



OPTIMIERUNG VON ERDWÄRMESONDEN

Jahresbericht 2009

Autor und Koautoren	Markus Hubbuch
beauftragte Institution	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW
Adresse	Grüntal, 8820 Wädenswil
Telefon, E-mail, Internetadresse	058 934 58 32, markus.hubbuch@zhaw.ch, www.ifm.zhaw.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	103'353 / 154'422
BFE-Projektleiter	Dr. Rudolf Minder
Dauer des Projekts (von – bis)	2009 - 2013
Datum	21. Dezember 2009

ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt Optimierung von Erdwärmesonden wurde im Oktober 2009 gestartet.

Zielsetzung ist es, den mit der Installation einer Wärmepumpe verbundenen Mehrstromverbrauch zu begrenzen. Dazu muss die Jahresarbeitszahl (JAZ) möglichst hoch liegen. Im Ergebnis soll über eine Optimierung der Sondenbauweise mittelfristig eine deutliche Erhöhung der JAZ von neu gebauten Wärmepumpen mit Erdwärmesonden erreicht werden. Alternative werden Sondenfluide und -bauweisen ermittelt und optimiert.

In der ersten Phase werden anhand eines Literaturstudiums und der Befragung von Experten die möglichen oder vermuteten Potentiale der Optimierung festgestellt und konkretisiert. Mit der Auswertung von bestehenden Feldstudien und Messdaten werden die heute erreichbaren Jahresarbeitszahlen erhoben.

Als Optimierungspotentiale bei den Sonden zeigen sich im Moment hauptsächlich folgende Massnahmen:

- Verbessertes Wärmeträger-Fluid als das heute fast ausschliesslich angewendete Wasser-Glykol-Gemisch
- Verbesserte Hinterfüllung als die heute fast ausschliesslich angewendete Zement-Bentonit-Suspension
- Hocheffiziente Umwälzpumpen
- Sonden mit Wasser statt Sole
- Tiefere Sonden mit hochfestem Sondenmaterial
- Aktive Regeneration im Sommer

Zudem können sich in der Planung und im Betrieb weitere Effizienz-Potentiale ergeben, so eine möglichst tiefe Vor- und Rücklaufemperatur im Heizkreis, die Einstellung der Heizkurven auf tiefstmöglichen Werten und der Verzicht auf Nachtabsenkung.

Projektziele

Übergeordnete Zielsetzung:

Nächstes Jahr wird die SIA-Norm 384/6 Erdwärmesonden erscheinen. Damit steht eine gute Grundlage zur Verfügung, funktionierende Erdwärmesonden zu erstellen. Mit diesem Projekt soll weitergegangen werden. Mit der Optimierung der Sondenbauweise soll eine deutliche Erhöhung der JAZ von Wärmepumpen mit Erdwärmesonden erreicht werden. Die Branche und alle Beteiligten beim Bau und Betrieb von Wärmepumpen mit Erdwärmesonden sollen motiviert werden, weitere Verbesserungsmöglichkeiten bei diesen Anlagen zu nutzen. Für die sichere Planung optimierter Anlagen werden die nötigen Grundlagen erarbeitet.

Wärmepumpen erhalten auch gegenüber der Öl- und Gasheizung einen deutlichen ökonomischen und ökologischen Vorteil, wenn die Jahresarbeitszahl (JAZ) möglichst hoch liegt. Nur so können selbst bei fossiler Erzeugung des Stroms der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen stark verringert werden. Mit der stark zunehmenden Zahl solcher Anlagen ist dieses Ziel von hoher energiepolitischer Bedeutung. Mit diesem Projekt soll der mit der Installation von Wärmepumpen verbundene Stromverbrauch minimiert werden.

Forschungsziele:

Konkret werden in diesem Projekt neben den heute in der Schweiz gebräuchlichen Sondenbauweisen alternative Sondenfluide und -bauweisen untersucht und optimiert sowie mit Anwendungshinweisen, Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Risikoanalysen ergänzt. Ebenso untersucht werden alle mit der Wärmequellen-Seite einer Wärmepumpe zusammenhängen Fragen und Komponenten.

Ergebnis des **ersten Projektteiles** ist im Wesentlichen ein Handbuch, welches bei der Planung und Installation einer Wärmepumpe hilft, die für das Objekt optimale Erdwärmesonde mit dem optimalen Sondenfluid zu ermitteln. Zusätzlich werden Empfehlungen zur Optimierung der Anlage resp. der Jahresarbeitszahl gegeben, wie z. B. Fragen der Leistungsmodulation, der kombinierten Wärmeerzeugung und Kühlung, der Sondenregeneration, der hydraulischen Einbindung, der Solepumpe und der Vorlauftemperatur. Das Handbuch wird zielgruppenspezifisch in unterschiedlichen Versionen aufbereitet.

