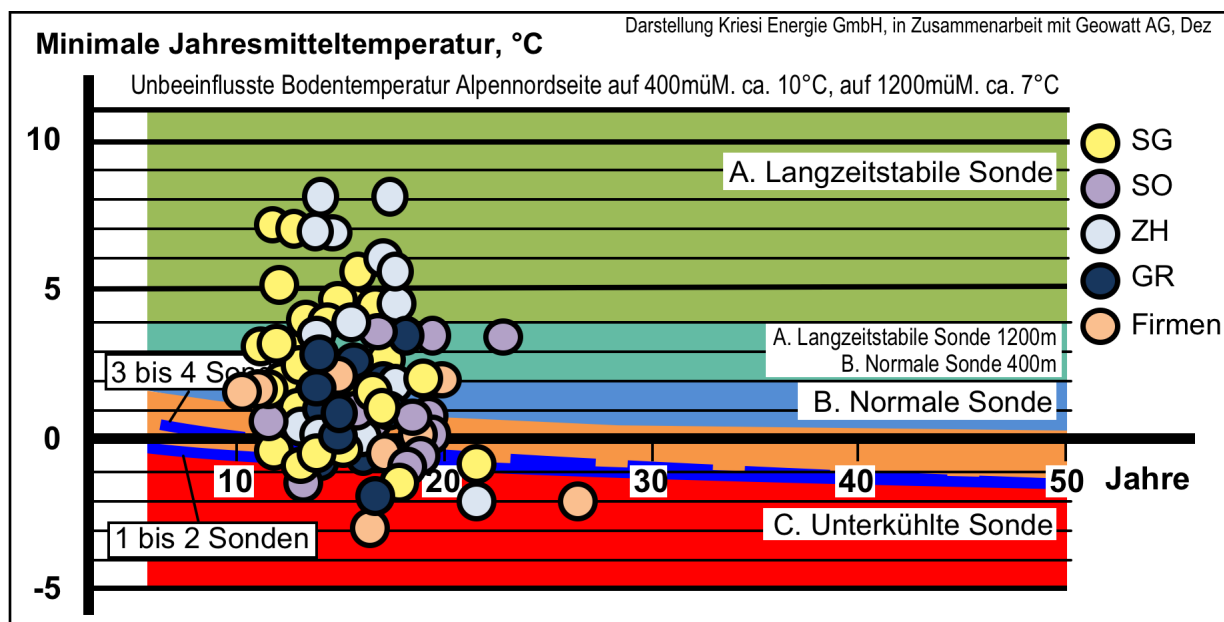
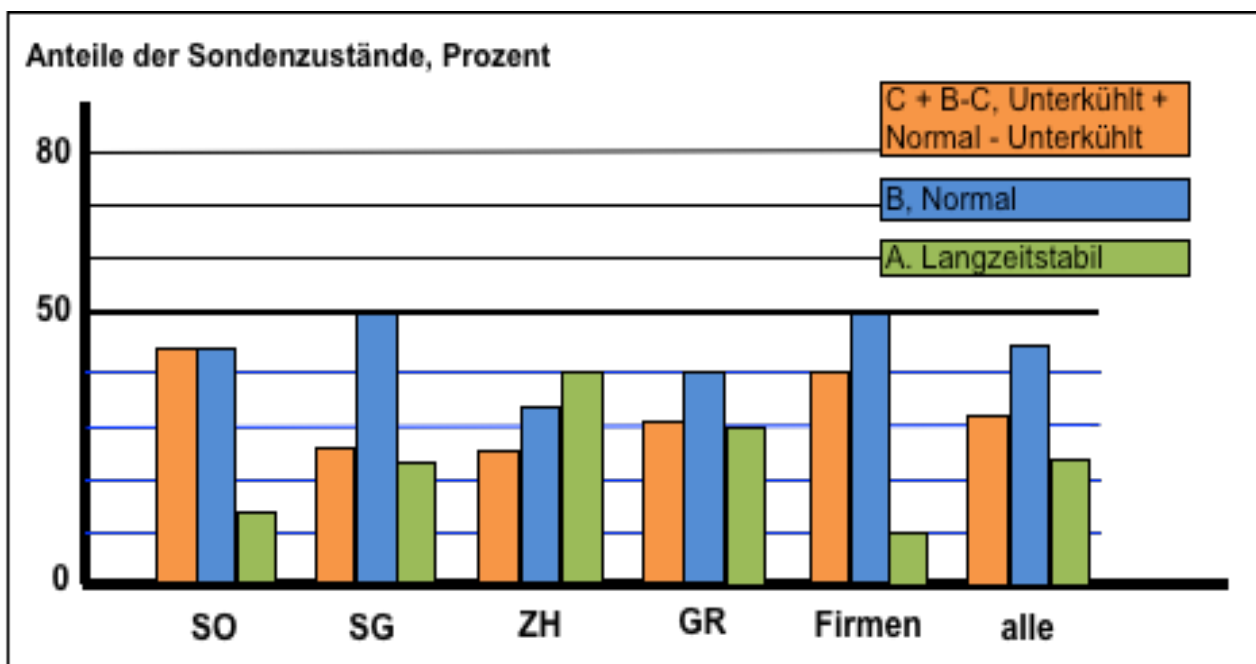


Tabelle 7.2-1: Anzahl und Anteile der Sonden in den Kategorien A bis C

| Kanton,<br>Firmen | Auswertbare<br>Resultate | davon C |    | davon C + B-C |    | davon B |    | davon A |    |
|-------------------|--------------------------|---------|----|---------------|----|---------|----|---------|----|
|                   |                          | Anzahl  | %  | Anzahl        | %  | Anzahl  | %  | Anzahl  | %  |
| Solothurn         | 16                       | 2       | 13 | 7             | 44 | 7       | 44 | 2       | 13 |
| St.Gallen         | 30                       | 3       | 10 | 8             | 27 | 15      | 50 | 7       | 23 |
| Zürich            | 15                       | 1       | 7  | 4             | 27 | 5       | 33 | 6       | 40 |
| Graubünden        | 13                       | 1       | 8  | 4             | 31 | 5       | 38 | 4       | 31 |
| Firmen            | 10                       | 2       | 20 | 4             | 40 | 5       | 50 | 1       | 10 |
| alle              | 84                       | 9       | 11 | 27            | 32 | 37      | 44 | 20      | 24 |

Bild 7.2-2, Anzahl und Anteile der Sonden in den Kategorien A bis C gem. Tabelle 7.2-1: Die Anteile der Unterkühlten und der Langzeitstabilen Sonden variieren stark mit dem Standortkanton. Obwohl im Kanton Graubünden ausschliesslich Anlagen um 1200m.ü.M. gewählt wurden, wurden dank der gewählten Absenkung der Grenze zwischen Normaler und Langzeitstabiler Sonde um 2K ähnlich viele Langzeitstabile Sonden gefunden. Die gewählte Absenkung hat sich mit diesem kleinen Sample also bestätigt. Hingegen gilt die Abgrenzung „Normal“/„Unterkühlt“ auch für diese hoch gelegenen Standorte genau gleich, bedingt durch das immer gleiche Gefrierverhalten. Der Hintergrund des tieferen Anteils langzeitstabiler Sonden im Kanton Solothurn gegenüber Zürich muss mit der zufälligen Auswahl der wenigen Standortgemeinden zusammenhängen.

Unklar sind die tieferen Werte der von den Firmen gemessenen Anlagen. Möglicherweise ist dies eine zufällige Folge der kleinen Zahl. Denkbar ist auch, dass die fachgerechtere Installation der Fühler gegenüber den durch die Betreiber installierten Fühlern Werte näher der eigentlichen Sondentemperatur zeigt. Um diese Vermutung zu erhärten, wären aber zusätzliche Messungen nötig (sh. dazu auch Bild 7.4-2).



### 7.3 Schwache Wirkung auf das Jahresminimum

Die im Folgenden dargestellten Parameter haben gegenüber der Anzahl nahe gelegener Sonden nur einen geringen Einfluss.

Bild 7.3-1: Minimale Jahresmitteltemperatur geordnet nach dem Sondenalter. Verglichen mit der Anzahl Sonden ist die Wirkung des Sondenalters auf das Mittel der Minimalwerte mit etwa 2.5K zwischen 10 und 27 Jahren deutlich geringer.

