



Bewertung des Zustands älterer Erdsonden in der Stadt Zürich

Schlussbericht

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

Stadt Zürich,
Amt für Hochbauten,
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Bearbeitung:

Kriesi Energie GmbH, Meierhofrain 42, 8820 Wädenswil
Ruedi Kriesi, Dr. sc. tech.
ruedi.kriesi @kriesi-energie.ch

Projektleitung:

Dr. Roland Wagner
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,
Amt für Hochbauten

Projektteam:

Ruedi Kriesi, Kriesi Energie GmbH, 8820 Wädenswil
Roland Wagner, Stadt Zürich, AHB
Thomas Mégel, Geowatt AG, Zürich

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen
> 2000-Watt-Gesellschaft > Technik

Zürich, August 2018

Inhaltsverzeichnis

0	Zusammenfassung	4
1	Einleitung	5
2	Messmethode und Bewertungsschlüssel	6
3	Resultate	9
3.1	Anlagedaten und Vergleich mit der Messperiode 16/17	9
3.2	Überblick über die Messresultate anhand des Bewertungsschlüssels	12
3.3	Einflussgrößen für die Minimaltemperatur, Vergleich mit Daten 2016/17	13
3.4	Geografische Verteilung der Anlagen und wichtigste Eigenschaften	16
3.5	Extrapolation für das Jahr 2068 durch Simulation	17
4	Folgerungen	18
5	Sicht des Auftraggebers	19
6	Anhang	20
6.1	Literaturverzeichnis	23

0 Zusammenfassung

Bisher gingen die Meinungen weit auseinander, wie häufig Erdwärmesonden unterkühlen. Im Rahmen eines Auftrags des Bundesamts für Energie hat die Kriesi Energie GmbH im Winter 16/17 die minimalen Jahrestemperaturen von etwa 90 Erdwärmesondenanlagen in etwa 16 Gemeinden in 4 Kantonen der Deutschschweiz erfasst und die Anteile langzeitstabiler, normaler und unterkühlter Anlagen ermittelt. Als unterkühlt wurden Anlagen definiert, deren minimale Jahrestemperatur - als Mittel zwischen Vor- und Rücklauf - bei ähnlicher Belastung den Wert von -1.5°C vor Ablauf von 50 Jahren unterschreiten dürften, wie sie von der SIA 382/6 als minimale Betriebsdauer verlangt werden. Als wichtigster Faktor des überraschend hohen Anteils unterkühlter Anlagen von etwa 30% erwies sich die Anzahl der nahe beisammen liegenden Sonden.

Im städtischen Umfeld ist der Anteil der grossen Bauten mit mehreren nahe gelegenen Sonden aber bereits heute hoch und soll angesichts der grossen Bedeutung von Erdsonden für die künftige Raumheizung und -kühlung mit erneuerbarer Energie weiter steigen. Deshalb hat das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich in Zusammenarbeit mit der gleichen Firma im Winter 17/18 an 75 Anlagen auf Stadtgebiet die minimale Jahrestemperatur gemessen. Angesichts der erkannten starken Abhängigkeit von der Zahl nahe gelegener Sonden wurde die Hälfte der Anlagen mit 3 bis 12 Sonden gewählt. Trotzdem lagen der Anteil der unterkühlten Sonden mit 5% wesentlich tiefer und die mittlere Minimaltemperatur aller gemessenen Anlagen mit 4.2°C um 1.5K höher als im Fall der in den 16 Gemeinden im Vorjahr gemessenen Anlagen.

Nachdem im städtischen Untergrund kaum Wasserbewegungen die Sondentemperaturen erhöhen, dürften für das bessere Verhalten der Anlagen auf Stadtgebiet einerseits das geringere Sondenalter von durchschnittlich 11 gegenüber 18 Jahren und andererseits die höhere Ausgangstemperatur des Untergrunds zu Beginn der Wärmeentnahme die entscheidenden Faktoren sein. Schliesslich wirkt sich auch die als Folge des geringeren Alters bessere Beachtung der Auslegung der Sondenlänge gemäss SIA 382/6 positiv aus.

Eine Simulation für das Jahr 2068 zeigt aber ein ganz anderes Bild. Die abgekühlten Gebiete der bestehenden Sondenanlagen werden sich bei gleicher Nutzung bis dahin stark ausdehnen und in vielen Fällen zusammenwachsen. Der Untergrund wird also bereits aufgrund der heute bestehenden Anlagen in vielen Gebieten um mehrere Kelvin abgekühlt sein. Bis dahin wird sich die Zahl der Sonden aber noch vervielfachen. Es wäre deshalb sehr zu empfehlen, zumindest jeder neuen Erdsondenbewilligung eine Auflage zur Messung der Sondentemperatur anzufügen und eine Regeneration im Umfang der entzogenen Wärmemenge zu verlangen, wenn die minimale Jahresmitteltemperatur unter $+2^{\circ}\text{C}$ abfällt. Damit könnte viel künftiger Nachbarstreit vermieden werden. Diese Untersuchung soll die dazu notwendige Beurteilungsbasis stärken.

1 Einleitung

Aufgrund erster Messungen im Auftrag des Bundesamts für Energie im Winter 2016/17 in je ca. vier Gemeinden in vier Kantonen war bekannt, dass ein beachtlicher Teil der älteren Erdsonden kühler sein kann als erwartet. Ist eine Erdsonde aber zu stark abgekühlt, muss sich der Betreiber beim Einbau einer neuen Wärmepumpe überlegen, mit welchen Massnahmen die Erdsonde künftig entlastet oder im Sommer regeneriert werden kann, damit sie auch für die erwartete Lebensdauer einer neuen Wärmepumpe nutzbar bleibt.

Mit diesen neuen Messungen im Winter 2017/18 wollte das Amt für Hochbauten aufgrund des überraschend hohen Anteils unterkühlter Sonden den Zustand der Anlagen in den verschiedenen Zonen auf Stadtgebiet klären. Diese Information ist von grossem Interesse, weil Erdsonden die beste Möglichkeit bieten, eine Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen durch erneuerbare Energie zu ersetzen. Insbesondere in der Stadt, wo Aussenluft-Wärmepumpen aufgrund der Schallemissionen weniger populär sind, bieten erdgekoppelte Anlagen neben Fernwärme aus der Abfallverbrennung die wichtigste Alternative. Sie sind deshalb ein zentraler Baustein in der städtischen Energieplanung, weshalb sich die aktuell beobachtete starke Zunahme der Anlagenzahl in den nächsten Jahren fortsetzen dürfte.

Mit der zunehmenden Dichte an Erdsondenanlagen steigt aber auch die gegenseitige Beeinflussung durch Nachbargrundstücke. Zu diesem Effekt der abnehmenden Sondenabstände addiert sich auch der Faktor Zeit, weil sich die Wirkungsradien um die Sonden jedes Jahr vergrössern, so lange die entnommene Wärme nicht im Sommer zurück gespeist wird. Weil auf Stadtgebiet keine Grundwasserströme bestehen, fehlt die andernorts oft beobachtete temperaturstabilisierende seitliche Wärmezufuhr.

Die drei Faktoren zusammen werden zu einer exponentiellen Zunahme von Nachbarschaftskonflikten führen, weil das Erdreich unter dem Grundstück einer Neuanlage bereits durch Erdsondenanlagen der Nachbarn abgekühlt ist. Dies würde sich durch baldige Auflagen zur Regeneration im Falle einer zu starken Abkühlung des Untergrunds vermeiden lassen.

2 Messmethode und Bewertungsschlüssel

Zur Erfassung des Sonden Zustands auf Stadtgebiet wurden an 76 mindestens zehn Jahre alten Erdwärmesonden die Temperaturen an Ein- und Austritt während einer Heizperiode gemessen. Aufgrund der gemessenen Werte wurden die Sonden anhand des Bewertungsschlüssels gemäss ANHANG 1 in die Kategorien „langzeitstabil“, „normal“ und „unterkühlt“ eingeteilt. Neben dem Sondenalter sind als zusätzliche Parameter zur Beurteilung Sondenlänge, spezifische Heizleistung in W pro m Sondenlänge und die Summe der eigenen und der nahe liegenden Nachbarsonden bekannt.

