

Sichere Planung und Auslegung Erdwärmesondenanlagen



Während der letzten Jahre erfuhr der Markt mit erdgekoppelten Wärmepumpen durch verbesserte Technik und einen erschwinglichen Preis einen bemerkenswerten Aufschwung. Doch über den technischen und wirtschaftlichen Erfolg entscheidet die richtige Auslegung.

Erdwärmesonden sind die bevorzugte Wärmequelle für erdgekoppelte Wärmepumpen. Es handelt sich dabei um vertikale Erdreichwärmeübertrager (Einfach-U-, Doppel-U-, Koaxial-Sonden, etc.) meist aus Kunststoff in senkrechten Bohrlöchern. Zur guten thermischen Anbindung der Rohre an den Untergrund und zur Abdichtung des Bohrloches wird dieses nach Einbau der Sonde mit einem speziellen Material verfüllt.

Erdwärmesonden werden in Deutschland meist nur bis 100m Tiefe eingesetzt, da darüber hinaus eine Anzeige nach §127 BBergG (Bundesberggesetz) und ggf. ein bergrechtliches Betriebsplanverfahren notwendig sind. Obwohl geothermische Energie grundsätzlich als bergfreier Rohstoff dem BBergG unterliegt, trifft in den meisten Fällen eine Ausnahmeregelung nach §4 BBergG zu, wenn die Wärme auf dem gleichen Grundstück gewonnen und verwendet wird. Dann ist nur eine wasserrechtliche Erlaubnis einzuholen.

Auslegung von Erdwärmesonden entscheidet über Erfolg

Die richtige Auslegung der Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes entscheidet über den technischen und wirtschaftlichen Erfolg. Eine zu knappe Dimensionierung kann zu erheblichen Problemen im Betrieb führen - von überhöhten Betriebskosten bis hin zu Umwelt- und Bauschäden - und kann sogar die Stilllegung erforderlich machen. Die Überdimensionierung der Wärmequellenanlage führt zu hohen Investitionen, die Anlagen werden unwirtschaftlich und behindern die Verbreitung der Technik.

Es ist deshalb von besonderer Bedeutung, bei der Auslegung sorgfältig vorzugehen. Unterdimensionierung führt bei großem Wärmeentzug zu starker Abkühlung des Untergrunds bis hin zur Frostbildung. Dadurch verringert sich die Effizienz der Wärmepumpe und die tieferen Schichten regenerieren sich im Sommer wegen des begrenzten Wärmenachflusses nicht mehr vollständig. Die Fluideintrittstemperatur darf nach VDI 4640 [1] im Dauerbetrieb den Bereich von $\pm 10\text{K}$ relativ zur Temperatur des ungestörten Untergrundes nicht überschreiten, bei Spitzenlast $\pm 15\text{K}$.

Bestimmung der thermischen Untergrundparameter

Allgemein hängt die Auslegung von der Art des Untergrunds ab. Einflussfaktoren sind die thermische Leitfähigkeit, die Feuchte (bei Lockergesteinen) und eventuell ein Grundwasserfluss. Die nötigen Kennwerte werden bei kleinen Anlagen auf der Basis einer Untergrundeinschätzung angenommen (z.B. nach Informationen aus geologischen Karten), bei größeren Anlagen jedoch durch eine Standortuntersuchung bestimmt. Für den wichtigsten Parameter, die Wärmeleitfähigkeit, gibt es inzwischen neben der Berechnung aus lithologischen Angaben oder der Messung im Labor (an möglichst ungestörten Proben aus einer Erkundungsbohrung) das Verfahren der direkten Messung an einer Erdwärmesonde (Thermal Response Test).

Der Vorteil des thermischen Response-Tests ist, dass er an einer fertig eingebauten Erdwärmesonde durchgeführt wird, die später Teil der Anlage sein kann. Es gibt also keine verlorenen Bohrungen.

Weitere Vorteile sind die Messung über die gesamte Bohrlochlänge, die Einbeziehung der Bohrlochverfüllung und die ungestörten Untergrundverhältnisse einschließlich eventuell vorhandenen Grundwasserflusses.