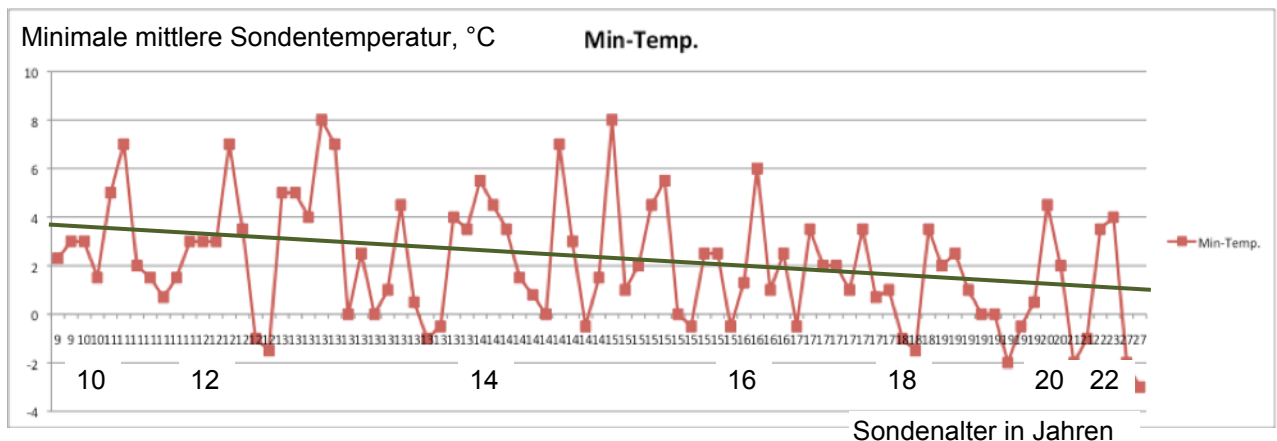


Bild 7.3-2: Jahresminimum und spezifische Kondensatorleistung (Heizleistung pro Erdsondenmeter). Doch eher erstaunlich zeigt sich keine Abhängigkeit der gemessenen Minimaltemperaturen von der spezifischen Heizleistung pro Sondenlänge von 10 bis 90 Watt pro Meter. Wohl beruht die Angabe der Heizleistung der Wärmepumpen lediglich auf den Angaben der Installateure im GIS resp. in wenigen Fällen der Betreiber auf Anfrage. Da damit aber alle Angaben dem gleichen systematischen Fehler (Überdimensionierung der Anlagen durch Planer und Installateure) unterworfen sind, ist die Darstellung trotzdem ein wichtiger Hinweis, dass die spezifische Sondenbelastung gegenüber der jährlich entnommenen Energie als Faktor überschätzt wird. Leider ist die zur Ermittlung der Jahresenergie erforderliche Betriebsstundenzahl der Wärmepumpen nicht verfügbar.

Erst, wenn die Grenzwerte auf beiden Seiten der Skala als vermutlich fehlerhafte Angaben weggelassen werden, ergibt sich eine Differenz von etwa 2K zwischen 40 und 70W/m Kondensatorleistung (punktierte Linie).

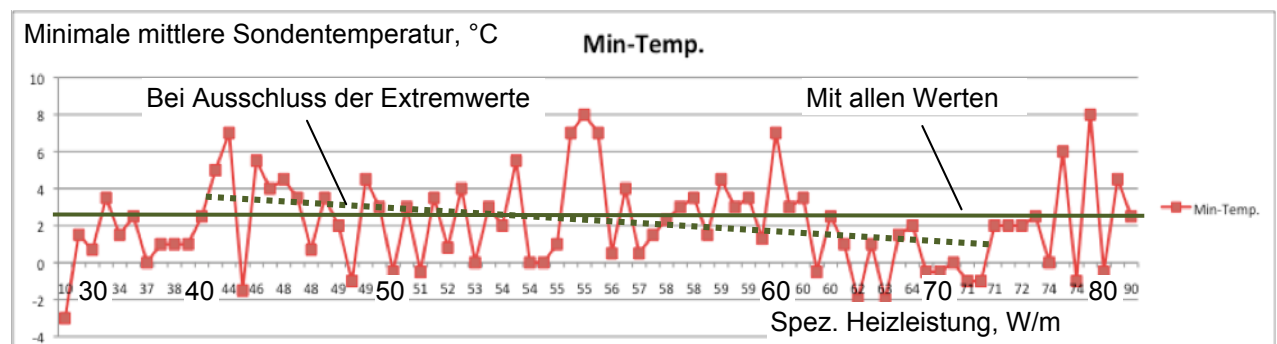
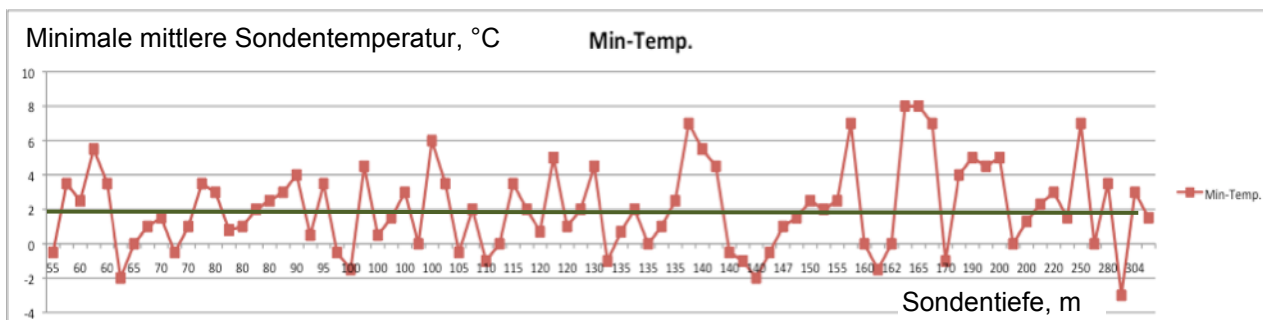


Bild 7.3-3: Jahresminimum und Sondentiefe. Tiefere Sonden sind wärmer als kürzere. Eine Abhängigkeit der minimalen mittleren Sondentemperatur bei einer Variation der Tiefe von 55 bis 300m lässt sich trotzdem nicht erkennen.



## 7.4 Starke Wirkung auf das Jahresminimum

Bild 7.4-1: Minimale Jahresmitteltemperatur, geordnet nach Anzahl nahe gelegener Erdwärmesonden, innerhalb der Gruppen gleicher Sondenzahl nach Sondenalter. Sonden mit 3 bis 6 weiteren Sonden im Umkreis von etwa 30 Metern sind etwa 5K kühler gegenüber Einzelsonden. Sondenfelder sind – nicht unerwartet – mit einer Differenz von etwa 5K deutlich heikler bezüglich Unterkühlung als Einzelsonden. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Regeneration notwendig wird, ist bei Sondenfeldern also deutlich höher.

Auch mit diesem stärksten Parameter gibt es grosse Abweichungen vom Mittelwert, weil Wasserbewegungen im Untergrund auch bei einem Sondenfeld zu hohen und umgekehrt ein trockener Untergrund auch bei Einzelsonden zu tiefen Minimaltemperaturen führen können.

Die Anzahlen nahe gelegener Sonden beruhen teils auf Angaben der Betreiber, teils auf den kantonalen GIS. Entsprechend sind sie unsicher.

