

Forschungsprojekt Optimierung von Erdwärmesonden

Befragung von Experten

Mit einer Befragung von Experten Ende 2009 und anfangs 2010 wurden zu Projektbeginn die beabsichtigten Forschungsthemen verifiziert. Die befragten Experten sind am Schluss des Papiers aufgeführt.

Die Antworten sind zusammengefasst:

- **Haben Sie Messwerte zu Erdwärmesonden, die wir nutzen können?**

Viele Experten haben keine, keine neuen oder nur vereinzelt Messdaten. Ausnahme ist die FAWA-Studie von Herrn Hubacher, die von der Uni Karlsruhe ausgewertet wurde.

Teilweise sollen neue spezielle Anlagen ausgemessen werden.

Zugang zu nicht publizierten Daten zu erhalten ist schwierig.

- **Welche Jahresarbeitszahlen werden heute durchschnittlich, minimal und maximal erreicht?**

Hier ist eine klare Tendenz festzustellen: Ziel müsste eine 4 oder besser sein, dies müsste mit Auslegung nach der neuen SIA-Empfehlung möglich sein.

In der Praxis sind heute viele Anlagen zwischen 3,2 und 4. Gute Werte sind über 4, max. möglich sind Werte bis 5.

Bei Neubauten sollte 4,5 oder besser angestrebt werden, dies ist möglich mit tiefer Vorlauftemperatur. Bei Sanierungen müsste 4 bis 4,5 das Ziel sein, sicher aber mehr als 3,5. Auch bei Sanierungen ist nur selten eine Vorlauftemperatur über 55 °C erforderlich.

Es wird auch unterschieden zwischen Heizung und Warmwasser: beim Heizen sollten Werte von bis 5 möglich sein, bei Warmwasser liegen die Werte bei 3 bis 3,5. Das Warmwasser soll aber mit der WP erwärmt werden.

Grosse Wärmepumpen hatten in der FAWA-Feldstudie eine um ca. 0,5 tiefere JAZ, weil die Wärmeverteilung ab Zentrale viel Hilfsenergie benötigt (Durchschnitt 3.15).

Die JAZ ist ca. 0,3 tiefer als der COP bei Auslegung.

In Deutschland erhalten nur WP mit JAZ > 3 eine Förderung. Dies ist der Minimalwert, damit Wärmepumpen aus Sicht Primärenergie sinnvoll sind.

Neue Wärmepumpen haben teilweise einen Wärmezähler eingebaut, nur dann kann die JAZ bestimmt werden. Sonst ist sie meist unbekannt.

- **Welches Optimierungspotential sehen Sie bei Erdwärmesonden?**

Auslegung der Sonden:

Eine korrekte Dimensionierung der Sonden ist notwendig. Die Dimensionierung mit 45 oder 50 W/m ist oft problematisch. Gemäss SIA Norm 384/6 sind solche Faustformeln nicht mehr zulässig. Die Planer sind zu schulen, wie die Auslegung der Sonden zu machen ist betr. Sondenlänge, Anzahl, Tiefe, Abstand und hydr. Auslegung.

Bohrtiefe:

Je tiefer Sonden bei Anlagen nur zur Wärmeengewinnung gebohrt werden desto besser (jedoch steigt dann der Pumpenenergiebedarf leicht). Eine tiefe Sonde ist als Beispiel also besser als zwei halb so tiefe. Dazu herrscht Einigkeit.

Tiefere Sonden (400 m und mehr) wären besser für Sanierungen und MFH. Tiefere Sonden würden das wärmere Gestein nutzen und in städtischen Verhältnissen wären solche Anlagen aus Platzgründen vorteilhaft.

Ein Problem mit zunehmender Tiefe sind die Druckverhältnisse. Ab 250 m Tiefe muss der Bohrunternehmer gute Kenntnisse haben. Die Hinterfüllung muss sorgfältig eingebracht werden. Das Sondenmaterial kommt an seine Grenzen. Heikel sind vor allem Bohrungen in trockenem Gestein, wo Hohlräume und Klüfte vorhanden sein können. Auch in lockerem Gestein (Kies) ist eine tiefe Bohrung (ab 100 m) schwierig und teuer, solche Verhältnisse sind in der Schweiz aber selten. Im kompakten Fels ist es einfacher, Sonden tiefer als 250 m zu bohren. Ab 250 m besteht ein Risiko von Stauchungen, wenn die Hinterfüllung zu schwer oder die Dichte zu hoch ist. Mit einer mit Wasser gefüllten Sonde sei dies aber beherrschbar. Umgekehrt kann eine Ausbuchtung oder können Risse entstehen, wenn der Innendruck zu hoch wird und die Hinterfüllung mangelhaft ist (z.B. bei Klüften im Gestein: Kalk oder Nagelfluh).

Wo die max. Tiefe liegt ist umstritten, mit heutigem Material (PE 100 SDR 16 mit Nenndruck 16 bar) sind Sonden bis 350 m im Allgemeinen machbar, in Ausnahmefällen kann auch tiefer gebohrt werden, wenn der Gegendruck stimmt und sofern Unternehmer das kann.

Jemand sagt, in gutem Gestein (fest ohne Klüfte) sei eine Tiefe bis 700 m machbar, aber erfahrene Unternehmer sind nötig. Jemand wünscht Sonden bis 1000 m Tiefe: diese sollten effizienter sein, aber besseres Sondenmaterial als heute verfügbar sei erforderlich (Drücke).

Weiter sei die Ausführungsqualität zentral. Die Bohrunternehmer arbeiteten nicht immer gut genug.

Jemand schlägt vor, bei mehreren langen Sonden diese schräg zu bohren. Dadurch wird Tiefe verringert und so wird auch der Druck kleiner. Zudem kann bei mehreren Sonden ev. der Abstand vergrößert werden, was insbesondere ohne Regeneration Vorteile bietet.

Tiefere Sonden (bis 700 m) werden in Deutschland mit Subventionen gefördert. Es ist noch keine Tiefbohrtechnik nötig. Aber: das Bohren wird teurer.

Sondenabstand:

Der Abstand bei mehreren Sonden sollte grösser als 6 m gewählt werden.

Sondenmaterial:

Die Druckstufe der Sonden ist heute PN 16, dies ist meist OK, mehr wäre besser. Insbesondere um tiefere Sonden (Ziel 400 bis 700 m oder mehr) bauen zu können müsste besseres Sondenmaterial zur Verfügung stehen (höhere Druckfestigkeit). Wohl besser wäre PEX, hier stellt sich die Frage der Schweissbarkeit. Wenn eine höhere Druckfestigkeit zu höheren Wandstärken führen würde, wäre dies nicht erwünscht wegen der eher schlechten Wärmeleitfähigkeit von PE.