Beim Thermal Response Test werden eine definierte Wärmeleistung an die Erdwärmesonde angelegt (Bild 1) und die sich dabei ergebenden Verläufe der Ein- und Austrittstemperaturen an der Erdwärmesonde aufgezeichnet. Die Entwicklung des Verfahrens ist in [2] beschrieben. Das erste mobile Gerät für diesen Test wurde in Schweden entwickelt und eingesetzt. In Deutschland wird der Thermal Response Test zurzeit von der Landtechnik Weihenstephan der TU München, der Firma

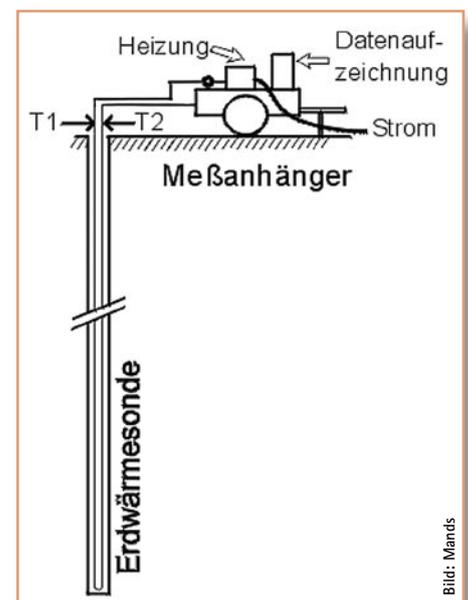


Bild 1 Schema des Thermal Response Tests

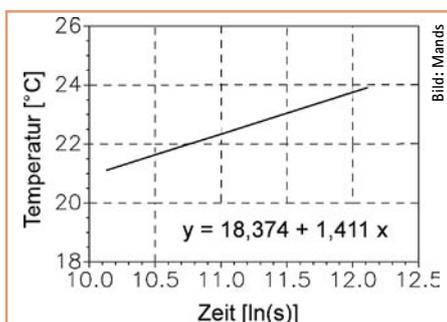
UBeG GbR in Wetzlar und der Aetna Energiesystem GmbH in Wildau ausgeführt.

Die am häufigsten angewendete Methode der Auswertung eines Thermal Response Tests basiert auf der Kelvin'schen Linienquellentheorie. Diese wurde bereits in den 1940er Jahren für die Berechnung erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen verwendet, um die Temperaturentwicklung im Erdreich zeitabhängig zu erfassen. Für die Auswertung nach der Linienquellentheorie ist eine ausreichende Laufzeit des Versuchs erforderlich.

Das Mindestzeit-Kriterium hilft dabei, den passenden Kurvenabschnitt zu ermitteln. Eklöf & Gehlin [3] fanden deutliche Abweichungen bei zu kurzer Messdauer. Grundsätzlich ist die Temperaturkurve auch optisch auf Inkonsistenzen zu prüfen, da die Steigung sehr stark in die Auswertung eingeht. Wenn z.B. Schwankungen von Einspeiseleistung oder Temperaturen im Tagesverlauf festgestellt werden, hilft bei der Auswertung nach der Linienquellentheorie nur eine ausreichend lange Messzeit, um diese Schwankungen auszugleichen. Durch längere Messzeiten können auch Störungen, wie sie z.B. durch Wärmeentwicklung beim Abbinden des Verfüllmaterials entstehen, reduziert werden.

Als Beispiel sei eine Messung aus dem Raum südlich von Frankfurt genannt, die mit dem Gerät der UBeG GbR im Sommer 1999 durchgeführt wurde. Bild 2 zeigt die Regressionsgerade der Fluid-Mitteltemperaturen für eine 50-Stunden-Messung (nur Werte über 6,9 Stunden). Die Parameter der Erdwärmesonde und die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Vor allem durch die mobilen Messgeräte bekommt der Thermal Response Test eine erhebliche Bedeutung für die korrekte Auslegung von Erdwärmesondenanlagen. Er ist nicht nur bei der Dimensionierung größerer Erdwärmesondenanlagen unverzichtbar, es bietet sich auch an, aus einer Vielzahl von Messungen ein Kataster anzulegen. Zudem bietet er die Möglichkeit,



Erdwärmesonden- und Standortdaten	
Erdwärmesondenlänge	H = 99 m
Erdwärmesondentyp	HDPE-Doppel-U
Bohrlochdurchmesser	150 mm
mittl. Erdreichtemperatur	$T_0 = 12,2^\circ\text{C}$
Ergebnisse des Thermal Response Tests	
Messzeit	50,2 Stunden
Wärmeleistung in EWS	Q = 4900 W
therm. Bohrlochwiderst.	$r_b = 0,11 \text{ K}/(\text{W m})$
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_{\text{eff}} = 2,79 \text{ W}/(\text{m K})$

Tabelle 1 Thermal Response Test einer Erdwärmesonde südlich Frankfurt/Main

in Streitfällen die Auslegung von Anlagen zu überprüfen. Ein Thermal Response Test sollte daher bei jeder größeren Anlage durchgeführt werden. Entsprechende Standardverfahren und Richtlinien müssen in den nächsten Jahren erarbeitet werden.

Ist die Auslegung nach spezifischer Entzugsleistung möglich?

