Langzeiterfahrungen mit Erdwärmesonden-Systemen in der Schweiz

Zusammenfassung

Erdwärmesonden-Systeme sind in der Schweiz weit verbreitet und bieten eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative zu anderen Heizsystemen. In diesem Projekt werden die Betriebserfahrungen mit Erdwärmesonden-Systemen, welche seit Jahrzehnten in der Schweiz in Betrieb stehen, erfasst und beurteilt. Die Auswertung erlaubt die Nachhaltigkeit der Langzeitproduktion zu bewerten.

Als erster Projektschritt wurden "alte" Anlagen eruiert und bei ihren Besitzern eine Umfrage durchgeführt. Der Schwerpunkt lag darin, herauszufinden, wie Erdwärmesondenanlagen über längere Zeit laufen und wie zufrieden die Besitzer mit ihrer Anlage sind. Die Auswertung der Fragenbogen zeigte, dass praktisch alle Anlagen noch im Betrieb sind. Rund 90 % der Anlagebesitzer sind zufrieden bis sehr zufrieden und würden sich wieder für dieses System entscheiden.

Die meisten Anlagen funktionieren immer noch einwandfrei. Die wenigen aufgetretenen Probleme bezogen sich meistens auf die Wärmepumpe oder die Erdwärmesonde. Bei den Erdwärmesonden beruht die Hälfte der Probleme auf unterdimensionierte Sondenlängen. Es empfiehlt sich, auf eine fachgerechte Auslegung der Erdwärmesonde zu achten.

Die Befragung zeigt auch, dass durch den Ersatz der alten Wärmepumpen durch eine neue mit höherem COP die Erdwärmesonden überlastet werden können. Bei einem Ersatz muss daher abgeklärt werden, ob die vorhandenen Erdwärmesonden der Verdampferleistung der Ersatzwärmepumpe genügen. Es ist wichtig, dass die Wärmepumpe mit den Erdwärmesonden abgestimmt ist. Wichtige Hinweise zur fachgerechten Auslegung und Ausführung von Erdwärmesondensystemen sind in der SIA Norm 384/6 enthalten.

Die generelle Zufriedenheit der Besitzer von Erdwärmepumpen-Anlagen haben auch zwei kürzlich abgeschlossene Studien in Deutschland aufgezeigt; die meisten Bauherren würden sich wieder für die Erdwärme-Lösung entscheiden. Allerdings reicht die Erfahrungszeit wesentlich weniger weit zurück, als in der vorliegenden Studie.

In einem zweiten Projektschritt wurden Messdaten von zwei Anlagen analysiert und numerisch nachsimuliert. Die Vorwärtssimulation beider Anlagen für eine Betriebszeit von 50 Jahren zeigt, dass der Betrieb von Erdwärmesonden-Anlagen nachhaltig ist. Mit einer Analyse der Betriebsdaten konnte weiter aufgezeigt werden, dass die Wärmegestehungskosten überaus konkurrenzfähig sind.

Gesamthaft erwiesen sich die Anlagen auch im Langzeit-Betrieb als zuverlässig, womit die Nachhaltigkeit der Produktivität garantiert ist – ein auch im internationalen Vergleich bemerkenswertes Resultat, da der Nachweis zum ersten Mal anhand von Daten an funktionierenden Anlagen erbracht wird.



Zusammenfassung

Erdwärmesonden-Systeme sind in der Schweiz weit verbreitet und bieten eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative zu anderen Heizsystemen. In diesem Projekt werden die Betriebserfahrungen mit Erdwärmesonden-Systemen, welche seit Jahrzehnten in der Schweiz in Betrieb stehen, erfasst und beurteilt. Die Auswertung erlaubt die Nachhaltigkeit der Langzeitproduktion zu bewerten.

Als erster Projektschritt wurden "alte" Anlagen eruiert und bei ihren Besitzern eine Umfrage durchgeführt. Der Schwerpunkt lag darin, herauszufinden, wie Erdwärmesondenanlagen über längere Zeit laufen und wie zufrieden die Besitzer mit ihrer Anlage sind. Die Auswertung der Fragenbogen zeigte, dass praktisch alle Anlagen noch im Betrieb sind. Rund 90 % der Anlagebesitzer sind zufrieden bis sehr zufrieden und würden sich wieder für dieses System entscheiden.

Die meisten Anlagen funktionieren immer noch einwandfrei. Die wenigen aufgetretenen Probleme bezogen sich meistens auf die Wärmepumpe oder die Erdwärmesonde. Bei den Erdwärmesonden beruht die Hälfte der Probleme auf unterdimensionierte Sondenlängen. Es empfiehlt sich, auf eine fachgerechte Auslegung der Erdwärmesonde zu achten.

Die Befragung zeigt auch, dass durch den Ersatz der alten Wärmepumpen durch eine neue mit höherem COP die Erdwärmesonden überlastet werden können. Bei einem Ersatz muss daher abgeklärt werden, ob die vorhandenen Erdwärmesonden der Verdampferleistung der Ersatzwärmepumpe genügen. Es ist wichtig, dass die Wärmepumpe mit den Erdwärmesonden abgestimmt ist. Wichtige Hinweise zur fachgerechten Auslegung und Ausführung von Erdwärmesondensystemen sind in der SIA Norm 384/6 enthalten.