Im **zweiten Projektteil** werden alternative Sondenfluide und -bauarten in Pilot- und Feldversuchen getestet und/oder demonstriert. Die Ergebnisse werden ausgewertet und fliessen in eine Überarbeitung des Handbuches ein.

Projekt-Abgrenzung:

Im Projekt werden die Optimierungsmöglichkeiten von Erdwärmesonden und am Rande auch von ähnlichen Formen der Erdwärmesonden untersucht. Mit untersucht wird der Wärmequellen-Kreislauf bis und mit Verdampfer der Wärmepumpe. Nicht untersucht wird die Optimierung der Wärmepumpe selbst. Ebenfalls nicht gezielt untersucht werden spezifische Fragen, welche in Erdwärmesonden-Feldern auftreten. Hier gibt es bereits gute Simulationsprogramme, mit welchen solche Anlagen berechnet werden können.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Bisher wurde Literatur gesammelt und gesichtet, es wurden erste Expertengespräche durchgeführt und an zwei Kongressen in Deutschland wurde das aktuelle Wissen aus unserem nördlichen Nachbarland in Erfahrung gebracht.

Sondenfluid Ethylen-Glykol

Das heute meist angewendete Sondenfluid ist ein Gemisch aus Wasser und Ethylen-Glykol als Frostschutzmittel (auch Frostschutz N genannt). Zusätzlich sind Korrosionsschutz-Inhibitoren erforderlich. Diese sind in der Praxis Bestandteil des Frostschutzmittels. Um einen genügenden Korrosionsschutz zu erreichen, müssen mind. 20 %, je nach Hersteller sogar 25 % Frostschutzmittel beigegeben werden. Damit wird eine Gefriertemperatur von ca. -9 °C bis -13 °C erreicht. Die dynamische Zähigkeit erhöht sich dadurch im Vergleich mit Wasser um etwa den Faktor 2, und es ist entsprechend mehr Antriebsenergie für die Sole-Umwälzpumpe erforderlich.

In der Praxis werden 20, 25 oder 30 % Frostschutz N beigegeben, wobei nicht nachvollziehbar ist, warum diese Unterschiede bestehen. Für die Anlageneffizienz sind minimale Solekonzentrationen vorteilhaft.

Nach der neuen SIA-Norm 384/6 (Herausgabe erwartet 2010) sind Sonden so auszulegen, dass eine Soletemperatur im Vorlauf von -3 °C nicht unterschritten wird (damit soll das Gefrieren des Bodens verhindert werden). Für den Frostschutz sind somit ca. -8 °C ausreichend, (nach VDI 4640 Blatt 2, 2001, 7 K unter der min. Verdampfungstemperatur, damit -10 °C bei -3 °C Soletemperatur im Vorlauf). Damit sind **20 % Glykol üblicherweise ausreichend**. Mit minimaler Solekonzentration kann auch etwas Geld bei der Investition gespart werden, da weniger Glykol gekauft werden muss.

Sondenfluid Alkohol

Besser wäre Alkohol (z.B. denaturierter Sekundasprit, Basis ist hauptsächlich Ethanol) wie er z.B. über die eidg. Alkoholverwaltung erhältlich ist. Hier stellt sich das Problem, dass dieser leichtflüchtige Kohlenwasserstoff mit der VOC-Abgabe von CHF 3.- pro kg belegt ist. Dadurch wird dieser Stoff als Frostschutzmittel zu teuer. Da bei Erdwärmesonden es das Ziel ist, dass das Medium möglichst lange im Sondenkreis verbleibt, mithin dieser möglichst dicht ist, entstehen hier bei der Verwendung als Frostschutzmittel nur wenige Emissionen. Mit diesem Argument soll versucht werden, für die Anwendung in Erdwärmesonden diesen Stoff von der VOC-Abgabe zu befreien. Zudem fehlen geeignete Datenblätter, die erstellt werden sollen. Weiter abzuklären ist, wie weit die leichte Brennbarkeit dieses Frostschutzes zu Gefahren führt. Die Viskosität eines Wasser-Alkohol-Gemisches ist etwa gleich wie reines Wasser. Zudem können auch tiefere Mischverhältnisse auf genau den erforderlichen Gefrierpunkt vorgenommen werden, weil keine Mindestkonzentration nötig ist. Und nicht zuletzt kann Alkohol aus natürlichen Rohstoffen gewonnen werden. Er ist nur wenig giftig und biologisch gut abbaubar. Damit kann die Nachhaltigkeit von Erdwärmesonden verbessert werden.

