



Bild: O.B. Bergsicherung Gera

*Die Errichtung einer Erdwärmesonde ist mit erheblichem Aufwand verbunden. Nur wenn sie richtig dimensioniert wird, kann sie über viele Jahre die Wärmeversorgung kostengünstig und auf Dauer betriebssicher gestalten.*

Geothermiesonden

# Mit Pauschalwerten oft fehldimensioniert

**Unter- oder überdimensioniert? Häufig weichen die Angebote für Erdwärmesonden wesentlich voneinander ab. Die häufigste Antwort ist dann nicht unbedingt die beste, eher ein Indiz für die unqualifizierte Auslegung mit Pauschalwerten. Oft wird nicht beachtet, dass durch das hydraulische Verbinden einer Erdwärmesonde mit einer Wärmepumpe ein voneinander abhängiges System entsteht. Nur wenn bei der Auslegung alle relevanten Parameter des späteren Betriebs bestmöglich berücksichtigt worden sind, können Wärmepumpenanlagen mit einer Erdwärmesonde kostengünstig und auf Dauer betriebssicher arbeiten.**

Für die meisten Anbieter von Wärmepumpen beziehungsweise von vertikalen Erdwärmesonden scheint die Dimensionierung die einfachste Sache der Welt zu sein: Man nimmt die Kälteleistung der Wärmepumpe und teilt sie durch den möglichen spezifischen Wärmeentzug und erhält die notwendigen Sondenmeter. Bei Standardanwendungen, beispielsweise einem Einfamilienhaus mit monovalenter Wärmepumpenheizung und üblichem Trinkwarmwasserbedarf, liefert dieses Verfahren auch ein durchaus praktikables Ergebnis.

Problematisch ist an dieser Vorgehensweise jedoch, dass zur Auslegung einer Erdwärmesonde nicht nur der momentane, sondern auch der jährliche Wärmeentzug geprüft werden muss. Denn der Wärmespeicher Erdreich verfügt nur über eine begrenzte Kapazität. VDI 4640<sup>1)</sup> erwähnt diesen,

<sup>1)</sup> VDI 4640 Thermische Nutzung des Untergrundes – Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, Dezember 2000 und Entwurf Juni 2008; Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, September 2001; Blatt 3: Unterirdische Thermische Energiespeicher, Juni 2001; Blatt 4: Direkte Nutzungen, September 2004

allerdings meist ignorierten Zusammenhang sowohl in der Begrenzung der Laufzeiten in Stunden/Jahr [Blatt 2, Tabelle 2] als auch den momentanen Wärmeentzug pro Meter Sondenlänge bzw. pro Quadratmeter Flachabsorberfläche direkt im Text.

Beim Nachrechnen ergeben sich dabei zwar einige Widersprüche, aber die VDI 4640 befindet sich zurzeit auch in der Überarbeitung. Eindeutig ist der mögliche Wärmeentzug jedenfalls auch von der jährlichen Kältearbeit und nicht nur von der

Kälteleistung abhängig. Auch Schweizer Vorschriften berücksichtigen schon seit über zehn Jahren diesen Zusammenhang<sup>2)</sup>. Trotzdem ist es für Firmen, die das bei ihren Angeboten berücksichtigen, schwierig, den Mehrpreis gegenüber dem vermeintlich kostengünstigeren Angebot eines Billigheimers zu vermitteln, wenn sich daraus die Notwendigkeit einer größeren Sondenlänge ergibt.

Zudem sind die in VDI 4640 Blatt 2 Tabelle 2 genannten Betriebsstunden irreführend, weil der Entzug aus dem Erdreich (Kälteleistung) keine konstante Größe ist, sondern von den konkreten Randbedingungen abhängt. Bild 1 zeigt diesen Zusammenhang.

Je wärmer die Quelle und je kälter die erforderliche Vorlauftemperatur desto besser ist die Leistungszahl und desto mehr Wärme wird dem Speicher Erdreich entnommen. Eine Wärmepumpe, die 1800 h/a läuft, arbeitet nicht 1800 h mit der Kälteleistung im Nennarbeitspunkt (Quelle 0 °C; Heizwasser 35 °C), sondern die meiste Zeit mit einem höheren spezifischem Entzug, weil in der Übergangszeit nur niedrige Vorlauftemperaturen benötigt werden und die Quelle noch nicht so weit ausgekühlt ist.