Die generelle Zufriedenheit der Besitzer von Erdwärmepumpen-Anlagen haben auch zwei kürzlich abgeschlossene Studien in Deutschland aufgezeigt; die meisten Bauherren würden sich wieder für die Erdwärme-Lösung entscheiden. Allerdings reicht die Erfahrungszeit wesentlich weniger weit zurück, als in der vorliegenden Studie.

In einem zweiten Projektschritt wurden Messdaten von zwei Anlagen analysiert und numerisch nachsimuliert. Die Vorwärtssimulation beider Anlagen für eine Betriebszeit von 50 Jahren zeigt, dass der Betrieb von Erdwärmesonden-Anlagen nachhaltig ist. Mit einer Analyse der Betriebsdaten konnte weiter aufgezeigt werden, dass die Wärmegestehungskosten überaus konkurrenzfähig sind.

Gesamthaft erwiesen sich die Anlagen auch im Langzeit-Betrieb als zuverlässig, womit die Nachhaltigkeit der Produktivität garantiert ist – ein auch im internationalen Vergleich bemerkenswertes Resultat, da der Nachweis zum ersten Mal anhand von Daten an funktionierenden Anlagen erbracht wird.



Abstract

Borehole heat exchanger (BHE) systems are widely-used in Switzerland and they provide an economically and ecologically reasonable alternative to other heating systems. In this project, experiences with BHE systems that have been operating for decades in Switzerland were registered and evaluated. The analysis allows the assessment of the long-term production's sustainability.

As a first project step, "old" facilities were investigated and a survey was conducted among the owners. The focus was on finding out how well the borehole heat exchangers operate on the long run and how satisfied the owners are with their system. The analysis of the survey showed that practically all facilities are still operating. About 90 % of the owners are satisfied or very satisfied and would choose such a system again.

Most facilities still operate faultlessly. The few problems that arose could mostly be linked to the heat pump or the borehole heat exchanger. Half of the problems concerning the borehole heat exchanger are due to underdimensioned BHE length. It is recommended to pay attention to the professional design of the borehole heat exchanger.

The survey also shows that borehole heat exchangers can be overloaded, if an old heat pump is replaced by a new one with a higher COP. Therefore for any replacement, it should be clarified that the existing borehole heat exchanger is adequate to the evaporator capacity. The heat pump and the borehole heat exchanger have to be adjusted to each other. Important information about the professional dimensioning and operation of BHE are included in the SIA 384/6 norm.

The general satisfaction of owners of ground-source heat pump systems has also been shown by two studies recently published in Germany; Most constructors would choose a ground heat solution again. Yet the timescale of these studies is essentially smaller than the timescale for the data presented herein.

In a second project step, data of two facilities has been analyzed and resimulated numerically. Forward modelling of both facilities for an operation period of 50 years shows that the operation of BHE systems is sustainable. Furthermore, by analyzing the operating data it could be shown that the heat generation costs are clearly competitive.

In general, the facilities proved to be reliable in the long run, too, which guarantees sustainability of productivity. This result is also remarkable by international comparison, since this evidence has been provided for the first time on the basis of data from operating facilities.



Schlussbericht 19, März 2010

Langzeiterfahrungen mit Erdwärmesonden-Systemen in der Schweiz

3.3 Anlage 2

3.3.1 Beschreibung der Anlage 2

Anlage 2 wurde 1985 erstellt. Es wurden zwei Bohrungen à je 60 m abgeteuft. Das Erdwärmesonden-System wurde für die Beheizung eines Einfamilienhauses erstellt, welches damals als Neubau erbaut wurde. Das Warmwasser wird separat erzeugt. Die Bohrungen wurden unterhalb des am Hang befindlichen Hauses im Abstand von 10 m abgeteuft. Die relativ
langen Zuleitungen von 15 bzw. 25 m wurden als eine Art Erdregister erstellt, um die Leistungsfähigkeit zusätzlich zu erhöhen.

Im Jahre 2008 wurde die alte Wärmepumpe durch eine neue, effizientere, aber kleinere Wärmepumpe ersetzt, obwohl die alte Wärmepumpe noch voll funktionstüchtig war. Seit 1996 wird während den Sommermonaten auch gekühlt. Die Kühlung erfolgt mit einem Plattenwärmetauscher, ohne Einsatz der Wärmepumpe (direkte Kühlung oder Geocooling).

Tabelle 3-6: Beschreibung der Anlage 2.