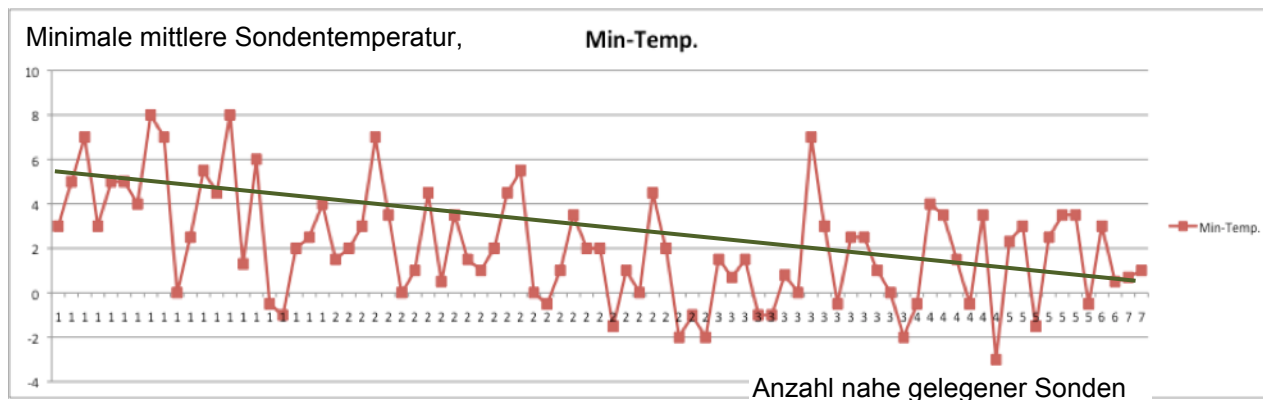
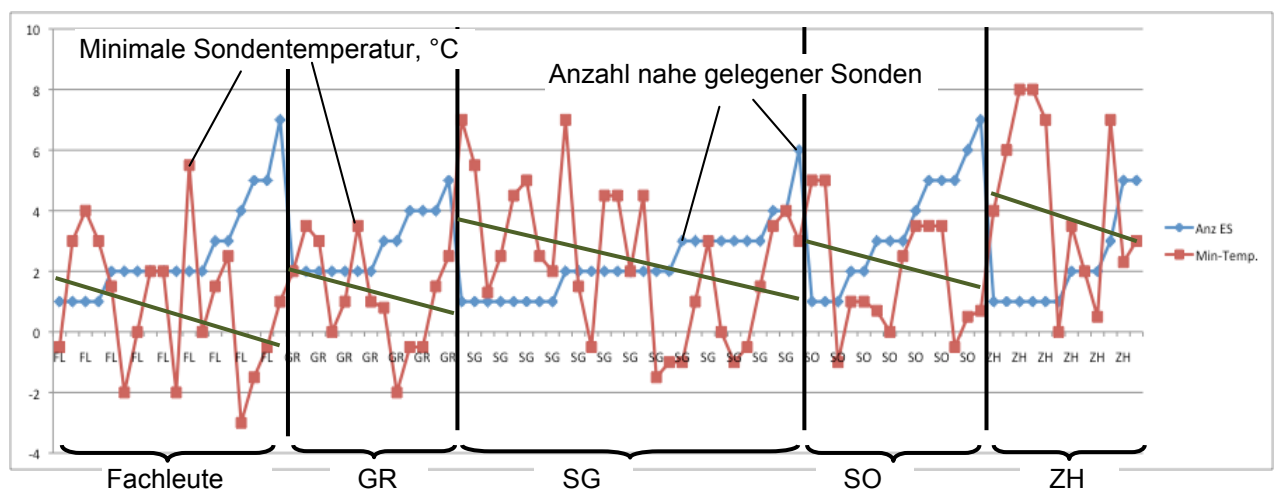


Bild 7.4-2: Mittlere Minimaltemperatur, geordnet nach Kantonen und nach von Fachleuten installierten Messdosen. Innerhalb der Gruppen sind die Werte geordnet nach Anzahl Erdwärmesonden in der näheren Umgebung. Selbst mit den kleinen Anzahlen an Messwerten pro Kanton lässt sich die in Bild 7.4-1 gezeigte Abhängigkeit von der Anzahl Sonden in der näheren Umgebung (eigene und fremde) ablesen. Um eine möglichst grosse Zahl der durch Fachleute installierten Gruppe zu erhalten, sind darin auch jene Resultate aus den Kantonen SG, ZH, SO enthalten, die von der Kriesi Energie GmbH montiert wurden oder von Betreibern, die als in der Wärmepumpenbranche tätig erkannt wurden. Die Wahrscheinlichkeit für korrekt installierte Fühler ist bei diesen Anlagen höher. Ob der tiefere Mittelwert der Gruppe „Fachleute“ gegenüber den Werten mit durch Laien installierten Fühlern eine Folge hiervon ist oder Zufall, kann nur durch eine gezielte neue Untersuchung festgestellt werden. Eine systematische Differenz würde bedeuten, dass der reale Anteil Unterkühlter Sonden noch höher wäre.



## 7.5 Temperaturdifferenzen Dezember/April – Jahresminimum

Bild 7.5-1: Temperaturdifferenz zwischen Werten April und Jahresminimum in Abhängigkeit der spezifischen Sondenleistung. Für z.B. 60W/m ergibt sich ein ungefährer Mittelwert von knapp 3K.

In obigem Bild 6.2-3 ist die erwartete Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen den einzelnen Monatsminima und dem Jahresminimum gezeigt. Für z.B. 60W/m beträgt dieser Wert für den Monat April 1.5K, also nur halb so viel wie der gemessene Mittelwert und dies, obwohl die reale spezifische Kondensatorleistung gegenüber den Angaben überschätzt sein dürfte. Die Ursache muss beim speziell warmen Frühjahr 2017 liegen, der die Sondentemperaturen in den Monaten März und April überdurchschnittlich ansteigen liess.

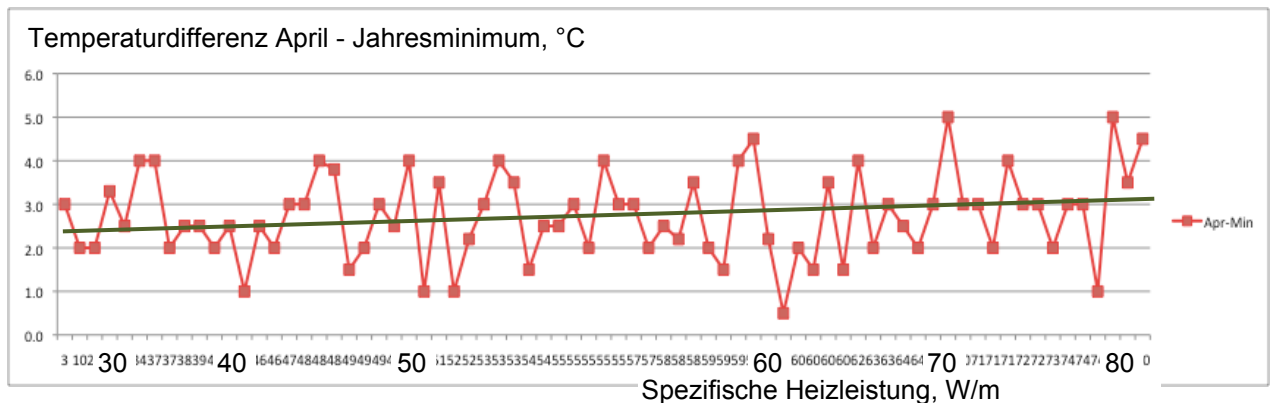


Bild 7.5-2: Temperaturdifferenz zwischen Werten Dezember und Jahresminimum, in Abhängigkeit der spezifischen Sondenleistung. Die Werte sind in diesem Falle nur etwa halb so gross wie in Bild 7.5-1, April minus Minimum, obwohl gemäss Bild 6.2-3 diese beiden Differenzen mit ca. 1.5K gleich gross sein sollten. Dies stützt die These, dass die grösseren Anstiege bis April durch das überdurchschnittlich warme Frühjahr bedingt sind.

