

Schlussbericht, 15. Dezember 2018

Bericht «Kontrolle und Validierung EWS bei WP-Anlagen»

Beurteilung des Kontrolltools für die Prüfung von unterkühlten EWS



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Subventionsgeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.BFE.admin.ch

Subventionsnehmer:

Konferenz der Gebäudetechnik-Verbände (KGTV)
Steinerstrasse 37
CH-3006 Bern

Projektleiter:

Peter Hubacher, Hubacher Engineering
St. Gallerstrasse 1, 9032 Engelburg

Projektmitarbeiter:

Carlos Bernal, Hubacher Engineering

BFE-Vertragsnummer: SH/8100039-01-01-03 vom 27. November 2017

**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: CH-3003 Bern
Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
1.1	Résumé.....	5
2	Einleitung und Vorgaben.....	6
2.1	Marktsituation.....	6
2.2	Bewertungsschlüssel Kriesi (Beurteilungstool).....	6
3	Anlagensample.....	7
4	Instruktion.....	7
5	Datenanalyse	7
6	Auswertung und Vergleich	24
7	Beurteilung	26
8	Anhang.....	28

1 Zusammenfassung

Das BFE hat aufgrund der Tatsache, dass es bis 2010 für Erdwärmesondenanlagen keine klaren und eindeutigen Dimensionierungsunterlagen gegeben hatte, ein Beurteilungstool erstellen lassen. Mit diesem Tool können in Betrieb stehende Erdwärmesondenanlagen aufgrund von Messungen der Soletemperaturen (von und nach dem Erdreich) kontrolliert werden. Dieses Beurteilungstool lehnt sich an die Vorgaben der SIA-Norm 384/6 für Erdwärmesonden an. Nach der Norm sind die Erdwärmesonden so zu dimensionieren, dass nach 50 Betriebsjahren der Mittelwert der Soletemperatur (von Vor- und Rücklauf) nicht unter dem Wert von -1.5°C fällt).

Mit dieser Arbeit wurde die Qualität und die Anwendung des Beurteilungstool untersucht. Dabei wurden acht Anlagen im Feld ausgewählt, bei denen die Soletemperatur im ersten Betriebsjahr gemessen wurden und deren Betrieb in den damals für das BFE ausgeführten Feldanalyseprojekten FAWA und QS-WP über längere Zeit erfasst und analysiert worden war. Somit waren die wichtigen und notwendigen Anlagedaten für die Beurteilung bekannt.

Ursprünglich war das Beurteilungstool für den Einsatz über die gesamte Heizperiode gedacht. Deshalb wurde mit einer Hilfstabelle gearbeitet, mit der man die gemessenen Soletemperaturen um die Differenz zum tiefsten Wert im Februar/März (gegen Ende der Heizperiode) korrigieren konnte. Die Validierung hat nun gezeigt, dass dieses Korrekturvorgehen nicht geeignet ist. Die Differenzwerte nach Tabelle stimmen mit den Messwerten nicht überein. Es konnte auch keine Korrelation dieser abweichenden Werte gefunden werden. Anlässlich einer Besprechung dieses Hilfsverfahrens mit den Erstellern des Beurteilungstools wurde dieses Hilfsverfahren weggelassen.

Der Vergleich der gemessenen Soletemperaturen mit der Grafik des Beurteilungstools zeigt, dass dieses Verfahren eine gute Möglichkeit darstellt, um Erdwärmesondenanlagen nach mehreren Betriebsjahren überprüfen zu können.

Für die Ermittlung der tiefsten Soletemperaturen ist es notwendig, dass die Wärmepumpenanlage 4 Betriebsstunden ohne Unterbruch läuft. Diese Notwendigkeit ist nicht einfach zu erfüllen, da es kaum möglich ist eine so lange Betriebsphase zu erzwingen. Man kam deshalb zur Überzeugung, dass die messtechnische Erfassung der Soletemperaturen nur mittels Datenlogger und über eine Zeitperiode von 3-4 Monaten (zweite Hälfte der Heizsaison Dez/Jan bis Ende März) erfolgen muss. Die besten Voraussetzungen für eine korrekte Messung bringen die Installateurfirmen mit.

Dieses Vorgehen konnte im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls bestätigt werden.

1.1 Résumé

Avant 2010, il n'existait pas de documentation claire et univoque pour le dimensionnement des sondes géothermiques, c'est pourquoi l'OFEN a fait développer un outil d'évaluation. Grâce à cet outil, les installations de sondes géothermiques opérationnelles peuvent être contrôlées sur la base de mesures de température de la saumure (à l'aller et au retour des sondes). Cet outil d'évaluation est basé sur les prescriptions de la norme SIA 384/6 pour les sondes géothermiques. Selon cette norme, les sondes géothermiques doivent être dimensionnées de telle manière à ce qu'après 50 ans d'exploitation, la moyenne entre les températures aller et retour (température de l'eau circulant dans les sondes, vers et en provenance du sous-sol), ne soit pas inférieure à -1,5°C.

Cette étude a évalué la qualité et l'utilisation de l'outil de contrôle. Pour cela, huit installations ont été sélectionnées sur le terrain, pour lesquelles la température de la saumure a été mesurée au cours de la première année de service et dont l'exploitation a été enregistrée et analysée sur une longue période, dans le cadre des anciens projets FAWA et QS-WP de l'OFEN. Les données d'évaluation importantes et nécessaires étaient donc connues.

À l'origine, l'outil d'évaluation était destiné à être utilisé pendant toute la saison de chauffage. C'est pourquoi l'outil était accompagné d'une table auxiliaire, permettant de corriger les mesures de température de la saumure en fonction de la différence des valeurs les plus basses en février/mars (vers la fin de la saison de chauffage). La validation a désormais démontré que cette procédure de correction ne convient pas. Les valeurs de différence indiquées par la table ne correspondent pas aux valeurs mesurées. En outre, aucune corrélation n'a pu être trouvée entre ces valeurs divergentes. Lors de la discussion de cette procédure auxiliaire avec les concepteurs de l'outil d'évaluation, il a été décidé d'abandonner cette table auxiliaire.

La comparaison entre les températures de saumure mesurées et le graphique de l'outil d'évaluation constitue un bon moyen de contrôler les installations de sondes géothermiques après plusieurs années de fonctionnement.

Pour déterminer les températures de saumure les plus basses, il est nécessaire que le l'installation de pompe à chaleur fonctionne durant 4 heures sans interruption. Ce point n'est pas facile à satisfaire, car il est difficile de forcer une durée de fonctionnement aussi longue. Il a donc été convenu que la mesure de température de la saumure ne devait être effectuée qu'à l'aide d'un data-logger, et sur une période de trois à quatre mois (deuxième moitié de la saison de chauffage, de décembre/janvier à fin mars). Les installateurs sont les plus aptes à fournir les meilleures conditions pour une mesure correcte.

Cette procédure a également été confirmée dans le cadre de ce travail.

2 Einleitung und Vorgaben

2.1 Marktsituation

Die vielen Erdwärmesonden, welche in den letzten Jahren in der Schweiz abgeteuft wurden, sind bis zum Jahr 2010 nach einer einfachen Faustformel (50W-Regel) dimensioniert worden. Gemäss Statistik wurden bis 2010 mehr als 11.5 Mio. Meter Erdwärmesonden in Betrieb genommen.

Die im Jahr 2010 eingeführte SIA-Norm 384/6, welche die Dimensionierung und den Einbau von Erdwärmesonden klar regelt, trägt dazu bei, dass heute die Qualität der Erdwärmesondenanlagen besser sein sollte.

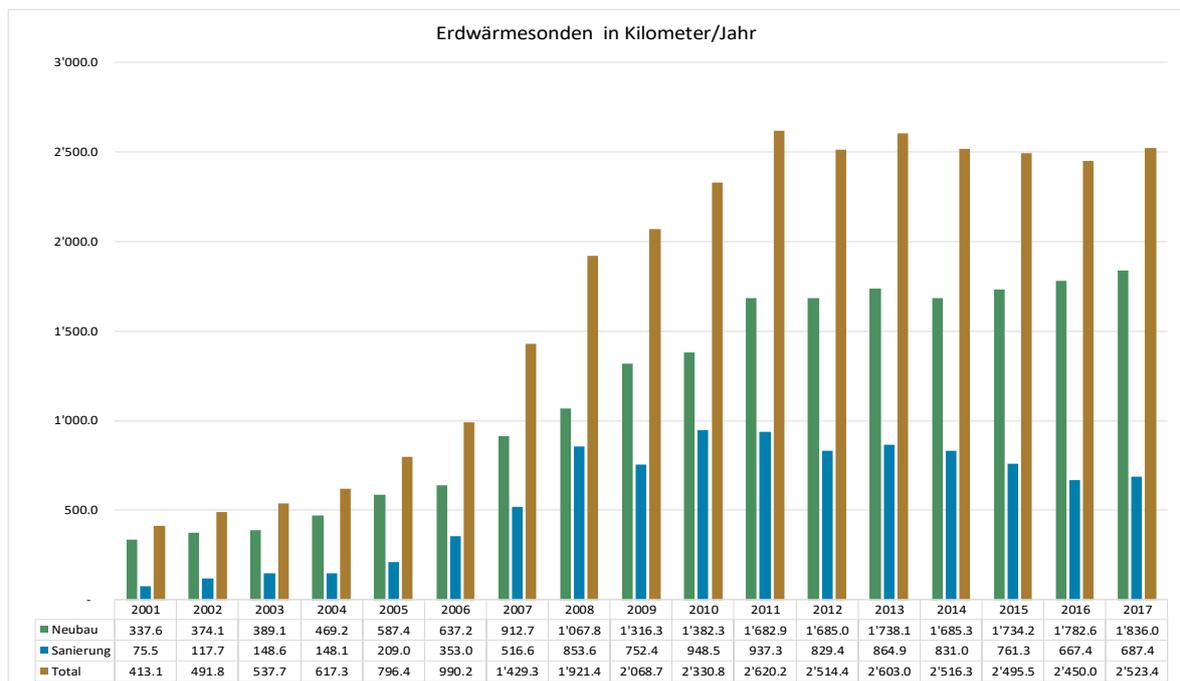


Abb. 1: Statistik abgeteufte Erdwärmesonden bis zum Jahr 2017 (Angaben FWS)

Speziell bei den Erdwärmesonden, die bis 2010 eingebaut worden sind, ist die Frage offen, wie gut diese noch laufen, resp. bei wie vielen Anlagen ist allenfalls eine zu tiefe Soletemperatur anzutreffen. Oder anders beurteilt, wie steht es mit der Erdreichtemperatur in der Umgebung der Erdwärmesonden. Es sollte demzufolge zuhanden der Installationsbranche eine Beurteilungsmöglichkeit geben um Erdwärmesondenanlagen, insbesondere beim Ersatz von bestehenden Wärmepumpen, beurteilen zu können.

2.2 Bewertungsschlüssel «Kriesi» (Beurteilungstool)

Es wurde im Rahmen einer ebenfalls durch das BFE unterstützten Arbeit von Kriesi Energie GmbH in Zusammenarbeit mit Geowatt AG ein Beurteilungstool erstellt, mit welchem man auf einfache Weise den Zustand einer Erdwärmesonde hinsichtlich Unterkühlung herausfinden kann.

Da es nicht immer möglich ist, eine Erdwärmesondenanlage in den Monaten Januar bis März zu beurteilen, wurde in diesem Tool eine Möglichkeit für die Monatsabweichende Korrektur der Messung eingebaut.

Dieses Beurteilungstool soll mit dieser Beauftragung anhand von insgesamt 8 Anlagen, bei welchen die Ursprungsdaten bereits erfasst worden sind, auf seine Anwendung und Genauigkeit hin kontrolliert werden.

Der aktuelle Bewertungsschlüssel samt Anwendungsvorgaben ist im Anhang ersichtlich.

3 Anlagensample

Es wurden insgesamt nur Anlagen ausgewählt, wo bereits früher Messungen der Soletemperatur der Erdwärmesonden erstellt waren und welche mehrheitlich rund 20 Betriebsjahre aufweisen.

Nr.	Anlage	PLZ	Ort	Gebäude	Qh [kW]	EWS [m]	qK [W/m _{EWS}]	Anlagenart	WW	Inbetrieb seit
1	WITBET17	9300	Wittenbach	EFH	6.5	1x200	26.0	monovalent	ja	2010
2	ENGSON19	9032	Engelburg	EFH	5.8	1x150	30.9	monovalent	ja	2008
3	BERDIC 00	9304	Bernhardzell SG	EFH	9.2	1x150	49.1	monovalent	ja	1997
4	EGGEGG00	9034	Eggersriet	ZFH	7.2	1x140	41.1	monovalent	ja	1996
5	LANSCH10	9503	Lanterswil	EFH	9.6	1x150	51.2	monovalent	nein	1999
6	SPEBER03	9037	Speicherschwendi	EFH	13.2	1x160	70.4	monovalent	ja	1996
7	STEAUS08	9507	Stettfurt	EFH	9.8	1x140	56.0	monovalent	ja	1998
8	WALSON11	9205	Waldkirch	EFH	11.9	1x200	47.6	monovalent	ja	1997

Tabelle 1: Anlagenliste

Als Vergleich ist die Anlage 1 dabei, die mit Wasser betrieben wird. Ev. lassen sich aus dieser Anlage weitere Schlüsse ziehen, da bei dieser Anlage mit Sicherheit keine Übernutzung vorliegt. Zudem existieren auch langjährige Messdaten dieser Anlage.

Alle in der Liste erfassten Anlagen wurden für diese Arbeit mit Datenlogger ausgerüstet. Es wurden Solevor- und Rücklaufemperatur, sowie Datum und Uhrzeit aufgezeichnet.

Die Auflösung der Messdaten wurden zwecks möglichst genauer Beurteilung während den beiden Messphasen, Ende Jahr 2017 und ca. Ende Februar/Anfangs März 2018 jeweils mit 2-10 min Messintervallen aufgezeichnet. In der Zwischenzeit während den 2 Monaten wurden die Messdaten über 20 min gemittelt und dieser Mittelwert aufgezeichnet.

4 Instruktion und Vorgehen

Ursprünglich war geplant, dass neu entwickelte EWS-Bewertungstool, welches Monatskorrekturen enthält, um jederzeit eine Bewertung durchführen zu können, an 15 Anlagen mit einer Einzelmessung zu überprüfen. Nach erster Projektauslegung wurde zusammen mit dem BFE entschieden, dass anstelle von 15 Anlagen, welche nur an einer Messphase von 3 Stunden beurteilt werden sollten, neu nur 8 Anlagen, jedoch mit zwei Messphasen (im Dez. 2017 und Ende Februar 2018) beurteilt werden. Damit kann die minimale Soletemperatur besser erfasst werden, welches für die Validierung des Beurteilungsschlüssels genauere Hinweise gibt.

Für die Validierung ist eine möglichst genaue Erfassung der Temperaturverhältnisse notwendig. Dies kann mit dem vereinbarten Messkonzept sichergestellt werden.