Das Sondenmaterial sollte auch besser wärmeleitfähig sein. Ideal wäre also eine Sonde mit geringen Wandstärken (auch um gut biegsam zu sein), guter Wärmeleitfähigkeit und hoher Druckfestigkeit von innen und aussen.

Jemand schlägt auch Rohre mit vergrößerter Oberfläche für besseren Wärmeübergang vor.

Beim Sondenmaterial habe PE (PE 100 SDR 16) den Vorteil, dass es reversibel überdehnt werden kann, diese Eigenschaft habe kein anderes Material.

Sonden könnten auch aus Chromstahl sein, dies würde aber teuer und sie könnten ev. langsam korrodieren. Bei Direkt-Verdampfer-Anlagen werden Sonden aus Kupfer verwendet. Sonden aus Kupfer können je nach Boden von aussen korrodieren.

Besseres Hinterfüllungsmaterial:

Die Wärmeleitfähigkeit (λ) des Hinterfüllmaterials sollte ca. wie das Gestein sein, das heisst 2 bis 2,5 W/mK. Dieses Material muss sich wie Bentonit-Zement-Suspension einbauen lassen, damit es Akzeptanz bei den Bohrfirmen findet. Das heisst, es muss dünnflüssig und gut pumpbar sein und sollte nicht eine zu hohe Dichte haben.

Besseres Hinterfüllmaterial sei ca. CHF 5 bis 7 pro Meter teurer. Ob sich der Mehrpreis rechnet ist umstritten. Ebenso könnte als Alternative tiefer gebohrt werden (Sonde länger auslegen).

Klarheit scheint zu herrschen, dass eine besser leitfähige Hinterfüllung die Fluidtemperatur etwas steigen lässt, wie viel das hilft ist umstritten. Theoretisch kann der Bohrloch-Widerstand mit besserer Hinterfüllung halbiert werden, ergibt eine ca. 2 °C höhere Temperatur im Sondenfluid. Pro 1 °C höhere Fluidtemperatur ergebe sich ca. 1.5 % Effizienzsteigerung der Wärmepumpe.

Einigkeit herrscht, dass das bessere Hinterfüllmaterial Vorteile beim Heizen und Kühlen oder bei einer Regeneration der Sonde hat, da die Wärme besser abgegeben werden kann. Bei Regeneration oder Kühlen mit Sonden, und bei saisonalen Speichern mit Sondenfeldern, ist gut leitfähiges Hinterfüllmaterial zu empfehlen.

Ob besseres Hinterfüllmaterial Sondenmeter sparen kann ist umstritten. Von der Berechnung und Theorie her schon, andererseits wird das Erdreich als limitierender Faktor bezeichnet. Besseres Hinterfüllmaterial solle nicht mit dem Argument verkauft werden, man könne Bohrmeter sparen, wie es in Deutschland üblich sei. Jemand sagt aber, bei wenig Platz ermöglichten Sonden mit besserer Hinterfüllung mehr Leistung.

Bezüglich Hinterfüllmaterial sind bei den Experten teilweise noch Fragen offen: Thermische Eigenschaften, Nutzen, Kosten, welches Material.

Wie verbreitet bessere Hinterfüllmaterialien oder auch fertige Produkte heute sind ist unklar. Thermocem etc. sei am kommen. Heute sei Bentonit mit $\lambda = 0.8$ W/mK Standard, bessere Materialien (z. B. Thermocem) haben $\lambda = 2$ W/mK.

Jemand sagt, es würden heute ca. in 25 % der Fälle selbst gemischte Zement/Bentonit-Mischungen verwendet. Der Rest seien Fertigmischungen. Bei selbst gemischten Mischungen ist die Qualitätssicherung und -prüfung ein Problem. Bei Fertigmischungen wird oft die Dichte zu hoch, wenn nach Vorschrift gemischt wird. Daher werde manchmal zu schwach dosiert. Zudem müsse gut gemischt werden.

Es gibt etwa 10 Produkte, in der Schweiz werde oft Küchler Injekt Therm oder BT-D-Füller (Heidelberg Zement) angewendet. Weitere Produkte aus Deutschland sind auf dem Markt, u.a. von Schwenk Baustoffe.

Die Frostsicherheit der Hinterfüllung wird als wenig wichtig angesehen, da wenn nach SIA dimensioniert, die Temperatur im Fluid nach 50 a min. 0 °C/-3 °C sein darf, womit die Hinterfüllung gerade noch nicht gefriert. In Deutschland (VDI) werde weniger grosszügig dimensioniert, daher sei das dort eher ein Thema.

Beim Hinterfüllen muss die Abbindewärme des Materials berücksichtigt werden, da diese das PE schwächt. Der Drucktest sollte deshalb erst einige Tage nach dem Einbau erfolgen.

Bei Sonden mit Regeneration resp. thermischer Aufladung: hohe Temperaturen können das Hinterfüllungsmaterial schädigen (Austrocknung, schwinden, die Sonde wird nicht mehr gestützt). Welche Materialien halten welche max. Temperaturen aus?

Wichtig ist, in der Praxis die Qualität der Hinterfüllung sicher zu stellen.

Hydraulische Auslegung:

Wichtig ist die Abstimmung der optimalen Durchflussrate in der Sonde und im Verdampfer der WP (eine Anpassung der WP an die Erfordernisse der Sonde ist zu wünschen).

Eine turbulente Strömung in der Sonde bringt etwas höhere Fluid-Temperaturen, es ist aber umstritten wie sich dies in der Praxis auswirkt, oder ob nicht ohnehin fast immer eine mehr oder weniger turbulente Strömung vorliegt.

Die Auslegung der Pumpe ist oft falsch, das ΔT wird nicht optimal gewählt. Die Ausbildung der Planer, insb. aber der Installateure ist oft mangelhaft. Diese sind in den Fragen der optimalen Dimensionierung (Wärmeleistungsbedarf und Sondenlänge), in der Auslegung der Hydraulik und der Auslegung der Sonden (Anzahl, Tiefe, Rohrdurchmesser) zu schulen. Da bestehe das grösste Potential.