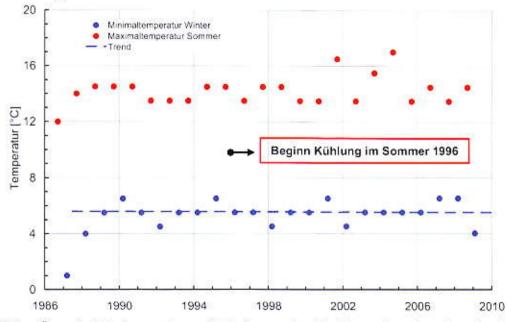
System	Duplex-Erdwärmesonden, Ø 25 mm	
Bohrmeter total	120 m	
Anzahl Bohrungen	2	
Zuleitung	als eine Art Erdregister verlegt	
Sondenfluid	Wasser-Glykol-Gemisch (75%/25%)	
Heizbedarf	11 kW, seit 1985	
Warmwasserproduktion	Nein	
Kühlen	Ja, direktes Kühlen seit 1996	



3.3.2 Messdaten

Bei der Anlage 2 werden der Stromverbrauch sowie die Laufzeiten der Wärmepumpe und der Umwälzpumpe gemessen. Zudem sind alle Zu- und Rücklaufrohre am Verteiler der Erdwärmesonden mit Temperaturfühler bestückt. Dadurch kann die Temperatur in allen vier Erdwärmesondenkreisen überprüft werden. Etwa alle zwei Wochen wird über diese Messfühler die Sondentemperatur gemessen. Dazu wird die Anlage ausser Betrieb gesetzt und das Sondenfluid während ca. einer Stunde zirkuliert, um so die über die Erdwärmesonden gemittelte Temperatur zu erhalten. Seit 1986 wurde die Erdwärmesondentemperatur regelmässig gemessen und die minimale Temperatur im Winter und die maximale Temperatur im Sommer registriert.

Die Messdaten sind in Figur 3-4 dargestellt. Die minimalen Temperaturen im Winter zeigen einen sehr stabilen Verlauf über die Jahre. Die typische Temperaturabnahme in den ersten Betriebsjahren mit der anschliessenden Stabilisierung auf tieferem Temperaturniveau ist nicht zu erkennen. So steigen auch die Temperaturen im Sommer jeweils wieder mehr oder weniger auf den Ausgangswert zurück. Es scheint, dass sich hier der Untergrund vollständig regenerieren kann. Daraus könnte man auf Schichtwässer im Untergrund schliessen. Gemäss geologischem Bohrprofil, welches mehrheitlich Mergelschichten zeigt, gibt es aber dafür keine Indizien. Allerdings gibt es in der Nähe eine Brunnenstube und Wasserfassungen für die Gemeinde und bei einigen Bauten in der Umgebung traten Probleme mit Sickerwasser in der Baugrube auf.



Figur 3-4: Über die Erdwärmesonde gemittelte Temperatur. Die Messwerte entsprechen der Sondentemperaturen nachdem die Anlage ausser Betrieb gesetzt und das Sondenfluid während ein bis zwei Stunden zirkuliert wurde. Dargestellt sind die minimalen Temperaturen im Winter und die maximale Temperaturen im Sommer.



3.3.3 Berechnung des Betriebsverhaltens

Anhand der gemessenen Laufzeiten und des Energie- und Leistungsbedarfs wurde das Temperaturverhalten der Anlage nachsimuliert und mit den Messdaten verglichen. Für Aussagen zur Nachhaltigkeit wurde das Betriebsverhalten bis 50 Jahre weiter aufgezeigt. Wie bei Anlage 1 wurde auch hier das firmeninterne Programm eingesetzt, welches auf g-Funktionen basiert.

Die verwendeten, thermischen Parameter des Untergrundes sind in Tabelle 3-7 zusammengestellt. Die initiale, mittlere Bodentemperatur entlang der 60 m tiefen Sonden wurde anhand der maximalen Temperaturen im Sommer geschätzt. Dazu wurden nur diejenigen Betriebsjahre berücksichtigt, während derer noch nicht gekühlt wurde (1986 – 1995; vergleiche Figur 3-4 Jahre). Die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität wurden durch Anpassung an die Temperaturmesswerte bestimmt. Der Wert der Wärmeleitfähigkeit (Tabelle 3-7) liegt über dem in der SIA 384/6 angegebenen Richtwert für Mergelstein von 2.1 W/m·K, was auf die Regeneration durch Schichtwässer hindeuten kann.

Die Angaben zu Heizenergie und Heizleistung stammen vom Anlagebesitzer. Für die Berechungen wurde für die Betriebsjahre von 1986 bis 2009 die effektive jährliche Heizenergie anhand gemessener Laufzeiten variiert. Für den zukünftigen Betrieb wurde von einem Durchschnittsjahr ausgegangen. Für die Kühlleistung sind Messungen vorhanden. Sie beträgt 3.7 kW. Daraus wurde die Kühlenergie berechnet, unter der Annahme, dass die Kühlung jeweils bei Temperaturen über 24 °C einschaltet. Die Energie- und Leistungsdaten sind in Tabelle 3-8 zusammengestellt.

2008 wurde die alte, noch betriebstüchtige Wärmepumpe durch eine kleinere, mit höherem COP ersetzt, was in der Berechnung berücksichtigt ist. Die Kenndaten der beiden Wärmepumpen sind in Tabelle 3-9 zusammengefasst. Die Werte für die alte Wärmepumpe stammen vom Anlagebesitzer, diejenigen für die neue vom Datenblatt des Herstellers. Die technischen Daten der Erdwärmesonden sind Tabelle 3-10 zu entnehmen.

