

Freitag 15 Oktober 2010	14:15-14:45
-------------------------	-------------

Realistische Simulation und Optimierung von Sondenanlagen – die pauschale Frage nach der maximalen Entzugsleistung ist „unsinnig“

*Marcus Wilhelmy
alpECON Wilhelmy*

◆ **Situation**

Bei Neubauten in unseren Breiten, wo Erdwärme als Energiequelle in Frage kommt, steht vor der grünen Philosophie oder Komfortüberlegungen die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Bei einem Wechsel von Öl- oder Gasheizung zu Erdwärme ist die Wirtschaftlichkeitsüberlegung noch wichtiger, da nicht nur etwas was noch funktioniert über Bord geworfen wird, sondern auch die Heizsysteme in den Räumen zumeist nicht auf Niedertemperatur ausgelegt sind.

Der einfachste Zugang zu einer (nur überschlägigen) Investitionsberechnung für die Tiefensonden ist es, die Leistungszahl (COP) der Wärmepumpe heranzuziehen, also den Quotienten aus Wärmeenergie zu elektrischer Energieaufnahme, den Bedarf an Spitzenleistung (für ein modernes Einfamilienhaus ev. 8 kW) und die Wärme-Entzugsleistung je Laufmeter Tiefensonde.

Tabelle 2: Spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmesonden in Anlagen mit einer Heizleistung <20 kW (nach VDI 4640): Einsatzgrenzen der Tabelle s. Text

Untergrund	spez. Entzugsleistung	Erdwärmesondenlänge je 1 kW _{th}	
		a = 3	a = 3,5
Allgemeine Richtwerte:			
Schlechter Untergrund ($\lambda < 1,5$ W/mK)	20 W/m	33 m	36 m
Normales Festgestein und wassergesättigtes Sediment ($\lambda = 1,5-3,0$ W/mK)	50 W/m	13 m	14 m
Festgestein mit $\lambda > 3,0$ W/mK	70 W/m	9,5 m	10 m

Abbildung 1: Tabelle 2 aus Reuß & Sanner 2002 – Ausschnitt.

Wenn der beliebteste statistische Wert herangezogen wird, dann sieht die Rechnung folgendermaßen aus:

$$12 \text{ kW} = 12.000 \text{ W} \rightarrow \text{Bedarf an Laufmetern Erdsonde} = 12.000 / [((\text{COP} + 1)/\text{COP}) * 50 \text{ W/lfm}] = \mathbf{192 \text{ m}}$$

Diese Rechnung hat mehrere Schönheitsfehler: Unter anderem wird der COP (Leistungszahl) nur im optimalen Betriebsfall erreicht und wenn, dann wäre besser die Jahresarbeitszahl (JAZ) heranzuziehen, welche allerdings vor Errichtung einer Anlage nur die Erfahrungswerte ähnlicher Anlagen und Heizbedingungen wiedergeben kann. Weiters ist die Entzugsleistung je Laufmeter

Tiefensonde von 50 W/m nur ein erster Ansatz, der eben auf die „Allgemeinen Richtwerte“ für die spezifische Entzugsleistung aus der VDI-Richtlinie 4640 zurückgeht.

Wesentlich für den „kritischen Umgang“ mit der wohl meist zitierten bzw. herangezogenen Richtlinie VDI 4640 ist die Publikation von Reuß und Sanner 2002, wo anhand von unterschiedlichen Berechnungsverfahren und Eingangsdaten die Streuung der Ergebnisse aufgezeigt wird, wo ein Überblick über 4 Ermittlungsmethoden dargestellt wird:

Tab. 3: Zusammenfassung der Ergebnisse des Auslegungsbeispiels für Erdwärmesonden

Methode	spez. Entzugsleistung	Erdwärmesonden		
		Anzahl	Einzel-länge	Gesamt-Länge
Fall 1: Tabelle 2 Allgemeine Richtwerte	50 W/m	2	84 m	168 m
Fall 2: Tabelle 2 Einzelne Gesteine	55-65 W/m	2	66-78 m	132-156 m
Fall 3: Nomogramm		2	65 m	130 m
Fall 4: Berechnung mit EED		2	88 m	176 m

Abbildung 2: Tabelle 3 aus Reuß & Sanner 2002.

...und mehr bekommt der Endkunde einer Erdwärmeanlage mitunter nicht zu sehen.