Das ΔT soll nach SIA 384/6 3 bis 4 K sein, in der Praxis zeige es sich aber dass 4 K gewählt werden sollen, auch ein ΔT von 5 K ist noch möglich. Der Strombedarf für die Pumpe kann so deutlich reduziert werden. Bei zu hohem ΔT wird aber der Gegenstrom-WT-Effekt besser spürbar. Eine Optimierung ist notwendig.

Ein Problem ist die weit verbreitete Tendenz, Sicherheitszuschläge zu machen. Dies führt oft zu zu grossen Pumpen mit entsprechend hohem Strombedarf. Da auch ein ΔT von 5 K noch möglich ist, braucht es bei Auslegung auf 4 K keine Zuschläge, es muss auch nicht die nächst grössere Pumpe gewählt werden. Bei der FAWA-Studie wurde festgestellt, dass der spezifische Pumpenstrombedarf zwischen unter 1 und max. 6 W/m Sondenlänge schwankt.

Ab 120 m Sondenlänge sollte der Rohr-Durchmesser DN 40 sein. Für tiefe Sonden werden auch Rohre mit DN 50 vorgeschlagen. Mit eher kleinem ΔT kann dann doch Pumpenenergie gespart werden, dies sei vor allem bei Wasser als Fluid vorteilhaft.

Oft ist auch das Ex-Gefäss zu klein, insb. bei tiefen Sonden. Nicht einberechnet wird die Dehnung der Sondenrohre.

Dämmung der Sonden:

Eine Dämmung der Sonden in den obersten Metern und der Verbindungsleitungen in den Keller ist umstritten. Bei tiefen Sonden mit rel. hohen Fluidtemperaturen und grossem ΔT ist der Nutzen besser gegeben als bei üblich ausgelegten Sonden. Ob sich die Kosten für eine Wärmedämmung rechnen ist umstritten, ev. ist es billiger tiefer zu bohren. Die Langzeitstabilität der Wärmedämmung wird angezweifelt. Im Sommer (Erwärmung Warmwasser) könne die Dämmung ev. kontraproduktiv sein, da dann der Boden auch oben warm ist. Wie ist die Bilanz?

Die horizontalen Verbindungsleitungen zu dämmen verhindert insb. auch den Gegenstrom-WT-Effekt, und hat Vorteile bei tiefer Erdreichtemperatur im Winter. Auch hier ist der Nutzen bei hohen Fluidtemperaturen und grossem ΔT besser. Als Material werden Tubolit-Schläuche vorgeschlagen, eine werkseitige Dämmung durch den Rohrhersteller ist (zu) teuer.

Wenn gedämmt wird, muss diese Dämmung dauerhaft und dicht sein, wegen dem Gewässerschutz. Vertikale Verbindungen des Grundwassers sind dauerhaft zu vermeiden.

Trennung Vor- Rücklauf:

Eine bessere Trennung des Vor- Rücklaufs (Vermeidung Gegenstrom-Wärmetauscher-Effekt) wird als Verbesserung bezeichnet. Es könnten z. B. im oberen Teil der Sonde die Rohre mit dem Rücklauf (warme Seite) gedämmt werden, das sei besonders bei tiefen Sonden oder bei Sonden mit Wasser als Fluid wirksam.

Öfter werden Abstandshalter empfohlen, ev. nur im oberen Bereich. Solche Abstandshalter für die Doppel-U-Rohr-Sonden werden auf dem Markt angeboten. Der Einbau braucht aber Zeit, die Sonde kann beim Einbau eher klemmen und die Kontrolle ist schwierig. Die Umsetzung in der Praxis sei ungeklärt. Jemand empfiehlt, mit Unternehmer/Lieferanten ein praktikables System zu entwickeln. Der theoretische Nutzen sei unklar.

Sondenfluid:

Bei Direkt-Verdampfer-Anlagen ist als Fluid nur CO₂ und Propan/Buthan zulässig. Wärmepumpen mit CO₂ als Arbeitsmittel sind nur bei hohem Temperaturhub sinnvoll (für Warmwasser).

Bei den üblichen Glykol-Mischungen reichen max. 20 % Konzentration, darunter kann es Korrosionsprobleme geben, weil zu wenig Inhibitoren vorhanden sind. Wenn der ganze Sondenkreislauf mit korrosionsfesten Komponenten erstellt ist, kann auch auf Glykol-Konzentrationen unter 20 % gegangen werden. Es würden 10 % Glykol reichen, entsprechend einer Gefrieretemperatur von -5 °C.

Für die Sole würde besser Alkohol (Ethanol resp. denaturierter Sekundasprit) verwendet. Ethanol kann beliebig mit Wasser gemischt werden. Es ist eine Konzentration von 10 % bis max. 20 % erforderlich. Ein Problem sind unbekannte Stoffwerte resp. fehlende offizielle Datenblätter.

Ethanol kostet CHF 1.30 pro l, aber plus CHF 3.- VOC-Abgabe. Damit wird Ethanol zu teuer.

Bei Sole mit Ethanol werde oft auf der Baustelle gemischt, besser wäre eine vorgemischte Sole.

Einige Experten haben mit Alkohol keine Erfahrungen.

Bei anderen Frostschutzmittel muss auf die Aggressivität resp. den Korrosionsschutz geachtet werden.

Geologie:

Der Untergrund ist die grosse Unbekannte und kann auch lokal sehr unterschiedlich sein, z.B. betr. Arteser. Falls die Geologie anders als erwartet ist muss die erforderliche Länge sofort neu berechnet werden.

Bohrgeräte:

Kleinere Bohrgeräte wären erwünscht, sie verursachen weniger Landschaften und ermöglichen eine einfachere Installation.

- **Was ist das Potential und wo sind die Risiken resp. Probleme bei Sonden mit Wasser?**

Sonden mit Wasser sind zu empfehlen, bis 20 % bessere JAZ sind erreichbar. Wasser ist gut wegen dem besserem Wärmeübergang und wegen tieferem Strombedarf für die Pumpe infolge geringere Viskosität. Es ist auch eine kleinere Umwälzpumpe möglich.

Probleme mit Wasser als Fluid sind:

Mit Wasser sind deutlich längere Sonde resp. tiefere Bohrungen nötig, in Abhängigkeit der min. zulässigen Temperatur. Jemand nennt eine Mehrlänge von 20 %. Jemand anderes sagt, mit Wasser: würden noch 30 - 33 W/m statt 45 W/m erreicht, d.h. die Sonde werde ca. 50 % länger.

Wenn auf min. Vorlauf +2 °C ausgelegt werden kann, werde die Sonde ca. 35 % länger (Auslegung auf 2 / 5 °C statt -3 / 0 °C). Bei höheren geforderten Wassertemperaturen (z. B. schon bei 3 / 6 °C) nimmt die erf. Sondenlänge rasch deutlich zu.