Die Messungen werden mit Tinytalk-Messfühlern 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 150 Fühler Datenwerte verloren gegangen sind. Allerdings waren in 2 Fällen die Fühler nicht mehr korrekt eingesteckt, so dass sie keine Werte registrierten.

Die Messfühler wurden in allen Anlagen, mit Ausnahme der von den EKZ betriebenen, durch die Kriesi Energie GmbH installiert. Meistens wurden sie unter die bestehende Rohrdämmung geschoben. In einigen Fällen wurden sie anstelle der analogen Rohrleitungsthermometer in deren Tauchhülsen eingesetzt.

Die gemessenen Anlagen wurden der kantonalen Liste aller bewilligten Erdsonden auf Stadtgebiet entnommen. Entsprechend den Erfahrungen zu den Reaktionen der angesprochenen Anlagenbetreiber aus den Messungen 2016/17 wurden 150 Betreiber zu ihrem Interesse an der Teilnahme an dem Messprojekt angefragt, mit dem Ziel, davon 50 Teilnehmer zu erreichen. Das Interesse war dann aber deutlich grösser als ein Jahr zuvor. Zudem war die Contractingabteilung der EKZ bereit, ihre Daten zu weiteren 11 Anlagen zur Verfügung zu stellen, so dass anstelle der geplanten 50 Anlagen insgesamt 79 einbezogen wurden, von denen 76 Temperatur-Datenpaare ausgewertet werden konnten.

Die Resultate wurden für jede Anlage für jeden Monat dargestellt (Bild 2-1) und dem Betreiber zusammen mit dem im Beurteilungsdiagramm gem. Bild 2-2 eingesetzten Jahresminimum und mit den Hinweisen zum Beurteilungsdiagramm gem. ANHANG 1 zugestellt.

Bild 2-1: Beispiel einer Temperaturlauswertung

Die Temperaturwerte von Vor- und Rücklauf wurden monatlich nach den Differenzwerten geordnet, um die Laufzeiten der Wärmepumpe eindeutig zu erkennen. In diesem Beispiel erreichten einzelne Werte im März mit 0°C gleich tiefe Werte wie im Februar.

März: Minimaler Mittelwert 0°C

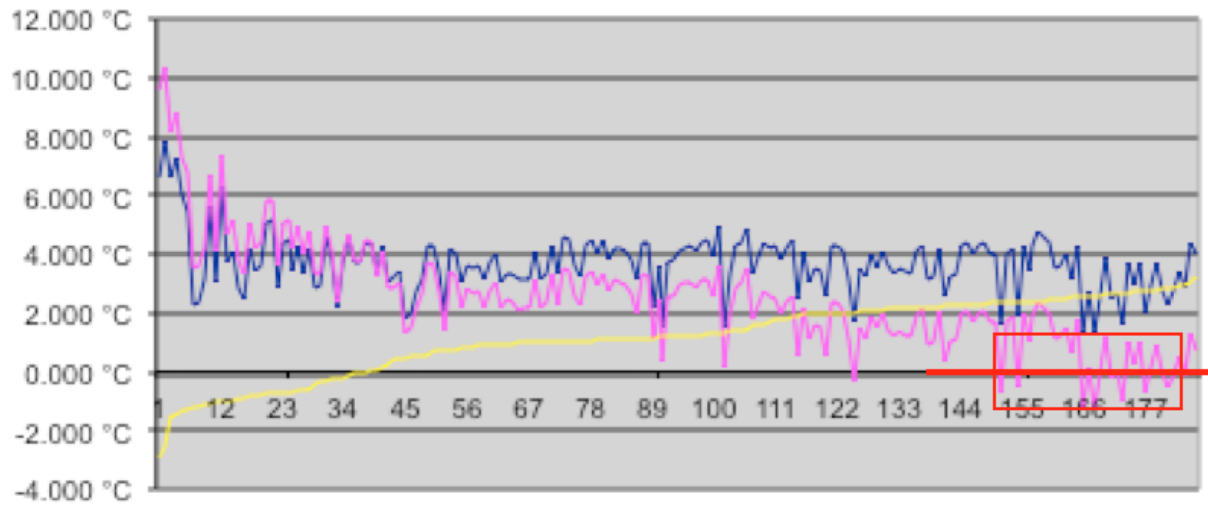
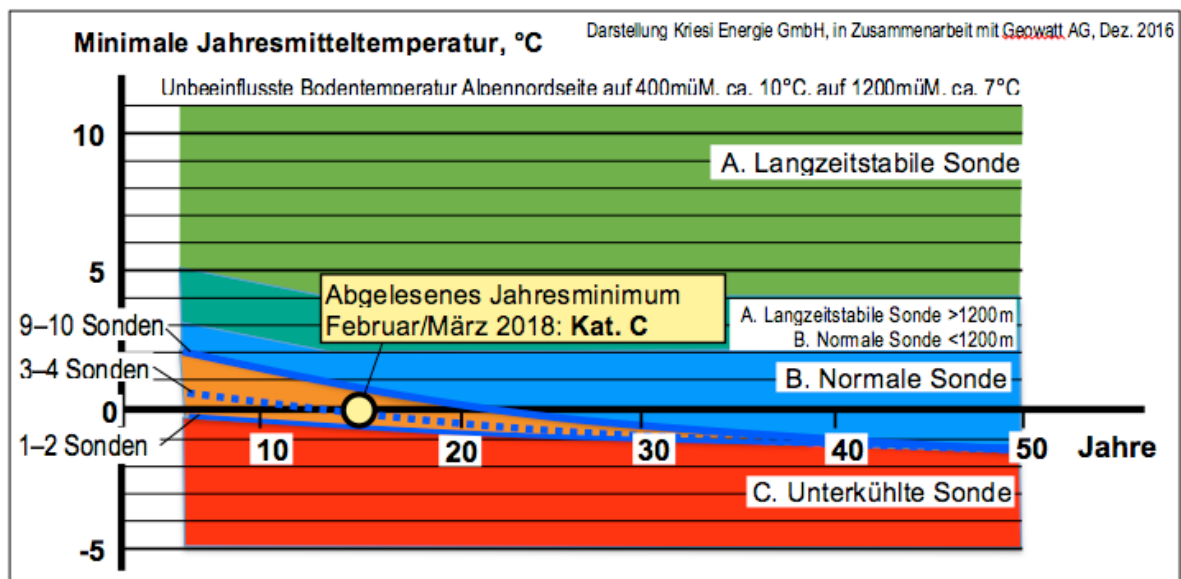


Bild 2-2: Beurteilungsdiagramm für den Zustand von Erdsonden

Das nachfolgende Diagramm zur Beurteilung des Zustands von Erdsonden verwendet als Kriterium für Unterkühlte Sonden die in der SIA 384/6 geforderte mittlere Jahresminimaltemperatur aus Vor- und Rücklauf der Sonde zur Vermeidung von Sondenschäden. Sie soll nach 50 Betriebsjahren nicht tiefer liegen als -1.5°C . Dies erlaubt die Bildung einer Grenzlinie für verschiedene Sondenzahlen. Das Diagramm wurde von der Kriesi Energie GmbH in Zusammenarbeit mit der Geowatt AG im Rahmen des erwähnten Messprojekts 2016/17 entwickelt. Im Rahmen des jetzigen Projektes wurde in Anbetracht der grossen Zahl von Mehrsondenanlagen die neue Grenzlinie für 9-10 Sonden eingesetzt.

Das Diagramm ist konzipiert für mindestens 6 Jahre in Betrieb stehende Sonden und für Standorte in der Nordschweiz von 200 bis 1300müM. Die Bestimmung des Jahresminimums ist aufgrund der grossen Schwankungen sowohl innerhalb jedes Monats als auch zwischen den Monaten mit guter Genauigkeit nur mit speichernden Messinstrumenten und Messwerterfassung in den kalten Monaten in der zweiten Winterhälfte, also Januar bis März, möglich. Stehen nur Minimumwerte von anderen Monaten zur Verfügung, so wird das Resultat unpräzise, weil die Umrechnung auf die kältesten Monate nur anhand eines Normjahres erfolgt. Die realen Differenzen zwischen den Monaten sind jedoch stark vom Wetter im Beobachtungsjahr abhängig.

