



OPTIMIERUNG VON ERDWÄRMESONDEN

Jahresbericht 2010

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	30. Dezember 2010

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. Als Hauptergebnis des Projektes wurde im Jahr 2010 die Homepage www.erdsondenoptimierung.ch erstellt und Ende Jahr freigeschaltet.

In der ersten Phase wurden anhand eines Literaturstudiums und der Befragung von Experten die möglichen oder vermuteten Potentiale der Optimierung festgestellt und konkretisiert. Weiter wurden mit verschiedenen Bohrunternehmungen und Lieferanten von Wärmepumpen Interviews geführt.

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

- Verbessertes Wärmeträger-Fluid als das heute fast ausschliesslich angewendete Wasser-Glykol-Gemisch. Hier ist eine Mischung aus Wasser und 10 % (bis max. 12 %) Ethanol zu empfehlen.
- Verbesserte Hinterfüllung als die heute fast ausschliesslich angewendete Zement-Bentonit-Suspension. Mit einer verbesserten Hinterfüllung kann eine knapp 2 °C höhere Temperatur im Sondenfluid erreicht werden.
- Hocheffiziente, knapp ausgelegte Umwälzpumpen: als Faustregel ca. 0.5 Watt pro Meter EWS-Länge als Leistung der Sonden-Umwälzpumpe.
- Sonden mit Wasser statt Sole fördern, Wärmepumpen mit den notwendigen Sicherheitseinrichtungen gegen das Einfrieren anbieten.
- Aktive Regeneration im Sommer fördern, dies wird mit einer verbesserten Hinterfüllung stark verbessert.

Projektziele

Übergeordnete Zielsetzung:

Die im Jahr 2010 erschiene SIA-Norm 384/6 Erdwärmesonden stellt den Stand der Technik dar, um funktionierende Erdwärmesonden planen und erstellen zu können.

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 Erdwärmennutzung sollen informiert und 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 die Homepage www.erdsondenoptimierung.ch. Die Homepage ist zielgruppenspezifisch aufgebaut. Pro Zielgruppe können die wichtigen Informationen in einem Handbuch ausgedruckt werden

Im kommenden Jahr 2012 werden weitere Informationen speziell für professionelle Anwender auf der Homepage aufgenommen. Ebenso werden die wirtschaftlichen Auswirkungen der verschiedenen Massnahmen untersucht und den Anwendern der Homepage zur Verfügung gestellt.

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 der Homepage ein.

Projekt-Abgrenzung:

Im Projekt werden die Optimierungsmöglichkeiten von Erdwärmesonden und am Rande auch von ähnlichen Formen der Erdwärmennutzung 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

Es wurden viele Gespräche mit Experten für Erdwärmennutzung, mit Bohrunternehmern und Lieferanten von Wärmepumpen geführt.

Weiter wurde die Homepage programmiert und mit Inhalten gefüllt.

Ergebnisse der Befragungen

Bezüglich Tiefe von Erdwärmesonden (EWS) gehen die Meinungen auseinander. Tiefere Erdwärmesonden sollen zu besseren Jahresarbeitszahlen zu führen, die die Temperatur des Sondenfluids höher wird. Zudem sind tiefere EWS dann vorteilhaft, wenn mit einer Wärmepumpe ein Mehrfamilienhaus auf einer relativ kleinen Grundstücksfläche beheizt werden soll, da der Platz nicht für viele kurze Sonden ausreicht. Umgekehrt benötigen tiefe EWS eine stärkere Umwälzpumpe. Die Bohrrisiken und Kosten nehmen tendenziell zu.

Ab einer Bohrtiefe von 250 m ist das heute verwendete Sondenmaterial nicht mehr druckfest genug, um den statischen Druck in jedem Fall auszuhalten. Eine zusätzliche Belastung stellt der Drucktest

dar. Die SIA-Norm 384/6 gibt eher zu hohe Testdrücke vor. In ungünstigen Fällen, wo kein wassergefülltes Bohrloch vorhanden ist, können Schäden auftreten.