Eine sorgfältige Dimensionierung nach SIA ist sicher erforderlich, damit keine zu tiefen Temperaturen nach dem Verdampfer auftreten. Achtung: die Auslegungen für Anlagen "in der Breite" dürften nicht zu knapp sein: stimmt z. B. die Auslegung der erf. Heizleistung und des Wärmebedarfes? Die Zuverlässigkeit muss gross sein.

Wie tief die min. Temperatur nach dem Verdampfer sein darf ist umstritten. Die Aussagen gehen von minimal 2 °C über nicht unter 3 °C bis zur Vermutung, es müsse wohl auf ca. 4 / 7 °C ausgelegt werden oder zur Aussage, T_{VL} darf nicht unter 6 - 7 °C fallen. Wenn die min. VL-Temp 4 °C nicht übersteigt, sei die Differenz nicht mehr so gross. (Preis 1 m Sonde ohne Installationspauschale sei ca. 60 CHF, min. 50, max. 70.-). Grosse Verdampfer seien kritischer als kleine.

Die Geologie muss bekannt sein, um ein Risiko zu vermeiden.

Standardwerte für Auslegungstemperaturen und Mehrlänge der Sonden werden gewünscht.

Einigkeit herrscht, dass bei Wasser das Delta-T eher tief gewählt werden sollte, damit die untere Temperatur etwas höher bleibt.

Die WP-Hersteller müssten geeignete Produkte auf den Markt bringen, heute fehlen oft die nötigen Sicherheits-Einrichtungen: Es braucht einen Vorlauftemp.-Fühler als Frostschutz-Thermostat, eine Frostschutzsicherung mit autom. Wiederanlauf, die genaue Messung der Temperaturen, eine Überwachung des Verdampfer-Durchflusses resp. der Pumpe. Dies ist analog wie bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen. Nur eine Strömungsüberwachung reicht aber nicht aus.

Die Wärmepumpenhersteller mahnen teilweise ab! Wir sollen diese motivieren für die Zulassung von Wasser. Es wird gefordert, dass Standard-WP mit Wasser "umgehen" können.

Eine Niederdruck-Störung kann bei Wasser vorkommen und müsste in Kauf genommen werden. Die Gefahr einer Abschaltung ist am grössten in der kältesten Zeit, wenn zu klein dimensioniert wurde. Dann muss die Leistung der WP reduziert werden, ein Back-up ist notwendig oder es wird im Gebäude zu kalt.

In der Wärmepumpe wären Rohrbündel-WT als Verdampfer besser, da die Durchströmung gleichmässiger sei als bei Platten-WT. Gute Plattentaucher seien auch möglich. Rohrbündel-WT hätten auch Nachteile.

Beim Abschalten der WP bestehe Gefriergefahr, da das Kältemittel ist noch kalt ist.

Vom Gewässerschutz her wäre Wasser anzustreben.

Baden-Württemberg fördert Wasser statt Sole.

Sonden mit Wasser scheitern oft am Budget der Bauherrschaft.

- **Welche alternativen Sondenbauformen sollen untersucht werden?**

Koaxialsonden:

Koaxialsonden (z.B. Anlage Elgg) haben sich nicht durchgesetzt, da der Einbau aufwändiger ist. Sie blieben in der Entwicklung stehen. Das Problem ist das Handling auf der Baustelle: die Rolle wird zu gross und schwer, das Rohr bei tiefen Temperaturen zu starr.

VL und RL müssten thermisch getrennt sein, z.B. mit Vakuum oder Aerogel. Der Gegenstrom-WT-Effekt muss verhindert werden. Dann wären sie besser (höhere Fluid-Temperatur) als U-Rohr-Sonden.

Koaxialsonden müssen aussen mit grosser Querschnitt und Fluss nach unten, innen mit kleinerem Querschnitt und Strömung nach oben konstruiert werden.

Die Anwendung ist insbesondere bei tiefen Sonden. Sie seien sinnvoll ab 500 m Länge wegen tieferem Δp .

Einzelnen Experten ist der Vorteil von Koaxialsonden aber unklar.

Die Produktionskosten seien höher, insb. wenn VL und RL thermisch getrennt werden.

Koaxialsonden werden in einem BFE-Bericht Tagung Burgdorf beschrieben. Es gebe keine Vorteile, das Handling sei schwieriger, sie seien teurer.

Amasond-Sonden:

Die Firma Amasond aus Oesterreich bietet ein neues System mit mehreren kurzen Koaxialsonden an. Es liegen noch fast keine Erfahrungen vor.

Ob das System besser sei ist unklar, jemand sagt nichts spreche dagegen.

Das System basiert auf Bauteilen mit steckbaren Verbindungen. Die Dauerhaftigkeit dieser Verbindungen wird angezweifelt (wir sollen testen). In Normen und Vorschriften werden unlösbare Verbindungen gefordert. Wenn diese steckbaren Verbindungen eine bessere oder gleichwertige Alternativen zu einer Schweißung sind, könnten diese auch akzeptiert werden. Amasond-System sei im Kt. ZH nicht zugelassen.

Die Auslegung des Systems ist unklar: es gibt kein anerkanntes Modell oder Norm.

Das System sei nur im Lockergestein möglich, wenn mit dem Tracto-Technik GmbH-Bohrgerät gebohrt wird, welches bald an Grenzen stösst, oder bei Rammsonden (die eher besser sind).

Anbieter (Vertretung) ist Bolt Erdwärme AG Uznach und einer im Kt. AG.

Jemand findet, das System gehe in Richtung Do-it-yourself.

Das System sei für grössere Anlagen nicht geeignet.

- **Wie ist das Optimierungspotential bei den Sondenfluid-Umwälzpumpen?**

Einig sind sich alle: Wichtig ist korrekte Auslegung. Nicht zu gross dimensionieren, wie das oft der Fall ist.

Nach der FAWA-Studie benötigen die Pumpen durchschnittlich 13 % des Stroms. Die Werte gehen dabei von unter 1 W/m bis max. 6 W/m (!).

Von WP-Herstellern wird ein ΔT von 3 K gefordert. Die Auslegung auf $\Delta T = 3$ K ist nicht nötig und zu einschränkend, in Praxis ist ein ΔT 4 bis 4,5 oder 5 K ohne Probleme möglich und besser. Die dann theoretisch laminare Strömung hat in diesem Grenzbereich keinen spürbaren Einfluss. Das ΔT muss je nach Sondenlänge und Fluid festgelegt werden.