Es gibt inzwischen weitere alternative Frostschutzmittel für Erdwärmesonden auf dem Markt. Diese sollen untersucht und geprüft werden.

Sondenfluid reines Wasser

Noch bessere Resultate bezüglich Jahresarbeitszahl können erreicht werden, wenn die Sonde mit **reinem Wasser** befüllt wird. Dann muss aber die Auslegung der Sonde so sein, dass die minimale Verdampfer-Austrittstemperatur einen minimalen Wert nicht unterschreitet. Dieser Wert liegt je nach dem, wen man fragt, zwischen 2 °C und 6 °C . Während 2 °C sicher der unterste Wert ist, der eine gleichmässige Durchströmung des Verdampfers erfordert, sind 6 °C wohl mit einem "Angstzuschlag" versehen. Je nach dem, wie dieser Wert festgelegt wird, muss die Sonde 25 bis 50 % tiefer resp. länger gebohrt werden. Die Mehrinvestitionen können sich unter geeigneten Verhältnissen gut lohnen, es kann eine Verzinsung des investierten Kapitals erreicht werden, die deutlich über vielen anderen Anlagemöglichkeiten liegt. Die Jahresarbeitszahl erhöht sich in bisher gemessenen Anlagen deutlich.

Um mit reinem Wasser arbeiten zu können, muss die Anlage seriös und fachgerecht dimensioniert werden. An die **Wärmepumpe** sind die folgenden **Anforderungen** zu stellen:

MUSS-Anforderungen:

- Durchfluss-Fühler über den Verdampfer (mit NOT-AUS wenn Durchfluss < Minimum)
- Vorlauf-Temperaturfühler (nach Verdampfer) (bei mehrstufigen Wärmepumpen: Leistungsreduktion wenn $T_{VL} < \text{ca. } 5\text{ oder } 4\text{ °C}$, AUS wenn $T_{VL} < T_{\min}$; bei einstufigen Wärmepumpen: AUS bei $T_{VL} < T_{\min}$)
- Bei AUS infolge T_{VL} zu tief: die Umwälzpumpe im Sondenkreis läuft weiter. Wenn T_{VL} wieder auf Werte über ca. 5 °C gestiegen ist, geht die Wärmepumpe automatisch wieder in Normalbetrieb.
- Bei AUS infolge anderer Gründe oder bei NOT-AUS: die Umwälzpumpe im Sondenkreis läuft ca. 5 Minuten weiter (um dem Verdampfer nach dem Stopp des Kompressors Wärme zuzuführen und Vereisung zu vermeiden)

WUNSCH-Anforderungen:

- Gross dimensionierte Verdampfer mit gleichmässiger Durchströmung
- Wärmepumpe mit mind. 2 Stufen
- Messung T_{VL} möglichst genau (besser als $\pm 1\text{ °C}$)

- T_{\min} möglichst tief: optimal bei + 2 °C.

Umwälzpumpen Erdsondenkreis

Bei den Umwälzpumpen besteht ein weiteres Einsparpotential. Einerseits mit der Wahl eines Fluids mit tiefer Viskosität, andererseits mit der Wahl der Pumpe selbst.

Dazu gehört in erster Linie, dass die Pumpe richtig, und das heisst vor allem nicht zu gross, dimensioniert ist. Ausser bei Wasser kann das ΔT im Sondenkreis problemlos 4 oder 5 K statt dem von Herstellern und in Normen geforderten Wert von $\Delta T = 3$ K betragen. Die Auslegung sollte mit einer fachgerechten Berechnung der hydraulischen Widerstände erfolgen und nicht aufgrund der Erfahrung oder Faustformeln. Zum zweiten sind Sicherheitszuschläge unnötig resp. kontraproduktiv. Und zuletzt kann auch ein Pumpen-Modell gewählt werden, das eher zu klein ist, anstatt generell das nächst grössere Modell zu wählen. Insbesondere wenn auf $\Delta T = 3$ K dimensioniert wird, ist die Gefahr einer zu klein dimensionierten Pumpe kaum vorhanden.