Um die Validierung möglichst optimal vornehmen zu können, werden nun die Temperaturdaten des Solekreislaufs einerseits Ende Jahr ermittelt, wo mit Sicherheit die minimale Soletemperatur noch längst nicht erreicht ist und dann die Vergleichsbeurteilung ca. Ende Februar, wo die tiefste Soletemperatur erreicht wird.

5 Datenanalyse

Das Verhalten der Soletemperatur wurde bei allen acht Anlagen bereits im ersten Jahr nach der Inbetriebnahme mit Datenlogger während min. einem Monat gemessen und aufgezeichnet. Somit

ist die ursprüngliche Temperatur des Erdreichs bekannt und kann mit den neu erfassten Daten verglichen werden.

Die Minimaltemperatur ist der gemittelte Wert zwischen der Vorlauftemperatur (aus dem Erdreich) und der Rücklauftemperatur (zum Erdreich). Dieser Mittelwert korrespondiert mit der SIA-Norm 384/6 und widerspiegelt gleichzeitig die Temperaturdifferenz und daraus ableitbar den richtigen Massenstrom, der 3-4K betragen sollte.

Anlage 1 im Jahr 2011 (Betrieb Verdampfer Kreislauf mit reinem Wasser)

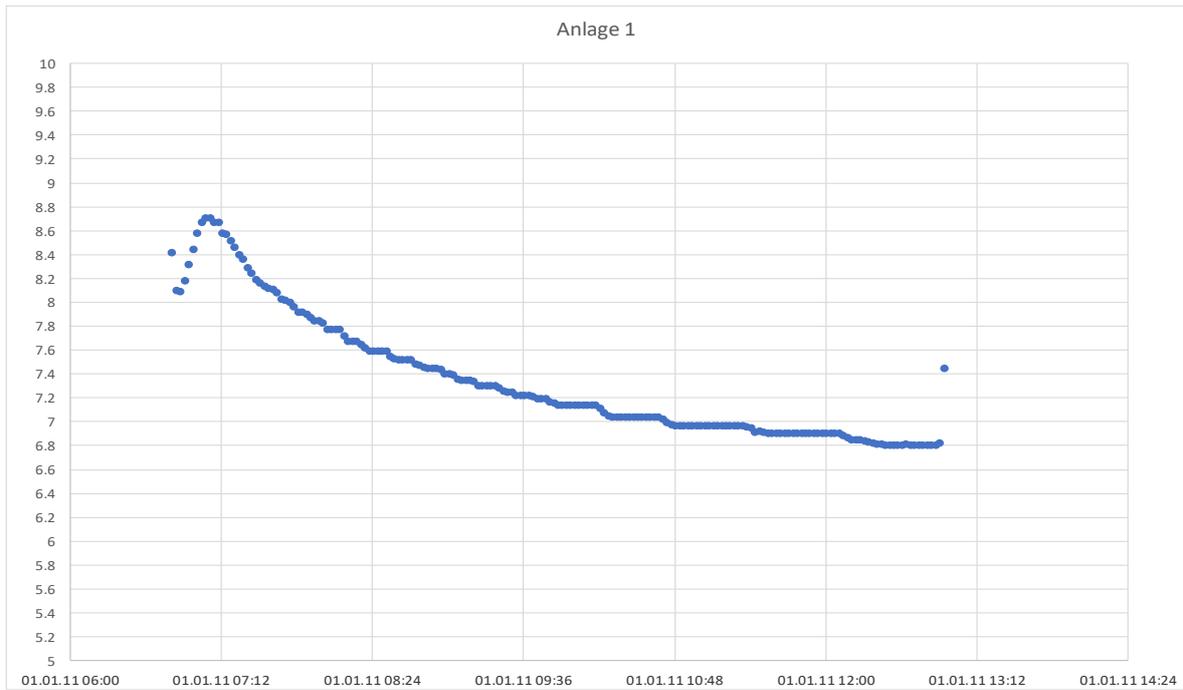


Abb. 2: Minimaltemperaturkurve Jan. 2011

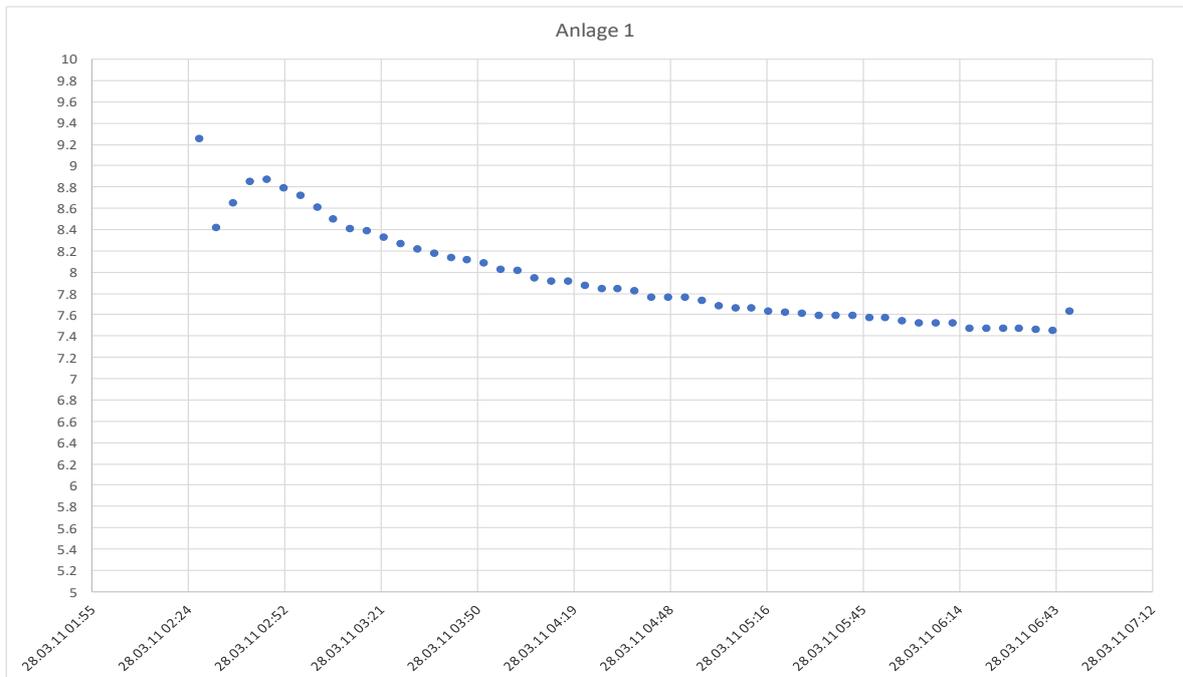


Abb. 3: Minimaltemperaturkurve März 2011

Die Zulauftemperatur aus dem Erdreich reagiert kaum auf die längere Betriebszeit gegen Ende der Heizsaison.

Anlage 1 im Jahr 2017/2018 (Betrieb Verdampfer Kreislauf mit reinem Wasser)

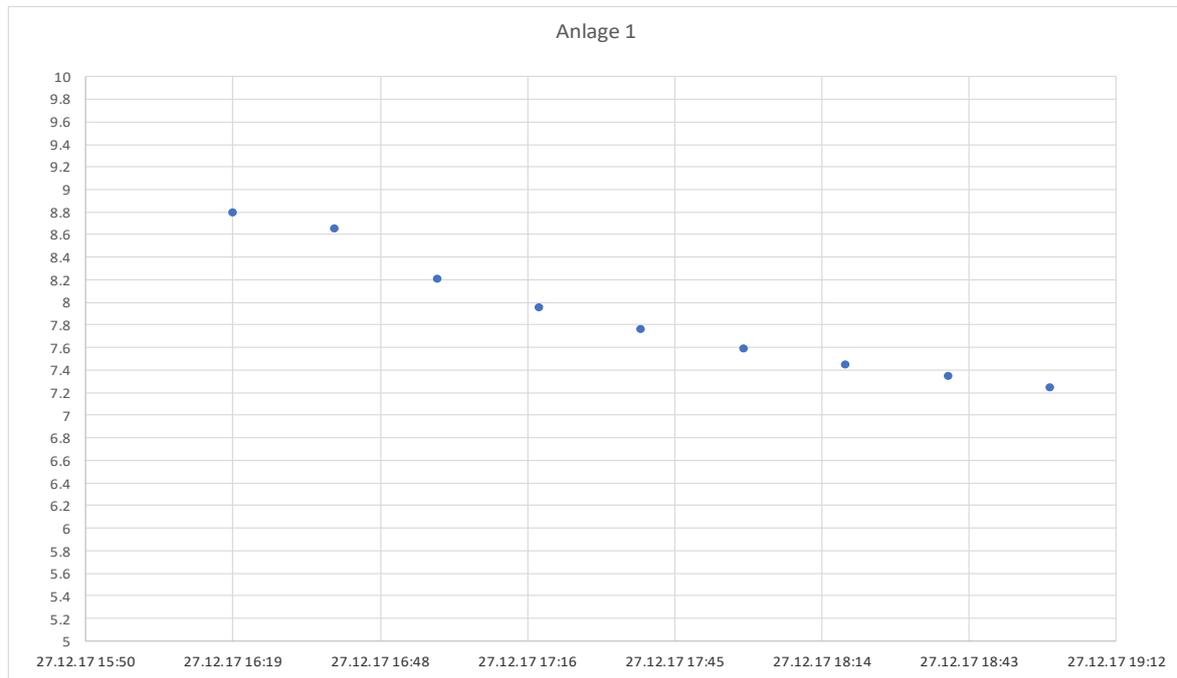


Abb. 4: Minimaltemperaturkurve Dezember 2017

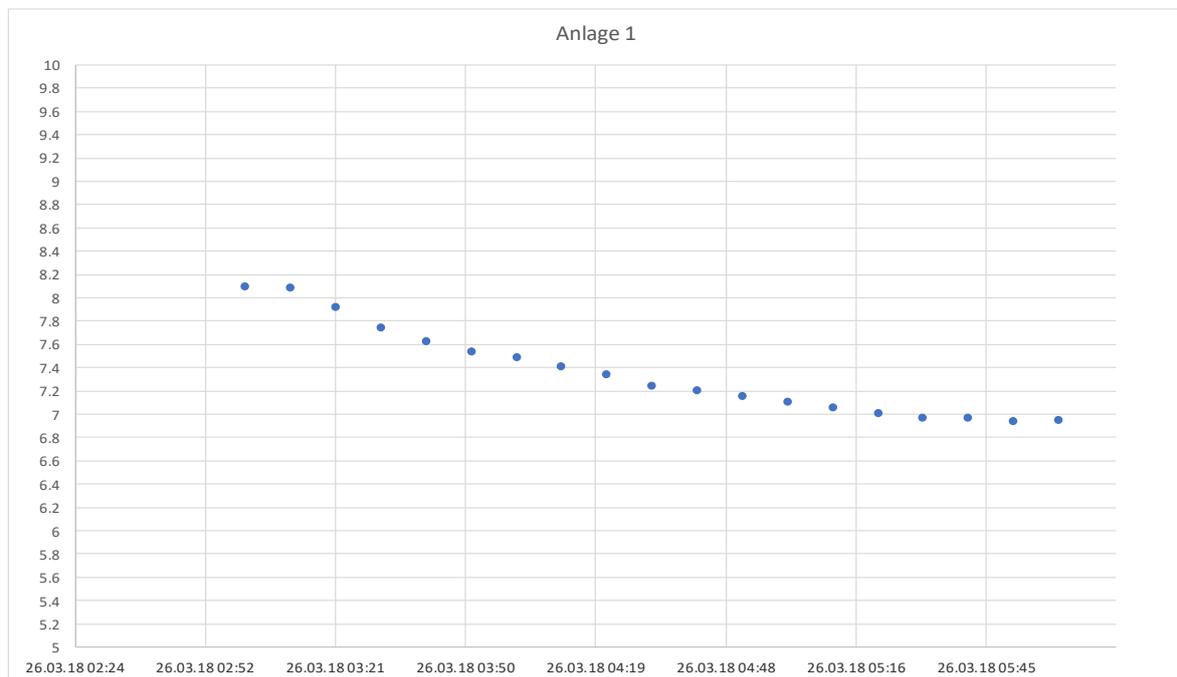


Abb. 5: Minimaltemperaturkurve März 2018

Es ist gegenüber der Situation von 2011 bei den ermittelten Soletemperaturen ein kleiner Unterschied von ca. $-0,4\text{K}$ feststellbar.

Da diese Anlage mit Wasser betrieben wird (anstelle Wasser/Glykologemisch), müssen die Erdwärmesonden so dimensioniert werden, dass die Soletemperatur ca. 4°C nicht unterschreiten kann. Dies bedingt eine deutlich längere Erdwärmesonde, statt ca. 150m sind 200m abgeteuft. Es ist deshalb klar, dass die Dimensionierung der Erdwärmesonden mit Reserve erfolgt ist.