Die WP-Hersteller sollten das Δp über den Verdampfer verringern und die Verdampfer gross genug dimensionieren.

Für den Sondenkreislauf sollten Pumpen der Energieklasse A gewählt werden. Diese sind aber noch (zu) teuer! Ein Oligopol der Hersteller verhindere gute Preise. Ob der Mehrpreis von ca. Fr. 700.- wirtschaftlich ist sollen wir abklären.

Unterscheiden müsse man zwischen Solepumpe und Heizungspumpe! Ev. sei eine korrekt ausgelegte Standardpumpe genau so gut wie eine falsch dimensionierte A-Klasse-Pumpe.

Bei kleinen Anlagen werden oft Nassläufer eingebaut, diese sind besonders schlecht. Bei grösseren Anlagen können Trockenläufer-Pumpen mit besserem Wirkungsgrad vorgesehen werden.

Bei Anlagen mit Leistungsregulierung sollten die Pumpen mit Drehzahlregelung gewählt werden. Bei Vollast ist die Strömung dann turbulent, bei Teillast laminar.

Bei Wasser statt Sole kleinere ΔT fahren, insb. bei Vollast. Ev. Drehzahlregelung vorsehen, um das ΔT der min. Temperatur anpassen zu können.

- **Welche Chancen haben Heat-Pipe-Sonden mit CO₂?**

Es können etwas bessere Temperaturen erreicht werden (ca. wie mit Wasser). Der Boden sei aber derselbe.

Es kann die Pumpe eingespart werden, was sicher ein gutes Ziel wäre. Umgekehrt wird gesagt, bei einer guten Pumpe (z. B. Trockenläufer) sei die Einsparung gering.

Problem sind die hohen Drücke in der Sonde.

Diese Sonden können nur zum Heizen genutzt werden.

Wenn eine Begrenzung auf 100 m Tiefe besteht, sind solche Sonden nicht interessant.

Einige Experten haben noch keine Erfahrung. Jemand wäre an einer Pilotanlage interessiert.

Der Einsatz wird als schwieriger beurteilt. Bei der Vermarktung könnte der schlechte Ruf von CO₂ als Klimagas negativ sein.

Für Berechnung Heat-Pipe-Sonden wäre ein neues Modell des inneren Wärmeübergang (resp. der Filmverdampfung) nötig, dann wären solche Sonden auch rechenbar.

Wenn CO₂-Sonden als Direktverdampfer-Sonden funktionieren, kann das Öl im Kältemittel ein Problem sein.

Brugg Rohrsysteme bieten solche Sonden an und könnten Auskunft geben.

HSLU, Herr Wellig in Horw macht mit Geowatt eine Studie zu CO₂-Sonden.

- **Welche Chancen haben Heat-Pipe-Sonden mit Propan, Butan oder NH₃?**

Alle Experten haben keine Erfahrungen

Die Sicherheit und die Bewilligung seien zu beachten.

Als möglicher Einsatz von NH₃ werden sehr tiefen Sonden (bis 3000 m) genannt: die Energiedichte, die gefördert werden kann, wird grösser.

- **Haben Sie Erfahrungen mit Erdkörben, Erdkollektoren, Grabenkollektoren etc.?**

Erdwärmekörbe:

Viele Experten haben damit wenig Erfahrungen. Erdwärmekörbe seien noch wenig bekannt und in der Schweiz selten.

Erdwärmekörbe werden als Alternative bezeichnet, wo keine Sonde gebohrt werden kann. Die Leistung sei aber begrenzt, daher eher für kleine Anlagen geeignet.

Achtung: Wenn in den Gefrierbereich gefahren wird, sind Bodenhebungen und Senkungen die Folge.

Die Leitfähigkeit der oberen Bodenschichten sei eher schlecht (im Allgemeinen schlechter als im Festgestein). Das wisse man jedoch. Bei ausgeführten Anlagen sei die Leitfähigkeit zum Teil noch schlechter als angenommen gewesen, da Untergrund zum Beispiel sehr trocken war. Dafür könne von der Phasenverschiebung in den oberen Schichten profitiert werden.

Erdkörbe werden als Lösung bezeichnet, falls eine zu kurze Sonde ergänzt werden muss (Sanierung), als alleinige Lösung seien sie fraglich, ausser wenn sie im Grundwasser erstellt werden.

Jemand sagt aber, Erdwärmekörbe dürften nicht im Grundwasser installiert werden und müssten gegen unten abgedichtet sein.

Achtung: bei Bauaustrocknung droht eine Überlastung der Körbe.

Erdkollektoren (inkl. Grabenkollektoren)

Viele Experten haben damit wenig Erfahrungen. Erdkollektoren sind heute in der Schweiz selten (anders in gewissen Gebieten in Deutschland).

Erdwärmekörbe wie Erdkollektoren könnten als Solarenergienutzung betrachtet werden. Jemand sagt auch, die Erdkollektoren würden auch Wärme des Regenwassers nutzen.

Die Kosten seien hoch, ebenso der Platzbedarf.

Der Wirkungsgrad sei schlecht, ähnlich wie eine Luft/Wasser WP.

Jemand berichtet von guten Erfahrungen mit Erdkollektoren, solange die Dimensionierung stimme. Erdkollektoren seien aber teuer wenn sie richtig dimensioniert sind. Erdkollektoren seien oft unterdimensioniert.

Erdwärmekörbe und Grabenkollektoren müssen genügend tief vergraben werden (ca. 2 m).

Es gibt DIN und VDI-Richtlinien zum beachten, sowie eine alte SIA-Dokumentation.

Grabenkollektoren und Energiezäune: in Kombination seien höhere Soletemperaturen als mit Sonden erreichbar. Die Möglichkeiten einer Kombination mit Solarkollektoren seien noch nicht ausgeschöpft.

Die Vorteile sollen untersucht werden.

Erdwärmesonden seien besser rechenbar.

Für Häuser mit sehr tiefem Wärmeleistungsbedarf können diese Systeme eine gute Alternative sein. Zudem seien sie eine Lösung, falls nicht gebohrt werden kann.

- **Welches Optimierungspotential ist beim Betrieb einer Anlage mit Erdwärmesonden vorhanden?**

Die Umwälzpumpen und der Durchfluss in der Sonde sind optimal einzustellen. Das ΔT sollte nicht zu tief sein, die Pumpe eher auf eine kleinere Stufe stellen falls möglich. Umgekehrt wird gesagt, mit tiefem ΔT (2 - 3 °C) werde der Gegenstrom-WT-Effekt verringert und bei Wasser als Fluid ist man weniger schnell im Minusbetrieb.