Allein die vollständige Tabelle 2 relativiert die pauschale Annahme einer spezifischen Entzugsleistung von 50 W/lfm rasch:

Tabelle 2: Spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmesonden in Anlagen mit einer Heizleistung ≤ 20 kW (nach VDI 4640); Einsatzgrenzen der Tabelle s. Text

Untergrund	spez. Entzugsleistung	Erdwärmesondenlänge je 1 kW _{th}	
		a = 3	a = 3,5
Allgemeine Richtwerte:			
Schlechter Untergrund ($\lambda < 1,5$ W/mK)	20 W/m	33 m	36 m
Normales Festgestein und wassergesättigtes Sediment ($\lambda = 1,5-3,0$ W/mK)	50 W/m	13 m	14 m
Festgestein mit $\lambda > 3,0$ W/mK	70 W/m	9,5 m	10 m
Einzelne Gesteine¹:			
Kies, Sand trocken	<20 W/m	>33 m	>36 m
Kies, Sand wasserführend	55 – 65 W/m	12 - 10 m	13 - 11 m
Ton, Lehm feucht	30 – 40 W/m	22 - 17 m	24 - 18 m
Kalkstein (massiv)	45 – 60 W/m	15 - 11 m	16 - 12 m
Sandstein	55 – 65 W/m	12 - 10 m	13 - 11 m
Saure Magmatite (z.B. Granit)	55 – 70 W/m	12 - 9,5 m	13 - 10 m
Basische Magmatite (z.B. Basalt)	35 – 55 W/m	19 - 12 m	20 - 13 m
Gneis	60 – 70 W/m	11 - 9,5 m	12 - 10 m
Starker Grundwasserfluß in Sand und Kies für Einzelanlagen	80 – 100 W/m	8,3 - 6,7 m	8,9 - 7,1 m

¹Die Werte können durch Gesteinsausbildung wie Klüftung, Schieferung, Verwitterung erheblich schwanken

Weiterhin muß bei einer größeren Anzahl von Einzelanlagen an einem Standort wegen der gegenseitigen Beeinflussung die spezifische Entzugsleistung um 10 - 20 % reduziert werden; s. a. Abb. 6.

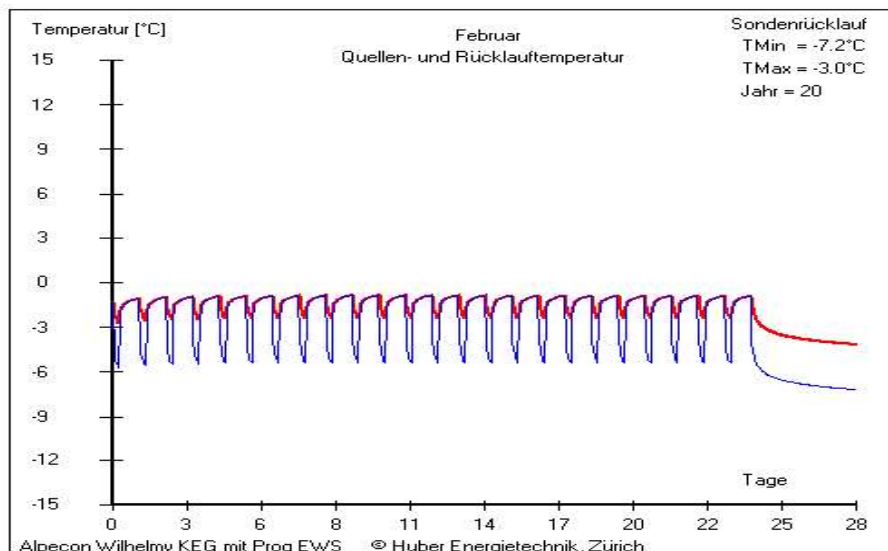
Differenziertere Angaben liefert die Schweizer SIA 384/6, wo auch Rahmenbedingungen wie Meereshöhe, Jahresbetriebsstunden und die Lebensdauer einer Sondenanlage (bspw. 50 Jahre!) berücksichtigt sind.

Inzwischen sind diese Grundlagen, wie auch die Anwendungs- bzw. Berechnungserkenntnisse, für die Auslegung von Anlagen in der ÖWAV-Richtlinie 207-2 zusammengeführt.

Je nach Einzelfall können nun unterschiedliche Faktoren für die richtige Auslegung des Anlagenteils Tiefensonden schlagend werden.

So empfiehlt sich für „**Einfamilienhaus**“-**Anlagen** bis etwa 20 kW Spitzenleistung die *qualifizierte* Annahme einer Worst-Case-Geologie inkl. der Grundwasserverhältnisse. Eine gezielte „Überdimensionierung“ der Sondenanlage bedeutet dabei einmalige Kosten, die jedoch einen optimalen Betrieb der Wärmepumpe und damit eine hohe JAZ ermöglichen. Sollte gar Überschusswärme in täglichen bis saisonalen Zyklen in den Untergrund eingebracht werden (Kühlen), so ist entsprechend Speicherkapazität vorhanden, und je nach Untergrund kann unter Umständen ein beachtlicher Teil dieser Wärme im Heizfall wieder genutzt werden. Spitzenlasten lassen sich auch über längere Perioden leichter abrufen, ohne dass durch Wärmepumpendauerbetrieb Vereisungen auftreten, oder durch Überlastung des Untergrundes – eben zu hohe Entzugsleistung – die JAZ der Anlage sinkt, bzw. mit den Jahren ein Wärmedefizit ausgeglichen werden muss: Die Wärmepumpe heizt zunehmend mit Strom anstatt mit geothermischer Energie.