Tabelle 3-7: Mittlere thermische Gesteinseigenschaften und Randbedingungen geschätzt für den Standort der Anlage 2.

Parameter	Wert	
Mittlere Bodentemperatur [°C]	14.1	
Mittlere Wärmekapazität Untergrund [MJ/m³.K]	2.0	
Mittlere Wärmeleitfähigkeit Untergrund [W/m-K]	2.7	



Tabelle 3-8: Jahresenergie und Leistung für Heizen und Kühlen.

Bezüger	Energiebedarf [kWh]	Maximale Leistung [kW]	
Heizen	17'500		
Kühlen	1'000	3.7	

Tabelle 3-9: Kenndaten der alten und neuen Wärmepumpe.

	Temperatur Verdampfer eintritt [°C]	Temperatur Kondensator- austritt [°C]	Heizleistung [kW]	Kälteleistung [kW]
Alte Wärmepumpe	0	35	11	7.1
Neue Wärmepumpe	0	35	8.9	6.9

Tabelle 3-10: Technische Daten der Erdwärmesonden.

Art der Sonden	Duplex-Erdwärmesonden, Ø 25 mm	
Anzahl	2	
Tiefe	je 60 m	
Abstand	10 m	
Zuleitung als Erdregister verlegt	geschätzt ca. 2 x 5 m Bohrmeteräquivalent	
Kältemittel	Wasser/Ethylenglykol-Gemisch (75%/25%	
Hinterfüllung	Standard (Wärmeleitfähigkeit 0.8 W/m·K)	

In Figur 3-5 ist der berechnete Verlauf der mittleren Soletemperatur sowie der mittleren Temperatur entlang der Erdwärmesonden über 50 Jahre Betriebszeit dargestellt. Für den Vergleich mit den Messdaten wird zudem der entsprechende, berechnete Wert aufgeführt. Es ist dies die mittlere Temperatur entlang der Erdwärmesonden jeweils 1 Stunden nach der tiefsten Betriebstemperatur pro Heizperiode (vergleiche auch Kapitel 3.3.2). Die gemessenen und die berechneten mittleren minimalen Erdwärmesondentemperaturen zeigen eine gute Übereinstimmung. Die Unterschiede in den ersten beiden Jahren könnten auf einen erhöhten Bedarf durch Bauaustrocknung und den sehr kalten Winter 1986/86 zurückgehen. Allgemein zeigt die Berechnung die typischen, abnehmenden Temperaturwerte, die sich nach ca. 10



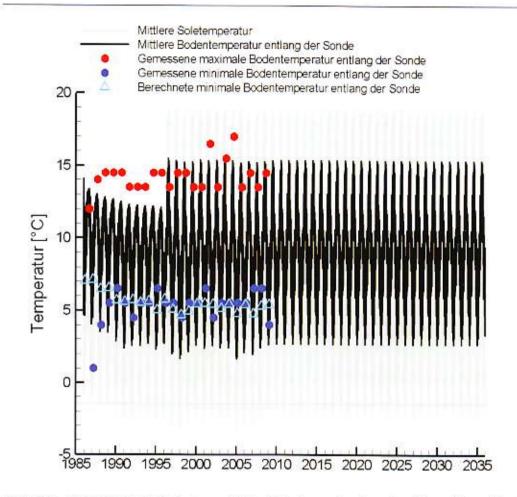
Jahren stabilisieren. Die gemessenen Temperaturen zeigen hingegen keine solche Abnahme. In den Jahren ohne Kühlbetrieb (bis 1996), erreichen die berechneten Temperaturen im Sommer nie die gemessenen Temperaturen. Die Messwerte für Sommer und Winter sind relativ konstant. Das lässt auf eine mehr oder weniger vollständige Regeneration des Untergrundes im Sommer schliessen. Dies könnte mit Schichtwasser, d.h. leicht fliessendem Wasser in den wasserdurchlässigen Schichten, zusammenhängen. Gemäss geologischem Bohrprofil gibt es aber keine Hinweise auf solche Strömungen. Die benachbarte Brunnen und Grundwasserfassungen sowie das in einigen Baugruben aufgetretene Sickerwasser könnten aber trotzdem auf eine thermisch aktiver Grundwasserströmung hindeuten, die die Regeneration unterstützt.

Wie bereits bei der Anlage 1 zeigt auch hier der Vergleich einer Berechnung mit und ohne direktes Kühlen im Sommer, dass Kühlung, welche bei solchen Anlagen im Bereich von ca. 10 % des Heizenergiebezuges im Winter liegt, die Regeneration des Untergrundes während des Sommers leicht unterstützen kann. Der Beitrag liegt aber im Bereich von wenigen Zehntel °C.

2008 wurde die alte Wärmepumpe durch eine kleinere, aber effizientere ersetzt. Da die Kälteleistungen relativ ähnlich sind, bleibt die Belastung der Erdwärmesonden ungefähr gleich (siehe Tabelle 3-9).