Seit Beginn des Einsatzes von Erdwärmesonden in Europa (um 1980) wird die Frage nach der möglichen „Sondenleistung“ oder „Entzugsleistung“ gestellt. Dabei wird angenommen, dass eine Erdwärmesonde eine bestimmte Wärmeleistung zu erbringen in der Lage ist, beispielsweise analog zu einem Öl- oder Gasbrenner. Der Charme einer solchen Betrachtung liegt darin, dass mit geringem Aufwand die Bestimmung der notwendigen Erdwärmesondenlänge aus der Verdampferleistung der Wärmepumpe und der spezifischen Entzugsleistung möglich ist. Die Verdampferleistung ergibt sich im einfachsten Fall aus dem Heizleistungsbedarf und der erwarteten Wärmepumpen-Arbeitszahl.

Schon bald wurde erkannt, dass ein wesentlicher Faktor für die Größe der Entzugsleistung in der Ausbildung des Untergrunds liegt und je nach Standortbedingungen erhebliche Unterschiede bestehen. Nach heutiger Kenntnis ist dabei die Wärmeleitfähigkeit entscheidend, bei bestimmten Untergrundbedingungen, z.B. lockeren Sanden und Kiesen auch der Grundwasserfluss (genauer die fließende Grundwassermenge pro Zeiteinheit, die durch die Darcy-Geschwindigkeit angegeben wird). Aus der Erfahrung wurden dann spezifische Entzugsleistungen angegeben, die von etwa 30 bis 80 W/m schwankten, im Extremfall bis zu 120 W/m. Es ging soweit, dass in Ausschreibungen „Erdsonden mit einer Leistung von 120 W/m“ gefordert wurden.

Vor allem die Betriebsdauer, die sich in einer jährlich entzogenen Wärmemenge in kWh/(ma) äußert, ist zu beachten. Hierbei spielt sowohl die Art der Anlage (z.B. bivalent, Erdwärme in der Grundlast) als auch das Standortklima eine Rolle [4]. Während die spezifische Entzugsleistung entscheidend für den Betrieb der Anlage während eines Einschaltzyklus ist, ist die entzogene Wärmemenge für den langfristigen Betrieb entscheidend. Nur bei richtiger Auslegung nach diesem Parameter handelt es sich bei der Erdwärmesonde tatsächlich um die Nutzung „erneuerbarer“ Energie.

In Bild 3 ist exemplarisch die Abhängigkeit der spezifischen Entzugsleistung von der Anzahl der Jahresvolllaststunden dargestellt. Für ein Gebäude mit 10 kW Wärmebedarf und einer Wärmepumpen-Arbeitszahl $\beta = 3,5$ wurden die möglichen spezifischen Entzugsleistungen mit dem Programm EED [6] berechnet. Dabei wurde eine mittlere Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds von $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{mK})$ angenommen und kein Grundwasserfluss berücksichtigt. Für den typischen Wohnhausfall mit etwa

Bild 2 Regressionsgerade der Fluid-Mitteltemperatur eines Thermal Response Tests südlich Frankfurt/Main

1800 Jahresvolllaststunden ergibt sich eine mögliche spezifische Entzugsleistung von 42,6 W/m bei zwei Erdwärmesonden.

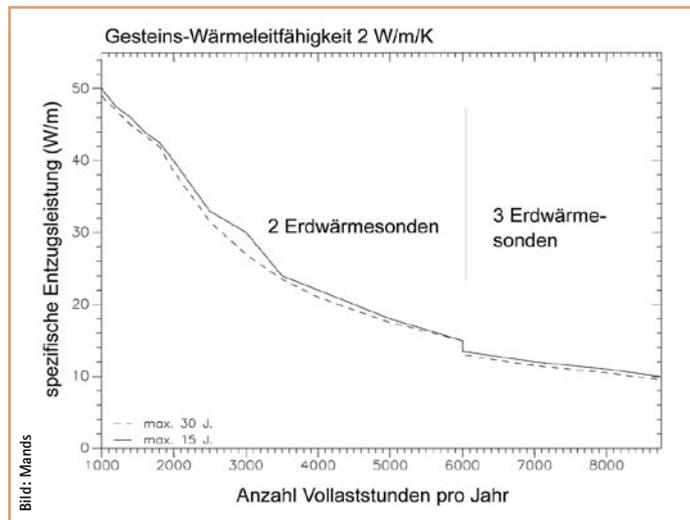
Bivalente Anlagen (die allerdings heute erst ab rund 100 kW geplant werden) können 3000 bis 5000 Jahresvolllaststunden aufweisen, da die Erdwärme in der Grundlast verwendet wird. Damit sinken die möglichen Entzugsleistungen auf unter 20 W/m. Für Werte von mehr als etwa 6000 Jahresvolllaststunden musste mit drei Erdwärmesonden weitergerechnet werden, da für das 10-kW-Gebäude sonst mehr als 200 m tiefe Erdwärmesonden erforderlich wären. Bei Dauerbetrieb sind noch knapp 10 W/m zu entziehen; dies entspricht dann der dauernd von allen Seiten (Oberfläche, umgebendes Gestein, geothermischer Wärmefluss) zuströmenden Wärmemenge bei einem Gradienten von ca. 15 K zwischen dem Fluid in der Erdwärmesonde und dem ungestörten Erdreich.