Bei der Inbetriebnahme ist eine Optimierung vorzunehmen.

Zum Heizen muss eine möglichst tiefe Vorlauftemperatur wählen, zum Kühlen umgekehrt und ein tiefes ΔT im Kühlkreislauf ist besser. Dazu muss die Heizkurve im Winter optimal (möglichst tief) eingestellt werden. Auch in Altbauten sind selten 60 °C oder mehr erforderlich.

Die korrekte Handhabung der Thermostatventile ist wichtig.

Die Durchflüsse im Heiz- und Kühlsystem müssen stimmen, ein hydraulischer Abgleich ist notwendig. Auch die Heizkreispumpe ist richtig einzustellen.

Bei Wärmepumpen mit Leistungsregelung müssen die Stufen richtig kommen. Eine stufenlose Leistungsregulierung der WP ist vorteilhaft.

Bei bestehenden Gebäuden sollte die Gebäudehülle saniert werden, damit die VL-Temperaturen im Heizkreis sinken.

Ein technischer Speicher ist höchstens bei Radiatoren nötig.

Sperrzeiten der Stromversorgung sind bei WP-Tarif üblich und müssen berücksichtigt werden.

Eine Nachtabenkung ist kontraproduktiv, da höhere VL-Temperaturen im Heizkreislauf erforderlich werden.

Es soll generell Energie gespart werden (korrekte Raumtemperatur, Lüftungsverhalten).

Beim Warmwasser sind Legionellen zu beachten und der Bedarf korrekt einzuschätzen.

Das Warmwasser immer mit der WP zu erwärmen ist zu empfehlen.

Falls eine Sommer-Umschaltung nötig ist: diese bewusst vornehmen.

Die Überströmer im Heizkreis soll richtig eingestellt werden (im Normalfall Vor- und Rücklauf nicht mischen). Das Heizungswasser soll generell nicht gemischt werden (Hydraulik!).

- **Welches Optimierungspotential ist bei den Wärmepumpen (in Zusammenhang mit Erdwärmesonden) vorhanden?**

Primär werden generell eine gute Effizienz (ein hoher COP) gefordert.

Weiter eine Optimierung des Durchflusses im Verdampfer betr. ΔT und Δp . (siehe oben)

Die Wärmepumpen (Baureihen) sollten eine feine Leistungsabstufung haben, um immer den richtigen Typ wählen zu können.

Es sollten Wärmepumpen angeboten werden, die mit reinem Wasser umgehen können statt mit Sole: Sicherheitseinrichtungen, möglichst tiefe Vorlauftemperatur. (siehe oben)

Die Werkeinstellungen sollten bezüglich Laufzeiten den Ausbaustandards der jeweiligen Gebäude angepasst werden. Dies gilt insbesondere in den Übergangszeiten.

Die Verdampfer und Kondensatoren sollten vergrößert werden (sind zu klein infolge Preiskampf). Eine Verschärfung des Gütesiegels wurde von den Herstellern abgelehnt, wäre aber sinnvoll. Die WP würden dann aber teurer.

Eine Leistungsregulierung sollte vorhanden sein. Mindestens wird eine 2-stufige Maschine (z.B. mit 2 Kompressoren) gefordert.

Ein besserer COP könne auch durch bessere Kältemittel oder bessere Kompressoren erreicht werden.

Die Anlagen sollten ohne Speicher geplant werden.

Der Regler der WP müsste für die WW-Aufladung am wasserseitigen Ausgang des Kondensators eine Temperatur-Überwachung haben als Sicherheit gegen Hochdruck-Störungen.

Messungen sollten ermöglicht werden, insb. auch die Wärmeproduktion (Wärmezähler), für Kontrolle und Betriebsoptimierung.

Bei grossen Wärmepumpen sollten Schallproblem vermindert und der Anlaufstrom reduziert werden.

- **Welche gesetzlichen oder behördlichen Regulierungen erschweren den Markt der Erdwärmepumpen?**

Die Meinungen gehen etwas auseinander. Während einige gut mit kantonalen Regelungen umgehen können, fordert eine Mehrheit einheitliche Regelungen und Bewilligungsverfahren über alle Kantone hinweg. Als besonders schwierig werden zusätzliche, sehr unterschiedliche Anforderungen der Gemeinden bezeichnet. So verlangen einzelne Gemeinden resp. Städte zusätzlich eine Baubewilligung, was fraglich sei, da an der Oberfläche nichts zu sehen ist. Die unterschiedlichen kantonalen Regelungen erschweren den Markt. In der Praxis seien in den kant. Regulierungen und unterschiedlichen Vorgaben pro Gemeinde teilweise "Fallen" eingebaut.

Einheitliche Regelungen wurden von BAFU und der Arbeitsgruppe angestrebt, die die BAFU-Vollzugshilfe "Wärmenutzung aus dem Boden und Untergrund" erarbeitete. Diese solle und werde die Einheitlichkeit unter den Kantonen in Zukunft verbessern. Bis heute haben die Kantone noch stark unterschiedliche Vorstellungen. Die BAFU-Vollzugshilfe sei aber nicht verbindlich, die Kantone bremsen eine rasche Vereinheitlichung.

In Kt. SG wird eine jährliche Konzessionsgebühr verlangt, dies sei einzigartig und sollte vermieden werden.

Viele Gemeinden stellten bei der Bewilligung auf den Kanton ab resp. delegieren an den Kanton.

Regelungen betr. Grenzabständen (üblich 3 m) sind zu hinterfragen, dafür gebe es keine Gesetzes-Grundlage.

Die Behörden sollten flexibler sein, z.B. würden Tiefenbeschränkungen oft zu pauschal festgelegt. Das selbe gelte für Anhydrit-Gebiete. Mit geologischen Gutachten könnte von Fall zu Fall entschieden werden. Die Behörden vollziehen z.T. zu stark nach Buchstabe des Gesetzes, anstatt fallweise das Optimum bez. Gewässerschutz zu fordern resp. ermöglichen.

Jemand schlägt eine Kontrolle durch private Fachleute vor. Es könnten auch Standardauflagen formuliert werden.

Dafür fehlen Regelungen betr. dem Verlauf der Sonden im Untergrund (Nutzung der Erdwärme, Unterbohren des Nachbargrundstücks etc.).