Allgemein zeigt die Berechnung, dass die Anlage gemäss heutigen Vorschriften nach SIA Norm 384/6 leicht unterdimensioniert wäre. Die berechnete, minimale mittlere Temperatur liegt nach 50 Jahren für ein mittleres Jahr bei –2.5 °C. Der Grenzwert von –1.5 °C gemäss SIA Norm 384/6 wird während 130 Stunden unterschritten. Im kältesten, berechneten Jahr 2005 (siehe Figur 3-5) ist die minimale mittlere Temperatur sogar –3.4 °C. Mit den Werten gemäss Tabelle 3-7 müssten die Erdwärmesonden für die Einhaltung der SIA Norm 384/6 je 67 m tief gebohrt werden, anstelle von 60 m (siehe Tabelle 3-10). Die Zuleitungen wurden dabei ebenfalls zusätzlich als Äquivalent von je 5 Sondenmeter angenommen. Die Anlage läuft aber gemäss Besitzer seit Beginn äusserst zufriedenstellend. Die vorhandenen Messdaten deuten daraufhin, dass sich der Untergrund hier sehr gut regenerieren kann, und die Berechnungen zeigen, dass die Anlage auch in den kommenden Jahrzehnten ähnliche gut laufen sollte.





Figur 3-5: Berechneter Verlauf der gemittelten Soletemperatur (grau) und der mittleren Bodentemperatur entlang der Erdwärmesonde (schwarz) über 50 Jahre Betriebszeit für die Anlage 2. Dargestellt sind zudem die gemessenen und berechneten Minimaltemperaturen
(blaue Kreise bzw. blaue Dreiecke) entlang der Erdwärmesonde jeweils 1 Stunden nach
der tiefsten Betriebstemperatur pro Heizperiode sowie die Maximalwerte während des
Kühlbetriebes.

3.3.4 Schlussfolgerung

Dank den regelmässigen Messungen der Erdwärmesondentemperaturen lassen sich Rückschlüsse auf das Betriebsverhalten einer Anlage über 25 Jahre ziehen. Aus heutiger Sicht ist
die Anlage leicht unterdimensioniert. Um die Vorschriften der SIA Norm 386/4 einzuhalten
müssten ca. 10 % tiefere Erdwärmesonden installiert werden. Die Langzeitmessungen zeigen jedoch, dass die Anlage einwandfrei funktioniert. Offenbar regeneriert sich der Untergrund während der Sommermonate sehr gut.

Der Ersatz der Wärmepumpe nach fast 25 Jahren durch eine neue zeigt beim Betrieb keine grossen Änderungen. Dies hat mit der Wahl der Wärmepumpe zu tun. Es wurde eine zwar



effizientere, aber kleinere Wärmepumpe eingebaut. Dadurch bleibt die Belastung der Sonde in etwa gleich. Eine Überlastung der Sonden kann vermieden werden, wenn beim Ersatz einer Wärmepumpe auf die gleiche Kälteleistung geachtet wird. Dies setzt jedoch einen passenden Wärmebedarf des Hauses voraus.

Direktes Kühlen im Sommer unterstützt die Regeneration des Untergrundes. Der Beitrag liegt jedoch im 10tel-Grad Bereich. Stark unterdimensionierte Erdwärmesonden-Anlagen können so nicht saniert werden.

3.4 Berechnung der Wärmegestehungskosten

Für die Berechnung der Wärmegestehungskosten wurde das übliche Verfahren mit folgenden Kostenkomponenten verwendet:

- Kapitalkosten (Verzinsung des investierten Kapitals)
- Energiekosten (Stromkosten der Wärmepumpe und Hilfsaggregate)
- · Bedienungs- und Wartungskosten (Überwachung, Reparaturen, etc.)

Die Kapitalkosten werden nach der Annuitätsmethode berechnet, d.h. die Investitionen werden über die Nutzungsdauer mit Hilfe der Zinsrechnung in gleich hohe jährliche Raten (Annuitäten) umgerechnet. Die Parameter für die Berechnung werden aus der SIA Norm 384/6 übernommen (siehe Tabelle 3-11). Als Zinssatz wird 4 % angenommen.

Tabelle 3-11: Parameter für die Berechnung der Wärmegestehungskosten gemäss SIA Norm 384/6.

	Jährliche Wartungs- und Unter- haltskosten in % des Anlagewertes	Nutzungsdauer in Jahre	
Erdwärmesonde und Zuleitungen	0	50	
Wärmepumpe	1 - 2%	20	
Erdwärmesondenkreislauf (Leitungen und Armaturen)	1 - 2%	20	

Allgemein mussten für die Berechnung der Wärmegestehungskosten viele Annahmen getroffen werden, da zum Beispiel aufgrund des bereits mehrere Jahrzehnte dauernden Betriebes nicht mehr alle Angaben zu Investitionskosten vorhanden waren. Die Wärmegestehungskosten für die beiden Objekte sind in Tabelle 3-12 und Tabelle 3-13 zusammengestellt.



Für die Anlage 1 ergibt sich ein Wärmepreis von 13 Rp./kWh. Bei der Anlage 2 haben einige Anlagekomponenten ihre "Lebensdauer" bereits überschritten und sind komplett abgeschrieben. Zusätzlich sind gemäss Besitzer die Stromkosten durch Umrüstung auf eine effizientere Wärmepumpe um 30 % gefallen. Werden diese beiden Punkte berücksichtigt, ergibt sich ein momentaner Wärmepreis von 11 Rp./kWh. Beide Anlagen zeigen, dass bei Erdwärmesonden-Anlagen die Kapitalkosten bei weitem den grösste Anteil an den Jahreskosten ausmachen. Die Betriebskosten fallen relativ günstig aus, so dass eine Strompreisteuerung nur eine geringe Erhöhung der Wärmegestehungskosten bewirkt.