Die gegenseitige Beeinflussung von Erdwärmesonden ist nicht zu unterschätzen. Sie macht im reinen Heizbetrieb eine deutliche Vergrößerung der Erdwärmesondenlängen erforderlich, kann andererseits aber auch in Erdwärmesondenspeichern, z. B. in Neckarsulm-Amorbach [5] vorteilhaft ausgenutzt werden. In Bild 4 ist ein Beispiel für 60 Wohnhäuser mit jeweils einer individuellen erdgekoppelten Wärmepumpe dargestellt (berechnet mit EED).

Als Fazit aus dem Vorgesagten lässt sich schließen, dass die spezifische Entzugsleistung nur für einfach gelagerte Fälle ein Auslegungskriterium sein kann. VDI 4640-2 „Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen“, trägt dem durch folgende Begrenzungen Rechnung:

- maximal 1800 bzw. 2400 Jahresbetriebsstunden
- nur Wärmeentzug (Heizung einschließlich Warmwasser)

Bild 3 Abhängigkeit der spezifischen Entzugsleistung von der Anzahl der Jahresvolllaststunden. Berechnet für ein Gebäude mit 10 kW Wärmebedarf und einer Wärmepumpen-Arbeitszahl $\beta = 3,5$, bei einer mittleren Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes von $\lambda = 2,0 \text{ W/(m K)}$, ohne Grundwasserfluss



- Länge der einzelnen Erdwärmesonden zwischen 40 und 100 m
- kleinster Abstand zwischen zwei Erdwärmesonden: mindestens 5 m bei Erdwärmesondenlängen 40 bis 50 m und mindestens 6 m bei Erdwärmesondenlängen 50 bis 100 m
- Als Erdwärmesonden kommen Doppel-U-Sonden mit Durchmesser der Einzelrohre von 25 oder 32 mm oder Koaxialsonden mit mindestens 60 mm Durchmesser zum Einsatz.

Mit der fortschreitenden Bearbeitung der thermischen Eigenschaften des Untergrundes sind Angaben über die Wärmeleitfähigkeit leichter zu erhalten. So kann ein Thermal Response Test am Standort Aufschluss geben oder Werte können aus Unterlagen herausgelesen werden, wie sie beispielhaft für das Schweizer Molassebecken existieren und für Deutschland z. B. in Nordrhein-Westfalen erarbeitet werden. Abhängig von der Wärmeleitfähigkeit lassen sich so sehr viel genauere Angaben zur Erdwärmesondenauslegung machen.

Mit dem Computerprogramm EED zur Erdwärmesondenauslegung [6], das die Entwicklung der Fluidtemperaturen über eine Reihe von Jahren berechnet, kann die notwendige Erdwärmesondenlänge

und damit umgekehrt auch die spezifische Entzugsleistung berechnet werden. Dies ist für ein Gebäude, das in die Begrenzung nach VDI 4640 fällt, exemplarisch durchgeführt worden und in Bild 5 dargestellt.

Das Konzept der Auslegung mit Hilfe einer spezifischen Entzugsleistung ist also für kleine Anlagen ohne gegenseitige Beeinflussung tragfähig und vor allem einfach und schnell. Für größere Anlagen, eine größere Anzahl von Anlagen in einem begrenzten Gebiet und für alle Anlagen zum Heizen und Kühlen ist eine genaue Berechnung zu empfehlen.

Erdwärmesonden für Einfamilienhäuser

Bis zu einer Heizleistung von ca. 30 kW schlägt VDI 4640 Tabellenwerte, Nomogramme oder empirische Zusammenhänge vor; für die Anwendung dieser Methoden müssen jeweils bestimmte Voraussetzungen gegeben sein. Darüber hinaus gibt es Auslegungs- und Simulationsprogramme, die für kleinere aber auch größere Systeme verwendet werden können.