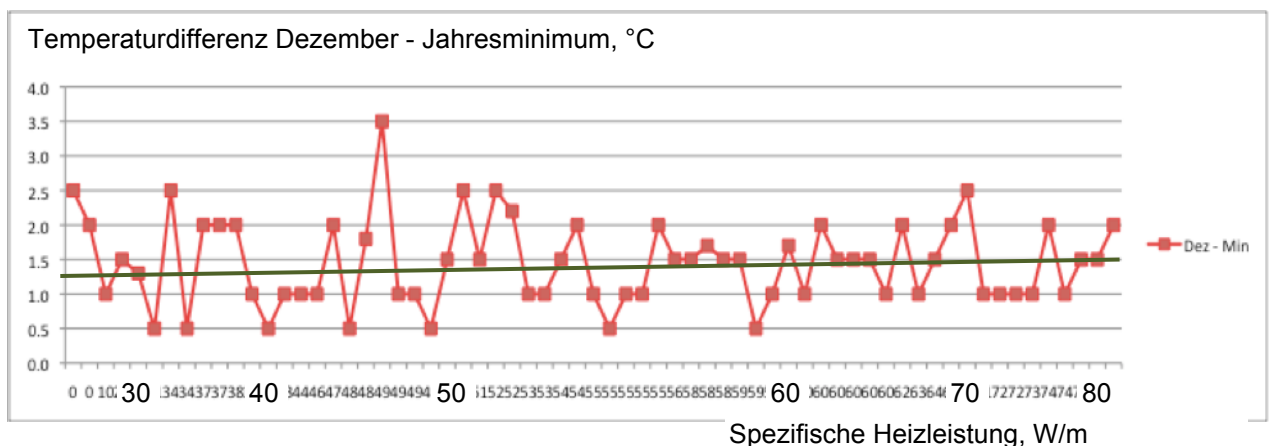
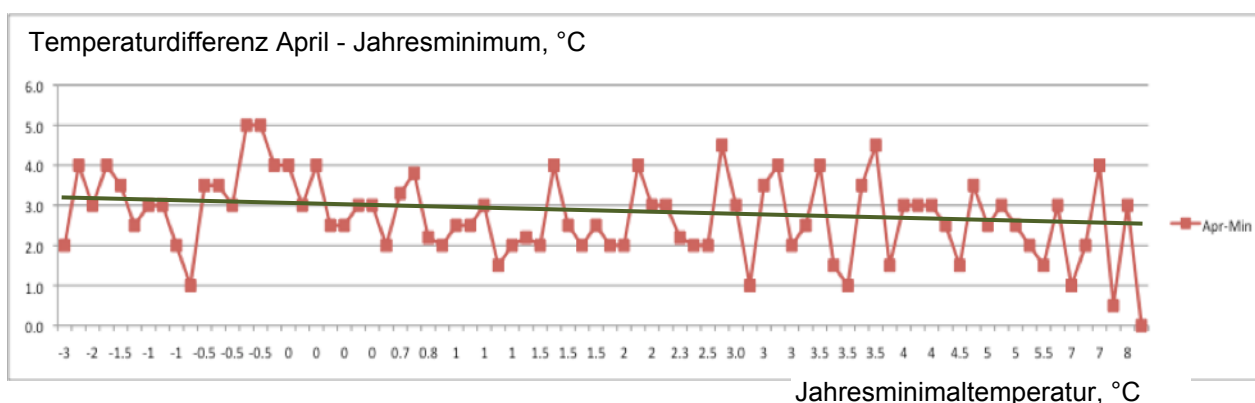


Bild 7.5-3: Temperaturdifferenz zwischen Werten April und Jahresminimum, in Abhängigkeit vom Jahresminimum. Der Anstieg vom tiefsten Punkt im Jahr bis April ist im Mittel schwach von der absoluten Minimaltemperatur abhängig.

Bei Anlagen mit tiefer Temperatur und geringer Erholung bis zum Frühjahr dürfte das Erdreich im weiteren Umfeld abgekühlt sein. Eine Entlastung der Sonde dürfte also wenig nützen. In diesem Falle steht eine Regeneration im Vordergrund. Umgekehrt müsste bei Anlagen mit tiefer Temperatur und starker Erholung bis zum Frühjahr eine Entlastung der Sonde eine gute Wirkung zeigen.



## 8 Merkblatt zur Regeneration von Erdwärmesonden

### Entwurf 4

#### Möglichkeiten zur Entlastung und Regeneration unterkühlter Erdsonden

##### 1. Einleitung

Erdsonden sind an vielen Orten die beste Möglichkeit, um eine Heizung mit fossilen Brennstoffen durch eine Wärmepumpe zu ersetzen. Die Wärmepumpe bezieht ihre Wärme in diesem Fall aus dem Erdreich, das im schweizerischen Mittelland im unberührten Zustand etwa 10°C aufweist. Die Erdsonde dient dabei als Wärmetauscher.

Durch den Wärmebezug kühlt sich das Erdreich um die Erdsonde ab, womit Wärme aus der weiteren Umgebung zufließt. Wärme fliesst von oben, u.a. mit dem Regen, und vom wärmeren Erdinneren von unten nach. Um den winterlichen Bezug auszugleichen, muss aber der grösste Teil seitlich zufließen können. Befinden sich im weiteren Umkreis keine oder nur 1-2 weitere Sonden, so sinkt die Temperatur nach einigen Betriebsjahren in jedem Fall nur noch ganz langsam ab, etwa entsprechend der Neigung der blauen Kurven im Bild. Gibt es im Untergrund zufällig Wasserbewegungen, wie an vielen Orten in der Schweiz der Fall, so fliesst die Wärme über grössere Distanzen zu, womit die Temperatur der Sonden, auch mehrerer nahe beisammen liegender, jeden Sommer wieder auf den Ursprungswert ansteigt und die Sonde damit langzeitstabil ist (grüner Bereich im Bild).

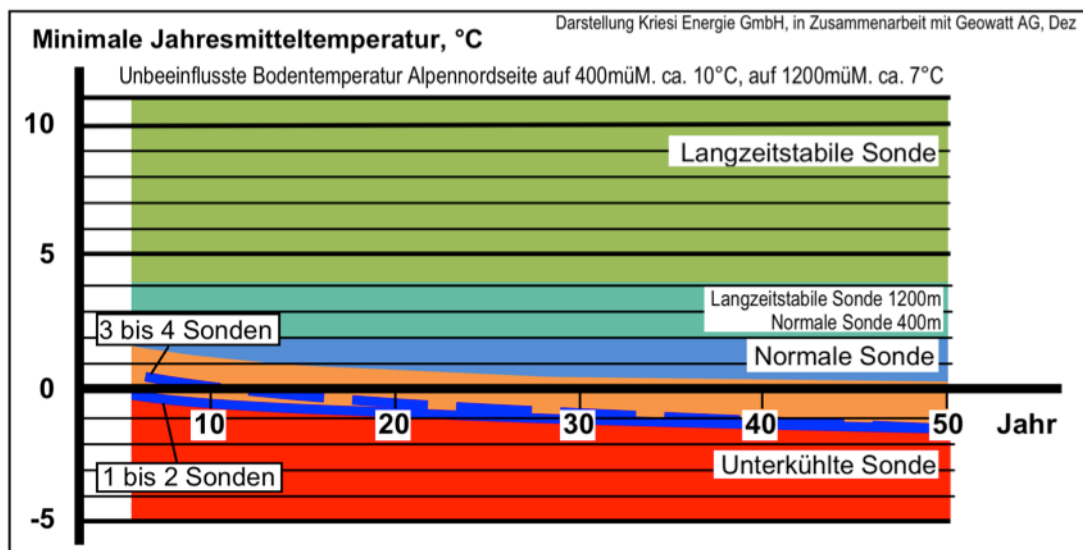
Die Erdsondientemperatur sollte nicht wesentlich unter 0°C sinken, damit das umliegende Erdreich nicht gefrieren kann. Wiederholtes Gefrieren kann zu Spalten im Erdreich und einem deutlich schlechteren Wärmezufluss führen. Die Norm SIA 384/6 verlangt deshalb eine minimale Mitteltemperatur zwischen Vor- und Rücklauf von -1.5°C. Diese soll zudem erst nach 50 Jahren erreicht werden. Die tiefste Temperatur wird in der kältesten Periode im Jahr, also im Januar oder Februar, erreicht. Liegt die Mitteltemperatur in diesen Monaten also im roten Bereich, so muss die Sonde entlastet oder im Sommer erwärmt werden, um noch viele Jahre als Wärmequelle dienen zu können.

Der orange Bereich berücksichtigt den Umstand, dass die Temperaturmessung aussen am Kunststoffrohr eines Erdsondenanschlusses auch mit aussen isoliertem Fühler zu einem Messfehler von etwa 1°C führt. Die Flüssigkeit im Rohr ist also kälter als der Messwert aussen am Rohr.

Liegt die Sondentemperatur im Januar-Februar zwar tief, von Mai - Oktober aber jeweils über ca. 6°C, wird eine im Winter wirksame **Entlastung der Sonde** deren Nutzungszeit deutlich erhöhen. Bleibt die Sondentemperatur auch im Sommer tief, so ist das Erdreich im Umkreis abgekühlt und die weitere Nutzungszeit lässt sich nur durch Zufuhr von Wärme im Sommer, also durch **Regeneration**, deutlich erhöhen. Da die Temperatur der Sonde von Jahr zu Jahr nur wenig sinkt, bleibt genügend Zeit für Massnahmen, auch wenn eine Sondentemperatur nahe der blauen Linie gemessen wird. Geeignester Zeitpunkt für Massnahmen ist ein bevorstehender Wechsel der bestehenden Wärmepumpe. Wird dem Erdreich jeden Sommer die im Winter entzogene Wärme vollständig zurück gegeben, so bleibt die Sonde langzeitstabil.