### Nur Simulation bringt Klarheit

Erst mit den konkreten Randbedingungen ergibt sich durch Simulationsrechnungen, wie lange die Wärmepumpe läuft, welche Jahresarbeitszahl sie erreicht und welche Wärmemenge dem Erdreich entnommen wird. Erst damit ist es überhaupt möglich, Aussagen zum Temperaturverlauf im Erdreich zu treffen. Die jeweilige Quellentemperatur ergibt sich mit mathematischen Modellen aus dem jeweiligen Entzug und ist beispielhaft in Bild 2 aufgeführt.

Die ungestörte Quellentemperatur ergibt sich aus den klimatischen Verhältnissen am Sondenstandort. Durch den Wärmeentzug kühlt das Erdreich in der Umgebung des Sondenrohres aus. Die Soletemperatur (Eintritt in den Verdampfer) ist durch die physikalisch bedingten Wärmeübertragungsverluste noch niedriger.

Die Anfrage „Wie ist die Jahresarbeitszahl für mein Vorhaben? Die Geologen haben mir eine minimale Quellentemperatur von 0 °C vorausgesagt.“, entlarvt also eine Wissenslücke des Geologen. Eine Aussage zur Quellentemperatur ist ausschließlich mit dem Wissen des jährlichen Wärmeentzugs möglich und der richtet sich nach der Jahresarbeitszahl im konkreten Projekt. Nur wenn der Geologe die Jahresarbeitszahl inklusive der Energieentnahme aus dem Erdreich kennt, sind seinerseits Aussagen zur erwarteten Temperatur im Erdreich möglich.

Vorlauf-temp. [°C]	Heizleistung	Leistungsaufnahme	Kälteleistung	Leistungszahl	Vorlauf-temp. [°C]	Heizleistung	Leistungsaufnahme	Kälteleistung	Leistungszahl	max. Vorlauf
-5	11,05	3,09	0,76	3,63	50,00	10,34	3,65	6,69	2,83	95,00
-2	13,50	3,23	10,27	4,18	50,00	11,88	3,88	8,00	3,06	95,00
0	14,50	3,32	11,28	4,40	50,00	12,90	4,03	8,89	3,20	95,00
2	15,70	3,39	12,31	4,63	50,00	13,94	4,14	9,80	3,37	95,00
7	18,37	3,56	14,81	5,16	50,00	16,49	4,35	12,14	3,79	95,00
10	19,91	3,65	16,26	5,45	50,00	17,98	4,43	13,55	4,06	95,00
13	21,24	3,70	17,54	5,74	50,00	19,29	4,50	14,79	4,29	95,00

Bild 1 Kälteleistung einer Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Heizwasser- und Quellentemperatur.

Die Zusammenhänge zeigen, dass für die richtige Dimensionierung einer Erdwärmesonde ein Know-how-Transfer zwischen Geologen zum Erdreichaufbau und möglichen Wärmeentzug und dem Planer der Haustechnik unabdingbar ist. Die berechnete Jahresarbeitszahl nach VDI 4650 erweist sich hierbei als nicht hilfreich, weil hier die gesuchte Quellentemperatur bereits eine Eingangsgröße ist.

### Einfluss des Wärmeentzugs

Ein Beispielprojekt verdeutlicht den Einfluss des jährlichen Wärmeentzugs auf die benötigte Sondenlänge. Betrachtet wird in allen Varianten ein Wohngebäude mit einer Heizlast von 21,2 kW unter identischen klimatischen und geologischen Bedingungen – andere Randbedingungen wurden bei den Simulationsrechnungen mit WP-OPT (siehe Kasten) variiert. Die Erdwärmesonde wird in Sandstein mit 65 W/m spezifischem Wärmeentzug und 100 kWh/m jährlichem Wärmeentzug installiert.

#### Variante 1

Das Gebäude ist ein neu gebautes 8-Familienhaus, das mit einer monovalenten Wärmepumpe mit einem COP von 4,4 (B0/W35) betrieben wird, die Heizflächen sind im Auslegungspunkt auf 38/32 °C dimensioniert. Der Trinkwarmwasserbedarf beträgt 960 l/d<sub>60°C</sub> (Vorerwärmung auf 50 °C mit Wärmepumpe, Rest mit Heizstab). Zum Einsatz kommt eine ausreichend große Solewärmepumpe mit ei-

ner Leistung von 29,9 kW zur Berücksichtigung von Sperrzeiten und der Trinkwassererwärmung. Die Simulation (Bild 3) ergibt eine Sondenlänge von 5 × 89 m = 445 m.

#### Variante 2

Die Heizlast könnte auch in einem Einfamilienhaus auftreten, wobei der Trinkwarmwasserbedarf dann nur 200 l/d<sub>60°C</sub> beträgt. Dann genügt bereits eine Sondenlänge von 4 × 82 m = 328 m.