Bei einer Ölanlage mit ähnlicher Anlagengrösse würden die Wärmegestehungskosten bei einem Ölpreis von aktuell CHF 80.00 (Februar 2010) bei ca. 20 Rp/kWh liegen (Datenbasis: Infoblatt EW Rapperswil-Jona Sept. 2001). Hier machen die jährlichen Betriebskosten (Ölpreis) den Hauptanteil der Wärmegestehungskosten aus.

Beide Erdwärmesonden-Anlagen sind somit mit ihren Wärmegestehungskosten überaus konkurrenzfähig (vgl. auch Rybach et al., 2004). Die Umfrage bei den Anlagebesitzern in Kapitel 2 zeigt auch, dass die Lebensdauer der Anlageteile, nach heutigem Wissensstand, wesentlich über dem Amortisationssatz in der SIA Norm 384/6 (Tabelle 3-11) liegt. Bei einem durchschnittlichen Alter der betrachteten Anlagen von 25 Jahre ist die durchschnittliche Lebensdauer aller Wärmepumpe bis zum jetzigen Zeitpunkt 23 Jahren, und bei keiner Anlage musste der Erdwärmesondenkreis ersetzt werden. Die Wärmegestehungskosten von Erdwärmesondenanlagen liegen somit eher etwas tiefer, als allgemein ausgewiesen.



Tabelle 3-12: Berechnung der Wärmegestehungskosten für die Anlage 1 (siehe Kapitel 3.2). Die Parameter für die Amortisation und die Berechnung der Wartungskosten sind in Tabelle 3-11 zusammengestellt.

Eingabedaten		
Quelle	Besitzer	
Investitionskosten	CHF 36'225	CHF 11'000 Wärmepumpe
		CHF 700 Umwälzpumpe
		CHF 17'225 Bohrung/Erdwärmesonde
		CHF 4'200 Anschlüsse (WP, Zuleitung)
		CHF 1'200 Regelung/Elektrik
		CHF 400 Grabarbeiten
		CHF 1'000 Planung
		CHF 500 Diverses (Geologe)
Wartungskosten	CHF 171	Nach SIA Norm 384/6 berechnet, Angaben gemäss Besitzer CHF 0/Jahr
Stromverbrauch	4'650 kWh / a	Angaben gemäss Besitzer
Produzierte Wärmeenergie	22'750 kWh / a	Angaben gemäss Besitzer
Berechnung der Wärmege	stehungskosten	
Kapitalkosten	CHF 2'189	74% (Anteil an den Jahreskosten)
Wartungskosten	CHF 171	6%
Stromkosten	CHF 609	21%
Jahreskosten total	CHF 2'969	
Wärmegestehungskosten	13 Rp. / kWh	



Tabelle 3-13: Berechnung der Wärmegestehungskosten für die Anlage 2 (siehe Kapitel 3.3). Die Parameter für die Amortisation und die Berechnung der Wartungskosten sind in Tabelle 3-11 zusammengestellt.

Eingabedaten			
Quelle	Besitzer		
Investitionskosten	CHF 28'268	CHF 8'000	Wärmepumpe (ersetzt, ob- wohl noch funktionstüchtig)
		CHF 500	Umwälzpumpe
		CHF 11'328	Bohrung/Erdwärmesonden
		CHF 3'680	Anschlüsse (WP, Zuleitung)
		CHF 1'570	Regelung/Elektrik
		CHF -	Grabarbeiten (Eigenleistung)
		CHF -	Planung (Eigenleistung)
		CHF 3'190	Diverses (Pufferspeicher, Geologe)
Wartungskosten	CHF 138	Nach SIA Norm 384/6 berechnet, Angaben gemäss Besitzer CHF 20/Jahr	
Stromverbrauch	6'500 kWh / a	Angaben gemäss Besitzer	
Produzierte Wärmeenergie	17'500 kWh / a	Angaben gemäss Besitzer	
Berechnung der Wärmege	stehungskosten		
Kapitalkosten	CHF 1'774 CHF 1'116*	64 %	(Anteil an den Jahreskosten)
Wartungskosten	CHF 138	5 %	
Stromkosten	CHF 848 CHF 600*	31 %	
Jahreskosten total	CHF 2'759		
Wärmegestehungskosten	16 Rp. / kWh 11 Rp. / kWh*		

^{*}Kursive: Wärmegestehungskosten für Kapitalkosten ab dem 20. Betriebsjahr, nach Ablauf der Amortisationszeit (vgl. Tabelle 3-11) einiger Anlagekomponenten, und durch Reduktion der Stromkosten beim Ersatz der Wärmepumpe durch eine effizientere (siehe Text).