Im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energiewirtschaft wurde für Kleinanlagen mit einer oder zwei Erdwärmesonden ein Nomogramm entwickelt, das zwar für die Verhältnisse in der Schweiz zugeschnitten ist, aber auch gute Anhaltswerte für Deutschland und Österreich gibt. Das Nomogramm (Bild 6) beruht auf Simulationsrechnungen, wurde allerdings nicht durch Feldmessungen validiert.

Ausgehend von dem Heizenergiebedarf wird die Heizleistung ermittelt. Unter Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse in unterschiedlichen Höhenlagen erhält man daraus den Nomogramm-Eingangswert a , der nach Gl. 1 errechnet wird. Über die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes ergibt sich dann die benötigte Sondenlänge bei ein oder zwei Erdwärmesonden.

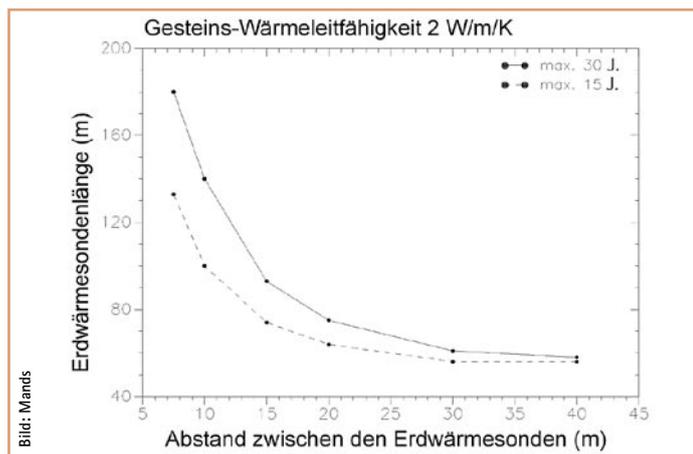


Bild 4 Einfluss des Abstands zwischen den Erdwärmesonden auf die benötigte Erdwärmesondenlänge, berechnet für ein Feld mit 60 Häusern von je 7 kW Wärmebedarf und 2 Erdwärmesonden pro Haus. Kein Grundwasserfluss, keine künstliche Wiederverwärmung; berechnet für einen Zeitraum von 15 bzw. 30 Jahren

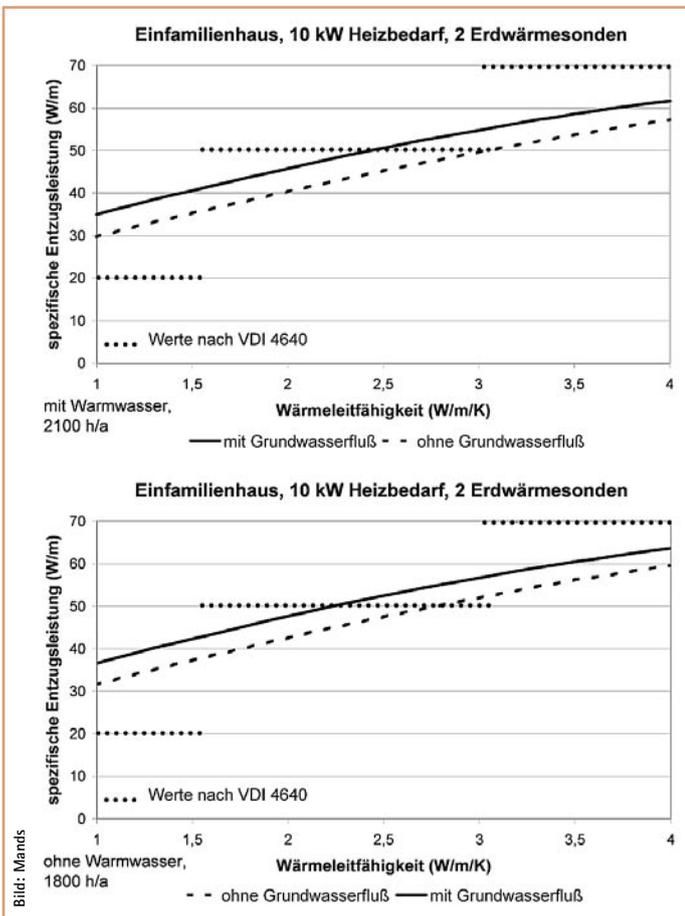


Bild 5 Mögliche Entzugsleistungen für ein Wohnhaus mit 10kW Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds, mit Warmwasserbereitung durch die Wärmepumpe (oben) bzw. ohne Warmwasserbereitung (unten)

und des Bohrloches eine analytische Lösung verwenden und für das Gestein auf eine Berechnung unter Einbeziehung der g-Funktionen zurückgreifen. Diese Programme (TFSING, TFMULT und TFSTEP) berechnen die Temperaturen im Wärmeträgermedium bei einem bestimmten Wärmeentzug in W/m nach gegebenen Zeiträumen (Tage, Monate). Bei TFSTEP kann der Wärmeentzug in 12 Schritten (z.B. Monate) verändert werden.