Bei oberflächennahen Systemen (Erdkörbe etc.) fehlen teilweise klare Regelungen. Wenn keine Grundwasserzone besteht könnte auf eine Bewilligung verzichtet werden. Die Bewilligung ist mind. teilweise anders als bei Sonden (im Kanton Zürich z.B. wie Tankanlagen).

In klein parzellierten Gebieten müsste von den Behörden verlangt werden, dass die gegenseitige Beeinflussung von Erdwärmesonden berücksichtigt wird, also tiefer gebohrt werden muss.

Einerseits sollten die Bewilligungsverfahren generell vereinfacht werden, andererseits wird eine Regulierung und Qualitätskontrolle als nötig erachtet.

Der eher restriktiven Bewilligungspraxis stehe keine adäquate Kontrolle auf der Baustelle gegenüber. Eine Nachprüfung oder Qualitätskontrolle finde kaum je statt. Die Kantone seien teilweise unterdotiert bei den vielen Bewilligungen. In der Praxis sei die Qualität der Bohrung ein Problem (nicht die Sonde oder Erdwärmenutzung).

Heute haben bald alle Kantone die Ausscheidung der Grundwasser-Schutzzonen fertig. Dies ist die Grundlage für die Bewilligung. Genutzt werden darf nur technisch nicht nutzbares Grundwasser, die Interpretation was das heisst sei in der Praxis unterschiedlich. Weiter ist gegeben, dass das Grundwasser vor Verschmutzung und vor Temperatureinflüssen geschützt werden muss, Grundwasserstockwerke und Deckschichten nicht verbunden werden dürfen.

Der Grundwasserschutz ist wichtig, aber nur dort wo das Grundwasser wirklich genutzt wird (oder mind. genutzt werden kann). Die übrigen Gebiete sollten frei gegeben werden. Die Bewilligungen sollten auch

da differenzierter vergeben werden, z.B. mit Tiefenbeschränkung, Auflagen zur Art der Sole, zur Bohrung etc.

Gefordert wird auch, alles mit gleicher Elle zu messen. So dürften z.B. viele Landwirte Grundwasser zur Bewässerung fördern, für Energiezwecke hingegen sind die Anforderungen viel strenger.

Beim Grundwasser wäre Forschung betr. Grundwassernutzung nötig: wo ist wie viel Grundwasser vorhanden. Wie fließt es? Wie kann das Grundwasser genutzt werden (Trinkwasser, Bewässerung, Thermisch)? Wer darf wo und wie das Grundwasser nutzen?

Die Bohrprofile (geologische Daten) sollten öffentlich sein, z.B. auf dem Internet. Genf sei da beispielhaft. Gute Geologische Karten auf GIS werden als erforderlich bezeichnet. Erdwärmekarten auf GIS sollten in allen Kantonen vorhanden sein (Kt. Zürich sei da mustergültig).

- **Welche Möglichkeiten sehen Sie, um Erdwärme zu nutzen, wenn Erdsonden nicht gestattet werden?**

Siehe oben: Erdwärmekörbe oder Erdkollektoren, diese brauchen aber oft zu viel Platz. Die Leistung von Erdwärmekörben sei begrenzt.

Grundwasser wird als eine sehr gute und bei grösseren Anlagen günstige Alternative bezeichnet. Die Bewilligungspraxis in den Kantonen sei allerdings sehr unterschiedlich. Mit Grundwasser kann bis JAZ 6 erreicht werden.

Alternativen werden in der BAFU-Vollzugshilfe Tabelle 1 aufgeführt.

Alternative Sonden/Kollektorensysteme oder eine Kombination mit Energiezaun oder Solaranlagen.

Zur Not wird auch Luft als Alternative bezeichnet.

- **Wann muss der Untergrund regeneriert werden?**

Die Meinungen gehen etwas auseinander:

Einerseits wird bei grösseren Anlagen (ab 4 Sonden) eine Regeneration als erforderlich bezeichnet (je nach Bedarf und Bewirtschaftung). Andererseits wird gesagt, in der Praxis sei eine Regeneration des Bodens kaum je nötig, der Boden sei "gutmütig".

Bei Einzelsonden sei eine Regeneration nicht notwendig, diese erreichen einen stabilen Zustand nach 2 - 3 Jahren. Gesagt wird auch, wenn nach SIA ausgelegt werde, müsse nicht regeneriert werden.

Wenn Sonden in von Grundwasser durchflossenen Lockergestein erstellt werden, sei keine Regeneration nötig (der Grundwasserfluss regeneriert). In Lockergestein sind aber nur 100 m Bohrtiefe möglich, tiefer wird die Reibung für die Verrohrung zu gross.

Unbestritten ist, je mehr Sonden nahe beieinander erstellt werden (weniger als 10 Meter Abstand), desto mehr können sich diese gegenseitig beeinflussen. Ev. müsse dies in Zukunft in den Bewilligungen geregelt werden: tiefer bohren oder eine Regeneration ist erforderlich. Heute wird typisch min. 3 m Abstand von der Grundstücksgrenze gefordert, das ergibt einen Abstand von min. 6 m. In Städten, wo sich Sondenfelder ergeben werden, muss zukünftig regeneriert werden, oder als Ausweg tiefer bohren.

Grosse Sondenfelder (Bsp. Andermatt) müssen regeneriert werden.

Eine Regeneration kann über Kühlung oder über Luftregister erfolgen.

Bei EFH im kann im Sommer die Sonde zum Kühlen genutzt werden, das bewirkt eine teilweise Regeneration.

Wegen geplanter Regeneration sollte nicht Sondenlänge gespart werden, da ev. die Regeneration doch wegfällt, später ausfällt etc. Behörden verlangen zudem Auslegung auf max. 50 W/m.

Die Soletemperatur sollte überwacht werden. Wenn ein Absinken erkannt wird, dann sind Massnahmen zu ergreifen.

Die Idee einer Wärmespeicherung im Untergrund sei oft fraglich, weil die Wärme wegfließen kann. Umgekehrt wird gesagt, man könne oder müsse den Boden als Speicher nutzen, bei hoher Sondendichte, die sonst zu Problemen führt. Mit Regeneration werde ein Sondenfeld, auf 50 a gerechnet, zudem kleiner.

Bei Neubauten, welche das Grundstück ausnutzen, wird die Grundstücksfläche je nach Bauzone eher knapp, trotz tieferem Wärmebedarf. Theoretisch sollen wir das Potential resp. die Grenzen der Bodennutzung rechnen.