Im Diagramm eingezeichnet ist als Beispiel eine 15 Jahre alte Anlage mit 6 Erdsonden. Mit dem Jahresminimum von 0°C gemäss Bild 2-1 liegt diese Anlage damit in Kategorie C. Sie dürfte bei weiterhin gleichem Betrieb also vor Ablauf der 50 Jahre die minimale Mitteltemperatur von -1.5°C unterschreiten.



Bewertung durch Zuordnung zu Kategorien A bis C:

- 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.

3 Resultate

3.1 Anlagedaten und Vergleich mit der Messperiode 16/17

Bild 3.1-1: Spezifische Wärmeleistung in Abhängigkeit der Sondenanzahl

Die Mehrsondenanlagen in der Stadt wurden mit deutlich tieferer spezifischer Leistung ausgelegt als Einzelanlagen.

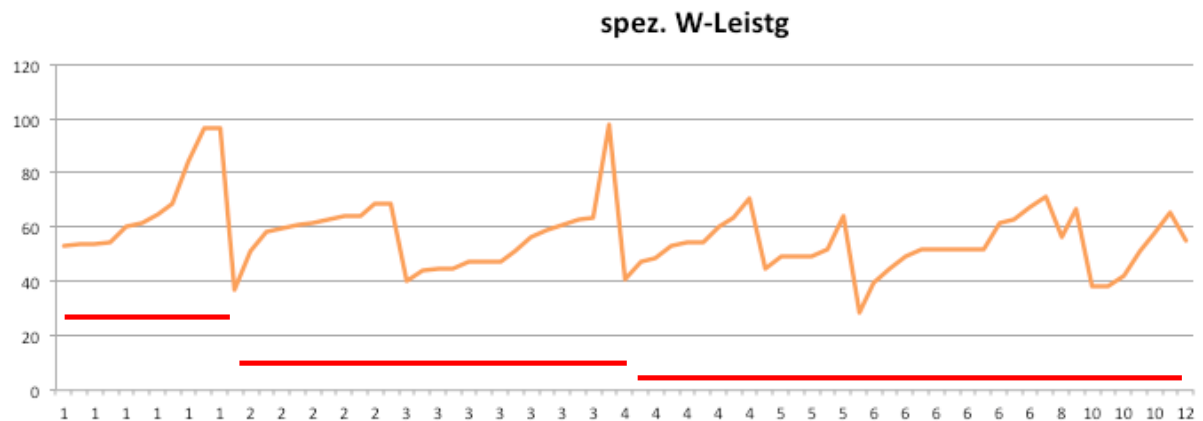


Tabelle 3.1-1: Vergleich der spezifischen Wärmeleistungen der beiden Messperioden

Die mittleren Leistungen der Anlagen mit nur einer Sonde und aller Anlagen zusammen sind in der Stadt leicht grösser als in den 2016/17 gemessenen. Die spezifische Leistung ist also nicht pauschal für die höheren Minimaltemperaturen auf Stadtgebiet verantwortlich.

Anzahl Sonden pro Anlage	Spez. Wärmeleistung, W/m	
	Gemessene Anlagen 17/18	Anlagen 4 Kantone 16/17
1	68	61
2	60	51
3	52	49
>3	53	
alle	57	56

Bild 3.1-2: Spezifische Wärmeleistung in Abhängigkeit des Sondenalters:

Die Anlagen mit den höchsten spezifischen Leistungen sind alle älter als 15 Jahre, was nicht erstaunt. In jener Altersgruppe ist aber auch die Spanne der spez. Leistungen sehr gross, entsprechend der damaligen Unsicherheit zur korrekten Auslegung.

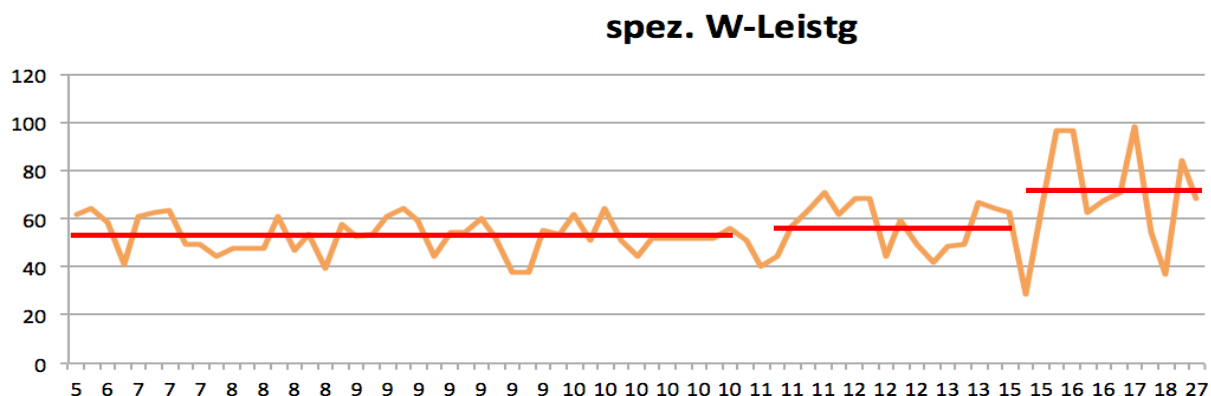


Bild 3.1-3: Sondenalter in Abhängigkeit der Anzahl Sonden

Die ältesten Anlagen sind Einzelsonden, mit einem durchschnittlichen Alter von bereits 15 Jahren, während das Durchschnittsalter der Mehrsondenanlagen um 10 Jahre liegt. Aber einzelne Anlagen mit bis zu 10 Sonden existieren auch schon seit 15 Jahren.

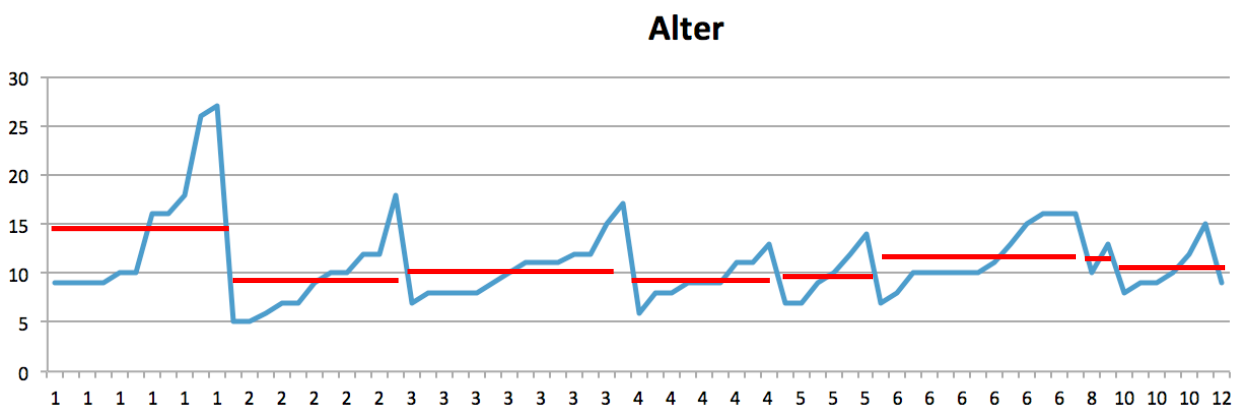


Tabelle 3.1-2: Alter der Anlagen beider Messperioden

Im Vergleich zu den 16/17 untersuchten Anlagen sind die städtischen deutlich jünger.

Anlagenalter	Anteil an Gesamtzahl	
	Gemessene Anlagen 17/18	Anlagen 4 Kantone 16/17
5-10	58%	4%
11-15	28%	60%
16-20	11%	29%
>21	4%	7%
Durchschnitt	11 Jahre	18 Jahre

Bild 3.1-4: Max. Sondentiefe in Abhängigkeit des Sondenalters:

Die durchschnittliche Sondentiefe ist auf Basis der 79 betrachteten Anlagen in Zürich im Lauf der Zeit um etwa 90m/20Jahre = 4.5m/a gestiegen.