Aufbauend auf TFSTEP bzw. den g-Funktionen wurden mehrere weiterführende Programme entwickelt, so GLHPRO in den USA und EED (Earth Energy Designer) in Europa. Ebenso gibt es in Nordamerika einige Programme, die andere Methoden, z.B. die Linienquellentheorie, nutzen. Ein

$$a = \frac{Q_{Ha}}{Q_{Ha} / \beta_a - Q_{pa}} \quad [Gl. 1]$$

- a: Nomogramm-Eingangswert
- Q_{Ha} : Jahresheizenergiebedarf in kWh/a
- β_a : Jahresarbeitszahl
- Q_{pa} : jährlicher Energiebedarf der Nebenverbraucher (Umwälzpumpe) in kWh/a

Grundsätzlich ist bei Auslegung nach Tabellen, Faustformeln etc. zusätzlich zur spezifischen Entzugsleistung bei längeren Laufzeiten die jährlich entnommene Wärmemenge zu berücksichtigen, die den langfristigen Einfluss festlegt. Diese jährliche Entzugsarbeit soll bei reinem Wärmeentzug im Bereich 100 bis 150 kWh/(m a) liegen. Ist eine Wärmeleitung vorgesehen (Nachladung), sind Abweichungen davon zugelassen.

Auslegung größerer Erdwärmesondenanlagen

Für die Auslegung größerer Anlagen, aber auch für eine genauere Berechnung kleinerer Anlagen stehen inzwischen verschiedene EDV-Programme zur Verfügung. Erste einfache Programme wurden möglich, nachdem aus einer Vielzahl von Berechnungen mit numerischer Simulation Zusammenhänge für das thermische Verhalten des Untergrunds bei verschiedenen Erdwärmesondenanordnungen, die so genannten g-Funktionen, abgeleitet wurden.

Bild 6 Nomogramm zur Auslegung von Erdwärmesonden

- Gültigkeitsgrenzen
- Heizenergiebedarf: 4 bis 16 MWh/a
- Heizleistung: 3 bis 8 MW/h/a
- Höhenlage: 200 bis 1400 m
- Wärmeleitfähigkeit: 1,2 bis 4,0 W/(m K)
- Sondenlänge bei einer Sonde: 60 bis 160 m
- Sondenlänge bei zwei Sonden: 60 bis 100 m
- Nomogramm-Eingangswert: 3,8 bis 4,6

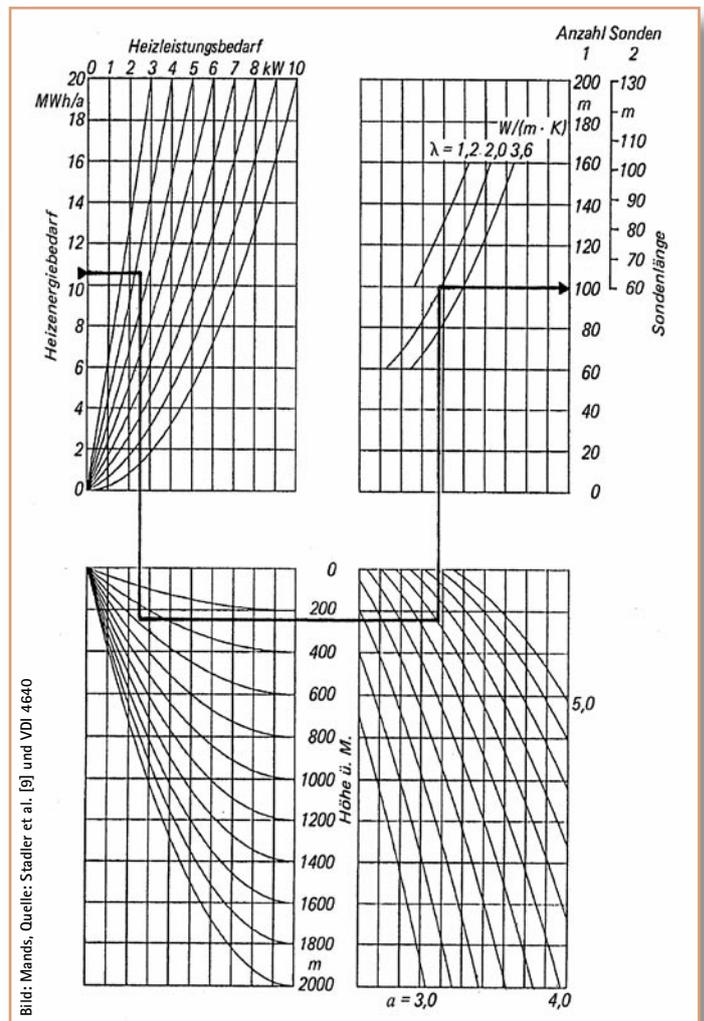


Bild: Mands, Quelle: Stadler et al. [8] und VDI 4640

Diese hängen vom Abstand der Bohrungen an der Erdoberfläche und der Bohrlochtiefe ab; für den Fall geneigter Bohrlöcher kommt der Neigungswinkel dazu.