Anlage 2 im Jahr 2008

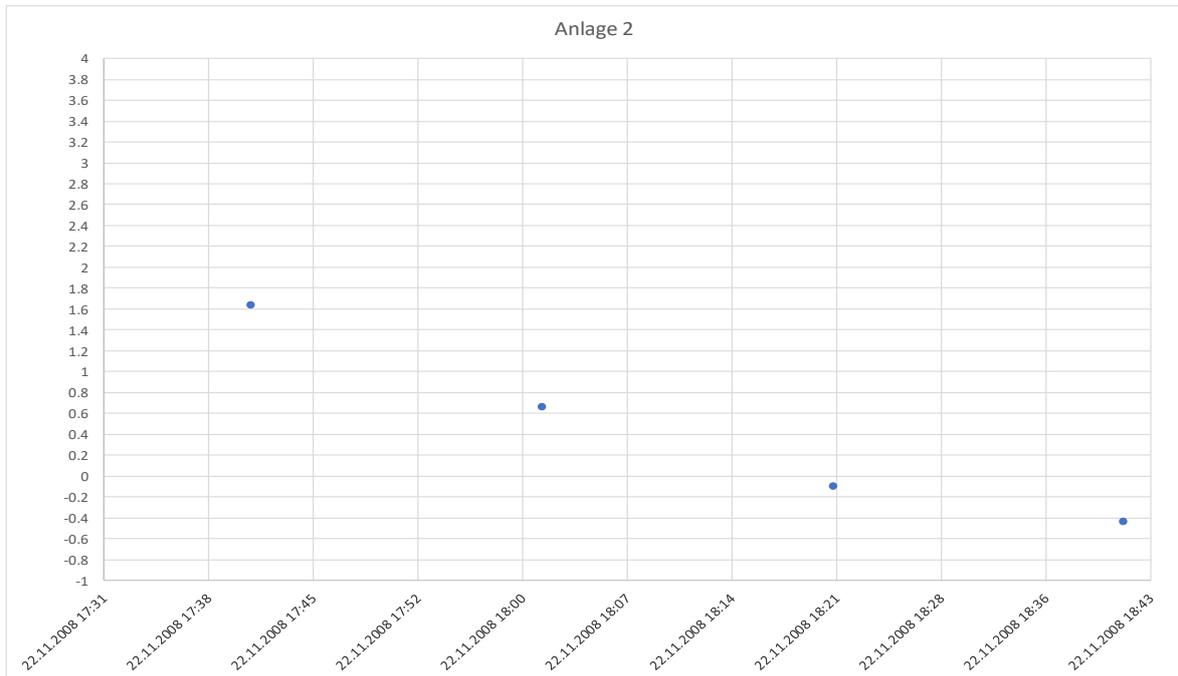


Abb. 6: Minimaltemperaturkurve November 2008

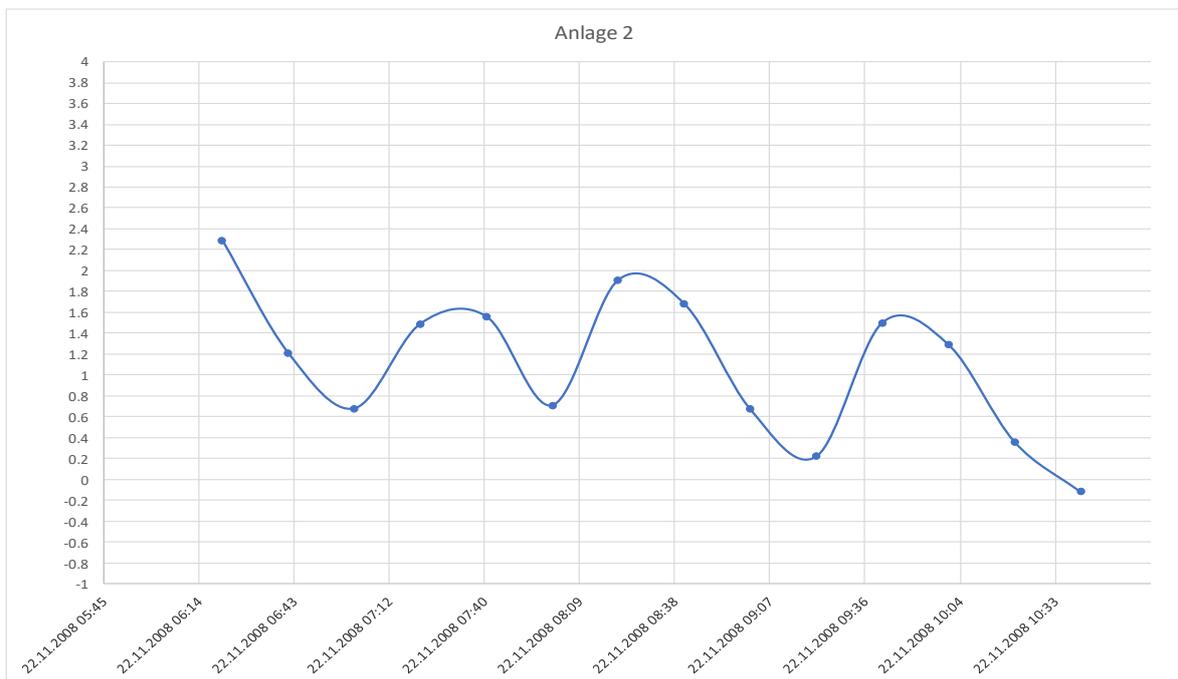


Abb. 7: Minimaltemperaturkurve November 2008 (nur kurze Laufzeiten)

Trotz der Datenerfassung von drei Monaten war es nicht möglich eine längere Betriebsphase zu eruieren, welche für die Beurteilung der Qualität der Erdwärmesonde Voraussetzung ist. Bei dieser Anlage wurde die Erdwärmesonde knapp dimensioniert und zudem werden eher höhere Heiztemperaturen benötigt. Der Betrieb der Wärmepumpe ist keineswegs optimal. Die gemessene minimale Soletemperatur (Mittelwert Vor- und Rücklauf) war mit ca. $T_{sole} -0.5 \text{ °C}$ damals schon tief.

Wenn keine längeren Messphasen möglich sind, ist es nicht einfach die minimale Soletemperatur zu bestimmen und die Anwendung des Beurteilungstools ergibt dann keine verlässlichen Werte.

Anlage 2 im Jahr 2017/2018

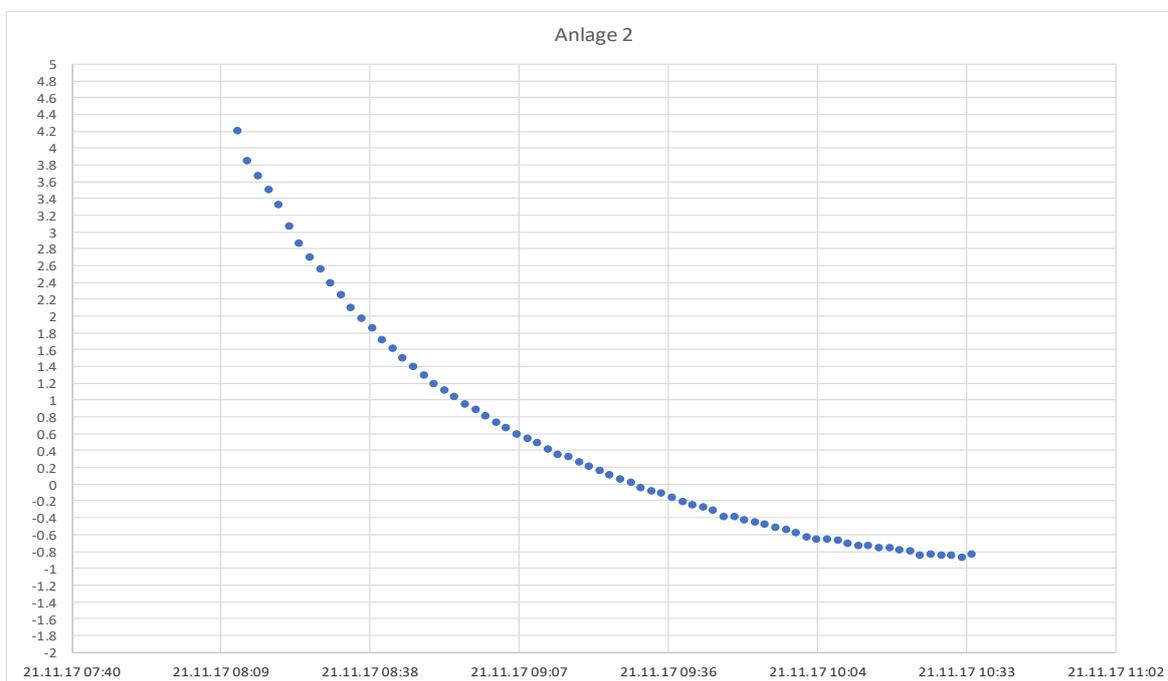


Abb. 8: Minimaltemperaturkurve November 2017

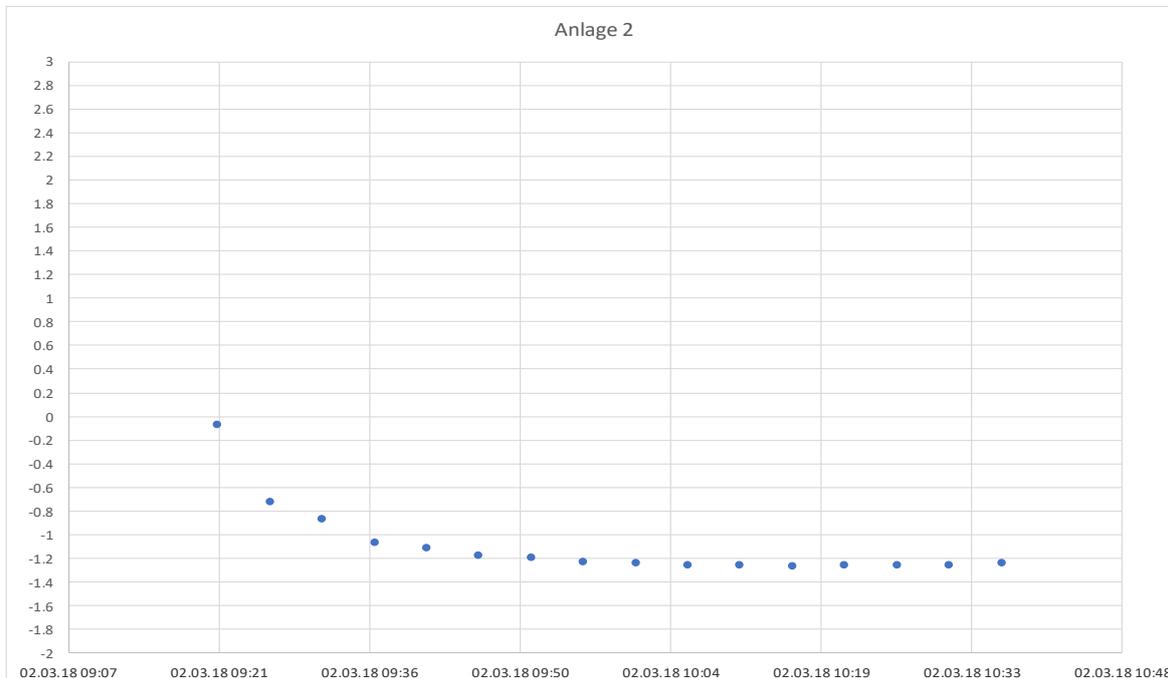


Abb. 9: Minimaltemperaturkurve März 2018

Die zehn Jahre später gemessenen Soletemperaturen (Minimalwerte) liegen anfangs Heizsaison (November) knapp 1K unter Null, bei $T_{sole} \approx -0.9 \text{ °C}$ und gegen Ende der Heizsaison (gewünschte Zeit für die Ermittlung der Soletemperatur) bei $T_{sole} \approx -1.3 \text{ °C}$, also um $dT=0.4\text{K}$ tiefer.

Gemäss Korrekturtabelle Kriesi müsste zwischen November und März eine Differenz von ca. 2.0K abgezogen werden, was eine unrealistische Soletemperatur ergeben würde.

Anlage 3 im Jahr 1998

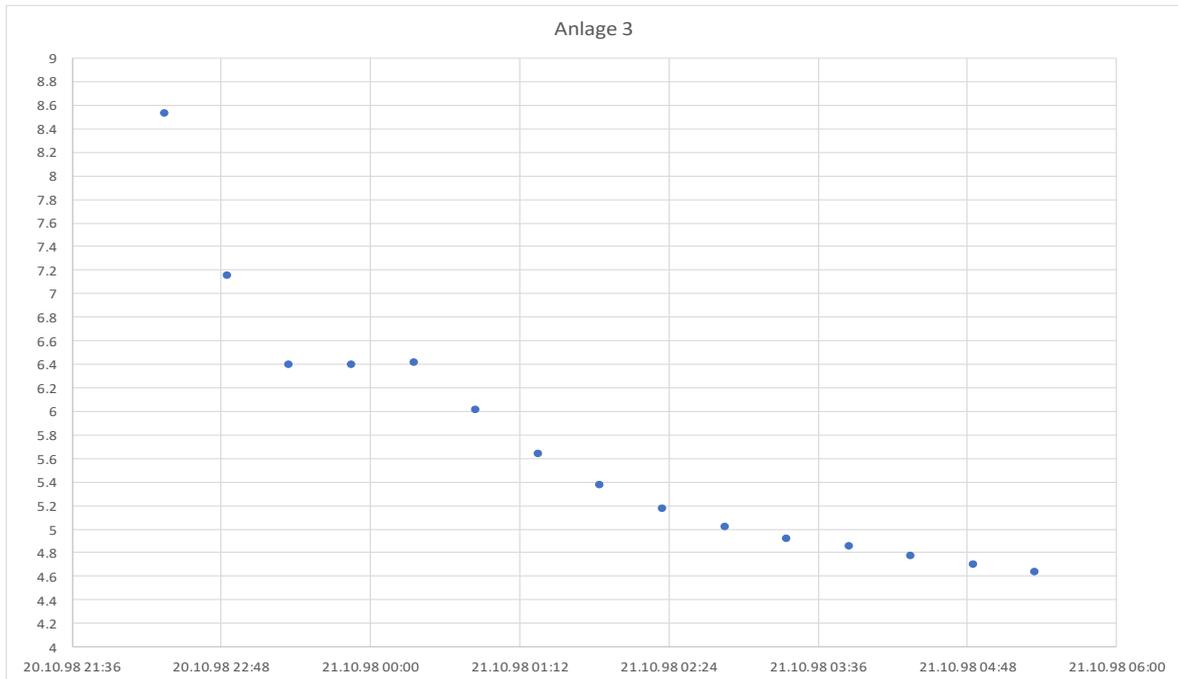


Abb. 10: Minimaltemperaturkurve Oktober 1998

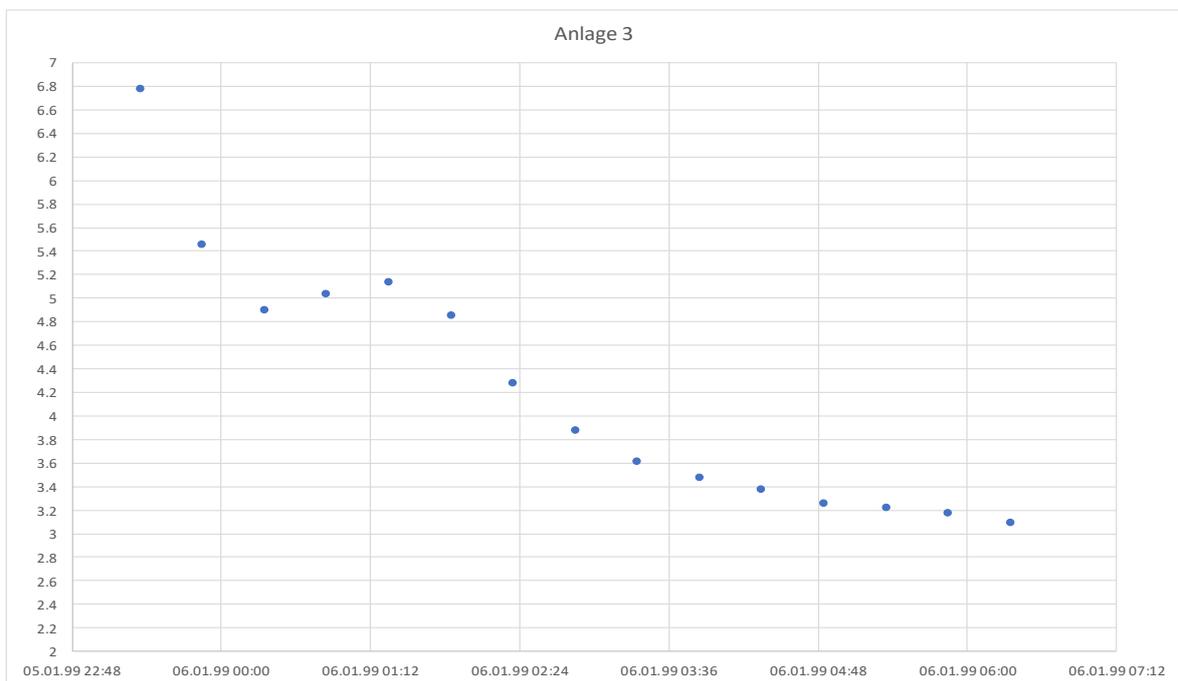


Abb. 11: Minimaltemperaturkurve Januar 1999

Bei dieser Anlage liegen die Soletemperaturen im ersten Jahr Anfang Heizsaison bei ca. 4.5°C und im Januar nach ca. 3 Monaten Betrieb immer noch über 3.0°C. Die Abkühlung der Soletemperatur von ca. 1.5 K während 2½ Monaten (zwischen Oktober und Januar) dürfte realistisch sein.