**Diagramm zur Bewertung der Minimalen Jahresmitteltemperatur (Mittel zwischen Vor- und Rücklauf) einer Erdsonde. Kriterium ist Minimum von -1.5°C nach 50 Betriebsjahren**

(Messung nach mindestens 3 Stunden Laufzeit der Erdsonde während der kältesten Periode des Jahres, d.h. für normale Heizungsanwendungen während Kälteperiode im Januar - Februar)



## 2. Massnahmen zur Entlastung der Erdsonde

### a. Reduktion des Bedarfs durch Dämmung der Gebäudehülle, Abdichtung und Wohnungslüftung

In älteren Bauten mit Baujahr vor etwa 1990 lässt sich der Wärmebedarf für die Raumheizung ev. durch eine Verbesserung der Wärmedämmung der Gebäudehülle reduzieren. Im Vordergrund stehen Fenster, Dach, Keller, seltener die Fassade. Ist die Gebäudehülle sehr undicht, so dass bei Wind Luftzug im Raum spürbar ist, so kann auch eine Abdichtung der Hülle, ev. verbunden mit dem Einbau einer Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung, mehr Wirkung zeigen. Der Einbau einer Wohnungslüftung ist auch dann wirkungsvoll, wenn die Gebäudehülle sehr dicht ist und deshalb fast ganztags über schräg gestellte Fenster gelüftet werden muss.

Diese Massnahmen senken nicht nur den Energiebedarf und entlasten so die Erdsonde, sie verbessern auch den Komfort, wenn sie richtig gewählt und ausgeführt werden. Sie sind aber auch teuer. Es empfiehlt sich deshalb, einen Planer beizuziehen.

### b. Warmwasserbereitung im Sommer mit Wärmepumpen-Boiler oder Sonnenkollektor

In neueren, insbesondere in Minergie-Bauten, benötigt die Warmwasserbereitung bis zur Hälfte des gesamten Wärmebedarfs. Entsprechend reduziert sich der Wärmebedarf aus der Erdsonde, wenn das Warmwasser im Sommerhalbjahr weitgehend mit einer anderen Quelle erzeugt wird. Allerdings bleibt die Sondenbelastung in der kältesten Jahresperiode fast gleich, weil ein Sonnenkollektor in dieser Zeit wenig Ertrag hat. Auch ein Wärmepumpenboiler bringt in dieser Zeit nur eine grössere Entlastung, wenn er die Wärme aus der Aussenluft und nicht aus dem Haus bezieht. Sonst kühlt er das Haus ab, was von der Raumheizung, also der Erdsonde kompensiert werden muss. Auskünfte erteilen die Geräteleieferanten oder der Installateur.

### c. Aussenluftwärmepumpe im Sommerhalbjahr

Mit einer kleinen Aussenluftwärmepumpe kann die Raumheizung und Warmwasserbereitung mit der Erdsonde entlastet werden, solange die Aussentemperatur über z.B. 5°C liegt. Dies ist insbesondere sehr wirkungsvoll, wenn mit dem Hausheizsystem auch ein Schwimmbad beheizt wird. Nachteilig ist die je nach Situation störende Geräuscentwicklung des Aussenlufttäuschers. Auskünfte erteilen die Geräteleieferanten oder der Installateur.

### d. Zusätzliche Erdsondenbohrung

Früher wurden Erdsonden deutlich kürzer dimensioniert als heute. Deshalb können deren Temperaturen in der kältesten Periode stark absinken. Durch eine zusätzliche Sonde kann die Belastung der bisherigen reduziert werden. Präzise Kenntnis der Sondentemperatur von Herbst bis Februar ist als Beurteilungsbasis unerlässlich. Auskünfte erteilen der Installateur oder die Bohrfirmen.

Typische Wirkung und Kosten einer Entlastung der Erdsonde am Beispiel eines Einfamilienhauses mit 200m<sup>2</sup> und einer Wärmepumpe mit 10kW, die jährlich 15'000kWh Wärme aus 2 Erdsonden à 85m Tiefe bezieht (im Einzelfall sind grössere Abweichungen möglich):

| Massnahmen:                                                               | Typische Entlastung<br>in % des bisherigen<br>Bezugs | Typische<br>Kosten | Zu beachten                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Gebäudedämmung                                                            |                                                      |                    |                                                                           |
| - Ersatz von Isolierverglasung                                            | - 15-25%                                             | 32'000.-           | - Dichtere Fenster – Lüftung klären                                       |
| - Dachdämmung, von 6 auf 12cm                                             | - 5-10%                                              | 45'000.-           | -                                                                         |
| - Dämmung Kellerdecke                                                     | - 5-10%                                              | 15'000.-           | - Keller wird dadurch kühler                                              |
| Lüftung mit Wärmerückgewinnung<br>(statt 1 Fenster meist schräg gestellt) | - 10-25%                                             | 20'000.-           | - Voraussetzungen dichte<br>Gebäudehülle, Platz für<br>Luftverteilerrohre |
| Wärmepumpenboiler März bis Okt.                                           | - 15-25%                                             | 8'000.-            | - keine Entlastung im Winter                                              |
| Sonnenkollektor, für Heizung, WW, 10m <sup>2</sup>                        | - 10-20%                                             | 23'000.-           | - wenig Entlastung im Winter                                              |
| Aussenluft-Wärmepumpe 5 kW                                                | - 50-70%                                             | 18'000.-           | - Geräusch im Freien durch Ventilator                                     |
| Zusätzliche Sonde, 85m, bisher 2x85m                                      | - 30%                                                | 12'000.-           | - Zugänglichkeit für Bohrgerät klären                                     |

### 3. Massnahmen zur Regeneration der Erdsonde

#### a. Raumkühlung mit Bodenheizung

Die Flüssigkeit der unterkühlten Erdsonde kann im Sommer bei abgeschalteter Wärmepumpe zur Kühlung der Bodenheizung verwendet werden. Dazu muss lediglich ein Wärmetauscher zwischen den Wasserkreis der Bodenheizung und den Frostschutzkreis der Erdsonde geschaltet und die Steuerung der Pumpen angepasst werden. Die dem Boden entnommene Wärme wird somit der Erdsonde zugeführt. Das der Bodenheizung zugeführte Wasser darf nicht zu kühl sein, damit auch bei feuchtem Sommerwetter keine Kondensation auftritt. Wichtiger Zusatznutzen dieser Lösung ist der erhöhte Komfort. Auskünfte erteilen die Geräteelieferanten oder Installateure.

#### b. Sonnenkollektor, verglast

Im Sommer übliche Überschüsse eines zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Raumheizung vorgesehenen thermischen Sonnenkollektors können an die Erdsonde abgegeben werden. Dazu ist ein Wärmetauscher zwischen dem Heizungsspeicher und dem Sondenkreislauf notwendig und eine passende Steuerung der Umwälzpumpen. Der Heizungsspeicher erlaubt die Wärmeabgabe an die Sonde während 24 Stunden pro Tag. Das senkt die Rückliefertemperatur unter den empfohlenen Maximalwert von etwa 40°C. Die Komplikation der Anlage ist erst verhältnismässig für mehr als 20m<sup>2</sup> Kollektorfläche.

#### c. Sonnenkollektor unverglast, auf Dach, im Garten, als Gehweg

Da die erforderliche Rückliefertemperatur zwischen 20 und 40°C liegt und primär im Sommerhalbjahr erfolgt, eignen sich auch günstige unverglaste Kollektoren, wie sie als Schwimmbadheizung üblich sind. Steht dafür ein Flachdach zur Verfügung, können Kollektoren aus Kunststoff eingesetzt werden, auf einem Schrägdach oder im Garten kommen eher Metallabsorber in Frage. Auskünfte erteilen die Anbieter thermischer Sonnenkollektoren.