Bei Erdregister in 1.2 bis 1.8 m Tiefe ist die Amplitudenverschiebung nutzbar, es erfolgt zudem eine Regeneration durch Regenwasser. Diese ist sehr effizient und sofort spürbar. Gefrieren muss aber vermieden werden, oder mit Regeneration wieder auftauen.

- **Welche Chancen und Probleme ergeben sich beim Heizen und Kühlen mit Erdwärmesonden?**

Dem Heizen und Kühlen werden gute Chancen eingeräumt, werde auch oft genutzt. Vorteil sei der bessere Komfort. Der Wärmeeintrag im Sommer führe dazu, dass anfangs Winter die Temperaturen höher sind und so die Arbeitszahl (und die JAZ) steigen. Andere bezeichnen den Nutzen der Regeneration durch Kühlung als fraglich.

Die Vorlauftemperatur in die Sonde dürfe max. 20 °C betragen, wegen dem PE.

Das Heizen und Kühlen kann über Bodenheizung/-kühlung erfolgen, ergebe aber kalte Füsse im Sommer. Besser sei über die Decke zu kühlen.

Bei Sanierungen mit Heizkörpern ist eine Kühlung oft nicht möglich. Im Wohnbau sei die Nachfrage selten.

Ev. sei auch eine Rückkühlung von Kältemaschinen möglich.

- **Wen müssten wir beeinflussen, um optimierte Sonden am Markt zu etablieren?**

Bohrfirmen. Für tiefe Sonden: Bohrtechnik.

Lobbieren bei Herstellern: sie sollen bessere Produkte anbieten.

Politiker

Behörden, die bewilligen müssen

Planer

Bauherren: Infomaterial ist erforderlich und Vorträge. Betont werden müssen auch die Kosten.

Hersteller von Sonden: EWS-Werkstoffe für höhere Drücke

Wärmepumpen-Hersteller: Wasser als Fluid, Grösse und Δp Verdampfer, Steuerung und Sicherheitseinrichtungen. Der CH-Markt sei aber klein, so dass ev. kein Einfluss möglich ist.

Gesamtsystem-Anbieter

Aus- und Weiterbildung fördern. Installateure und Planer müssen gut geschult werden.

- **Welche weiteren offenen Fragen sollen wir bearbeiten?**

Entwicklung besseres Hinterfüllungsmaterial.

Optimierung Sonden- und Verdampferdurchfluss.

Hybrid-Anlagen untersuchen.

Unterschied Einzelsonden / Sondenfelder / Einsatz von Tiefensonden

Material für tiefe Sonden

für tiefe Sonden, Gegendruck mit Hinterfüllung optimieren. Sonden bis 700 m sollten möglich werden, in gutem Gestein einfacher als in schlechtem.

Hinterfüllmaterial optimieren, Einsatz und Anwendungsprobleme untersuchen.

Wie Hinterfüllung kontrollieren? (Qualitätssicherung) -> siehe Gütesiegel Bohrfirmen

Abstandshalter bei U-Rohr-Sonden: Nutzen, Handhabung, Kontrolle, und Qualitätssicherung.

Wie lange halten Sonden?

Kernthema: welche Wärmequelle soll wo genutzt werden?

Sonden-Auslegung.

Qualitätssicherung (Gütesiegel überwachen, bei den Kantonen, Herr Eugster...)

Organisation analog private Kontrolle Wärmedämmung initiieren, aufbauen: lokale, akkreditierte Fachleute können kontrollieren und bei Problemen unterstützen. Kombination mit Gütesiegel Bohrfirmen.

Bei den Bohrungen sollte die Geologie pro Sonde erfasst werden, die Geologie kann sich lokal ändern.

Bewilligungsverfahren vereinfachen.

- **Was sind Ihre weiteren Wünsche oder Bemerkungen zum Projekt?**

Das Projekt würde besser Erdwärme-Optimierung statt Erdsonden-Optimierung heissen.

Die Sachlage müsse klar sein, die Essenz müsse herausgeschält und formuliert werden. Dazu sollten neue Lösungen und Varianten in Test- resp. Pilotanlagen getestet und gemessen werden.

Eine Auslegeordnung und eine Bewertung der Systeme.

Auf dem Boden der Realität bleiben. Mit der FWS in Kontakt bleiben.

Bezeichnung Erdwärme-Wasser WP wäre viel besser als Sole-Wasser-WP.

Laien besser informieren.

Bei den Nachfragern wollen die Contractoren das Beste, die GU's das Billigste.

Für Ethanol-Gemisch: VOC-Gebühr wegbringen!

Publizieren in der Fachpresse.

- **Wer forscht noch an solchen Themen?**

Horw (CO₂)

Nur einige Ingenieurbüros (z.B. EBERHARD & Partner AG), ETH Zürich, Wärmepumpen-Testzentrum, Buchs SG

In letzter Zeit wenig F+E in diesem Gebiet.

Hr. F. -D. Vuataz (CREGE)

roth-werke.de: Hybridanlagen

CO₂-Erdwärmesonden: Stefan Bertsch (Dozent für Thermodynamik) NTB Buchs

- **Zusatzthema: Dimensionierung (Leistung) Wärmeerzeugung**

Die SIA 384/201 ist gesetzt, aber Theorie. Besser ist SIA 380/1, da die passive Solarenergie hier eingerechnet wird.

Gem. FAWA sind die Anlagen im Durchschnitt 35 % überdimensioniert.

Bei Neubauten wird nach SIA 384/201 gerechnet, führt zu Überdimensionierung. Dann werden noch "Angstzuschläge" gemacht und die nächst grössere Maschine gewählt. Mind. diese Zuschläge sollten wegfallen.

Besser ist es im Sanierungsfall, da kann nach dem bisherigen Heizenergieverbrauch dimensioniert werden.

- **Experten**

Mit folgenden Experten wurde ein Interview geführt:

Dr. sc. nat / Dipl. Natw. ETH Mark Eberhard, Aarau

Dr. sc. nat. ETH/SIA/VDI Walter J. Eugster, Zürich

Mario Grämiger, Wädenswil, Peter Remund, Wädenswil (gemeinsames Interview)

Dipl. Ing. HTL Peter Hubacher, Engelburg

Dipl. Ing. ETH Arthur Huber, Zürich

Dr. sc. nat / dipl. Geophysikerin ETH Sara Signorelli, Zürich

Dipl. Ing. HTL Christoph Wehrli, Zürich

Dr. Geol. ETH Roland Wyss, Frauenfeld

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