Anlage 4 im Jahr 1998

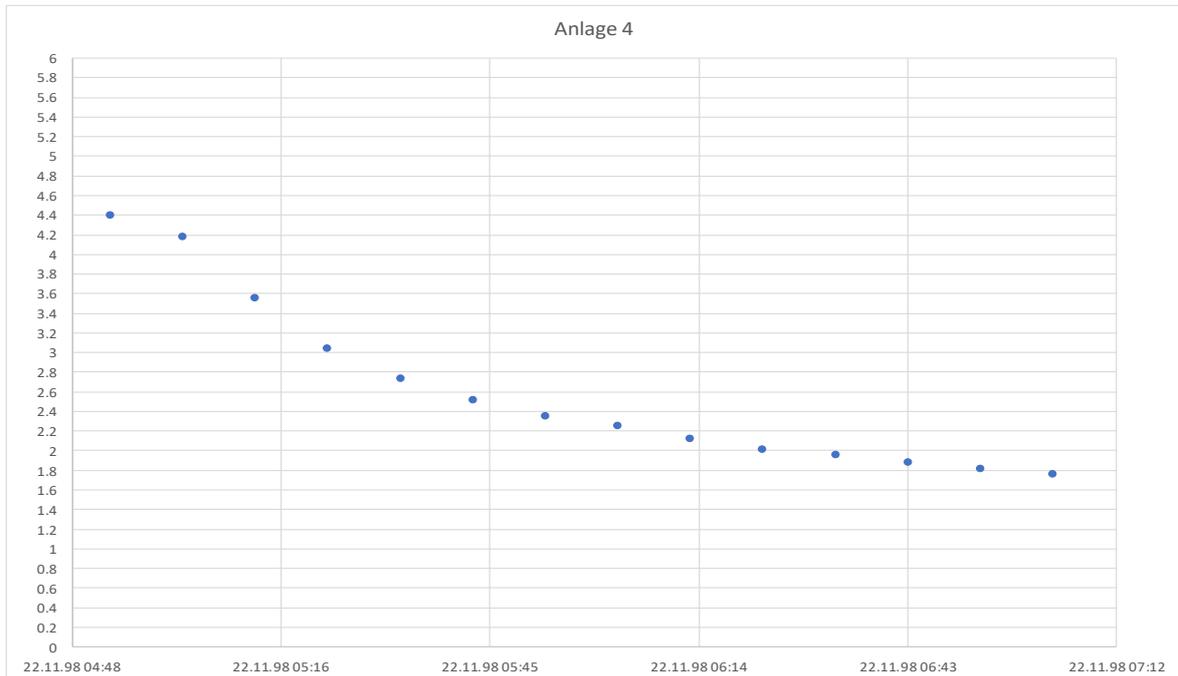
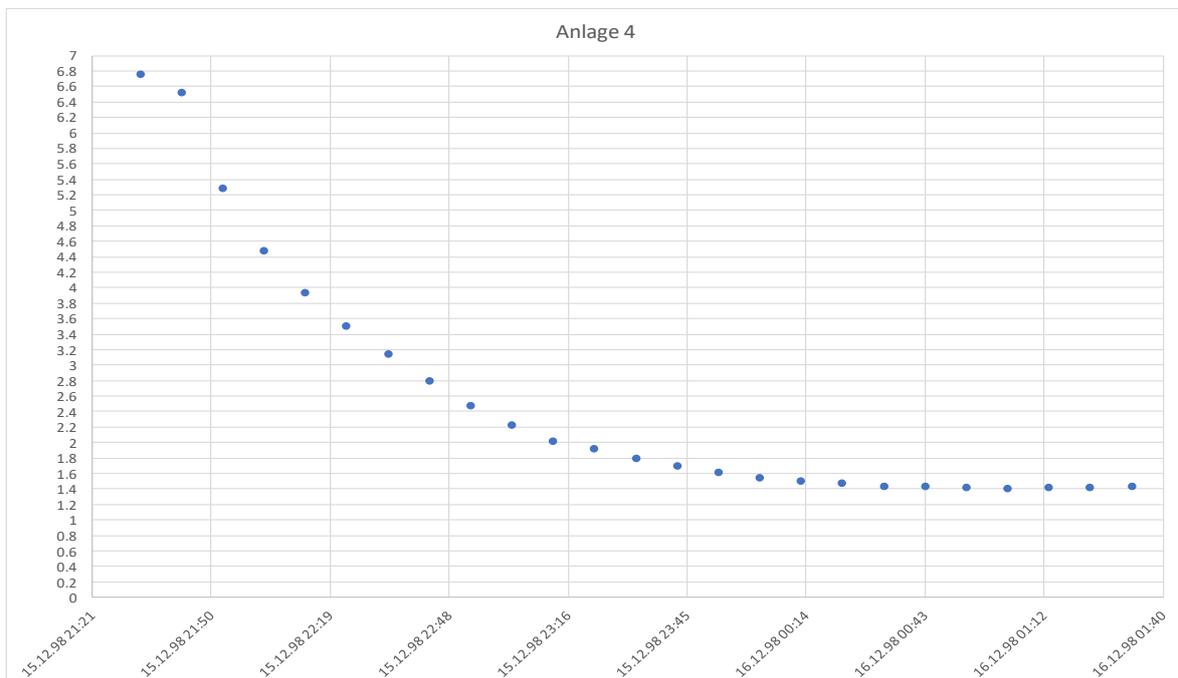


Abb. 14: Minimaltemperaturkurve November 1998



Anlage 4 im Jahr 2017/2018

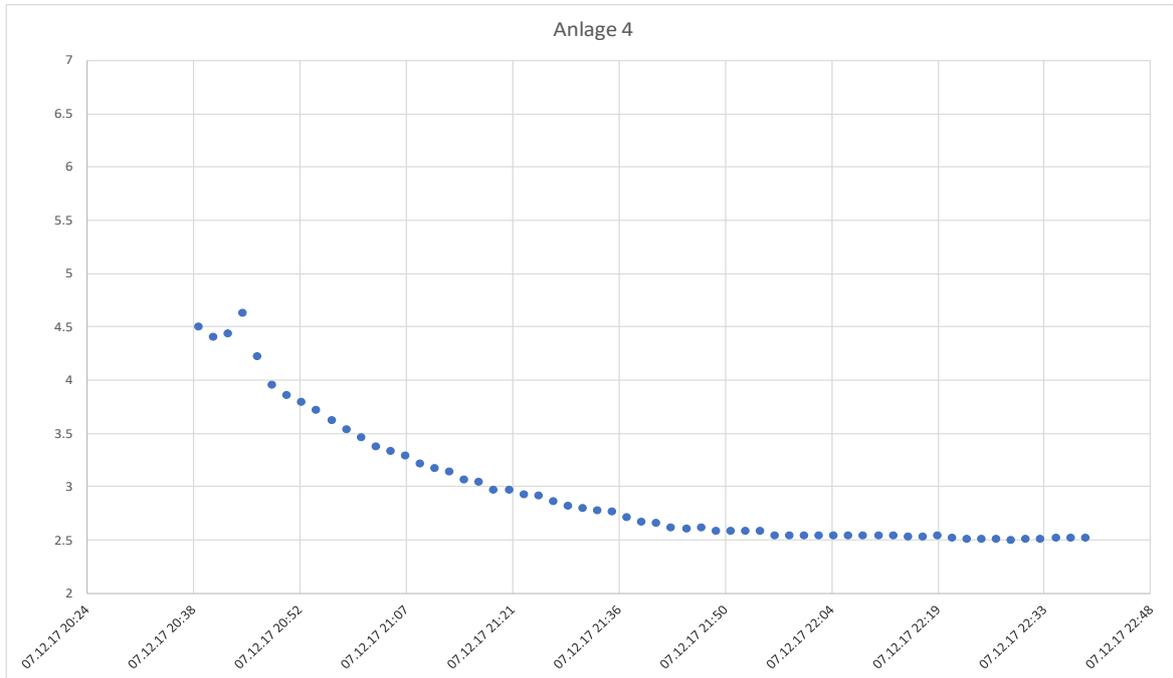


Abb. 16: Minimaltemperaturkurve Dezember 2017

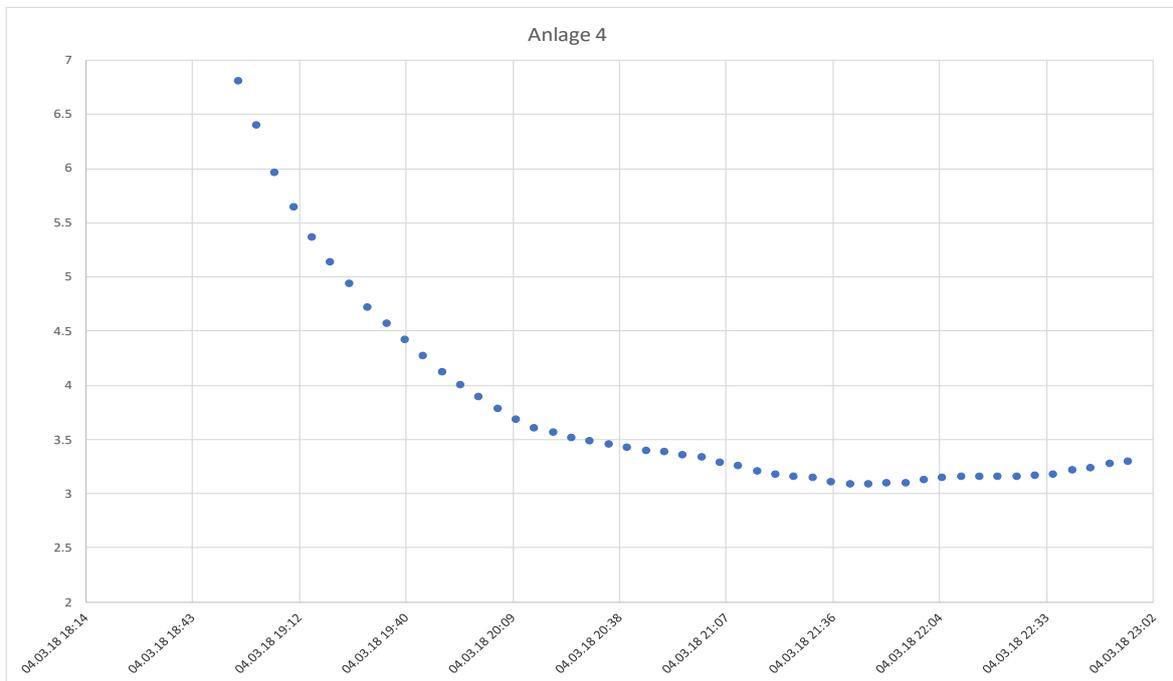


Abb. 17: Minimaltemperaturkurve März 2018

Die Anlage hat zu Beginn der Heizperiode anfangs Dezember eine Minimaltemperatur von 2.5°C. Dieser Wert ist deutlich über dem kritischen Wert. Gegen Ende der Heizperiode, im März 2018, ist die Soletemperatur mit über 3.0°C noch weit über dem Grenzwert von -0.8°C.

Zwischen Dezember und März ist kein Temperaturabfall zu erkennen, hingegen nach Hilfstabelle wären -1.2K zu korrigieren. Die aus dem Erdreich bezogene Umweltenergie wurde in den 20 Jahren um etwa 40% reduziert. Dadurch ist natürlich auch die Erdwärmesonde wesentlich weniger stark belastet. Dies zeigt sich auch durch die relativ hohen Soletemperaturen.