Auf der Grundlage der g-Funktionen wurden mehrere PC-Programme entwickelt, die für den Bereich der Erdwärmesonde

Vergleich mehrerer PC-Programme wurde in [8] durchgeführt. Allgemein kann gesagt werden, dass die auf der g-Funktions-Methode basierenden Programme recht genau die Temperaturverläufe im Wärmeträgermedium vorhersagen, einige andere Programme aber auch größere Abweichungen zeigen.

Für sehr umfangreiche Aufgaben mit genauer Berechnung der Temperaturverteilung im Untergrund muss auf numerische Simulation zurückgegriffen werden, sei es für den rein konduktiven Wärmetransport oder für die gekoppelte Berechnung des konduktiven (Gestein) und konvektiven (Grundwasser) Wärmetransports.

Auslegungsbeispiel und Ergebnisvergleich

Anhand eines Beispiels soll die Auslegung mit den beschriebenen Verfahren gezeigt werden. Als Fallbeispiel wurde ein Einfamilienhaus mit den Spezifikationen nach Tabelle 2 gewählt:

Fallbeispiel Einfamilienhaus	
Wärmebedarf nach DIN 4701	$Q_H = 12 \text{ kW}$
Volllaststunden	$t_a = 1500 \text{ h/a}$
Heizungsvorlauftemperatur	$t_{VL} = 30 \text{ bis } 35^\circ\text{C}$
Jahresarbeitszahl	$\beta_a = 3,5$
Entzugsleistung	$Q_{EWS} = 8,6 \text{ kW}$
	$Q_{EWS} = Q_H \cdot \frac{\beta_a - 1}{\beta_a}$
Untergrund	mittlerer Buntsandstein
Wärmeleitfähigkeit von Sandstein	$\lambda = 2,3 \text{ W/(mK)}$

Tabelle 2 Spezifikationen für Vergleich von vier Auslegungsmethoden

Fall 1

Berechnung nach Tabelle VDI 4640-2, Allgemeine Richtwerte: Normaler Festgesteins-Untergrund ($1,5 \text{ W/(mK)} < (< 3,0 \text{ W/(mK)})$ mit $Q_{EWS} = 50 \text{ W/m}$ ergibt für $\beta_a = 3,5$ je 1 kW Heizleistung 14 m Sonde. Es müssen zwei Sonden zu je 84 m installiert werden.

Fall 2

Berechnung nach Tabelle VDI 4640-2, Einzelne Gesteine: Spezifische Entzugsleistung Sandstein $Q_{EWS} = 55 \text{ bis } 65 \text{ W/m}$, für $\beta_a = 3,5$ ergeben sich $11 \text{ bis } 13 \text{ m}$ pro 1 kW Heizleistung. Es müssen zwei Sonden zu je $66 \text{ bis } 78 \text{ m}$ installiert werden.

Fall 3

Nomogramm Bild 6: Der Jahresheizenergiebedarf beträgt $Q_{Ha} = 18 \text{ MWh/a}$. Die Zusatzenergie Q_{pa} liegt mit 400 W für die Nebenverbraucher bei $Q_{pa} = 0,6 \text{ MWh/a}$. Heizleistung und Heizenergie liegen knapp außerhalb des zulässigen Bereichs des Nomogramms. Deshalb erfolgt die Auslegung für eine „halbe“

Anlage (6 kW Heizleistung, 9000 kWh Heizenergie mit $a = 3,96$). Es müssen zwei Sonden zu je 65 m installiert werden.

Fall 4

Auslegung mit EED: Für die Auslegung mit dem Programm EED muss man über die zu Beginn des Kapitels aufgeführten Randbedingungen hinaus weitere Annahmen treffen. Das Programm berücksichtigt neben der zeitlichen Lastverteilung (Grund- und Spitzenlast) auch die minimal zulässigen Temperaturen des Wärmeträgermediums. Entsprechend den Vorgaben der VDI 4640 wurde eine mittlere Temperatur nicht unter $+1^\circ\text{C}$ im Dauerbetrieb und -5°C bei Spitzenlast eingesetzt. Weiterhin werden in EED genauere Angaben zum Bohrlochdurchmesser (115 mm) und Bohrlochabstand (6 m), sowie zum verwendeten Rohr und Verfüllmaterial berücksichtigt. Bei Verwendung der Lösungsoption „Required Borehole Length“ ergibt sich mit EED eine Erdwärmesondenlänge von $2 \times 88 \text{ m}$.