Viele der befragten Personen sind sich einig, dass eine Nutzung der Erdwärmesonden auch zur Kühlung im Sommer sinnvoll ist und einen Mehrwert darstellt. Die damit verbundene (mindestens teilweise) Regeneration des Erdreiches ist zudem vorteilhaft.

Es ergaben sich verschiedene Hinweise, dass insbesondere der Qualitätskontrolle bei der Hinterfüllung eine grössere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. So ist sicher zu stellen, dass das richtige Material verwendet wird, die korrekten Mischverhältnisse eingehalten werden und für die Hinterfüllung genügend Zeit aufgewendet wird.

Ein wichtiger Punkt stellt auch die korrekte hydraulische Auslegung des Sondenkreises dar. Insbesondere die korrekte Auslegung der Umwälzpumpe beinhaltet viel Optimierungspotential. Mit den heutigen effizienten „A-Klasse-Pumpen“ lassen sich deutliche Einsparungen erreichen.

Der Bericht über die Expertenbefragungen findet sich auf der Homepage:

<http://www.erdsondenoptimierung.ch/dokumente/im-projekt-erarbeitete-dokumente/>

Stoffwerte von Sondenfluiden

Es hat sich herausgestellt, dass reines Wasser oder ein Wasser-Ethanol-Gemisch dem heutigen Standard Ethylenglykol (z. B. Antifrogen N) vorzuziehen wäre. Für Ethanol-Wasser-Gemische fehlen aber Stoffwerte.

Durch die ZHAW, Institut für Chemie wurden deshalb diese Stoffwerte aus der internationalen Literatur zusammengesucht. Dabei zeigte es sich, dass je nach Autor und Messung geringe Abweichungen vorkommen können.

Für dieses Projekt wurden diese Stoffwerte dann zusammen mit den Stoffwerten von kommerziellen Frostschutzmitteln und denjenigen von reinem Wasser auf entsprechenden Diagrammen zusammengestellt. Diese sind auf der Homepage als pdf-files herunterladbar:

<http://www.erdsondenoptimierung.ch/dokumente/sondenfluid/> .

Ethanol als Frostschutzmittel

Der grosse Vorteil von Ethanol ist nicht nur seine tiefere Zähigkeit, sondern vor allem seine höhere spezifische Wärmekapazität. Damit kann weniger Fluid bei gleicher Temperaturdifferenz umgewälzt werden, was bekanntlich Strom für die Umwälzpumpe in der dritten Potenz spart.

Bei der Zähigkeit hingegen hat eine Wasser-Ethanol-Mischung die spezielle Eigenschaft, dass die Zähigkeit mit steigender Konzentration rasch zunimmt, um ein Maximum bei ca. 50 % Mischanteilen zu erreichen. Reines Ethanol hat dann wieder etwa die Werte von reinem Wasser. Daher ist es nicht sinnvoll, mehr als 12 % Ethanol beizumischen. Die Gefriergrenze liegt dann bei -5 °C, was bei einer Auslegung der EWS nach SIA 384/6 ausreichend ist.

Ethanol ist auch bezüglich Umwelt besser als Ethylen-Glykol, insbesondere da keine Korrosionsschutz-Inhibitoren erforderlich sind. Es kann problemlos via Kanalisation entsorgt werden.

Heute ist Ethanol der VOC-Abgabe unterworfen, was dieses Fluid wesentlich verteuert. Weil aber eine tiefere Konzentration ausreicht, sind die Kosten etwa wie bei heute üblichen Solen. Da es sich bei der Anwendung in Erdwärmesonden um geschlossene Systeme handelt und das Ethanol nicht verdampft, könnte eine Rückerstattung der VOC-Abgabe beantragt werden. Ohne VOC-Abgabe wird die Verwendung von Ethanol deutlich billiger als alle anderen Frostschutzmittel.

Reines Wasser in Sondenkreis

Reines Wasser im Sondenkreis verlangt eine tiefere EWS resp. eine kleinere Belastung der EWS, da die Temperaturen höher sein müssen. Dies ist auch der wesentliche Vorteil, da damit eine höhere Jahresarbeitszahl erreicht wird.