Anlage 5 im Jahr 2001/2002

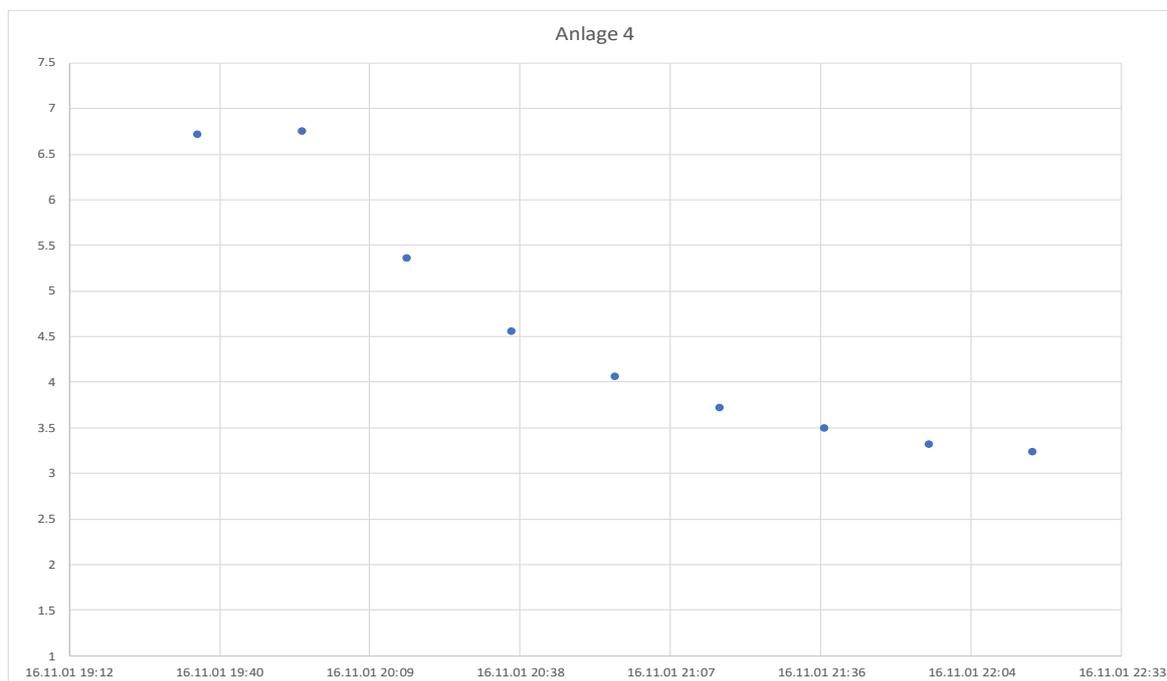


Abb. 18: Minimaltemperaturkurve November 2001

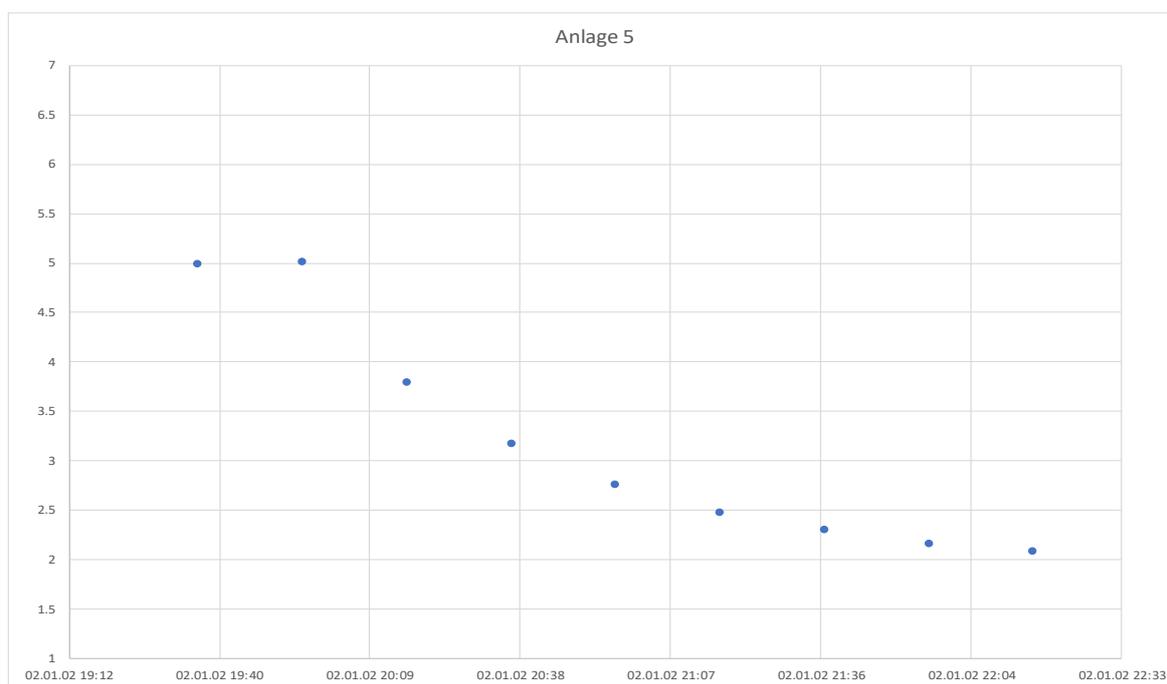


Abb. 19: Minimaltemperaturkurve Februar 2002

Diese Anlage war von Anfang an sehr konstant gelaufen. Die Effizienz war mit einer JAZ von ca. 3.4 nicht berauschend.

Die Soletemperatur war zu Beginn der Heizsaison bei ca. 3.2°C und im Januar des folgenden Jahres noch bei 2.1°C, also deutlich über dem Grenzwert von ± 0 °C. Die gemessene Differenz weicht mit -1.1K vom Wert nach Hilfstabelle -2.0K stark ab.

Anlage 5 im Jahr 2017/2018

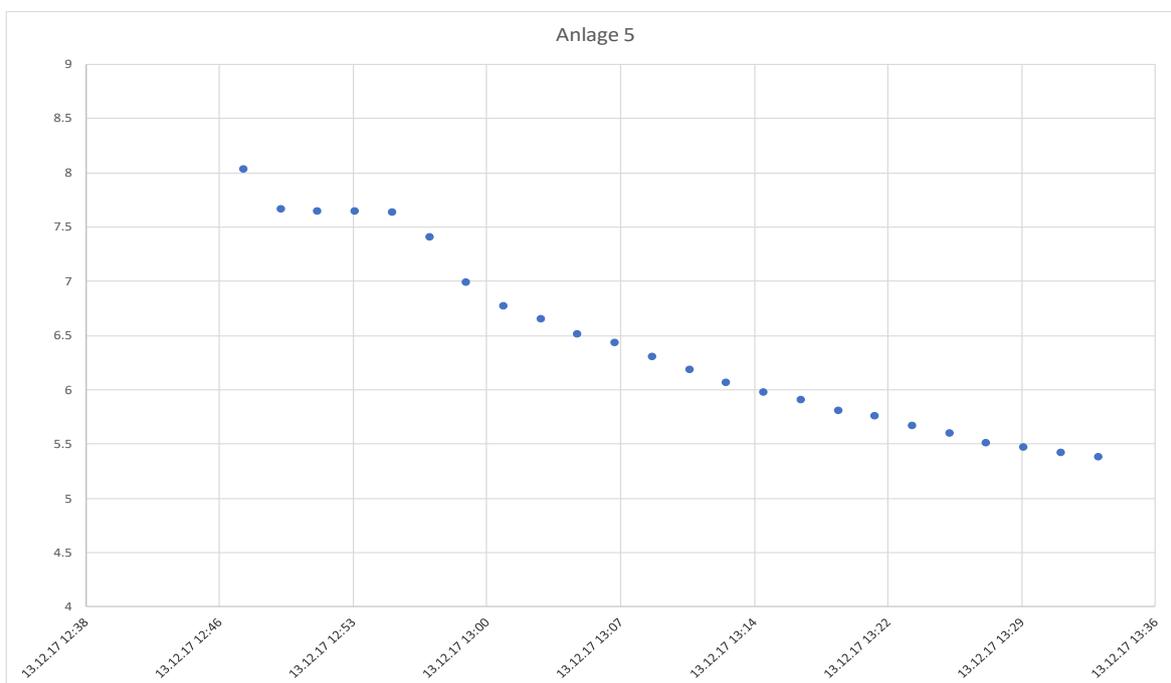
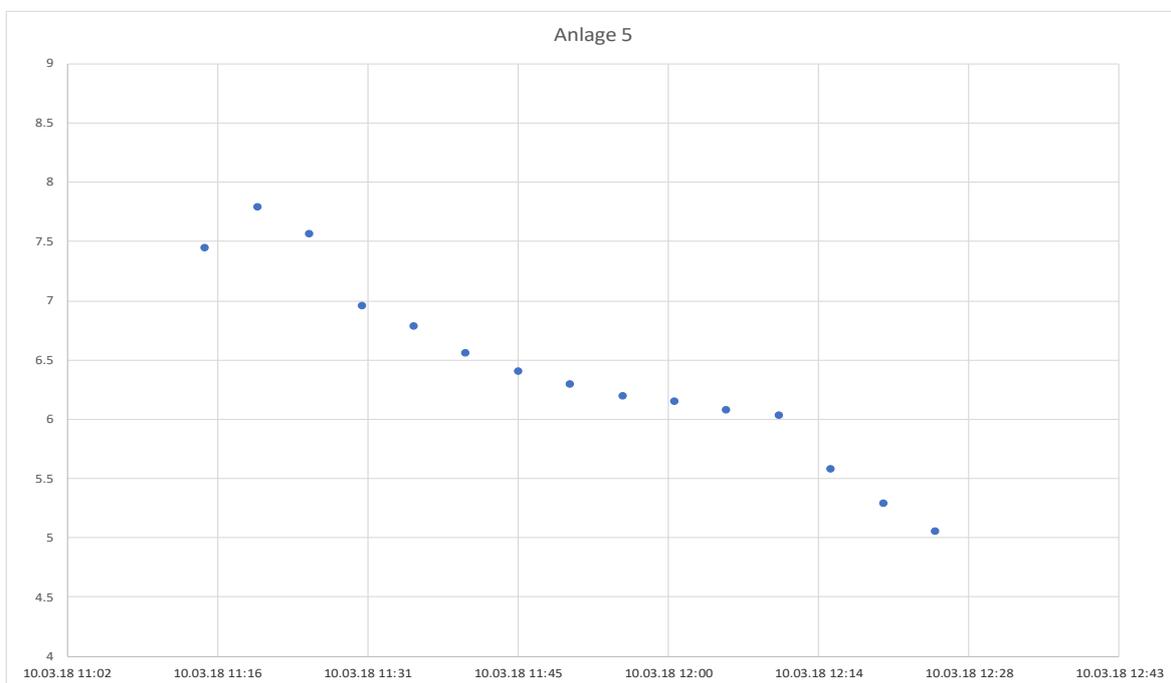


Abb. 20: Minimaltemperaturkurve Dezember 2017



Anlage 6 im Jahr 1998/1999

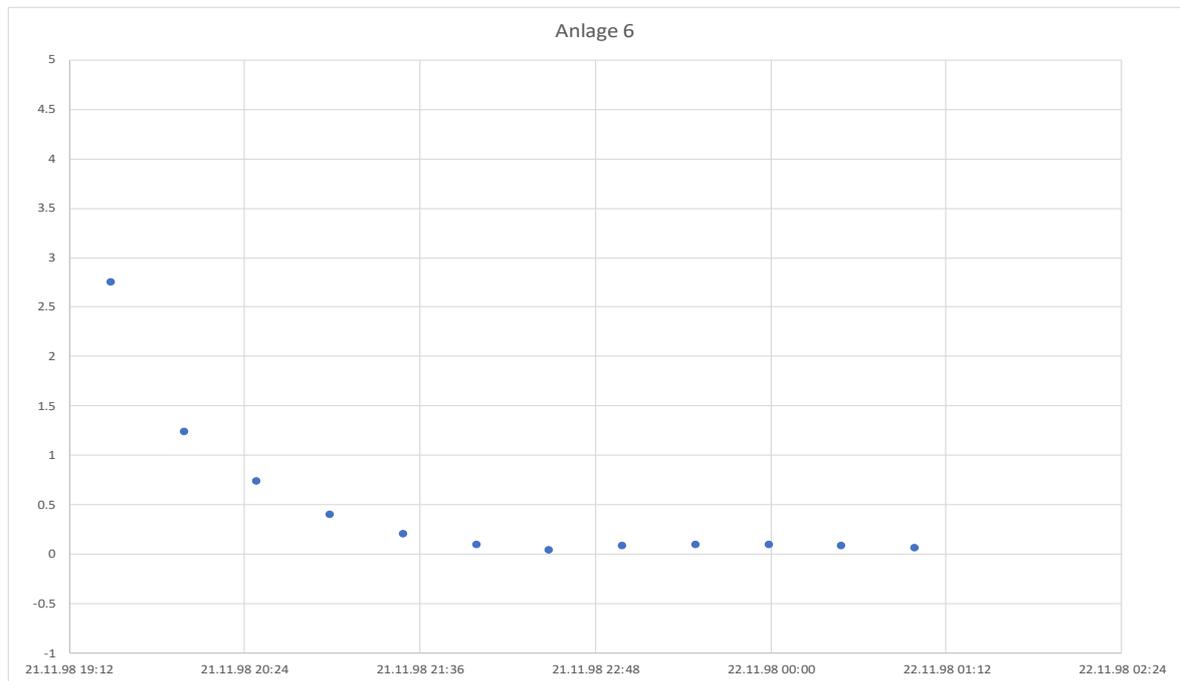


Abb. 22: Minimaltemperaturkurve November 1998

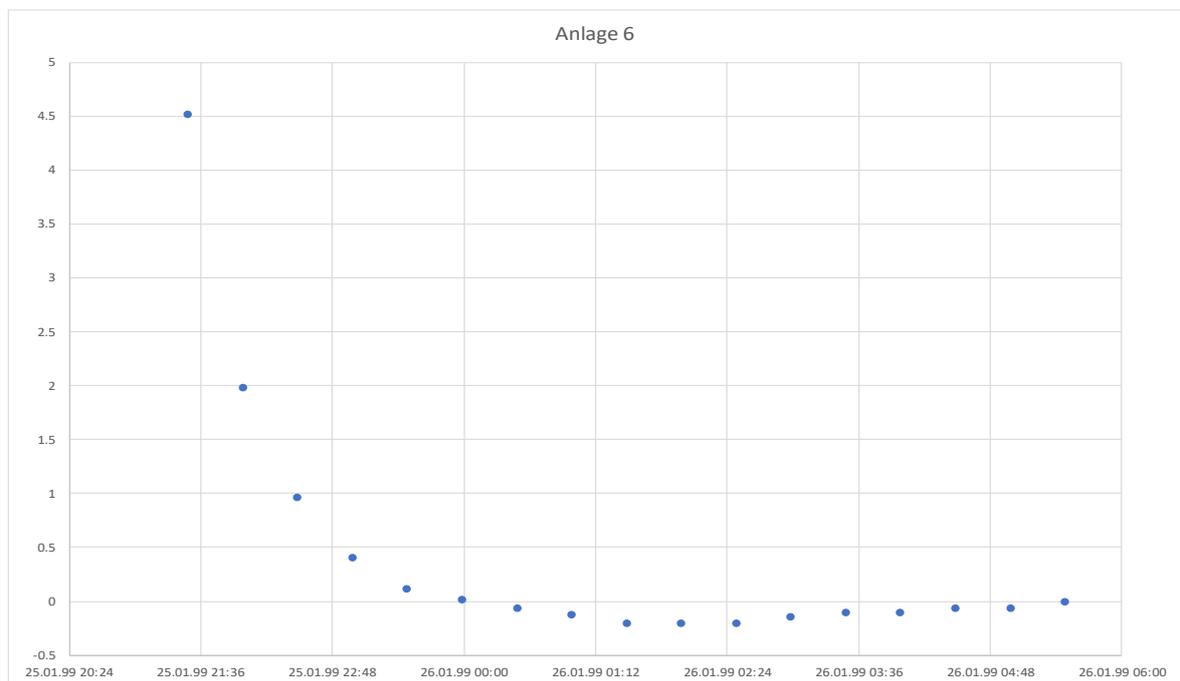


Abb. 23: Minimaltemperaturkurve Januar 1999

Bei dieser Anlage wurde damals die Erdwärmesonde schlecht dimensioniert. Bezogen auf die Kälteleistung war die Erdwärmesonde mit $q_k=70.4 \text{ [W/m}_{\text{EWS}}]$ deutlich überbelastet. Die Soletemperatur war somit bereits in der dritten Heizbetriebsphase im November bei einem Wert von 0°C .

Dieser Wert ist somit genau beim theoretischen Wert von $\pm 0^\circ\text{C}$. Zwischen November und Januar ist eine kleine Abweichung von -0.2K feststellbar. Gemäss Beurteilungstool wären ca. -1.5K zu berücksichtigen.