#### Variante 3

Auch das Wärmeabgabesystem hat einen Einfluss. Nimmt man das Gebäude aus Variante 2, setzt aber für eine Heizkörperheizung eine Auslegungsvorlauftemperatur von 55 °C an, reduziert sich die Sondenlänge durch die schlechtere Jahresarbeitszahl auf 4 × 75 m = 300 m.

Die Kälteleistung der Wärmepumpe betrug in allen drei Varianten 23,1 kW und hätte bei üblicher Berechnung ca. 355 Sondenmeter erfordert. Die Einzelfallprüfung ergab jedoch Sondenlängen zwi-

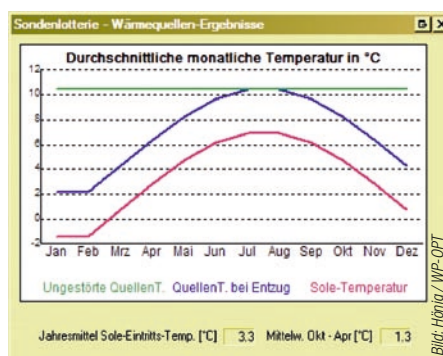


Bild 2 Typischer durchschnittlicher Quellentemperaturverlauf von vertikalen Erdsonden (Simulationsergebnis mit WP-OPT).

<sup>2)</sup> sia D 0136, Grundlage zur Nutzung der untiefen Erdwärme für Heizsysteme, aus der Serie „Planung, Energie und Gebäude“

### Simulationstool für Wärmepumpenplanung



Ist eine preiswertere Luftwärmepumpe statt einer erdgekoppelten Anlage zu empfehlen? Welchen Einfluss haben die Heizstäbe auf die Energiekosten?

Wie tief müssen die Sonden tatsächlich sein und sind unter Berücksichtigung der Bodenverhältnisse die Gesamtkosten günstiger als eine Flachverlegung? Wie wirkt sich das gewählte Speicherkonzept bei der Warmwasserbereitung aus? Oder sollte bei hohen Heizwassertemperaturen doch auf eine Wärmepumpe verzichtet werden? Antworten liefert die Auslegungs- und Simulationssoftware WP-OPT. Warnhinweise bei Planungsfehlern und Reports mit Diagrammen zur Wirtschaftlichkeit bringen Sicherheit und unterstützen bei der Argumentation im Kundengespräch. Auf der Internetseite von WPsoft steht eine Demoversion mit umfangreicher Hilfedatei zur Verfügung.

[www.wp-opt.de](http://www.wp-opt.de)



**Tabelle 1**

**Detaillierte Daten der Simulation mit WP-OPT**

Beschreibung	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Energiekosten inkl. Heizungs- und Solepumpe	Euro/a	1742	1089	1260	1820	2507
davon Wärmepumpe	Euro/a	1591	1053	1224	1707	2174
davon Heizstab für WW	Euro/a	151	36	36	113	333
Anteil Heizung	Euro/a	844	849	1018	992	1501
Anteil Warmwasser	Euro/a	865	207	209	697	875
Anteil sonstige Pumpen	Euro/a	33	33	33	131	131
Laufzeit der Wärmepumpe	h/a	1728	1236	1292	2946	3532
davon für Heizung	h/a	1068	1079	1133	1835	2285
davon für Warmwasser	h/a	660	157	159	1111	1247
Wärmeentzug aus der Quelle	kWh/a	40 756	30 030	28 633	40 959	34 515
davon für Heizung	kWh/a	26 772	26 722	25 336	26 075	21 414
davon für Warmwasser	kWh/a	13 984	3 308	3 297	14 884	13 101
Elektroenergieverbrauch	kWh/a	14 511	9074	10 493	14 229	18 124
davon für Solepumpe	kWh/a	674	482	504	619	742
davon für sonstige Pumpen	kWh/a	278	278	278	1097	1097
Anteil Heizung	kWh/a	6611	6662	8048	7293	10 238
Anteil Warmwasser	kWh/a	5692	1354	1365	5220	6047
Anteil Heizstab WW	kWh/a	1256	298	298	–	–
Jahresarbeitszahl (mit allen Hilfsenergien, Solepumpe und Heizstab)	–	3,82	4,36	3,75	3,74	2,67
Energiebedarf über Gasheizung	kWh/a	–	–	–	1367	4040
davon für Heizung	kWh/a	–	–	–	15	1731
davon für Warmwasser	kWh/a	–	–	–	1352	2309
Länge der Erdwärmesonde	m	445	328	300	440	(204)

schen 300 und 445 m. Es kann also auch vorkommen, dass die pauschal aus der Kälteleistung ermittelte Sondenlänge zu einer Überdimensionierung führt, weil bei höheren Heizwassertemperaturen die Kälteleistung sinkt und sich damit auch der spezifische Wärmeentzug verringert. Die Sondenlänge richtet sich zusätzlich noch nach der Tiefe der einzelnen Bohrungen. Je tiefer die einzelne Sonde ist, desto höher ist die nutzbare Temperatur am Verdampfer.