Schlussfolgerungen

Erdwärmesondensysteme sind in der Schweiz sehr verbreitet und sind eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative zu anderen Heizungen. In diesem Projekt wurden die Betriebserfahrungen mit Erdwärmesonden-Systemen, welche seit Jahrzehnten in der Schweiz in Betrieb stehen, ausgewertet und in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit bewertet.

Im ersten Projektteil wurde eine Umfrage bei Besitzern von "alten" Anlagen durchgeführt. Der Schwerpunkt lag darin, herauszufinden, wie Erdwärmesondenanlagen über längere Zeit laufen und wie zufrieden die Besitzer mit ihrer Anlage sind. Die Umfrage ergab ein sehr gutes Resultat: 94% der Anlagen sind noch in Betrieb und 88% der Besitzer sind zufrieden bis sehr zufrieden mit ihrer Anlage. Die meisten Anlagen funktionieren immer noch einwandfrei. Allerdings besteht ein gewisses Risiko darin, dass es durch den Ersatz der alten Wärmepumpen durch neue Wärmepumpen mit verbessertem COP zu einer Überlastung der Erdwärmesonden kommen kann.

In Deutschland sind kürzlich zwei Studien erschienen, in welchen unter anderem auch den Betriebserfahrungen bei Erdwärmepumpen-Anlagen nachgegangen wurde (Kölbel et al. 2009, Sawillion, 2009). Allerdings ist der Betrachtungszeitraum wesentlich kürzer, als in der vorliegenden Untersuchung. In den deutschen Studien ging es mehr um die Erfassung einer möglichst grossen Zahl neuer Anlagen (über 1'000). Insbesondere wurden die Beweggründe der Bauherren zur Wahl der Geothermie-Lösung erfragt. Die generelle Zufriedenheit der Besitzer von Erdwärmepumpen-Anlagen haben auch diese zwei Studien aufgezeigt. Die meisten Bauherren würden sich wieder für die Erdwärme-Lösung entscheiden.

In einem zweiten Projektschritt wurden Messdaten von zwei Anlagen analysiert und numerisch nachsimuliert. Die Vorwärtssimulation beider Anlagen für eine Betriebszeit von 50 Jahren zeigt, dass der Betrieb von Erdwärmesonden-Anlagen nachhaltig ist. Die Analyse zeigt zudem, dass die Wärmegestehungskosten sehr konkurrenzfähig sind.

Gesamthaft erwiesen sich die Anlagen auch im Langzeit-Betrieb als zuverlässig, womit die Nachhaltigkeit der Produktivität garantiert ist. Dies ist auch im internationalen Vergleich ein bemerkenswertes Resultat, da der Nachweis zum ersten Mal anhand von Daten an effektiv betriebenen Anlagen erbracht wird.

Aus der Auswertung der Fragebogen zum Langzeitverhalten und der Analyse des Betriebsverhaltens der untersuchten zwei Anlagen lassen sich folgende Schlüsse in Bezug auf die eingangs erwähnten Zielfragen der Studie ziehen:



 Laufen Erdwärmesonden über mehrere Jahre hinweg zuverlässig und zufrieden stellend?

Von den untersuchten 33 Anlagen, welche zwischen 1979 – 1985 erstellt wurden, sind 31 immer noch in Betrieb. 30 von diesen 33 Besitzer sind mit ihrer Anlage zufrieden bis sehr zufrieden. Somit lässt sich sagen, dass Erdwärmesonden auch über eine längere Zeit von 25 Jahren hinweg sehr zuverlässig und zufriedenstellend laufen.

 Laufen Erdwärmesondenanlagen auch nach allfälligen Änderungen, wie dem Einbau einer neuen Wärmepumpe oder Umbauten noch gut?

Bei 17 Anlagen wurde die Wärmepumpe ersetzt. Bei 4 Anlagen sind dadurch Probleme aufgetreten, die teilweise auf eine Überlastung der Erdwärmesonden aufgrund der neueren, effizienteren Wärmepumpen hindeuten.

Zu bemerken ist der Umstand, dass bei drei Anlagen Vereisungen sowie Bodenhebungen und Senkungen aufgetreten sind. Die ersetzten Wärmepumpen weisen einen höheren COP auf, was zu einer grösseren Belastung der Erdwärmesonde führt. Es ist zu erwarten, dass bei zunehmendem Ersatz der Wärmepumpen durch solche mit verbessertem COP, Erdwärmesonden unterdimensioniert sein können und vermehrt Probleme wie Vereisungen mit daraus resultierenden Hebungen/Senkungen auftreten könnten.

11 der Gebäude wurden renoviert oder umgebaut (grössere Wohnfläche, höhere Raumtemperatur, bessere Isolation). Die Anlagebesitzer meldeten jedoch keine direkt daraus resultierenden Probleme beim Anlagebetrieb.



Was sind die "grössten" Schwachstellen beim Betrieb über mehrere Jahre und auf was muss besonders geachtet werden, um eine langjährige Funktionstüchtigkeit der Anlage zu gewährleisten?

Die meisten Probleme traten bei der Wärmepumpe und der Erdwärmesonde auf. Traten Probleme bei den Erdwärmesonden auf, beruhten diese zur Hälfte auf unterdimensionierten Sondenlängen. Die restlichen 50 % betrafen das Nachfüllen von Frostschutzmittel, was bei Anlagen mit über 25 Betriebsjahren als normale Wartungsarbeiten betrachtet werden kann.