Für **Anlagen in extremeren Lagen**, wo neben den Energiekosten auch die Bringung ein Problem darstellt (Berghütten, Bergstationen), wird die Geothermie ebenfalls immer mehr eingesetzt. Bei solchen Anlagen werden schnell einmal 100 kW Heizleistung überschritten. In alpinen Lagen spielen die Jahresmitteltemperatur und die sogenannte „zusätzliche Bodenerwärmung“ eine wesentliche Rolle für die spezifische Entzugsleistung aus der Sonde. Für eine nachhaltig richtige Anlagenauslegung ist hier neben einem Thermal Response Test (TRT) auch eine gute geologische Information erforderlich. Über das mögliche Sondenfeld sollte ein geologisches Modell möglich sein, an welchem der TRT kalibriert und korreliert werden kann. Auch sorgfältige Informationen über die Testsonde (Geologie, Verpressung) sind mit den übrigen Daten in Einklang zu bringen. Die Simulation einer solchen Anlage erfolgt mit dem Ziel, auch nach der gewünschten Mindest-Betriebsdauer – bspw. 30 Jahre – die gewünschte Sondenrücklauftemperatur (bspw. $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) nicht zu unterschreiten.



Dies wird teilweise auch durch die Erhöhung der Betriebsstunden erreicht, dafür kann die Verdampferleistung der Wärmepumpe herabgesetzt werden, was wiederum in eine geringere spezifische Entzugsleistung mündet.

Nach unseren Erfahrungen scheint es, dass für diese Anlagen in hochalpiner Lage Eingangsparameter wie Bodenerwärmung und (relevante) Jahresmitteltemperatur noch zu hinterfragen sind. Was wesentlich die spezifische Entzugsleistung verbessert, ist die Einspeisung von Überschusswärme bspw. aus Solarzellen, wie sich sehr gut aus der Simulation mit dem Programm EWS zeigte.

Als letzte „Gruppe“ von Anlagen können **Betriebsgebäude im Rheintal** in Vorarlberg erwähnt werden, wo die lithologischen Bodenverhältnisse oft ungünstig sind (Lehm, Torf, Ton, Kies und Sand), aber bereichsweise durch Grundwasserstrom verbessert werden können. Mitunter klimatisch und oft gebäude- wie nutzungstechnisch bedingt spielt die Kühlung eine wesentliche Rolle. Spitzenleistungen bis in den MW-Bereich mit Überhang der Kühlleistung gegenüber dem Heizleistungsbedarf sind für Produktionsbetriebe nicht selten. Hier können Hybridsysteme wo sich Grundwassernutzungen und Tiefensondenanlagen ergänzen wirtschaftliche Lösungen anbieten. Auch die Tiefensondenanlagen selbst werden mitunter für 2 Tiefenbereiche konzipiert, wobei für die flacheren Sonden insbesondere die hydrogeologischen Verhältnisse berücksichtigt werden müssen, und für die tieferen Sonden die lithologischen bzw. wärmespezifischen Eigenschaften des Untergrundes.

Zusammenfassend gesagt, zeigt sich aus unseren Erfahrungen, dass sich aus einer Anlagen-Simulation in den meisten Fällen ergibt, dass für Tiefensonden eine spezifische Entzugsleistung von weit geringer als 50 W/lfm zu empfehlen ist, auch wenn ein Thermal Response Test eine gute Wärmeleitfähigkeit attestiert. Die ermittelte Wärmeleitfähigkeit aus einem TRT ist sowohl mit der geologischen Information als auch mit der technischen Information über die Herstellung der Sonde (Verpressungsmenge und Materialart) zu korrelieren. Die Frage nach der maximalen Entzugsleistung kann für sich stehend praktisch nicht sinnvoll beantwortet werden. Für kleine Anlagen (< 20 kW) empfiehlt sich daher, eine „gezielte Überdimensionierung“ anzustreben. Angaben zu großen Anlagen sollten auf Grundlage einer Simulation mit einem entsprechenden Lastprofil erfolgen. Optimierungsversuche innerhalb üblicher oder spezieller Rahmendaten sollten Bestandteil einer Simulation sein. Auch Ergänzungen zum gegebenen Lastprofil, wie die gezielte Abgabe von Überwärme (Solarenergie oder aus dem Gebäude selbst) in den Untergrund oder die Deckung von hohen Spitzenlasten durch bestehende bzw. konventionelle Systeme sind zu berücksichtigen. Ein sinnvoller Wert der sich *ergebenden* Entzugsleistung wird auf einer Prognose auf 30 bis 50 Jahre im Voraus basieren.

Mag. Marcus Wilhelmy, 29.09.2010

alpECON WILHELMY e.U., TB für GEOWISSENSCHAFTEN, A-6165 Telfes 30, Österreich, Tel. 0043 - (0)5225 – 64 000 Fax 0043 - (0)5225 – 64 000 -4, Mobil 0043 - (0)676 – 844 797 200, m.wilhelmy@alpecon.at www.alpecon.at

Literatur: (1)ÖWAV 207-, (2) SIA 384/6, (3) VDI 4640, (4)REUSS & SANNER, 2002: “Planung und Auslegung von Erdwärmesondenanlagen: Basis einer nachhaltigen Erdwärmennutzung, VDI-Richtlinie 4640 und Berechnungsverfahren“