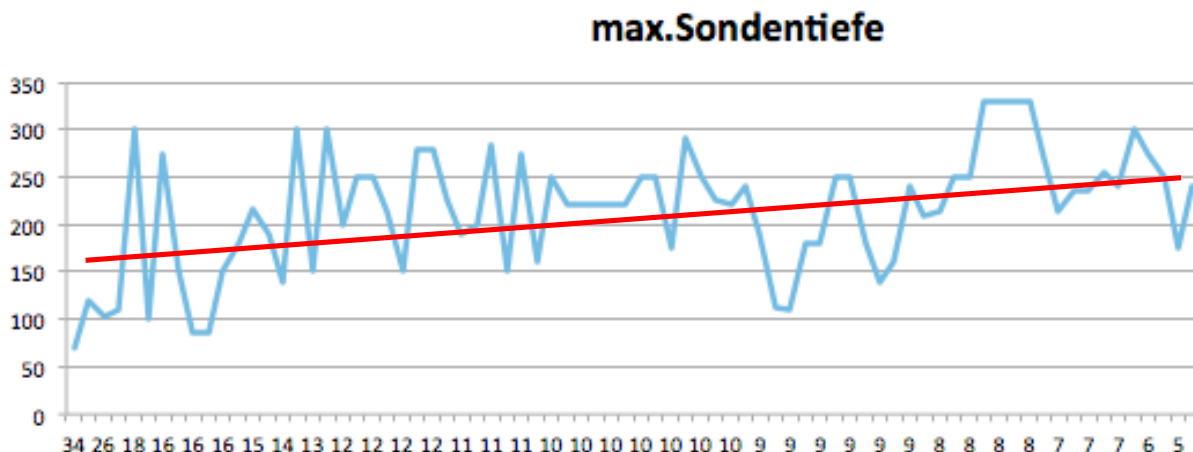


Tabelle 3.1-3: Vergleich der gewählten Anlagen mit der durchschnittlichen Anlage in Zürich

Für die Untersuchung wurde ein überdurchschnittlicher Teil grösserer Anlagen gewählt, weil sich diese aufgrund der Untersuchung von 16/17 als kritischer erwiesen haben.

Anzahl Sonden pro Anlage	Anteil an Gesamtzahl	
	Alle Sonden auf Stadtgebiet	Gemessene Anlagen 17/18
1	34%	15%
2	23%	15%
3	14%	19%
>3	33%	50%

Obwohl das Durchschnittsalter der gemessenen Anlagen deutlich kleiner ist als im Falle der 16/17 in den Kantonen gemessenen, liegt es noch deutlich über dem Durchschnitt der Anlagen auf Stadtgebiet. Das Angebot an Erdgas und Fernwärme hat die Wärmepumpe gegenüber ländlicheren Gebieten offenbar lange Zeit gebremst.

Anlagenalter	Anteil an Gesamtzahl	
	Alle Sonden auf Stadtgebiet, älter als 4 Jahre	Gemessene Anlagen 17/18
5-10	70%	58%
11-15	18%	28%
16-20	9%	11%
>21	3%	4%
Durchschnitt	10 Jahre (älter als 4 Jahre) 8 Jahre (alle Anlagen)	11 Jahre

3.2 Überblick über die Messresultate anhand des Bewertungsschlüssels

Bild 3.2-1: Minimale Jahresmitteltemperaturen in Abhängigkeit des Sondenalters.

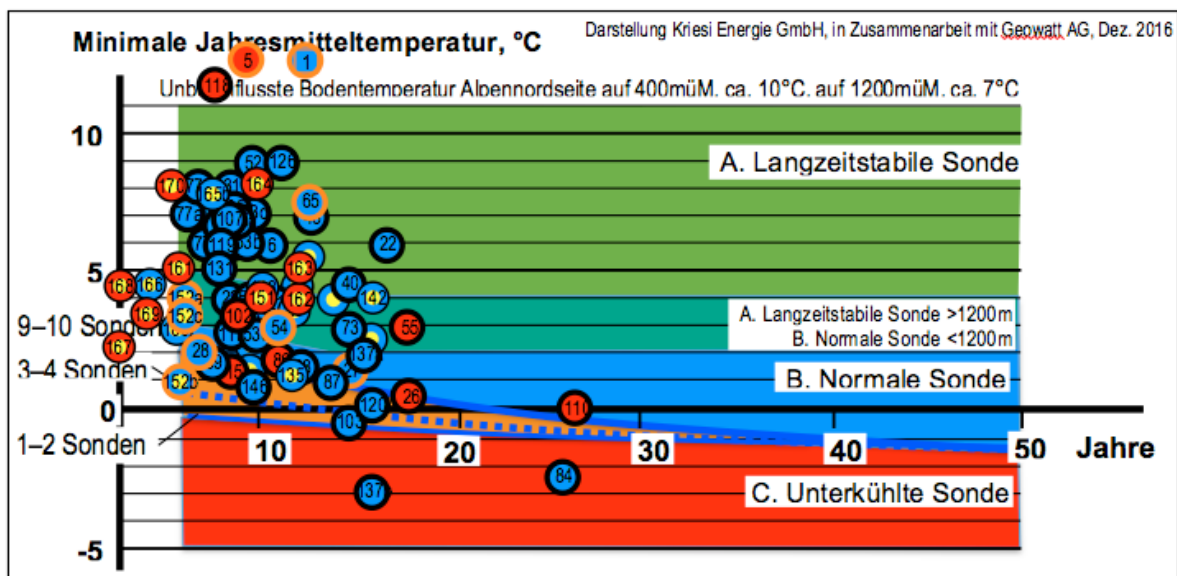
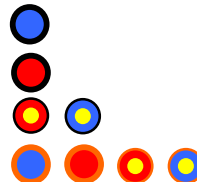
- Die tiefsten Temperaturen wurden in den Monaten Februar und, als Folge des ungewöhnlich kalten Wetters zu Frühlingsbeginn, März beobachtet. Anhand der Farben lassen sich Anlagen bis 3 oder mehr Sonden, solche mit oder ohne Wärmeeintrag und vom Hauseigentümer oder den Werken EWZ oder EKZ im Contracting betriebene unterscheiden.
- Von den 3 Anlagen mit zu hohen Werten verfügt 1 über ganzjährige Abwärme aus einem Fotokopiergeschäft, die beiden anderen beziehen unerklärlich viel Strom vom EWZ. Bei einer der beiden ist aufgrund des Heizungsschemas eine Rücklieferung an das Erdreich wahrscheinlich, bei der anderen fehlt eine Erklärung.
- Die Zahl der klar unterkühlten Anlagen ist mit 4 Stück oder 5% der gemessenen sehr klein.
- Die Anlagen mit deklariertem Wärmeeintrag liegen nicht signifikant höher als die übrigen.
- In dieser Darstellung lässt sich die starke Abhängigkeit vom Sondenalter schlecht able- sen.
- Ein signifikanter Unterschied zwischen den vom Eigentümer oder den Werken betriebenen Anlagen lässt sich nicht erkennen.

Anlagen mit ≥ 3 Sonden:

Anlagen mit < 3 Sonden:

Anlagen EWZ/EKZ $>< 3$ Sonden:

Anlagen mit Wärmeeintrag:



Bewertung durch Zuordnung zu Kategorien A bis C

- 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.