Es empfiehlt sich, auf eine fachgerechte Auslegung und Ausführung der Erdwärmesonde zu achten. Wichtige Hinweise dazu sind in der SIA Norm 384/6 enthalten, die seit Anfangs 2010 in Kraft ist. Darin sind die Bedingungen für die Dimensionierung und Ausführung von Erdwärmesondensystemen beschrieben.

Allgemein ist auf eine richtige Abstimmung der Erdwärmesonde mit der eingesetzten Wärmepumpe zu achten. Dazu gehört auch eine richtige Auslegung der Hydraulik.



4. Wie nachhaltig sind Erdwärmesondensysteme?

Nach mindestens 25 Betriebsjahren laufen noch 31 der 33 Anlagen. Die 2 Anlagen, die nicht mehr betrieben werden, waren mit Prototyp-Gasmotor-Wärmepumpen ausgestattet, welche wegen der Schadensanfälligkeit und der hohen Wartungskosten ausser Betrieb genommen wurden. Von den Standard-Elektowärmepumpen Anlagen sind noch alle in Betrieb. Über 90 % der Besitzer sind mit ihren Anlagen zufrieden.

Wie oben erwähnt, liegt allerdings ein gewisses Risiko darin, dass mit dem Ersatz der alten Wärmepumpen durch neue Wärmepumpen mit verbessertem COP eine Überbelastung und ein Gefrieren der Erdwärmesonde einhergehen könnte. Durch den zukünftigen Ersatz von weiteren alten Wärmepumpen könnten solche Fälle vermehrt auftreten.

Es ist wichtig, dass die Wärmepumpe mit den Erdwärmesonden abgestimmt ist. Bei einem Ersatz soll abgeklärt werden, ob die vorhandenen Erdwärmesonden der Verdampferleistung der Ersatzwärmepumpe genügen. Dazu soll die SIA Norm 384/6 zu Rate gezogen werden. Wird die Norm nicht erfüllt, muss entweder der Energiebedarf des Gebäudes verringert oder die Wärmequelle (Erdwärmesonden) vergrössert werden.

Bei einer Unterdimensionierung können Schäden entweder über eine entsprechend programmierte Steuerung verhindert werden, was aber ein zusätzliches Heizsystem voraussetzt oder die Wärmequelle wird erweitert. Dies kann durch zusätzliche Erdwärmesonden oder Erdwärmekörbe geschehen. Bei grösseren Anlagen kann auch über einen Rückwärmer (Luftwärmetauscher) die Temperatur der Erdwärmesonden angehoben werden.

Direktes Kühlen im Sommer kann die Anlage unterstützen, unterdimensionierte Anlagen können aber alleine über die direkte Kühlung kaum saniert werden.



5. Wie hoch liegen die Wärmegestehungskosten von Erdwärmesondensystemen?

Die Betriebsdaten der zwei untersuchten Anlagen ergeben Wärmegestehungskosten von 11 – 13 Rp./kWh. Beim Ölpreis von CHF 80.00 (Februar 2010) wären die Wärmegestehungskosten einer entsprechenden Ölheizung bei ca. 20 Rp./kWh.

Bei Erdwärmesonden-Anlagen machen die Kapitalkosten bei weitem den grössten Anteil der Jahreskosten aus. Eine Erhöhung der Energiekosten (Strom) hat dadurch einen relativ geringen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten.

Die Studie zeigt weiter, dass die Lebensdauer der einzelnen Anlagekomponenten höher ist, als die Amortisationssätze aus der SIA Norm 384/6, welche für die Berechnung verwendet wurden. Die effektiven Wärmegestehungskosten liegen somit sogar noch etwas tiefer.



Literaturverzeichnis

- Kölbel, T., Münch, W.; König, R., Leucht, M., Campillo-Bermudo, G. (2009): Marktanalyse Erdwärme. bbr Sonderheft, p. 2-8, Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, wvgw Wirtschafts- und Verlägsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- Rybach, L., Bassetti, S., Rohner, E., Sellami, S. (2004). Erfolgskontrolle und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Messkampagnen zu P&D Anlagen. Bundesamt für Energiewirtschaft, Schlussbericht.
- Sawillion, M. (2009): Ergebnisse der Evaluierung von 150 bestehenden Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen. Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH, GeoTHERM Offenburg/D

SIA Norm 384/6. Erdwärmesonden.

Auftraggeber:

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

Auftragnehmer:

Geowatt AG Dohlenweg 28, 8050 Zürich www.geowatt.ch

Autor(en):

Sarah Signorelli, signorelli@geowatt.ch Sabin Imhasly, imhasly@geowatt.ch Ernst Rohner, rohner@geowatt.ch Ladislaus Rybach, rybach@geowatt.ch

BFE-Bereichsleiter: Gunter Siddiqi BFE-Programmleiter: Rudolf Minder

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 152'924 / 103'022

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist/sind ausschliesslich der/die Autor/en dieses Berichts verantwortlich.