Anlage 7 im Jahr 1999/2000

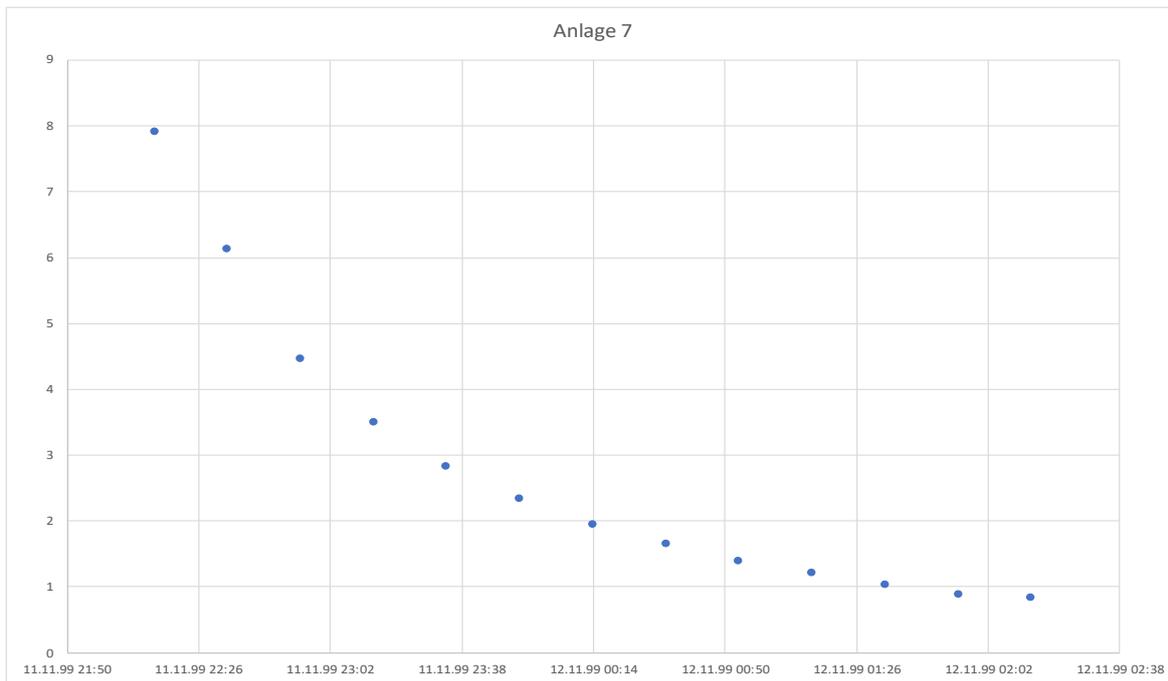


Abb. 26: Minimaltemperaturkurve November 1999

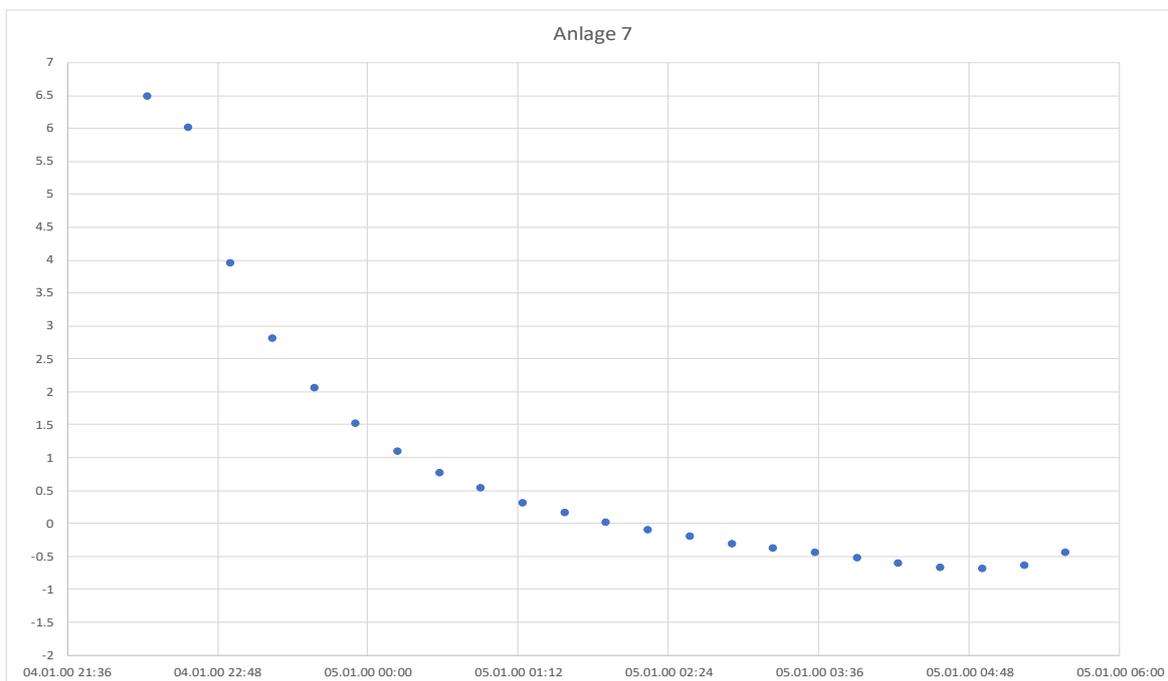


Abb. 27: Minimaltemperaturkurve Januar 2000

Diese Anlage hatte über alle Jahre eine gute Effizienz (JAZ=4.3-4.5) gehabt. Am Gebäude wurden keine energetischen Massnahmen vollzogen, sodass die Anforderungen über die gesamten 20 Jahre die gleichen geblieben sind. Die Dimensionierung der Erdwärmesonde war eher knapp gewählt ($q=57 \text{ W/m}_{\text{EWS}}$), leicht über der 50 W/m-Regel. Dies ist bei der Soletemperatur feststellbar, die im ersten Betriebsjahr im November bei 1.0°C und im darauffolgenden Januar bei ca. -0.6°C gemessen wurde. Die Korrektur nach Hilfstabelle mit -0.5K wäre auch hier falsch.

Anlage 8 im Jahr 2000

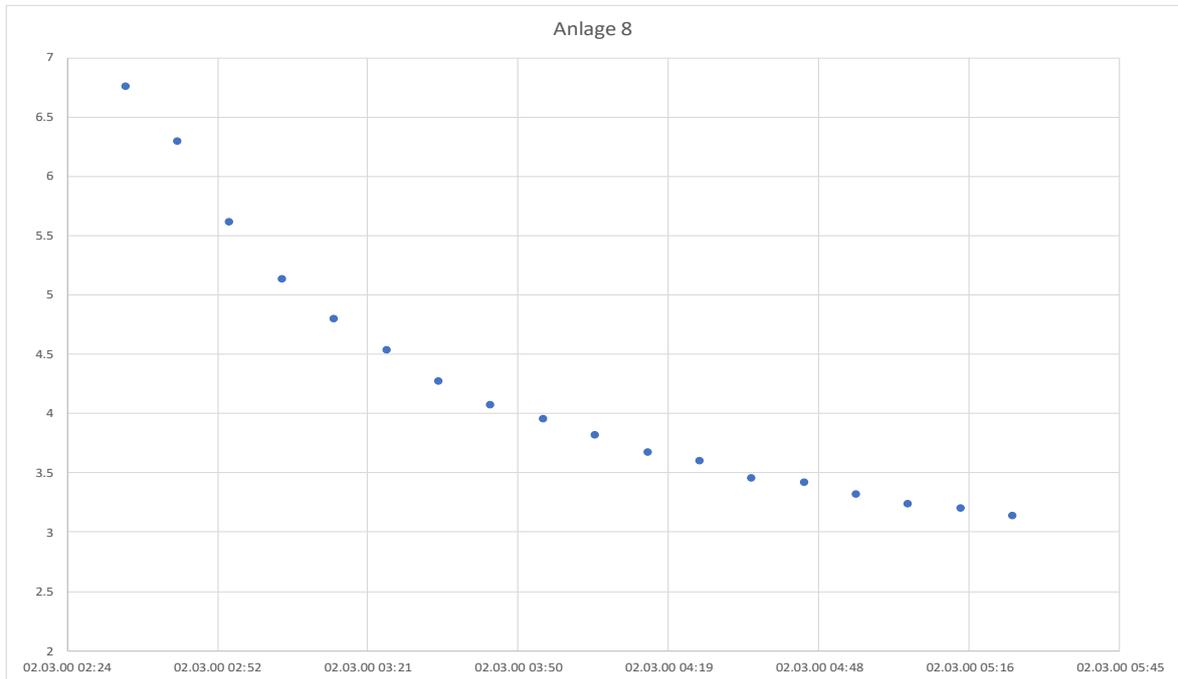


Abb. 30: Minimaltemperaturkurve Anfang März 2000

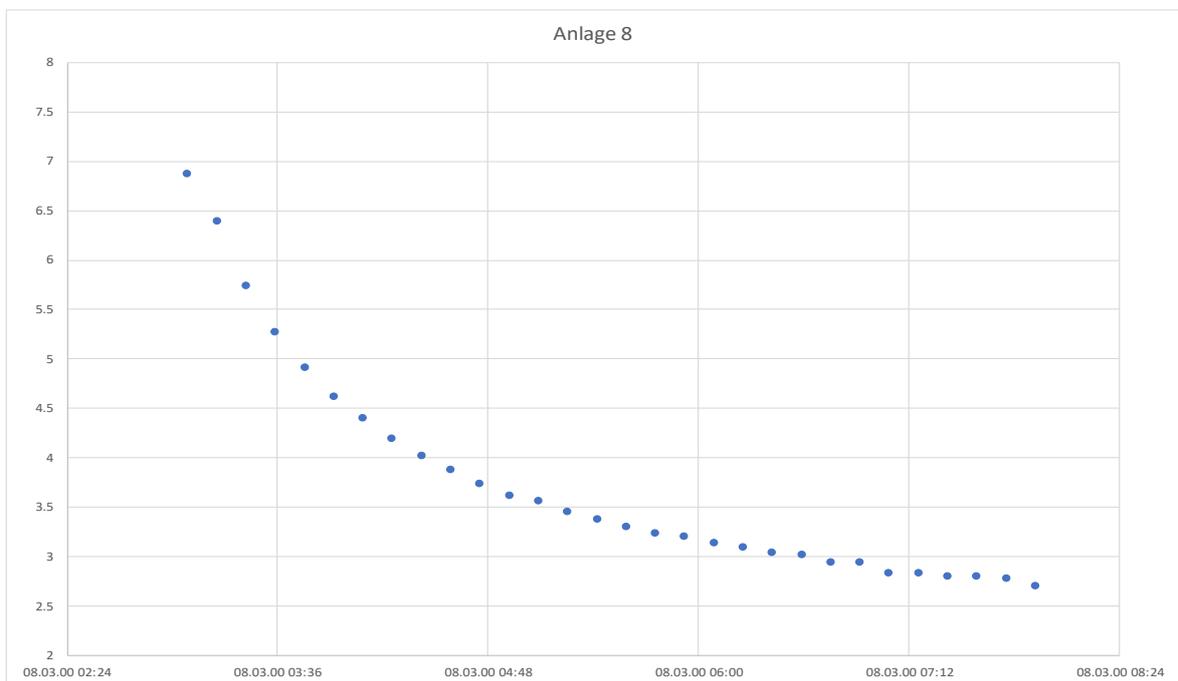


Abb. 31: Minimaltemperaturkurve Mitte März 2000

Bei dieser Anlage wurde ebenfalls an der Gebäudehülle keine Sanierung vorgenommen. Die Anlage lief über alle Jahre mit fast konstanter Effizienz ($JAZ=4.9-4.3$). Die Erdwärmesonde ist leicht unter der 50W-Regel dimensioniert (47.6 W/m_{EWS}). Die Soletemperatur lag bei ca. 3.2°C und veränderte sich zwischen Dezember und dem darauffolgenden Januar um knapp 0.5K . Leider waren keine Datenaufzeichnungen bis Ende März verfügbar. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Soletemperatur bis ca. Ende März noch leicht abgesunken war.

Die Veränderung der Soletemperatur in $\frac{1}{2}$ Monat im März beträgt -0.5K , mehr als nach Tabelle.

Anlage 8 im Jahr 2017/2018

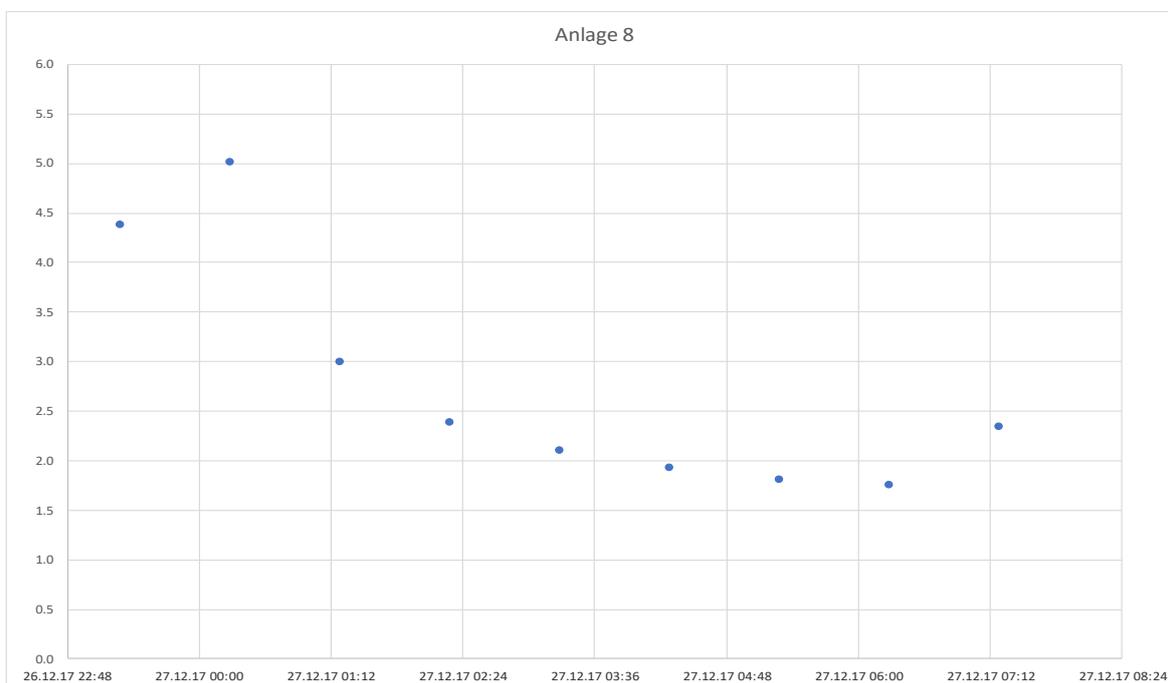


Abb. 32: Minimaltemperaturkurve Dezember 2017

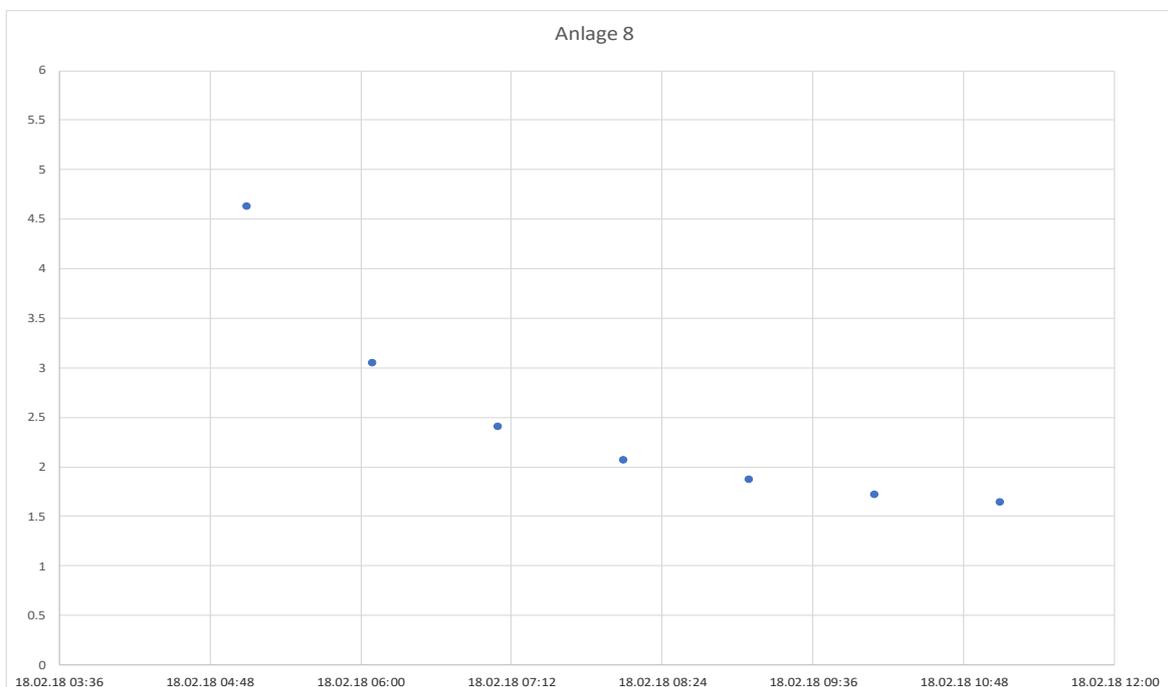


Abb. 33: Minimaltemperaturkurve März 2018

Die Veränderung der Soletemperatur und demzufolge auch des Erdreichs um die Erdwärmesonde ist in den 20 Betriebsjahren um rund 1,0K tiefer. Diese Absenkung entspricht praktisch dem Wert gemäss dem Beurteilungsschlüssel innert 20 Jahren.