3.3 Einflussgrössen für die Minimaltemperatur, Vergleich mit Daten 2016/17

Tabelle 3.3-1: Wichtigste Resultate und Vergleich mit den 16/17 gemessenen Anlagen

- In der Stadt liegt die durchschnittliche Sondentemperatur mit 4.2°C um 1.5K höher als in den 2016/17 gemessenen Gemeinden (Zeile 8). Im März ist die Situation aber umgekehrt, eine Folge des 2018 speziell kalten Wetters in diesem Monat (Zeile 12).
- Das um 7 Jahre tiefere Durchschnittsalter der Sonden (Zeile 2) erklärt mit 1.4K pro 10 Jahre (Zeile 19) 2/3 der durchschnittlich um 1.5K höheren Minimaltemperatur. Die weiteren 0.5K liegen im Fehlerbereich, liessen sich aber auch mit der in der Stadt höheren Untergrundtemperatur erklären.
- Die in der Stadt ausgewählten Anlagen sind wesentlich grösser als die 2016/17 gemessenen, bezüglich Heizleistung, Sondenanzahl und -tiefe (Zeilen 3, 5, 7). Dies hängt mit dem in der Stadt hohen Anteil an Mehrfamilienhäusern, aber auch mit einer selektiven Auswahl der gemessenen Anlagen zusammen (sh. Tabelle 3.2-4). Es wurden speziell viele grössere Anlagen einbezogen, da die frühere Untersuchung neben dem Alter die Sondenanzahl als wichtigsten Parameter für die Sondentemperatur ergab.
- Der deutlich geringere Anteil zu kühler Sonden auf Stadtgebiet erklärt sich teilweise durch die geringe Zahl sehr alter Anlagen.

Nr.	Eigenschaft	Daten Stadt 17-18	Daten 4 Kantone 16-17	Differenz/Verhältnis
1	Anzahl ausgewertete Anlagen	76	91	91%
2	Durchschnittsalter, Jahre:	11	18	61%
3	Durchschnittliche Heizleistung, kW:	50	12	420%
4	Durchschnittliche spez. Heizleistung, W/m:	57	56	102%
5	Durchschnittliche Sondenanzahl, eigene:	4.2	1.6	260%
6	Durchschnittliche Sondenanzahl, inkl. Nachbarsonden:	4.3	2.6	160%
7	Durchschnittliche Sondentiefe, m:	215	164	131%
8	Durchschnittstemperatur Minimal, °C:	4.2	2.7	1.5 K
9	Durchschnittstemperatur Dezember, °C:	6.0	4.9	1.1 K
10	Durchschnittstemperatur Januar, °C:	6.2	2.6	3.6 K
11	Durchschnittstemperatur Februar, °C:	4.6	3.7	0.9 K
12	Durchschnittstemperatur März, °C:	4.6	4.8	-0.2 K
13	Durchschnittstemperatur April, °C:	5.9	6.6	0.7 K
14	Anteil Kat. A, Anz. (%):	39 (51%)	19 (21%)	243%
15	Anteil Kat. B, Anz. (%):	30 (39%)	39 (43%)	91%
16	Anteil Kat. C, Anz. (%):	4 (5%)	25 (27%)	18%
17	Resultat unbrauchbar, Anz. (%):	3 (4%)	8 (9%)	31%
18	Abhängigkeit Mintemp. v. Sondenanzahl, K/Sonde	0.4	0.8	
19	Abhängigkeit Mintemp. v. Sondenalter, K/10 Jahre	1.4	1.4	
20	Abhängigkeit Mintemp. v. Sondenleistung, K/(W/m)	0.4	0.7	
21	Abhängigkeit Mintemp. v. Sondentiefe, K/100m	1.2	0	

Bild 3.3-1: Minimum der Jahresmitteltemperatur in Abhängigkeit der spez. Sondenleistung:

Daten aus 4 Kantonen 16/17	2K/(70-40)W/m	0.7K/10W/m
Daten Zürich 17/18	2.5K/(100-40)W/m	0.4K/10W/m

Die geringere Abhängigkeit der Anlagen Zürich 17/18 ist angesichts des deutlich höheren Anteils grösserer Anlagen nicht erstaunlich, werden deren geringere Leistungen (Bild 3.1-1) doch durch die geringen Abstände kompensiert.

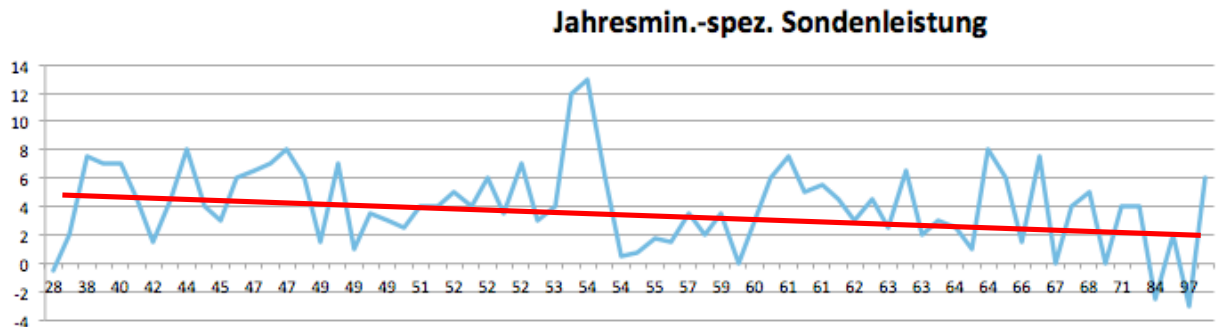


Bild 3.3-2: Minimum der Jahresmitteltemperatur in Abhängigkeit des Sondenalters:

Daten aus 4 Kantonen 16/17	2.5K/(27-9) Jahre	1.4K/10 Jahre
Daten Zürich 17/18	3K/(27-5) Jahre	1.4K/10 Jahre

Nachdem die Temperaturen in den ersten Betriebsjahren deutlich rascher abfallen als später, sind die tiefen Werte der ganz jungen Anlagen nicht verständlich. Sie dämpfen damit den Alterseinfluss, der sonst durch den zwischen 10 und 27 Jahren beobachteten stärkeren Abfall grösser ausfallen würde.

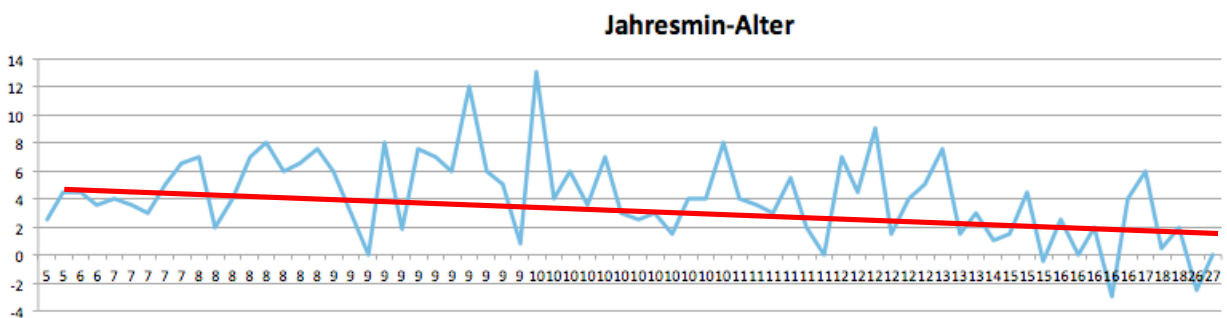
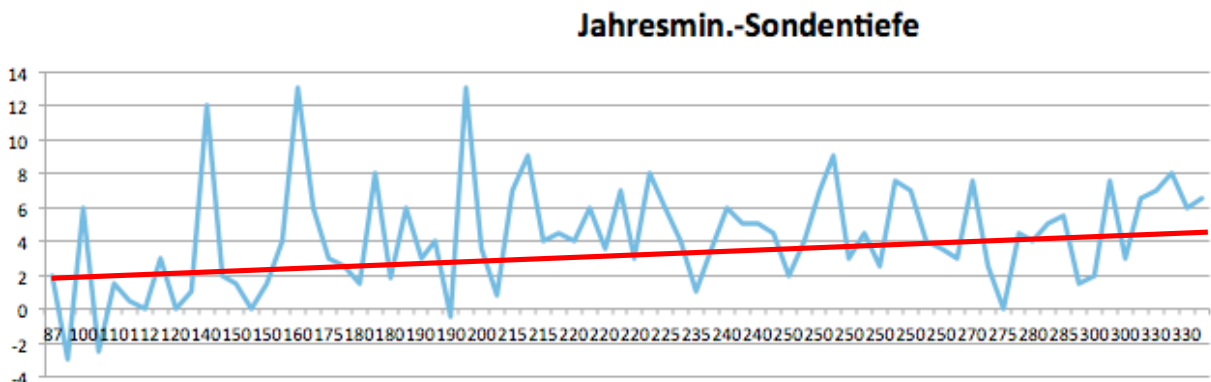