**Variante 4**

Bei der gleichen Heizlast könnte sich der Bauherr aus Kostengründen auch für eine kleinere Wärme-

pumpe mit 17,3 kW Wärme- und 13,2 kW Kälteleistung entscheiden. Bei sonst gleichen Bedingungen der Variante 1 wären dann eine nur 5 m kürzere Sondenlänge von  $5 \times 88 \text{ m} = 440 \text{ m}$  erforderlich, weil sich die Laufzeit der Wärmepumpe auf 2946 h/a erhöht.

Das Angebot einer unerfahrenen Firma hätte aber durchaus auf  $3 \times 68 \text{ m} = 204 \text{ m}$  lauten können, wenn allein die Kälteleistung und der mögliche spezifische Wärmeentzug (auf der Basis von 1800 h/a) betrachtet worden wären. In diesem Fall kühlt die Erdwärmesonde so stark aus, dass die Vorgaben aus VDI 4650 zu den minimal zulässigen Temperaturen unterschritten werden und

gar keine Simulationsrechnungen mehr möglich sind, weil die Einsatzgrenze der Geräte erreicht wird.

Die Vereisung der Sonde führt nicht nur zu optischen Problemen im Grundstück, sondern auch zu einer zunehmenden Verschlechterung der Arbeitszahl durch Eis mit geringer Wärmeleitfähigkeit. Die Regeneration der Wärmequelle im Sommer ist nicht mehr gewährleistet, bis zum Kollaps schreitet dann die Vereisung von Jahr zu Jahr fort. Das Fatale: So weit kommt es in der Regel nicht – häufig gibt es eine Fehlerkompensation durch schlechten Anlagenbetrieb. Schlechtere Jahresarbeitszahlen durch zu hohe Heizwassertemperaturen entlasten dann die Wärmequelle und belasten die Energiekostenabrechnung.

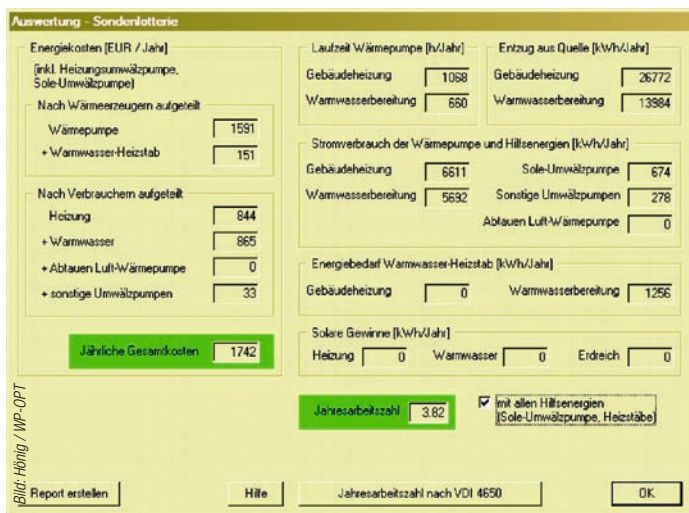
**Variante 5**

Bei einem Betrieb der teilbivalenten Anlage aus Variante 4

mit einer Sondenlänge von  $3 \times 68 \text{ m} = 204 \text{ m}$  bei maximalen Heizwassertemperaturen von  $70 \text{ °C}$  arbeitet man zwar mit schlechten Leistungszahlen, belastet aber die Quelle nicht so stark. Die Gasheizung muss mehr vom Wärmebedarf als bei Variante 4 decken, weil durch kältere Quellen- und höhere Heizwassertemperaturen die thermische Abgabeleistung der Wärmepumpe geringer ist.

Nun sollte es nicht das Ziel des Anlagenerrichters sein, durch die geeignete Kombination von Fehlern eine halbwegs funktionsfähige Anlage zu erhalten, aber zumindest hilft dieser Zusammenhang seriösen Planern bei der Argumentation. Denn die höheren Bohrkosten für eine richtig ausgelegte Erdwärmesonde müssen teilweise gegen die Totschlag-Argumente des Daumen-Schätzers „das haben wir schon immer so gemacht“ oder „nach unseren langjährigen Erfahrungen ist das ausreichend“ gegenüber dem Kunden verteidigt werden.