Eine günstige Form unverglaster Sonnenkollektoren bieten in Gehwege oder Plätze eingegossene Kunststoffrohre. Quartierstrassen eignen sich dafür wegen den meist eingelegten Leitungen schlecht. Die Methode eignet sich eher für grössere Anlagen und bei ohnehin notwendigem Neu- oder Umbau der Wege.<sup>1)</sup>

#### d. Aussenluftkühler

Durch Abkühlung der Aussenluft mit einer Wärmepumpe kann der Erdsonde im Sommer Wärme zugeführt werden. Notwendig ist eine Heizleistung der Wärmepumpe von etwa 50% der Heizungswärmepumpe. Zu beachten ist der dafür nötige Elektrizitätsbedarf. Auskünfte erteilen die Geräteanbieter.

#### e. Aussenluftkühler von Lüftungsanlage

In Bauten mit einer Komfortlüftungsanlage kann die Wärme auch dem Aussenluftkanal zum Lüftungsgerät entnommen werden. Bevor die Luft ins Haus gelangt, wird sie vom Lüftungsgerät mit der Wärme der Abluft wieder erwärmt. Vorteile gegenüber d. sind die entfallenden Einrichtungen und Geräusche im Freien. Zudem sind Luftgitter und Ventilator bereits vorhanden. Zu beachten ist der Elektrizitätsbedarf.<sup>1)</sup>

#### f. Elektroheizung

Direkte Wärme aus Elektrizität ist auch bei günstigen Sommertarifen zu teuer zur Regeneration einer Erdsonde. Überschüsse aus einer Photovoltaikanlage sind für übliche Anlagegrössen von 5 bis 10kW zu geringfügig für die zusätzliche Komplikation, eignen sich aber bestens zum Betrieb von Aussenluftkühlern.

Typische Wirkung und Kosten einer Erdsondenregeneration am Beispiel eines Einfamilienhauses mit 200m<sup>2</sup> und einer Wärmepumpe mit 10kW, die jährlich 15'000kWh Wärme aus der Erdsonde bezieht. Der entsprechende Bedarf für die Regeneration beträgt ca. 20'000kWh/a (ein Teil der an die Sonde abgegebenen Wärme geht an der Erdoberfläche verloren)

| Massnahmen:                                | Typische Entlastung des bisherigen Bezugs | Typische Kosten | Zu beachten                                           |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
| Raumkühlung mit Bodenheizung               | - 10-30%                                  | 6'-10'000.-     | - Hauptnutzen Komfortgewinn durch Raumkühlung         |
| Sonnenkollektor verglast, 20m <sup>2</sup> | - 30-50%                                  | 5'000.-         | - Kosten, nur Erweiterung ohnehin vorhandener Anlage  |
| Sonnenkollektor unverglast                 |                                           |                 | Ohne Verbindung zur Heizung und WW-Bereitung          |
| - auf Dach, 40m <sup>2</sup> , Kunststoff  | - 60-100%                                 | 6'-8'000.-      | - Schwimmbadkollektor                                 |
| - im Garten, 40m <sup>2</sup> , Metall     | - 60-100%                                 |                 | - z.B. Energie Solaire SA                             |
| - als Gehweg, 100m <sup>2</sup>            | - 60-100%                                 | 8'-12'000       | - Kosten durch örtliche Situation bestimmt            |
| Aussenluftkühler, WP 5kW                   | - 60-100%                                 | 15'000.-        | - Geräusche Aussenluftventilator beachten             |
| Aussenluftkühler Lüftungsanlage            | - 40-60%                                  | 15'000.-        | - Planer beiziehen, weil Branchenerfahrung noch fehlt |
| Elektroheizung direkt                      | - 0-100%                                  | 2'-3'000.-      | - Oft in Anlagen bereits so eingebaut                 |
| Überschüsse Photovoltaik, 5kWp             | - 5-15%                                   | 4'-5'000.-      | - Anpassung Steuerung nötig                           |

**Kriesi Energie GmbH**  
Ruedi Kriesi, Dr. sc. techn.  
Meierhofrain 42, CH-8820 Wädenswil

T. +41 44 680 31 50  
ruedi.kriesi@kriesi-energie.ch

**K Energie**

## 9 Folgerungen, weiteres Vorgehen

Das im Rahmen dieser Arbeit geschaffene Diagramm zur Bewertung des thermischen Zustands älterer Erdwärmesonden gemäss Kapitel 6 hat sich dank einfacher Handhabung anhand der etwa 90 Auswertungen gut bewährt. Zudem wurde es von den Teilnehmern der Arbeitsgruppe Wärmepumpen der GKS begrüsst. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass es von der Branche gut aufgenommen werden wird. Es ist deshalb sehr zu begrüssen, dass ein Branchenverband beabsichtigt, daraus ein Arbeitsinstrument zu erstellen.

Das mit dieser Arbeit vorgeschlagene Merkblatt mit Empfehlungen zur Erdwärmesondenentlastung und –Regeneration müsste jetzt ausgewählten Fachleuten vorgelegt, anschliessend einer breiteren Vernehmlassung unterzogen und dann Betreibern unterkühlter Anlagen zur Verfügung gestellt werden. Mit steigenden Erfahrungen zur Regeneration wird es anschliessend laufend verbessert und ergänzt werden müssen.

Der Anteil der zu kühlen Sonden ist mit etwa 30% überraschend hoch. Angesichts der etwa 100'000 in der Schweiz bestehenden Anlagen werden damit an einer grösseren Zahl in den nächsten 10 bis 20 Jahren Massnahmen zur Entlastung der Sonden oder zur Regeneration durchgeführt werden müssen. Damit wird eine langfristige Nutzung ohne laufenden Anstieg des Stromverbrauchs als Folge steigender Anteile Direktheizung erreicht. Zudem erlaubt dies auch Nachbarn die künftige effiziente Nutzung des Untergrunds.

Es scheint dem Autor deshalb unabdingbar, dass den Betreibern empfohlen wird, die Temperatur ihrer Sonden zu messen, damit sie Klarheit zur Notwendigkeit von Massnahmen erhalten und gegebenenfalls – Eile ist keine angezeigt - beim nächsten Wechsel ihrer Wärmepumpe handeln können. Gleichzeitig sollte auf die Möglichkeiten zur Regeneration hingewiesen werden, um den betroffenen Betreibern auch sogleich klar zu machen, dass die Folgekosten kein grösseres Hindernis zum weiteren Betrieb der Erdwärmesonden darstellen. Dies kann durch Artikel in Tages- und Fachzeitungen geschehen, wie sie als Abschluss dieser Arbeit vorgesehen sind, aber auch durch die Branche selbst.

Den Anbietern von Wärmepumpen muss nahegelegt werden, ihre Steuerungen neu so zu konzipieren, dass die monatlichen Minimaltemperaturen der Sonden registriert und einfach ablesbar werden.

Demgegenüber scheinen fast 20% der gemessenen Sonden aufgrund der Messungen als „Langzeitstabil“. D.h. ihre Temperaturen haben sich gegenüber dem Anfangszustand kaum verändert und es ist anzunehmen, dass dies auch für weitere Jahrzehnte so bleiben wird. Sie sind also ohne weitere Massnahmen nach-

haltig. Dies muss eine Folge von Wasserbewegungen im Untergrund sein, die Wärme grossräumig zuführen, je nach Geschwindigkeit der Bewegung und Stärke der wasserführenden Schicht weitgehend unabhängig von der spezifischen Sondenbelastung, der -tiefe, dem -alter oder der Anzahl und Distanz der Nachbasonden.

Weitere 50% der Anlagen verhalten sich wie erwartet, d.h. sie kühlen in einem Mass ab, dass sie mit grosser Wahrscheinlichkeit 50 Jahre Nutzungsdauer erreichen werden. Es kann erwartet werden, dass darunter einerseits auch langzeitstabile befinden, die dank schwächerer Wasserbewegungen auf ihrem tieferen Temperaturniveau konstant verbleiben werden. Andererseits wird auch ein Teil dieser „normalen“ Sonden laufend weiter auskühlen und nach einigen Jahrzehnten ebenfalls eine Regeneration erfordern. Für den heutigen Betreiber hat dies für längere Zeit noch wenig Bedeutung. Lediglich die Leistungsziffer der Anlage wird etwas sinken.