Aufgrund des ausführlicheren Berechnungsverfahrens ist das Ergebnis mit EED am genauesten. Bei Verwendung der vereinfachten Verfahren ergeben sich Abweichungen von dem mit EED erzielten Ergebnis bis etwa 25% . Unterschiede durch Veränderungen der Sondenkonstruktion wie z.B. Bohrlochdurchmesser, Rohrabstand und Verfüllmaterial in einem sinnvollen Bereich liegen unter 10% und damit wesentlich niedriger als die Schwankungsbreite der einzelnen Berechnungsverfahren. Es ist damit anzuraten, auch bereits bei kleineren Anlagen genauere Auslegungsverfahren einzusetzen. Bei größeren Systemen ist dieses unabdingbare Voraussetzung. Eventuell ist sogar auf eine detaillierte Systemsimulation zurückzugreifen, um die gegenseitige Beeinflussung von Anlagenkomponenten zu berücksichtigen.

Die Diskussion über Erdwärmesonden-auslegung wurde in der Vergangenheit stark durch unterschiedliche Annahmen zu möglichen Entzugsleistungen geprägt. Häufig genannte Werte waren 55 W/m (Schweizer Mittelland) bis hin zu Spitzenwerten über 100 W/m . Diese Werte sind stark von der geologischen Situation der jeweiligen Region abhängig und lassen sich nicht ungeprüft auf andere Klima- und Untergrundbedingungen übertragen. Da die Auslegung der Wärmequellanlage aber einen erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit erdgekoppelter Wärmepumpen zur Gebäudeheizung hat, ist in allen Fällen eine möglichst gute

Kenntnis des Untergrunds und seiner thermischen Eigenschaften eine wichtige Voraussetzung für die Anlagenauslegung. Nur solche Systeme sind über lange Zeiträume funktionstüchtig und in ihrer Anschaffung und im Betrieb wirtschaftlich und umweltfreundlich. ←

Literatur

- [1] VDI 4640-2 Thermische Nutzung des Untergrundes – Teil 2: Erdgekoppelte Wärmepumpen. Hg. VDI-Gesellschaft Energietechnik. Berlin: Beuth, September 2001
- [2] Sanner, B.; Reuß, M. & Mands, E. (1999): Thermal Response Test – eine Methode zur in-situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden. Geeste: Geothermische Energie 24/25 S. 29–33
- [3] Eklöf, C. & Gehlin, S. (1996): TED – a mobile equipment for thermal response test. Master's thesis 1996: 198E. Luleå University of Technology
- [4] Eugster, W., Seifert, P.K., Hopkirk, R.J. & Rybach, L.: Einfluß von Klima und Standort auf das Betriebsverhalten von Erdwärmesonden-Heizanlagen. – Tagungsband 2. Geothermische Fachtagung Erding 1992. Forum für Zukunftsenergien/GtV S. 335–344, Bonn/Neubrandenburg
- [5] Seiwald, H. & Hahne, E. (1998): Das solar unterstützte Nahwärmerversorgungssystem mit Erdwärmesonden-Speicher in Neckarsulm. – Proc. 11. Int. Sonnenforum Köln, DGS, S. 560–567, München 1998
- [6] Hellström, G. & Sanner, B.: PC-Programm zur Auslegung von Erdwärmesonden. – Ber. Symp. Erdgek. Wärmepumpen 1994, Ber. IZW 1/94, S. 341–350, Karlsruhe 1994
- [8] Shonder, J.A., Baxter, V., Thornton, J., & Hughes, P.J.: A new comparison of vertical ground heat exchanger design methods for residential applications. – ASHRAE 1999 Annual meeting, Seattle WA, SE-99-20-01, Atlanta 1999
- [9] Stadler, T.; Hopkirk, R.J. & Hess, K.: Auswirkungen von Klima, Bodentyp, Standorthöhe auf die Dimensionierung von Erdwärmesonden in der Schweiz. – Schlußbericht ET-FOER(93)033, BEW, Bern 1995



Dipl.-Geol.
Dr. rer. nat. Erich Mands,
UBeG, Umwelt Baugrund
Geothermie Geotechnik,
35580 Wetzlar,
Telefon (0 64 41)
21 29 10, E-Mail:
e.mands@ubeg.de,
www.ubeg.de