Hinterfragt werden muss also nicht nur ob, sondern vor allem wie eine Anlage funktioniert. Bei schlechter Jahresarbeitszahl genügen auch kleinere Sondenlängen, aber das ist sicher nicht Ziel des Nutzers. Nicht auf den ersten Blick erkennbar, sind besonders bei bivalenten Anlagen und monoenergetischen Anlagen mit hohem Warmwasserbedarf genaue Berechnungen notwendig. Auch Sonderfälle wie Schwimmbäder oder besonders gute Jahresarbeitszahlen führen zu einem erhöhten Wärmeentzug aus dem Erdreich



*Bild 3 Exemplarisches Simulationsergebnis für Variante 1 (monovalente Wärmepumpe mit besonders hohem Trinkwarmwasserverbrauch).*



Bild 4 Auslegung der Wärmequelle mit Solareinspeisung bzw. Kühlung.

- Verbesserung der Wärmedämmung des Gebäudes: Durch Dämmmaßnahmen kann der Wärmebedarf und damit der Entzug aus dem Erdreich reduziert werden.

### Fazit

Die pauschale Dimensionierung einer Erdwärmesonde nach der Kälteleistungs-Methode ist allenfalls für den Einfamilienhausbereich zur Kostenschätzung geeignet. Wer auf diese Art eine Erdwärmesonde für besondere Fälle dimensioniert, verantwortet entweder zu hohe Investitionskosten, zu hohe Betriebskosten oder setzt gar die Funktion der gesamten Erdwärmesonde aufs Spiel. Auch wenn drei Bohrangebote übereinstimmen sollten – demokratisches Abstimmen über die Sondenlänge garantiert nicht unbedingt eine qualifizierte Auslegung. ■

### Christina Hönig

Dipl.-Phys., WPsoft GbR Dresden, 01189 Dresden,  
Telefon (03 51) 4 24 67 12, info@wp-opt.de, www.wp-opt.de

und müssen dazu entsprechende Sondenlängen zur Verfügung haben. Analog gelten die aufgeführten Verhältnisse auch für flachverlegte Absorber. Auch hier ist ein maximal möglicher Wärmeentzug pro  $m^2$  und Jahr zu beachten.

### Rettingsstrategien

Falls zu kurze Erdwärmesonden installiert worden sind, ist das Nachrüsten der Sonden häufig nicht mehr oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich. Dann sind folgende Rettungsstrategien üblich:

- Entlastung der Wärmepumpe: In vielen Fällen ist dieses Notprogramm in der Wärmepumpe bereits integriert. Eine Soletemperaturüberwachung führt einfach zum Zuschalten eines

Heizstabes bei Unterschreiten der Grenztemperatur. Besser ist es, den Heizstab erst im Störfall manuell zu aktivieren, um eine böse Überraschung beim Öffnen der Stromrechnung zu vermeiden. Jahresarbeitszahlen unter 2,0 sind in diesem Modus leicht möglich. Der Heizstab hängt zudem bei vielen Energieversorgern nach deren Anschlussvorschriften nicht mit am Wärmepumpensondertarif. Kostengünstiger ist es dann in der Regel eine zusätzliche Wärmequelle zu verwenden, die die Laufzeiten der Wärmepumpe reduziert.

- Erdreichregenerierung: Durch passive Kühlung, Kombination mit einer thermischen Solaranlage oder andere Maßnahmen wie Energiezäune kann dem Erdreich zusätzlich Wärme zugeführt werden (Bild 4).



Sie können mit Plakaten und Sprechchören für den Klimaschutz kämpfen.

Oder mit ein paar Mausclicks.

Erfahren Sie alles über eine geniale Idee.

Besuchen Sie uns auf der WOWEX – vom 2. bis 4. April im Messezentrum Köln, Halle B, Stand C-02B.

Ab jetzt können Sie Umweltschutz fest mit einplanen. Denn mit dem dezentralen Pumpensystem Wilo-Geniex fließt die Wärme nur dorthin, wo sie auch wirklich gebraucht wird. Eine intelligente Steuerung ermittelt den Heizbedarf der einzelnen Räume, und dezentrale Miniwärmepumpen versorgen jeden Heizkörper individuell mit Wärme. Das spart Ihren Kunden durchschnittlich 20 % Heizenergie. Und Ihnen jede Menge Stress. Wilo-Geniex stellt sicher, dass alles genau so funktioniert, wie Sie es geplant haben – von ersten Entwurf bis hin zum autonomen hydraulischen Abgleich. Mehr Informationen unter [www.geniex.de](http://www.geniex.de)