Bild 3.3-4: Minimum der Jahresmitteltemperatur in Abhängigkeit der Sondentiefe:

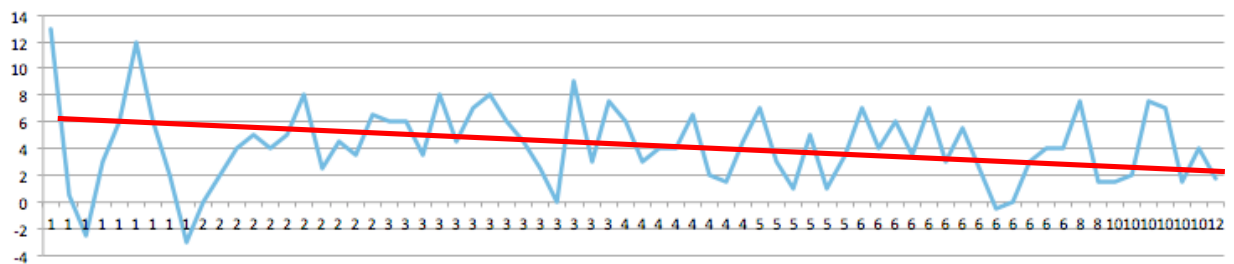
Daten aus 4 Kantonen 16/17	0K/(300-55)m	0K/100m
Daten Zürich 17/18	3K/(340-90)mm	1.2K/100m

Die mit 1.2K/100m doch recht deutliche Abhängigkeit von der Sondentiefe ist angesichts des früher beobachteten fehlenden Zusammenhangs erstaunlich. Eine Teilerklärung bietet die in Bild 3.1-4 gezeigte Zunahme der Sondenlänge im Laufe der letzten Jahre. D.h. längere Sonden sind tendenziell jünger und entsprechend wärmer.

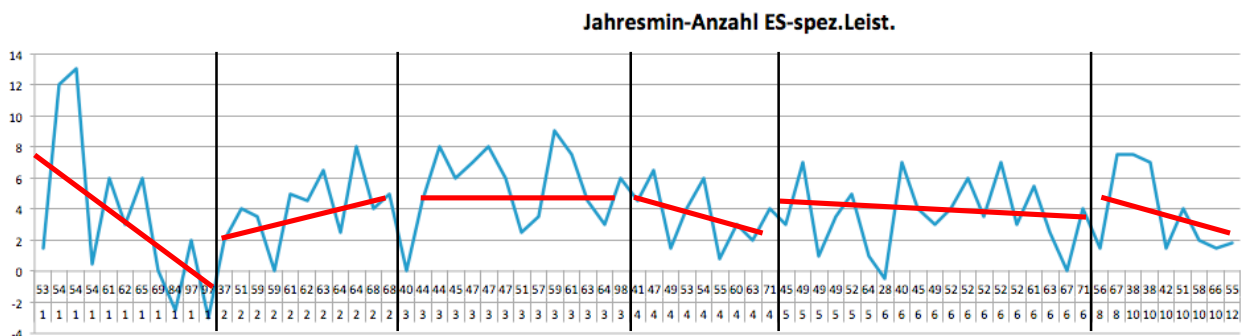


Daten aus 4 Kantonen 16/17	(5-0)K /(7-1) Sonden	0.8K/Sonde
Daten Zürich 17/18	(6-2)K/10 Sonden	0.4K/Sonde

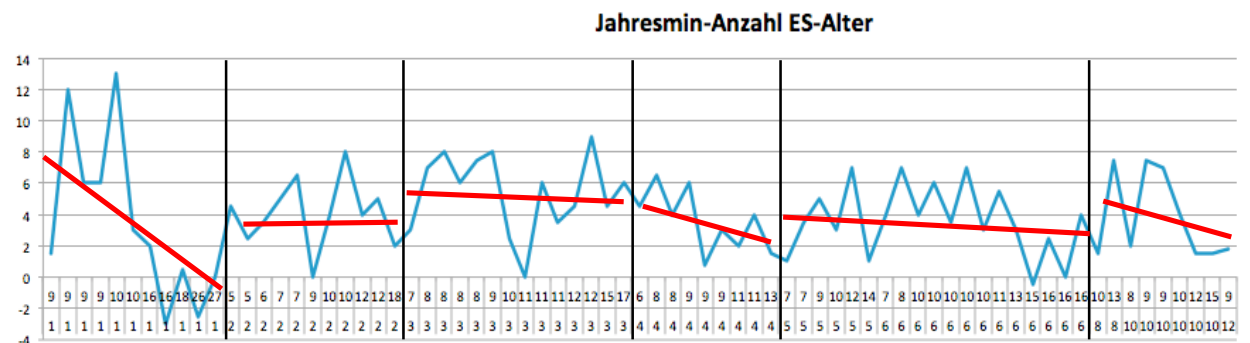
Jahresmin.-Anz ES



Eine Erklärung für den negativen Effekt der steigenden spezifischen Sondenleistung der Anlagen mit 2 Sonden fehlt vollständig. Vielleicht würde eine Analyse der Art der Wärmenutzung eine Erklärung liefern.



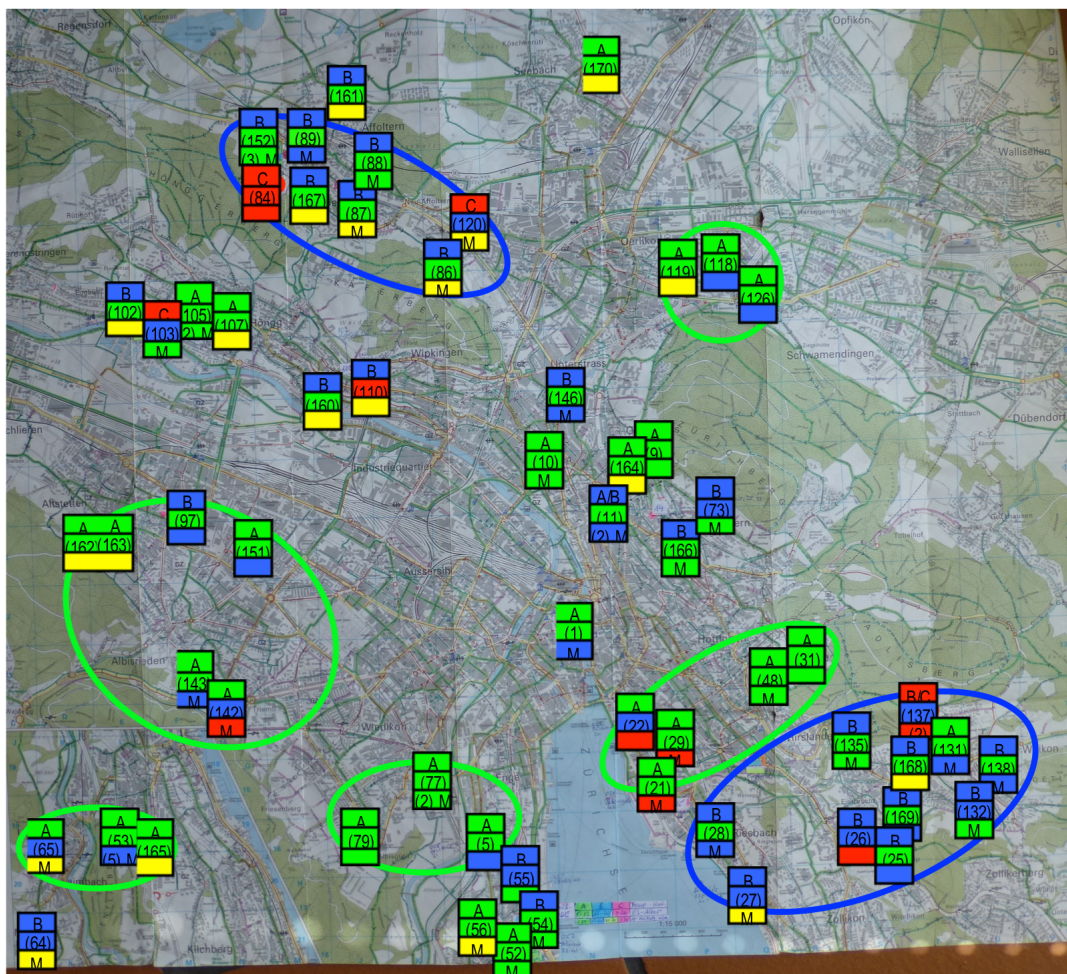
Innerhalb der Gruppen mit gleichen Sondenzahlen hat die Altersvariation teils keinen, teils einen starken Effekt.