Somit ist diese Anlage ebenfalls problemlos und wird nach 50 Jahren immer noch deutlich über dem Grenzwert liegen. Dies obwohl die damalige Dimensionierung in Bezug auf die SIA Norm 384/6 als schlecht beurteilt wird. Die Differenz zwischen Dez. und März beträgt gemessen max. - 0,1K, nach Hilfstabelle -1,2K.

6 Auswertung und Vergleich

Die ausgewerteten acht Anlagen zeigen ganz unterschiedliche Werte, sodass die Situation sich folgendermassen darstellt. Bei fünf Anlagen sind die ermittelten Werte der mittleren Soletemperaturen (Vor- und Rücklauf) gemäss Beurteilungstool weit über dem Grenzwert. Bei zwei Anlagen (Anlagen 2 und 6) sind die Werte deutlich unter dem Grenzwert und bei einer Anlage (7) liegt die Minimaltemperatur knapp unter dem ermittelten Grenzwert.

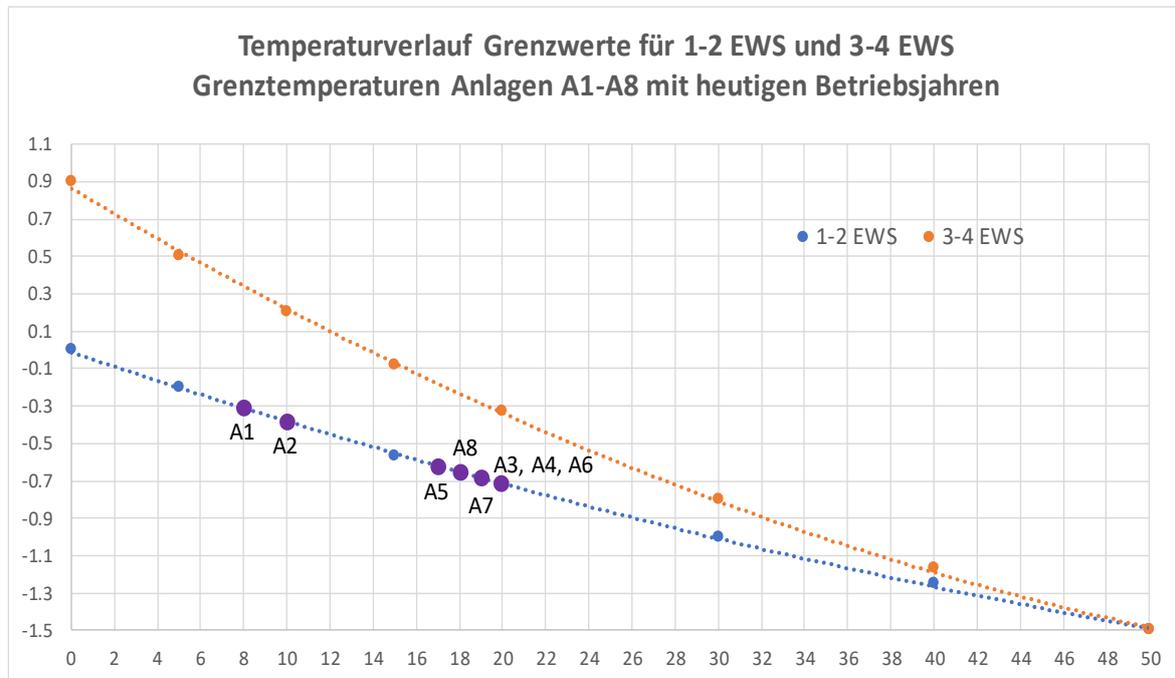


Abb. 34: Temperaturverlauf Grenzwert mit den Minimalwerten der acht beurteilten Anlagen

Die blaue punktierte Linie ist die mathematische Definition der mittels Simulation berechneten Grenzwerte. Diese Grenzlinie wird verwendet, um die Minimalwerte bis zu 50 Jahren Betriebszeit zu ermitteln, resp. aus der Grafik herauszulesen.

Anlage Nummer	Erstellungsjahr der Wärmequellenanlage	Spezifische Wärmeleistung bezogen auf Erdwärmesonde	Erdwärmesonden	Erdwärmesonden	Jahr 1. Messung tiefster Wert		Messung 2017/2018 tiefster Wert		Betriebsjahre	Grenztemperatur Beurteilungstool	Abweichung zu Beurteilungswert	Beurteilung der Anlage
					Nov/Dez	Feb/März	Nov/Dez	Feb/März				
		qh	Anzahl	Länge	Nov/Dez	Feb/März	Nov/Dez	Feb/März	Anzahl			
		[W/m]	[-]	[m]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[-]	[°C]	[°C]	
1	2010	32.5 ***	1	200	6.8	7.4	7.2	6.9	8	-0.31	7.21	optimal
2	2008	87.5	1	150	-0.4		-0.9	-1.25	10	-0.38	-0.87	kritisch
3	1998	61	1	150	4.6	3.1	5	2.8	20	-0.71	3.51	optimal
4	1998	62	1	140	1.8	1.4	2.5	3.1	20	-0.71	3.81	optimal
5	2001	69 - 35 *	1	150	3.2	2.1	5.4	5	17	-0.62	5.62	optimal
6	1998	96 - 48 **	1	160	0	-0.2	-1.2	-2.2	20	-0.71	-1.49	kritisch
7	1999	71	1	140	0.9	-0.7	-1.1	-1.1	19	-0.68	-0.42	sehr knapp
8	2000	60	1	200	3.1	2.7	1.8	1.7	18	-0.65	2.35	ideal

Bemerkungen:

* Sanierung Gebäudehülle 2005

** Sanierung Gebäudehülle zwischen 2005-2010

*** EWS wird mit Wasser betrieben

Tabelle 2: Zusammenstellung der Minimaltemperaturen, Vergleich mit Grenzwerttemperatur Beurteilungstool

Die spezifische Wärmeleistung in der Tab. 2 bezieht sich auf die Entzugs-Kälteleistung bei normalen On-Off-Wärmepumpen. Die variablen Werte bei Anlagen 5 und 6 geben den Wert vor und

nach der energetischen Sanierung der Gebäudehülle an. Die «Grenztemperatur nach Beurteilungstool» entspricht der Grenztemperatur im Beurteilungstool Kriesi für die Monate Januar bis März, die für eine Beurteilung geeignet sind.

Die ermittelten Messdaten, die zu Beginn und danach zwischen 10 und 20 Jahren vorliegen, wurden mit der Grenzwerttemperatur nach Bewertungstool in Vergleich gesetzt und beurteilt.

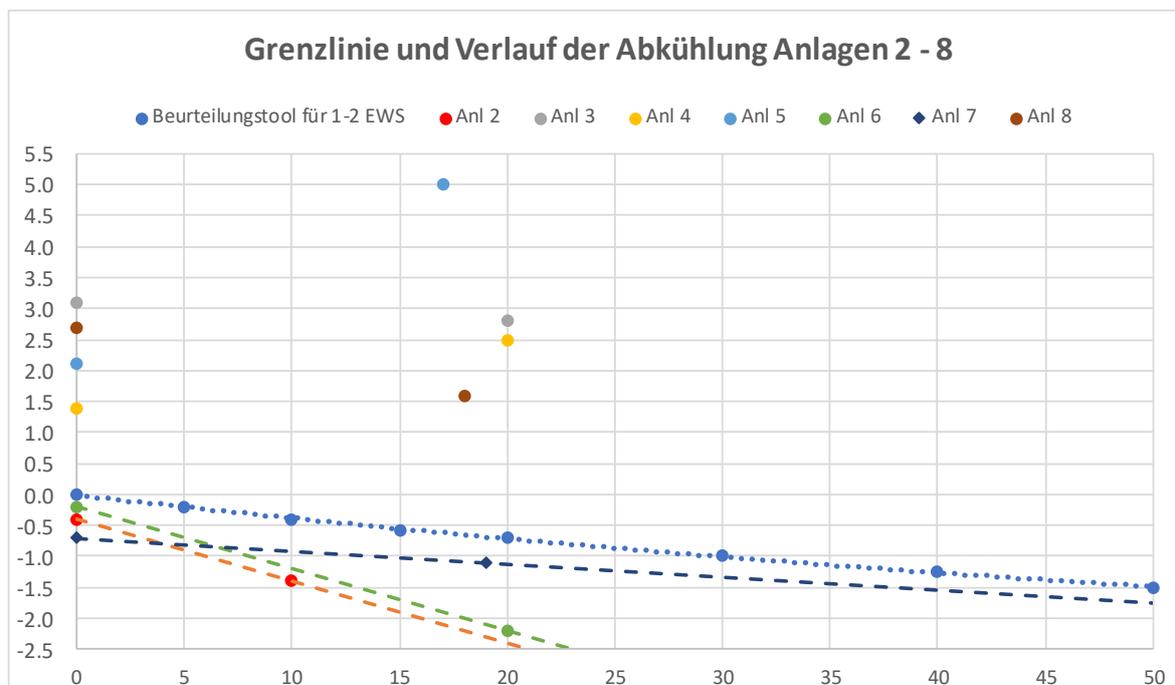


Abb. 35: Temperaturverlauf Grenzwert mit den Minimalwerten der acht Anlagen

Bei den Anlagen 5 und 6 wurden im Verlaufe der Betriebsjahre die Gebäudehülle saniert. Das Resultat, resp. die Reaktion der Soletemperatur und damit das Verhalten der Erdreichtemperatur im Bereich der Erdwärmesonden, zeigt dies bei Anlage 5 deutlich. Die Soletemperatur hat sich in diesem Fall um 3K nach oben verändert.

Bei den beiden Anlagen 2, 6 und 7 waren die ermittelten Soletemperaturen bereits in der Anfangsphase leicht unter der Grenztemperatur gelegen. Wenn man nun das Resultat nach 10, resp. bei Anlage 6 und 7 nach 19-20 Betriebsjahren vergleicht, zeigen sich unterschiedliche Resultate. Bei der Anlage 7 kann nach 18 Betriebsjahren mit einiger Sicherheit angenommen werden, dass der Endwert nach 50 Betriebsjahren immer noch im Bereich des Grenzwerts liegen wird.

Hingegen zeigt die Trendlinie für die beiden Anlagen 2 und 6 ein schlechtes Verhalten an. Diese Anlagen weichen gegenüber der Trendlinie deutlich nach unten ab. Nach 10 Jahren bei Anlage 2 beträgt die Abweichung schon ca. -1.0K und bei Anlage 6 nach 20 Jahren bereits -1.5K. Diese Anlagen sind sehr kritisch und sollten saniert werden bevor die Situation derart kritisch wird, dass das Erdreich um die Erdwärmesonden im Permafrost Bereich zu liegen kommt.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass bei positiven Werten (über dem Grenzwert) das Endresultat besser sein wird, jedoch bei negativen Werten (unter dem Grenzwert) das Endresultat noch schlechter wird.

Bei Anlage 4 wurden an der Gebäudehülle punktuell die wichtigsten Bereiche (Isolation Kellerbereich, Fenster, etc.) energetisch optimiert. Auch bei dieser Anlage lässt sich sofort feststellen, dass sich solche Massnahmen hinsichtlich des Verhaltens der Soletemperatur positiv auswirken. Generell wirken sich energetische Verbesserungen an der Gebäudehülle bei Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmesonden doppelt positiv aus. Einerseits wirkt sich die Massnahme auf den Energieverbrauch positiv aus und andererseits läuft die Wärmepumpe zufolge der höheren Soletemperaturen optimaler und benötigt deshalb weniger Elektroenergie. Pro 1K höherer Soletemperatur steigt die Effizienz der Wärmepumpe um ca. 2.0-2.5%.

Bei Anlage 1 wird der Solekreislauf mit reinem Wasser betrieben. Somit wurde bei der Planung die Erdwärmesonde für diesen Zustand dimensioniert (bezogen auf die Wärmeleistung der Wärmepumpe $q_h=32.5 \text{ W/m}_{\text{EWS}}$). Es zeigt sich bei dieser Anlage sehr gut, dass die Soletemperaturen auch nach 8 Betriebsjahren immer noch bei rund $7.0 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen, welches sich auf die Effizienz der Wärmepumpe natürlich sehr positiv auswirkt.

7 Beurteilung

Grundsätzlich ist eine reale Möglichkeit für die Beurteilung von Erdwärmesondenanlagen für Einfamilien- und kleine Mehrfamilienhäuser erwünscht. Es gibt vermutlich doch eine nicht unbedeutende Anzahl von Anlagen, die im oder unter dem Grenzbereich laufen. Wenn bei diesen Anlagen keine Massnahmen für die Sanierung, resp. die Korrektur der fortschreitenden Abkühlung des die Erdwärmesonden umgebenden Erdreichs erfolgen, können diese Anlagen nach einigen weiteren Betriebsjahren in den Permafrostbereich fallen und nicht mehr weiterlaufen. Die Sanierung ist in solchen Fällen schwierig und bedingt zusätzliche Massnahmen.