Das ganz unterschiedliche Verhalten der Sonden in Regionen mit und ohne Wassereinfluss, weitgehend unabhängig von der Auslegung, erlaubt auch Rückschlüsse zu einfachen Auflagen oder Empfehlungen der Kantone zur Bewilligung neuer Erdwärmesonden, die für die weitere Verbreitung von Erdsonden nicht hinderlich wären:

- Wird das Jahresminimum der Sondenmitteltemperatur im Betrieb in Abständen von z.B. zehn Jahren gemessen und eines minimaler Wert von etwa  $+2^{\circ}\text{C}$  eingehalten, so wird damit ein nachhaltiger Betrieb gewährleistet. Die grosse Zeitspanne von zehn Jahren wird dem Bauherrn anzeigen, dass er es in jedem Fall mit einem nur langfristigen Problem zu tun hat. Durch Abgabe eines Merkblatts, welche Massnahmen bei Erreichen des Minimalwerts zur Regeneration zur Verfügung stehen, können neue Vorbehalte gegenüber Sonden weiter minimiert werden. Da Wärmepumpensteuerungen die Sondentemperatur einfach erfassen könnten, wäre die laufende Überwachung einfach zu realisieren. Der Grenzwert wird mit  $+2^{\circ}\text{C}$  deutlich über dem Minimalwert von  $-1.5^{\circ}\text{C}$  vorgeschlagen, damit genügend Zeit zur Ausführung im Rahmen anderer Arbeiten am Haus oder an der Haustechnik verbleibt. In favorisierten Regionen wird die Unterschreitung des Grenzwerts nie stattfinden, in Regionen mit trockenem Untergrund je nach Auslegung der Sonde frühestens nach zehn Jahren.
- Auch bei bestehenden Anlagen würde diese gleiche Massnahme der Überwachung der Sondentemperatur und Einhaltung eines Minimalwerts die langfristige Nutzung gewährleisten.

Diese erwähnte Überwachung der Sondentemperatur und Regeneration bei Bedarf ist einer Forderung nach speziell grossen Sondenlängen und grossen Sondenabständen klar überlegen. Dies aus folgenden Gründen:

- Längere Sonden mit entsprechend niedrigeren spezifischen Belastungen verändern die minimale Mitteltemperatur nur wenig, wie die Bilder in Kapitel 7.3 zeigen.
- Grössere Abstände würden die Unterkühlung im trockenen Untergrund gem. Kapitel 7.4 zwar verlangsamen. Bis die Beeinflussung der Nachbarn aber vernachlässigbar wird, müssten je nach Anzahl Sonden sehr grosse Abstände von 30 bis 60m eingehalten werden, was einer deutlichen Einschränkung der weiteren Verbreitung von Erdwärmesonden gleich käme und ernsthafte rechtliche Fragen aufwerfen würde, welcher Nachbar nun eine Sonde bauen darf.
- In vielen Fällen hat die Bewilligungsbehörde keine Kenntnis, ob eine Region von Wasserbewegungen profitieren kann. Für alle diese Sonden wären Forderungen nach grösseren Abständen oder tieferen spezifischen Belastungen aber unnötig und trotzdem einschränkend.

## ANHANG I: Teilnahmebestätigung gegenüber Servicefirma

### Messungen an älteren Erdsonden, Gratismessung (Eine Messkampagne im Auftrag des Bundesamts für Energie)

#### Bestätigung der Teilnahme

Ich bin einverstanden, dass an meiner Erdsonde durch meinen Wärmepumpen-Service 2 Messdosen installiert werden, die während einer Heizperiode mehrmals täglich die Temperaturen der Erdsonde erfassen. Ich verpflichte mich, nach Erhalt der Rücksandbeutel im Sommer 2017 die beiden Messdosen mit den Fühlern zu demontieren und an die Kriesi Energie GmbH zu retournieren.

Ja: ☐

Als Resultat werde ich im Herbst 2017 kostenlos einen Vergleich der Temperaturen meiner Sonde mit einem Normalverlauf erhalten.  
(Die Resultate werden von uns nur anonymisiert weiter verwendet)

Ich bin einverstanden, dass das Resultat der Messungen an meiner Erdsonde auch meiner Wärmepumpen-Servicefirma zugestellt wird.

Ja: ☐ Nein: ☐

Name der Servicefirma: .....

#### Angaben zur Sonde:

Bohrjahr: ..... Bohrtiefe: ..... Meter

Anzahl Sonden: .....

Wärmepumpe, Heizleistung: ..... kW Jahresbetriebsstunden: ..... Stunden/a  
(sofern bekannt)

#### Nummern der erhaltenen Messdosen:

Nr. 1: .....

Nr. 2: .....

#### Der Wärmepumpenbetreiber:

Rücksand der  
Auswertung an

Vorname, Name: .....

Strasse und Nr.: .....

PLZ, Ort: ..... ☐

Tel.-Nummer: .....

Mail: ..... ☐

Ort/Datum: .....

Unterschrift: .....

Bitte um Abgabe dieser Bestätigung an den Servicetechniker der Heim AG, die den Rücksand bis 20.12.2016 an die Kriesi Energie GmbH, Meierhofrain 42, 8820 Wädenswil oder an [info@kriesi-energie.ch](mailto:info@kriesi-energie.ch) organisieren wird.

Kriesi Energie GmbH  
Ruedi Kriesi, Dr. sc. techn.  
Meierhofrain 42, CH-8820 Wädenswil

T. +41 44 680 31 50  
[ruedi.kriesi@kriesi-energie.ch](mailto:ruedi.kriesi@kriesi-energie.ch)

**K**Energie

## ANHANG II: Montageanleitung

Temperaturmessungen an älteren Erdsonden,  
ein Projekt im Auftrag des Bundesamts für Energie

Anleitung zur Installation der Messfühler auf den 2 Anschlussleitungen der Erdsonden

### A. Die Erdsondenanschlussleitungen lassen sich erkennen, weil

- sie bei laufender Wärmepumpe kalt werden. Das ist durch Berühren der Rohre von Hand in einem unisolierten Bereich gut spürbar.
- meistens durch Aussenwand oder Boden in den Heizraum gelangen.
- meistens auf der ganzen oder fast ganzen Länge mit einer gummiartigen Schaumstoffisolation umwickelt sind.

Beispiel 1:

Erdsondenanschlussrohre



Beispiel 2:

Erdsondenanschlussrohre



Beispiel 3:

Erdsondenanschlussrohre



Beispiel 4:

Erdsondenanschlussrohre



## B. Montage der Messfühler

### Verwendeter Messfühler Tinytalk

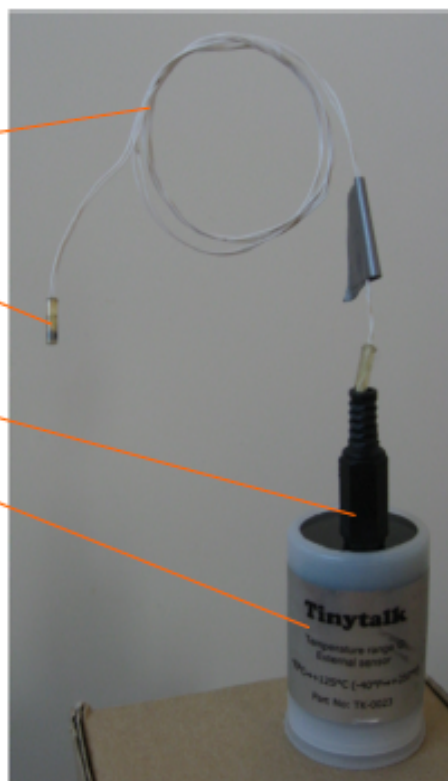
Verbindungskabel

Messfühler

Stecker muss  
verbunden sein!

Messwertespeicher

Das Gerät ist mit einem Trockenmittel und einer Lithiumbatterie ausgestattet, die nur von einem Fachmann ausgetauscht werden soll (Explosionsgefahr bei falschem Einsatz). Für die vorgesehene, maximal 1-jährige Messperiode reicht ihre Kapazität. Bitte Dose deshalb nicht öffnen.



### Geeignete Montagepunkte:

#### Beispiel 1:

Glattes, metallenes Rohrstück eignet sich am besten. Den Fühler in Mitte des unisolierten Rohrstücks mit Klebstreifen fixieren, dann mit einem Stück der beigelegten Isolation umwickeln. Die Isolation mit einem Klebstreifen fest umwickeln, damit keine Luft zwischen Isolation und Rohr gelangt.