3.4 Geografische Verteilung der Anlagen und wichtigste Eigenschaften

Bild 3.4-1: Verteilung der gemessenen Anlagen und wichtigste Eigenschaften

- Die 4 Anlagen der Kategorie C sind alle älter als 15 Jahre. Bei 3 Anlagen ist die Unterkühlung mit der zu hohen spezifischen Sondenleistung zu erklären, bei 2 zudem mit dem kleinen Abstand von den Nachbarsonden der gleichen Überbauung. Bei der 4. Anlage hingegen gibt nur die Sondenanzahl 6 einen Hinweis auf möglicherweise zu geringe interne Abstände. Eine mögliche Beeinflussung zwischen benachbarten Siedlungen wurde in ganz wenigen Fällen nicht festgestellt.
- In den grün gekennzeichneten Regionen bestehen auch Sonden mit sehr hoher spezifischer Leistung, was auf generell bevorzugte geologische Bedingungen hindeutet. Fast alle Anlagen sind aber weniger als 12 Jahre alt, was die Vermutung wieder relativiert. Andererseits erreichen in den blau gekennzeichneten Regionen auch viele jüngere Anlagen nur noch die Kategorie B, teils sogar mit tiefer spezifischer Leistung. Dies stützt die These systematischer regionaler geologischer Differenzen.



Anlagensymbole:

Farbcode:

Kategorie:	A	B	C
Sondenalter, Jahre:	5-12	13-20	>20
Spez. Sondenleistung (Heizleistung), W/m:	<50	51-60	61-70

Regionen grossmehrheitlich mit Kategorie A/B:



Zahlencode:

Kategorie:	A
Interne Anlagennummer	(165)
Anzahl gemessener Anlagen mit gleicher Nummer, M= Anlagen mit >3 Sonden	(2) M

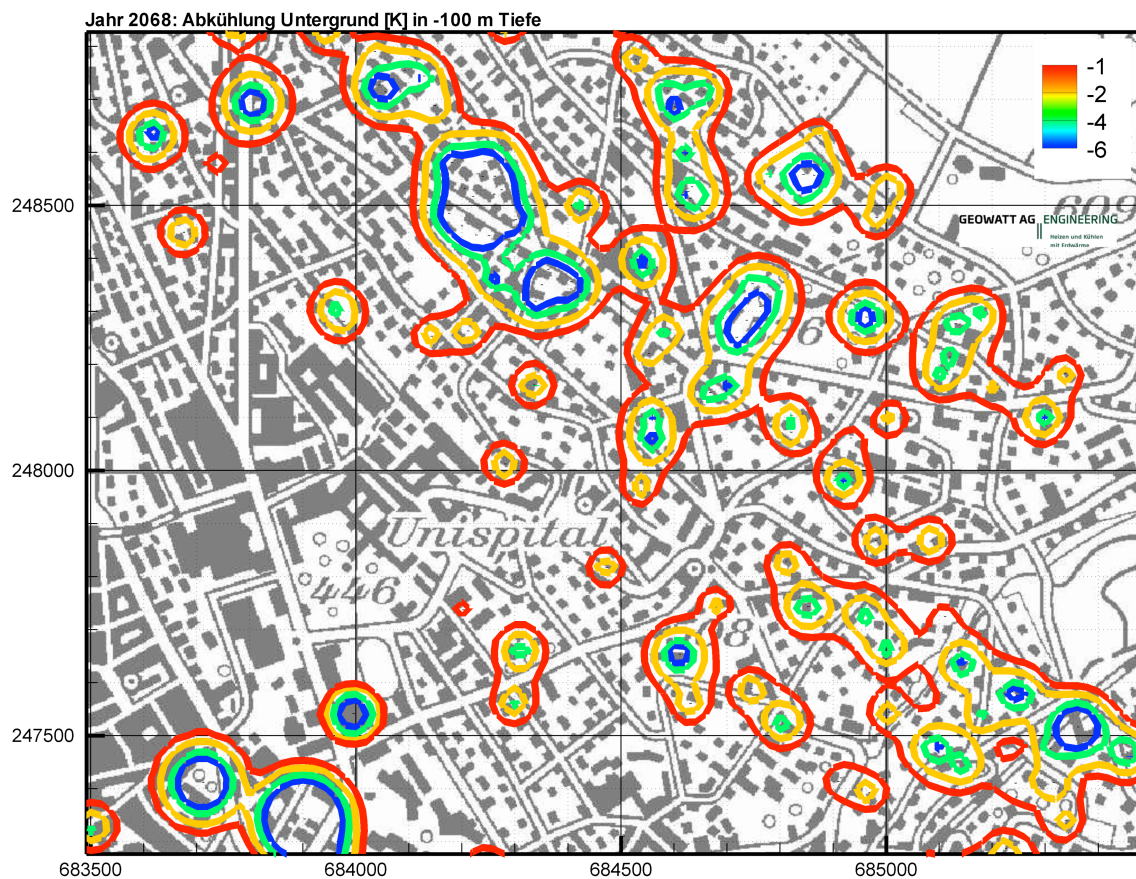
3.5 Extrapolation für das Jahr 2068 durch Simulation

(aus: Simulationsrechnungen zur Bewertung der Studie „Bewertung älterer Erdsonden in der Stadt Zürich“, Geowatt AG, Thomas Mégel, 2018)

Die heutigen Anlagen in der Stadt Zürich beeinflussen sich erst ganz selten zwischen unterschiedlichen Bauprojekten, wie ein genauerer Blick in das GIS zeigt. Erstaunlicherweise liegen unabhängig erstellte Erdsonden in den untersuchten ländlichen Gemeinden häufiger nahe beisammen. Unter der Annahme, dass die Erdsondenanlagen in der Stadt Zürich mit den heutigen Leistungen auch langfristig genutzt werden, zeigt sich im Jahr 2068 – also nach 50 Jahren Nutzungszeit ab heute – allerdings in vielen Quartieren ein ganz anderes Bild mit einer sehr deutlichen parzellenübergreifenden Nutzung des Untergrunds.

Bild 3.5-1: Simulation der Temperaturabsenkung im Untergrund für das Jahr 2068

Im hier dargestellten Bild für das Quartier Unispital zeigt sich, dass der Untergrund der Stadt Zürich in den meisten Gebieten bereits durch die heute bestehenden Erdsondenanlagen um mehrere Kelvin abgesenkt sein wird.