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

Hauptsächlich muss die Wärmepumpe die notwendigen Sicherheitsüberwachungen eingebaut haben, um ein Einfrieren des Verdampfers zu verhindern. Im Falle eines zu starken Absinkens der Fluidtemperatur muss die Wärmepumpe selbstständig die Leistung reduzieren oder abschalten, während die Sondenumwälzpumpe weiter läuft. Nachdem sich die Wassertemperatur im Sondenkreis wieder erholt

hat, soll die Wärmepumpe selbstständig wieder einschalten. Es wird in Zukunft solche Wärmepumpen auf dem Markt geben.

Die Wärmepumpe (der Kältemittelkreis) und der Verdampfer der Wärmepumpe sollten so beschaffen sein, dass eine möglichst tiefe Wassertemperatur zugelassen werden kann. Die Praxis zeigt, dass diese Temperatur bis zu 2 °C betragen kann. In jedem Fall kann aber bis 4 °C herunter gekühlt werden.

Um die erforderliche grössere Tiefe der EWS mit reinem Wasser zu begrenzen, soll bei reinem Wasser in der EWS diese mit thermisch verbessertem Hinterfüllmaterial hinterfüllt werden. Damit kann die Temperatur im Fluid um ca. 2 °C angehoben werden. Die Mehrlänge der EWS kann dann etwa 30 % gegenüber einer Auslegung nach SIA 384/6 betragen.

Umwälzpumpen Erdsondenkreis

Bei den Umwälzpumpen besteht ein grosses Einsparpotential. Einerseits mit der Wahl eines Fluids mit tiefer Viskosität, andererseits mit der Auslegung und 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, die Anlage funktioniert noch problemlos, selbst wenn eine nur halb so starke Pumpe wie berechnet gewählt wird.

Bei der Wahl des Pumpentyps sind bei grösseren Anlagen gute Trockenläufer-Pumpen (Inline-Pumpen) zu wählen. Solche sind teilweise schon ab kleineren Grössen erhältlich. Bei kleinen Anlagen sind A-klassierte Pumpen zu wählen. In Zukunft dürften diese ohnehin zum Standard werden.

Bei Anlagen mit regelbarer Leistung (in Stufen oder stufenlos, z.B. Drehzahlregelung, 2 Kompressoren) sollten Umwälzpumpen eingesetzt werden, die ebenfalls regelbar sind. Die Drehzahl (resp. der Volumenstrom) muss aber bei der Steuerung den Anforderungen der EWS entsprechend eingegeben werden können. Heizungspumpen mit automatischer Drehzahlregulierung sind für die Anwendung in Heizkreisen optimiert und für Sondenkreise unbrauchbar.

Mit korrekt dimensionierten, effizienten Pumpen kann ein sehr tiefer Anteil an Hilfsenergie (deutlich unter 10 %) erreicht werden. Pumpenleistungen von unter 0.5 W pro Meter Sondenlänge sind erreichbar.

Hinterfüllmaterial

Als Hinterfüllmaterial werden heute üblicherweise die Zement-Bentonit-Wasser-Suspension (gemäss Empfehlungen FWS) oder ein kommerzieller Füllmörtel verwendet. Wie die Standard-Sole, so sind auch diese Materialien 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 oft verwendete Zement-Bentonit-Mischung oder kommerzielle, nicht verbesserte Mörtel haben aber eine Wärmeleitfähigkeit von nur 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 6 % bis 10 %, was entsprechend zu einer Stromeinsparung von 6 % bis 10 % führt.

Die Mehrkosten für verbessertes Hinterfüllmaterial betragen etwa CHF 4 bis 6 pro Meter Bohrtiefe. Dieser Mehrpreis lohnt sich wirtschaftlich sehr deutlich, so dass diese Massnahme stark empfohlen werden kann.

Auf dem Schweizer Markt sind verschiedene solche verbesserten Mörtel erhältlich, die von deutschen Herstellern angeboten werden.