Wenn jedoch die Situation für unterkühlte Erdwärmesonden genügend früh erkannt werden kann, ist praktisch in allen Fällen eine Sanierung noch möglich. Dies kann mit einer Regeneration der Erdwärmesonden oder aber auch durch Korrekturen an der Gebäudehülle (Wärmedämm-Massnahmen) erfolgen.

Im untersuchten Anlagensample ist die Anlage 5, bei der die Sanierung der gesamten Gebäudehülle erfolgt ist. Es kann eindeutig erkannt werden, dass diese Massnahme die Soletemperatur deutlich positiv beeinflusst hat. Die minimale Temperatur ist heute, 13 Jahre nach der erfolgten Sanierung, immer noch rund 3K höher als im ersten Betriebsjahr.

Bei der Anlage 6 war die spezifische Belastung der Erdwärmesonde derart hoch, dass es nur eine Frage der Zeit war, bis die Anlage nicht mehr störungsfrei laufen würde. Der schlechte energetische Gebäudezustand wurde von der Anlagenbesitzerin erkannt, sodass zwischen 2005 bis 2010 laufend Sanierungen an der Gebäudehülle vorgenommen wurden. Dadurch konnte auch ein kollabieren der Wärmequellenanlage vermieden werden. Die Anlage läuft nach 20 Betriebsjahren immer noch -1.5K unter der Grenztemperatur, sodass heute die Gefahr eines kompletten Ausfalls noch nicht komplett behoben ist.

Es wird in der Anleitung für die Handhabung des Bewertungsschlüssels vorgegeben, dass die Wärmepumpe ca. 4 Stunden laufen muss, um die minimale Soletemperatur zu ermitteln. Dies ist in der Praxis in den meisten Monaten infolge des geringen Wärmebedarfs ohne regeltechnische Eingriffe nicht möglich, da die Wärmepumpe entweder mit einer Schalthysterese direkt auf die Fussbodenheizung oder auf einen Pufferspeicher läuft. Bei einem Pufferspeicher, aber auch bei einer Boilerladung, ist es praktisch unmöglich sehr lange Laufzeiten von 4 Stunden zu erreichen. Selbst, wenn die Heizungsanlage eine Nacht lang abgestellt wird, ist das Energiemanko am folgenden Morgen immer noch nicht so gross, dass die Wärmepumpe genügend lange läuft.

Es muss nochmals überdacht werden, ob und wie allenfalls die Soletemperatur mit kürzeren Laufzeiten trotzdem beurteilt werden kann. Bezüglich der Ermittlung der effektiven minimalen Soletemperatur sollte man sich nochmals Gedanken machen, denn es ist in der Praxis nicht ganz einfach, diese zu messen.

In der früheren Fassung des Beurteilungstools war vorgesehen, dass die unter Pos. 4 «Vorgehen, falls Messung nicht zur kältesten Jahreszeit oder bei abgeschalteter Wärmepumpe erfolgt ist» angegebene Möglichkeit mit einer Korrekturkurve des Messwerts die richtige Soletemperatur ermittelt werden könnte. Dieses Vorgehen ergibt leider nicht genügend genaue Resultate.

Es wurde deshalb mit den Erstellern des Beurteilungstools abgesprochen, dass eine Beurteilung nur mit Messdaten aus der kältesten Jahreszeit (Januar bis Mitte März) vorzunehmen sei. Insbesondere sollten die Messdaten aufgrund der nicht einfachen Erfassung einer länger andauernden Laufzeit von erwünschten 4 Stunden generell nur mit Datenlogger und in den erwähnten Monaten Januar bis Mitte März aufgezeichnet werden. Die Gewähr, dass dann ein paar längere Laufzeitintervalle vorgefunden werden, ist gegeben.

Die ermittelten Messwerte für die minimale Soletemperatur sind je nach Messverfahren und Messqualität in einem Toleranzbereich von ± 0.5 bis max. 1K für die Beurteilung der Erdwärmesondenanlage brauchbar. Diese Streuung ist bei einfachen Feldmessungen hinzunehmen.

Das Beurteilungstool ist gemäss dieser Analyse und den Randbedingungen, dass Messwerte nur mit Datenloggern und zwischen Januar und März ermittelt werden, einsetzbar und geeignet. Die erwähnten Einschränkungen sind qualitativ unabdingbar für eine brauchbare Beurteilung von Erdwärmesondenanlagen. Die existierende Anleitung von Kriesi Energie GmbH wurde bereits entsprechend angepasst und ist im Anhang dieses Berichts enthalten. Vorteilhaft wäre, wenn solche Messungen von einem qualifizierten Installateur durchgeführt werden könnten.

Die Besprechung mit den Erstellern des Beurteilungstools zwecks Einsatzes und Anwendbarkeit diente der Bereinigung des Vorgehens. Das Tool wurde aufgrund dieses Meetings entsprechend angepasst und bereinigt. Das Protokoll ist diesem Bericht angehängt.

Aus dieser Besprechung ging ebenfalls hervor, dass ein einfaches Exceltool, wo die Daten der Datenlogger einkopiert werden können, von grossem Vorteil wäre. Das Tool sollte direkt die benötigten Werte und Grafik berechnen und erstellen. Mit diesem Tool kann die Qualität und die Beurteilungssicherheit deutlich erhöht werden.

Engelburg, 20. Dez. 2018

Hubacher Engineering

Peter Hubacher

7. Anhang: Bewertungsschlüssel nach Kriesi Energie GmbH

Bewertung des Zustands älterer Erdwärmesonden

(Für mindestens 7 Jahre in Betrieb stehende Sonden, Standorte in der Schweiz bis 1300müM. Minimumbestimmung durch Auswertung >150 Messpunkte/Monat während kältesten Tagen in den Monaten Dezember bis März, mit je einem speichernden Messfühler in Vor- und Rücklauf)

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
	Sondentalter:		Jahre

2. Messdaten:

Minimale Mitteltemperatur von Vor- und Rücklauf der Erdsonde während Messperiode:
(Messung nach mindestens 3 Stunden Laufzeit der Wärmepumpe)

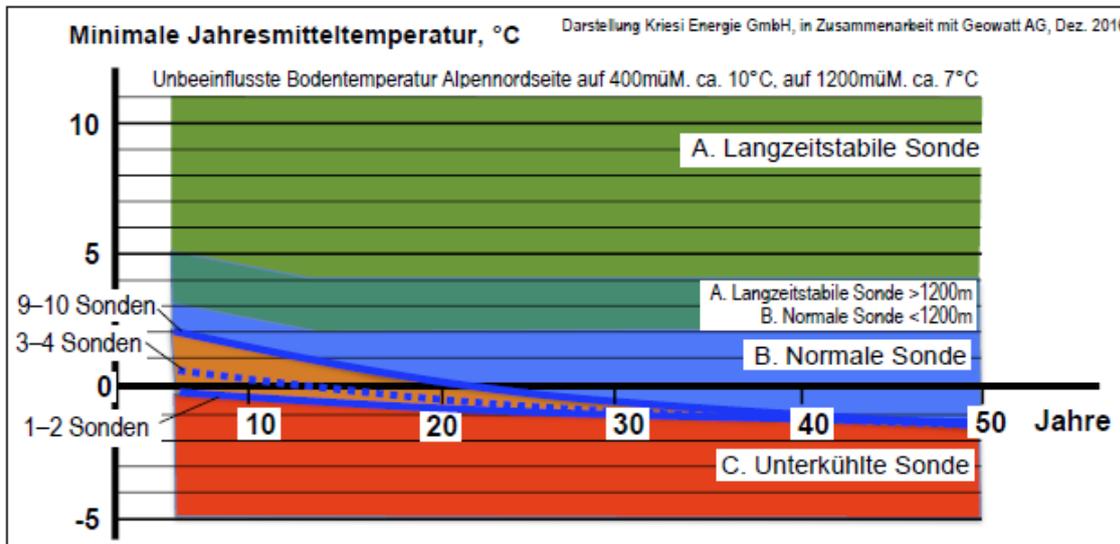
Monat	Mini. Mitteltemp. °C	Monat	Mini. Mitteltemp. °C	Monat	Mini. Mitteltemp. °C
November		Dezember		Januar*	
Februar*		März		April	

* 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. 4. 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. Hinweise:

4.a. Zur Messung

- Die Messungen müssen mit speichernden Messinstrumenten vorgenommen werden. Die üblichen, an den Rohrleitungen angebrachten analogen Anzeigen sind zu ungenau.
- Die Messfühler müssen sich auf den gleichen Startzeitpunkt und mit einem Zeitintervall von 4 Stunden programmieren lassen. Der max. Fühlerfehler soll +/-0.5K betragen.
- 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 von Kunststoffrohren gemessen, so müssen die Fühler auf der Aussenseite mit mindestens 2cm isoliert werden. Der Messwert liegt auch dann etwa 1°C zu hoch und vom erhaltenen Messwert muss deshalb 1°C abgezogen werden. 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.
- Wird die Temperatur im warmen Heizraum an der Aussenseite von Metallrohren gemessen, so müssen die Fühler auf der Aussenseite ebenfalls mit mindestens 2cm isoliert werden. Der Messwert entspricht dann mit genügender Genauigkeit der Temperatur der Sondenflüssigkeit.

4.b. Zur Interpretation der Resultate

- 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 Merkblatt 2019 des Verbands Suissetec):
 - 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.
- Geeignetster Zeitpunkt für Massnahmen zur Erhöhung der Nutzungsdauer ist bei Ersatz der bestehenden Wärmepumpe.
- Liegt die Minimaltemperatur einer Sonde noch im normalen Bereich, aber nahe der blauen Grenzlinien, so empfiehlt sich eine Wiederholung der Messungen in 5 bis 10 Jahren.

12.11.18/RKR

Messungen an älteren Erdsonden, Abstimmung des Bewertungsschlüssels und der Messanleitung mit P. Hubacher

Protokoll zur Besprechung vom 9.11.18

Ort: Engelburg, Büro Hubacher Engineering

Teilnehmer: Ernst Rohner, Peter Hubacher, Ruedi Kriesi

1. Hintergrund:

Die Kriesi Energie GmbH hat im Auftrag des BFE im Winter 16/17 Messungen an etwa 90 Erdsondenanlagen zur Feststellung der Verteilung der Minimaltemperaturen und der daraus folgenden weiteren Nutzbarkeit durchgeführt. Im Rahmen des gleichen Auftrags hat sie auf der Basis von Simulationsdaten der Geowatt AG, Ernst Rohner, einen Bewertungsschlüssel und eine Messanleitung entworfen. Die Hubacher Engineering hat im Auftrag ebenfalls des BFE anhand eigener Messdaten von 8 Anlagen die Korrektheit dieses Bewertungsschlüssels überprüft und kommt zu einem positiven Resultat.

Ziel des heutigen Meetings war ein Abgleich der Folgerungen zu Empfehlungen zum Messverfahren und zum weiteren Vorgehen zur Verbreitung der Methode in der Branche.

2. Bewertungsschlüssel

Auf den Unsicherheitsbereich von 1K (oranger Streifen) wird verzichtet. Stattdessen wird in der Anleitung festgehalten, 1K abzuziehen, wenn die Messfühler aussen an Kunststoffleitungen angebracht (und gegen den Raum gedämmt) werden.

3. Messanleitung

- Für die Anwendung wird empfohlen, die Messungen nur mit Speicher-Messgeräten und während des ganzen Winters, d.h. Dez. bis März, durchzuführen. Hintergrund: Mit einer manuellen Messung werden die tiefsten Monatswerte kaum gefunden. Wird nur in einem Monat gemessen, so ist eine Interpretation der Wetterverhältnisse im Vergleich mit einem Normjahr nötig, was sich für einen breiten Einsatz der Methode nicht eignet.
- Die Messung im 4-Stundenrhythmus reicht vollkommen zur Bestimmung der Minimaltemperatur. Erst für eine Analyse des Laufverhaltens der Anlage wären deutlich kürzere Intervalle nötig.
- Fühler mit einer Genauigkeit +/-0.5K (in Relation einerseits zum unklaren Messfehler als Folge der unbekanntenen Qualität der Wärmedämmung aussen am Messfühler bei üblicher Fühlerposition aussen an einem Kunststoffrohr und andererseits zum nur schwach gesicherten Kriterium von -1.5°C nach 50 Jahren ist diese Fühlergenauigkeit genügend), mit einstellbarem Startzeitpunkt der Messungen, mit auf 4 Stunden einstellbarem Messintervall, mit Ablage der Messwerte als CSV-Datei zur Übertragbarkeit in Excel.
- Eine Anleitung zur Fühlermontage ähnlich der bestehenden der Kriesi Energie wird darin integriert. Diese soll auf Installateure ausgerichtet werden. Deshalb wird die Verwendung der Thermometer-Tauschhülsen empfohlen.

4. Auswertung

- Die Auswertung soll mit einem zur Verfügung gestellten Standardprogramm erfolgen, damit die Resultate unterschiedlicher Anwender vergleichbar werden.
- Die Werte werden nach Delta-T geordnet, um Fehler durch auf Aussentemperatur abfallende Sondenabschnitte zu vermeiden.
- Als Minimalwert wird der tiefste Mittelwert zwischen Vor- und Rücklauf der Wintermonate verwendet. (Im Regelfall weicht dieser kaum von einem Mittelwert der 3 bis 5 tiefsten Werte ab!)
- Als Auswertung soll eine Tabelle mit den monatlichen Minimal-Mittelwerten bereitgestellt werden. Zusätzlich soll automatisch das Resultat, d.h. Sondenalter und Jahresminimalwert, in den Bewertungsschlüssel eingetragen werden.
- Werden die Messfühler aussen an einem Kunststoffrohr angebracht und aussen gedämmt, wird das Resultat um 1K reduziert.

5. Weiteres Vorgehen

- RK passt den Bewertungsschlüssel mit den Hinweisen diesem Protokoll an und sendet ihn an PH zur Integration in seinen Bericht (sh. Beilage)
- RK klärt den Zeitbedarf zur
 - Erstellung des Programms zur automatischen Erstellung der Temperaturtabelle und der Eintragung des Messpunkts in den Bewertungsschlüssel anhand der Messdaten durch den Anbieter der Messfühler.
 - Anpassung der Montageanleitung
- RK klärt mit BFE, Frau Kobler, die mögliche Finanzierung der Programmerstellung
- PH integriert den angepassten Bewertungsschlüssel in seinen Bericht und die angepasste Montageanleitung, sofern sich dies zeitlich machen lässt.
- PH versucht, den Bewertungsschlüssel in das FWS-Wärmepumpenmodul zu integrieren, damit eine Messung der Sondentemperatur ca. 7 Jahre nach Betriebsbeginn üblich wird. Er weist darauf hin, dass bis auf weiteres vergünstigte Messfühler bei RK erhältlich sind.
- PH, ER und RK wirken über ihre Kanäle darauf hin, dass der Bewertungsschlüssel primär durch die Installateure eingesetzt werden.

19-1112/RKR