Bei der Wahl des Pumpentyps sind bei grösseren Anlagen Trockenläufer-Pumpen zu wählen. Solche sind teilweise schon ab kleineren Grössen erhältlich. Bei kleinen Anlagen sind A-klassierte Pumpen zu bevorzugen, auch wenn diese wesentlich teurer sind als Standard-Pumpen (Nassläufer). Der Wirkungsgrad dieser Pumpen ist erheblich besser.

Bei Anlagen mit regelbarer Leistung (in Stufen oder stufenlos, z.B. Drehzahlregelung, 2 Kompressoren) sollten Umwälzpumpen eingesetzt werden, die ebenfalls regelbar sind.

Hinterfüllungsmaterial

Analog zum Sondenfluid hat sich beim Hinterfüllungsmaterial eine Zement-Bentonit-Wasser-Suspension als Standard etabliert. Und wie die Standard-Sole, so ist auch dieses Material aus energetischer Sicht nicht optimal. Im Idealfall sollte die Wärmeleitfähigkeit (λ) der Hinterfüllung der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Gesteins entsprechen, also etwa 2 bis 2.5 W/(m·K) betragen. Die heute üblicherweise verwendete Zement-Bentonit-Mischung hat eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 0.8 W/(m·K). Mit einer Hinterfüllung, die ein λ von 2 W/(m·K) erreicht, kann der thermische Bohrlochwiderstand etwa halbiert werden, was eine etwa 2 °C höhere Temperatur im Sondenfluid ergibt. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe steigt damit um etwa 10 %, was umgekehrt zu einer Stromeinsparung von etwa 10 % führt.

Die Mehrkosten für verbessertes Hinterfüllmaterial betragen um die CHF 6 pro Meter Bohrtiefe. Dieser Mehrpreis lohnt sich wirtschaftlich sehr deutlich, so dass diese Massnahme stark empfohlen werden kann.

Auf dem Schweizer Markt gibt es bisher keinen Anbieter von solchen verbesserten Materialien. Auf dem deutschen Markt hingegen sind bereits mindestens vier Produkte erhältlich. Diese werden auch in die Schweiz geliefert.

Als weitere Anforderung an das Hinterfüllmaterial muss die Frostbeständigkeit beachtet werden, ausser es wird eine Sonde mit reinem Wasser als Fluid geplant. Nicht alle angebotenen Materialien erfüllen diese Anforderung.

Diese Punkte werden im weiteren Projektverlauf vertieft untersucht und geprüft. Damit sollen konkrete und belastbare Empfehlungen abgegeben werden können.

Weitere Optimierungsmöglichkeiten werden im Projektverlauf untersucht.

Diese sind im Wesentlichen:

- Optimierung SONDENDURCHMESSER
- Wärmedämmung der obersten Sondenmetern resp. horizontalen Leitungen in das Gebäude
- Materialien für Erdwärmesonden (Alternativen zu PE)
- Optimierung Rohrabstand im Bohrloch (Vor-/Rücklauf) inkl. Untersuchung der Machbarkeit
- Alternative Bauweisen wie Koaxial-Sonden, Erdwärmekörbe, Spiralsonden etc.

- Tiefe Erdwärmesonden
- Vorteile und Potential von Heat-Pipe-Sonden
- Fluide für Heat-Pipe-Sonden (NH₃, Propan und CO₂)
- Optimierung der Auslegung der Soleumwälzpumpe
- Verbesserungsmöglichkeiten bei Wärmepumpen auf Seite Wärmequelle (Verdampfer)
- Optimierung der Steuerung von Wärmepumpen
- Regeneration resp. Wiederaufladung der Sondenumgebung
- Heizen und Kühlen mit Erdwärmesonden
- Integration von Solar- oder Luftabsorbern zur zusätzlichen Wärmegewinnung
- Optimierung des Gesamtsystems (Sonde/Wärmepumpe/Steuerung/Wärmeverteilung und Wärmeabgabe)
- Optimale Einstellung der Heizungs-Vorlauftemperatur
- Optimaler Betrieb (unter anderem Nachtabsenkung, die oft kontraproduktiv ist)

Benennung der Wärmepumpen-Typen

Heute haben sich für die in der Schweiz üblichen Anlagen die Bezeichnungen Luft/Wasser-Wärmepumpe, Wasser/Wasser-Wärmepumpe und Sole/Wasser-Wärmepumpe etabliert. Während die Bezeichnungen **Luft/Wasser** und **Wasser/Wasser** in allgemeinverständlicher Form auf die Art der Wärmequelle hinweisen, wird beim Ausdruck **Sole/Wasser** nicht die Wärmequelle, sondern das Wärmeträgermedium genannt. Dies ist aus zwei Gründen problematisch: Laien (= Kunden) können sich unter dem Begriff Sole kaum etwas vorstellen. Damit wird das Marketing für diese Art von Anlagen unnötig erschwert. Zweitens impliziert dieser Ausdruck, dass als Wärmeträgermedium Sole verwendet werden **muss**, was aber nicht korrekt ist, da (energetisch sogar wesentlich besser) auch Wasser verwendet werden kann.