Position Fühler 1

Position Fühler 2



**Beispiel 2:**

Glatte, metallene Rohrstücke eignen sich am besten. Montage sh. Bild 1

Position Fühler 1

Position Fühler 2

**Beispiel 3:**

Gerade Rohrstücke eignen sich am besten. Montageanleitung sh. Teil C.

Position Fühler 1

Position Fühler 2

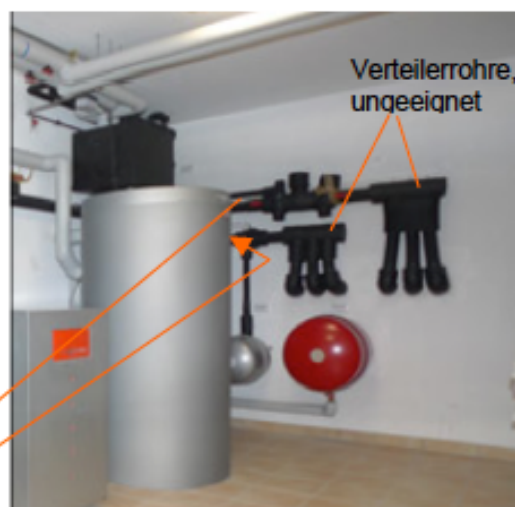
**Beispiel 4:**

Gerades Rohrstück zwischen den Armaturen und dem Eintritt in die Wärmepumpe eignet sich am besten (nicht dickwandigere Verteilerrohre). Wenn Rohre auf ganzer Länge isoliert sind, sh. Montageanleitung Teil C.

Wenn ein Teilstück des Rohres unisoliert ist, sh. Montageanleitung Beispiel 1.

Position Fühler 1

Position Fühler 2



### C. Montage des Fühlers auf geradem, isoliertem Rohrstück

1. Mit scharfem Messer Isolation auf etwa 10cm Länge bis zur Rohroberfläche aufschneiden



2. Mit Schraubenzieher Klebstoff von Rohroberfläche abschaben bis Rohr sauber



3. Messdose mit beigelegten Kabelbindern an Rohr neben oder über dem Schnitt befestigen



4. Messfühler unter Isolation schieben, dass er saubere Rohroberfläche berührt



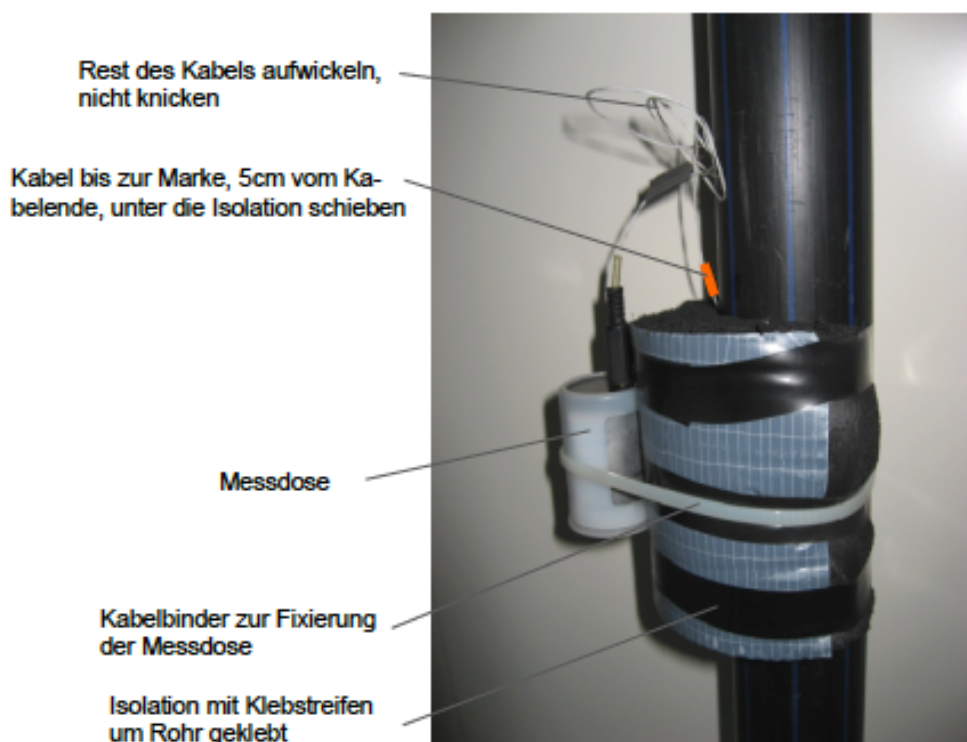
5. Schnitt mit beigelegtem Klebstreifen vollständig verschliessen, ohne Spalt beim Fühler



## D. Montage des Fühlers auf geradem, nicht isoliertem Rohrstück

1. Wählen Sie ein gerades Stück Rohr, w.m. ein metallisches Rohr. Falls nicht verfügbar, ein Kunststoffrohr (wie im Bild).
2. Kleben Sie ein Stück der beigelegten Dämmmatte, 10cm x 20cm, mit dem ebenfalls beigelegten Klebeband um ein glattes, gerades Rohrstück. Achten Sie darauf, dass die Dämmmatte auf der ganzen Fläche dicht am Rohr anliegt. Das erreichen Sie, wenn Sie die Isolation an mehreren Stellen mit Klebstreifen umwickeln. Verwenden Sie genügend Klebstreifen, damit sich die Dämmung im Laufe des Winters nicht lösen kann. (Zur Befestigung verwenden Sie besser den Klebstreifen als die auf der Dämmung aufgebraachte Selbstklebefolie, weil das Demontieren nächsten Sommer einfacher sein wird.)
3. Montieren Sie die eine Messdose mit einem Kabelbinder auf der Isolationsmatte.
4. Schieben Sie nun den Fühler 5cm weit unter die Isolation, in die Mitte des Isolationsstücks. Markieren Sie dazu den Draht in 5cm Distanz vom Fühler, d.h. in 5cm Distanz vom Kabelende, mit Klebstreifen oder Filzstift. So erkennen Sie, wann der Fühler genügend weit eingeschoben ist.
5. Kontrolle, ob der Stecker fest in der Dose eingesteckt ist

Wiederholen Sie dies mit dem 2. Fühler auf dem 2. Verbindungsrohr zur Erdsonde.



### E. Demontage der Fühler nach Abschluss der Messungen, im Frühsommer 2017:

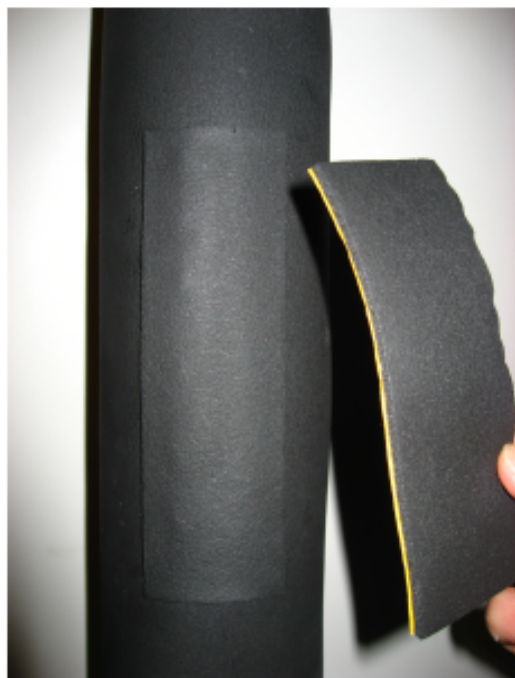
1. Klebstreifen abziehen (beschädigte Oberfläche ist ohne Einfluss auf Isolationswirkung)



2. Kabelbinder um Messfühler zerschneiden



3. Schnitt mit beigelegtem Isolationsklebband verschliessen



4. Die beiden Messdosen im frankierten Beutel zurücksenden (wird im Frühsommer 17 zugestellt)

14.11.16

Kriesi Energie GmbH  
Ruedi Kriesi, Dr. sc. techn.  
Meierhofrain 42, CH-8820 Wädenswil

T. +41 44 880 31 50  
ruedi.kriesi@kriesi-energie.ch

**K**Energie

## ANHANG III: An Sondenbetreiber versandte Unterlagen