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. Insbesondere die Baustellenmischung Bentonit-Zement ist nicht frostsicher. Schon nach einzelnen Frost-Tauvorgängen wird das Hinterfüllmaterial unwiederbringlich geschädigt,

es zerbröselt förmlich und kann die Aufgabe der Abdichtung nicht mehr erfüllen. Bei den Experten gehen die Meinungen auseinander, ob ein frostsicheres Hinterfüllmaterial erforderlich ist oder nicht.

Die Firma HETAG AG hat im Rahmen dieses Projektes eine theoretische Studie über den Nutzen einer verbesserten Hinterfüllung ausgearbeitet. Diese ist zu finden auf der Homepage:

Demoanlagen für Optimierungsmöglichkeiten

Die EKZ, Abteilung Contracting haben im Jahr 2010 zwei Anlagen mit unterschiedlichen Sonden-hinterfüllungen erstellt, um deren Nutzen im Vergleich messen zu können. Die Auswertung dieser Messwerte wird erst 2012 möglich sein.

Von den EKZ haben wir Messwerte von 130 Anlagen mit Erdwärmesonden erhalten, über ca. 3 Jahre. Das Herauslesen der Werte aus dem System der EKZ und die Aufbereitung der sehr umfangreichen Daten in eine auswertbare Form haben wesentlich mehr Aufwand bedeutet als angenommen. Die EKZ haben auf eigene Rechnung 5 Wochen lang einen Praktikanten angestellt, welcher die Daten aus dem System herausgefiltert hat und auf einen Datenträger gespeichert hat. Momentan erfolgt nun die Umwandlung der Daten in auswertbare Files und die Plausibilisierung der Daten, sowie das Herausfiltern von unvollständigen Datensätzen.

Der grosse Vorteil dieses Datensatzes ist, dass die EKZ alle Anlagen gleichartig, detailliert und im selben System ausmessen und aufzeichnen. Die Ergebnisse der Auswertung werden auf der Homepage www.ersondenoptimierung.ch sowie im nächsten Jahresbericht veröffentlicht.

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 reines Wasser verwendet werden kann.

Praktisch alle befragten Personen sind im Prinzip auch der Meinung, dass 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 AG*, Wärmepumpen | Wärmetechnik massgeblich finanziell und inhaltlich unterstützt.

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

Mit vielen Stakeholdern im Bereich der Erdwärmesonden wurden Gespräche geführt. Im kommenden Jahr werden diese Gespräche fortgesetzt.

Mit dem BAFU, dem BFE und der eidg. Oberzolldirektion wird momentan erörtert, ob in Zukunft ein von der VOC-Abgabe befreites Ethanol für die Anwendung in Erdwärmesonden angeboten werden kann.

Internationale Zusammenarbeit

Im Jahr 2010 keine.

Bewertung 2010 und Ausblick 2011 ff

Im Jahr 2010 konnte der erste wesentliche Meilenstein des Projektes erreicht werden, die Homepage erdsondenoptimierung.ch. Damit können viele Optimierungsmöglichkeiten einer Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden einem breiten Publikum näher gebracht werden.

Mit der Homepage kann für jede Zielgruppe ein entsprechend zusammen gestelltes Handbuch ausgedruckt werden.

Ausblick 2011

Im Jahr 2011 sind folgende Arbeiten geplant:

- Das Aufzeigen der Wirtschaftlichkeit dieser Massnahmen ist ein wesentliches nächstes Ziel im Projekt.
- Tool für Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Weitere Tools und Planerunterlagen für Fluidfüllung und Hinterfüllung
- Komplettieren der Gespräche (Behörden, Installateure, Planer)
- Checkliste Planung, Ausschreibung und Qualitätssicherung
- Auswerten von Messwerten zur Bestimmung der erreichten Jahresarbeitszahlen und der Einflussgrössen
- Planung von weiteren Demonstrationsanlagen zur Messung verbesserter Sondenbauweisen

Dissemination

Anfangs 2011 wird mit einer breit gestreuten Pressemitteilung auf die Homepage aufmerksam gemacht.

Im Jahr 2011 sollen die wichtigsten Erkenntnisse des Projektes in Fachartikeln und mit Vorträgen verbreitet werden.

Referenzen

Siehe <http://www.erdsondenoptimierung.ch/dokumente/>

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.