Aus diesen beiden Gründen möchten wir die Diskussion eröffnen, ob nicht der Begriff **Erdwärme/Wasser-Wärmepumpe** besser wäre und eingeführt werden sollte.

Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Firma *Hetag AG* in Zürich und den *Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ)* durchgeführt.

Das Projekt wird von der Firma *Störi Mantel AG*, Wärmepumpen | Wärmetechnik massgeblich finanziell und inhaltlich unterstützt.

Das Projekt wird weiter vom *Axpo Naturstrom Fonds* unterstützt.

Mit allen weiteren Stakeholdern im Bereich der Erdwärmesonden sollen im nächsten Jahr Gespräche geführt werden. Dies sind alle mit Forschung betrauten Stellen, aber auch die Hersteller der Komponenten und Materialien, die Unternehmer resp. Installateure und die Planer.

Internationale Zusammenarbeit

Eine wesentliche Zielsetzung des Projektes ist es, dass auch Erfahrungen und Technologien aus dem Ausland mit einbezogen werden. Im Vordergrund stehen Deutschland, Österreich und Schweden, wo viele Anlagen mit Erdwärmesonden erstellt werden. Als erstes wurden mit dem Besuch von Kongressen mögliche Kontakte zu ausländischen Fachpersonen und Verbänden angegangen.

Bewertung 2009 und Ausblick 2010 ff

Im Jahr 2009 konnte das Projekt erst relativ spät gestartet werden. Deswegen sind erst wenige Ergebnisse vorhanden. Alle Erkenntnisse des bisherigen Projektablaufes bestätigen aber, dass ein Optimierungspotential bei der Jahresarbeitszahl in der Grössenordnung von mind. 10 % bis 30 % besteht. Die Stossrichtung des Projektes kann also als sehr erfolgversprechend gewertet werden. Je-

doch scheint es so, dass viele Optimierungsmöglichkeiten die Investitionskosten in eine Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden erhöhen. Das Aufzeigen der Wirtschaftlichkeit dieser Massnahmen ist ein wesentliches nächstes Ziel im Projekt.

Ausblick 2010

Im Jahr 2010 sind folgende Arbeiten geplant:

- Kompletieren der Expertengespräche
- Auswerten der Literatur-Recherche
- Auswerten von Messwerten zur Bestimmung der erreichten Jahresarbeitszahlen und der Einflussgrössen
- Risikoanalyse neuer oder effizienterer Techniken und Materialien
- Ausführen von Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Planung von Demonstrationsanlagen zur Messung verbesserter Sondenbauweisen
- Planung einer Pilotanlage Heat-Pipe-Sonde (Wärmerohr-Sonde)

Diese Arbeiten werden zur ersten Version eines Handbuchs und der Empfehlungen führen.

Dissemination

Anfang 2010 wird mit einer breit gestreuten Pressemitteilung auf den Start dieses Projektes aufmerksam gemacht.

Im Jahr 2010 soll ca. Mitte Jahr eine Homepage aktiviert werden, auf der jede Person sich über das Optimierungspotential bei Erdwärmesonden orientieren kann. Eine erste Version des Handbuchs wird aufgeschaltet und anschliessend laufend erweitert und ggf. an neue Erkenntnisse angepasst. Zudem sollen Pilotanlagen mit verbesserten Sonden zum messtechnischen Nachweis der Wirksamkeit im Vergleich mit herkömmlicher Bauweise geplant und soweit möglich erstellt werden.

Die wichtigsten Erkenntnisse des Projektes werden in Fachartikeln und mit Vorträgen verbreitet.

Referenzen

Folgen im nächsten Jahresbericht 2010.

Dank

Wir danken dem *Bundesamt für Energie* sowie dem *Axpo Naturstrom Fonds*, den *Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ)* und der *Firma Störi AG Wärmepumpen | Wärmetechnik in 8804 Au (ZH)* für die grosszügige Unterstützung und Ermöglichung dieses Projektes.