4 Folgerungen

- Der Bewertungsschlüssel zur visuellen Darstellung des Zustands der Erdsonden hat sich auch für diese Messdaten bewährt. Durch die Erweiterung mit einer Grenzlinie für Anlagen bis 10 Sonden sind etwa 2 Anlagen vom „Normalen“ in den „Unterkühlten“ Bereich gerutscht. Weil die Darstellung nur für Anlagen mit mehr als 6 Betriebsjahren empfohlen wird, schwächt sich der Unterschied durch die Zahl nahe liegender Sonden stark ab.
- Die in der Untersuchung 16/17 beobachteten Abhängigkeiten der Jahresminimaltemperatur vom Sondenalter und der spezifischen Belastung sind hier wieder ähnlich feststellbar. Grössere Differenzen ergeben sich bei der Abhängigkeit von Sondenzahl und –Tiefe. Beide lassen sich mindestens teilweise durch das geringere Sondenalter der Anlagen mit grösseren Sondenzahlen und –tiefen erklären, der geringere Einfluss von der Sondenzahl zudem durch die abgeflachte Wirkung bei Anlagen mit mehr als etwa 6 Sonden. Grundsätzlich ergibt sich also ein ähnliches Bild.
- Die laufende Abkühlung der Sonden ist ein neuer Aspekt für Contractingverträge mit Erdsonden. Vermutlich hat bisher niemand eine Bedingung der genügend hohen minimalen Sondentemperatur bei Übergabe der Anlage an den Gebäudebetreiber vorgesehen. Obwohl die primär Interessierten an einer solchen Zusatzbedingung die Gebäudebetreiber sind, kann dies nur über die Werke kommuniziert werden.
- Die Tatsache, dass die Anlagen mit den höchsten spezifischen Sondenbelastungen alle älter als 15 Jahre sind, lässt auf einen gewissen Erfolg der SIA 384/6, mit der tiefere Werte vorgegeben werden, schliessen.
- Obwohl gem. geologischen Erkenntnissen auf Stadtgebiet keine klar bevorzugten Gebiete bestehen, scheint in einigen Zonen der Anteil der nachhaltig warmen Anlagen systematisch höher, unabhängig von Alter und spezifischer Belastung. Angesichts der pro Region doch geringen Anzahl spielt möglicherweise der Zufall bezüglich Gebäudenutzung mit eine Rolle.
- Auch für die sehr hohen Temperaturen einiger Anlagen auf Stadtgebiet muss die Nutzung eine Rolle spielen. Obwohl die Anlagen mit deklarierter Regeneration nicht systematisch wärmer liegen, dürfte diese einen Einfluss haben. Um dies zu erkennen, müssten jedoch alle Anlagen zusätzlich bezüglich ihrer Nutzung, d.h. Betriebsstunden der Wärmepumpen und möglicher Regeneration, untersucht werden. Einen Hinweis in diese Richtung bieten die 3 über 10°C warmen Anlagen; eine gibt ganzjährig Abwärme an die Sonde ab, die anderen 2 weisen einen sehr hohen Elektrizitätsbedarf auf, wovon eine aufgrund des Heizungsschemas auch Wärme an die Sonde abgeben könnte.
- Das deutlich geringere Sondenalter der in der Stadt gemessenen Anlagen von 11 gegenüber 18 Jahren der 16/17 in den 4 Kantonen untersuchten erklärt zu einem wesentlichen Teil das bessere Gesamtbild mit nur 5% unterkühlten Anlagen gegenüber 27% der 16/17 untersuchten. Die Vermutung liegt deshalb nahe, dass bei Wiederholung der gleichen Untersuchung in 5 bis 10 Jahren die Situation bereits sehr ähnlich aussehen dürfte. Die Extrapolation für das Stadtgebiet für das Jahr 2068 zeigt denn auch eine starke Ausdehnung und ein Zusammenwachsen unterkühlter Gebiete. Die Simulation wurde aber noch auf der Basis der heute bestehenden Anlagen vorgenommen. Bis dahin wird sich die Zahl der Sonden aber noch vervielfachen. Es wäre deshalb sehr zu empfehlen, zumindest jeder neuen Erdsondenbewilligung eine Auflage zur Messung der Sondentemperatur anzufügen und eine Regeneration im Umfang der entzogenen Wärmemenge zu verlangen, wenn die minimale Jahresmitteltemperatur unter +2°C abfällt. Damit könnte viel künftiger Nachbarstreit vermieden werden. Diese Untersuchung soll die dazu notwendige Beurteilungsbasis stärken.

5 Sicht des Auftraggebers

Text:

- Aufzählung.
- Aufzählung.
- Aufzählung.

6 Anhang

Verwendetes Erdsonden-Bewertungsdiagramm

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 Messfühlem 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)

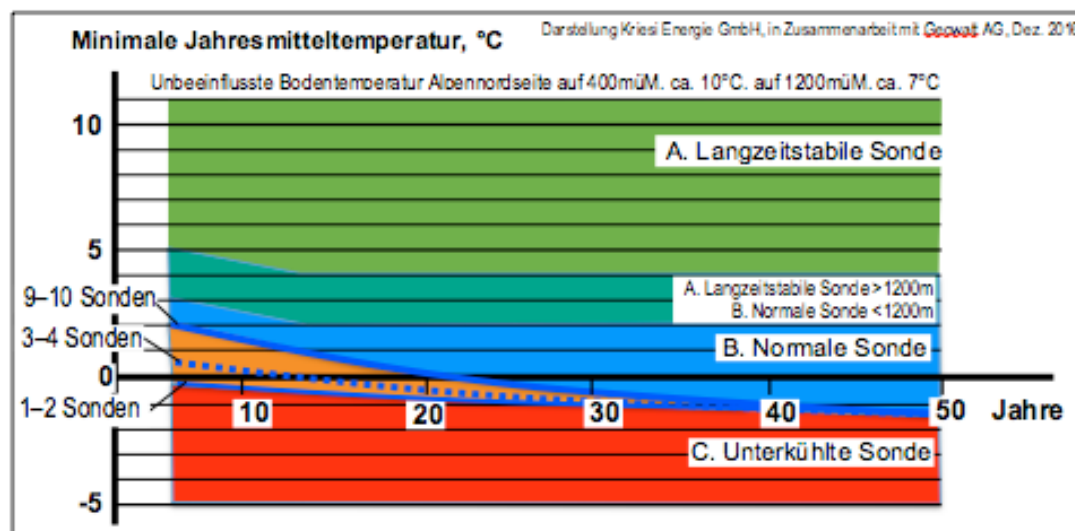
Monat	Mini. Mitteltemp. °C	Monat	Mini. Mitteltemp. °C	Monat	Mini. Mitteltemp. °C
November		Dezember		Januar*	
Februar*		März		April	

* 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)

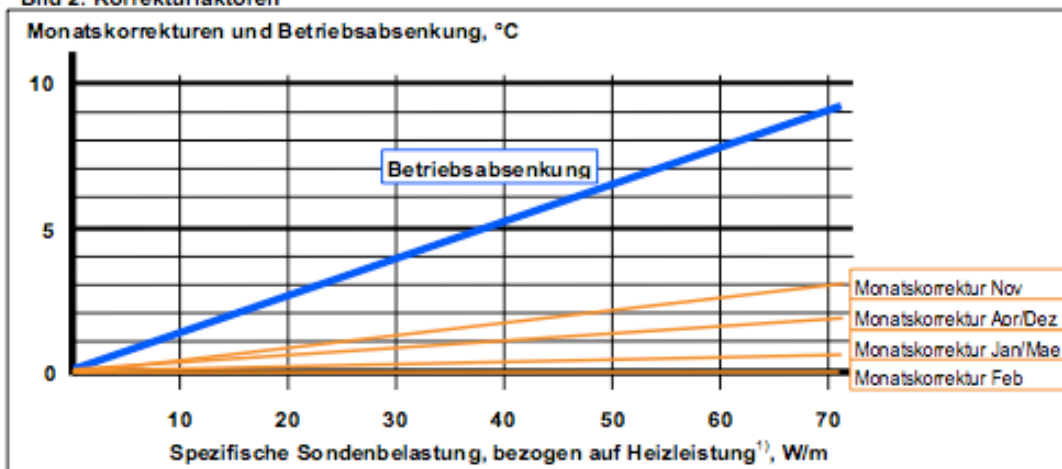


Bewertung durch Zuordnung zu Kategorien A bis C (Erklärungen s. Kap. 5. Hinweise):

- 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 Heizleistung¹): $12000\text{W}/200\text{m} = 60\text{W/m}$
 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°C liegen. Da der Wert knapp an der Grenze liegt, wird empfohlen, die Sondenmitteltemperatur 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 Heizleistung¹): $5000\text{W}/125\text{m} = 40\text{W/m}$
 Gemessene Sondenmitteltemperatur = 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°C liegen.

¹ 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 Unterkühler 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 Wärmepumpe¹⁾. 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.

27.6.18/RKR

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

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] Kriesi Energie GmbH, Ruedi Kriesi: „Analyse von Erdwärmesondenanlagen“, Schlussbericht, Bundesamt für Energie, Sept. 2017
- [2] Geowatt AG, Thomas Mégel: Simulationsrechnungen zur Bewertung der Studie „Bewertung älterer Erdsonden in der Stadt Zürich“, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, August 2018