

Wirtschaftliche Aspekte beim Einsatz von Geothermal-Response-Tests

Marc Sauer, Erich Mands, Burkhard Sanner & Edgar Grundmann

Keywords: Erdwärmesonden, Geothermal-Response-Test, Wirtschaftlichkeit

Zusammenfassung

Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes mittels Geothermal-Response-Test (GeRT) gehört mittlerweile zu den Standarderkundungsmaßnahmen bei der Bemessung von großen und mittelgroßen Erdwärmesondenfeldern. Neben den technischen Aspekten des GeRT sind für kommerzielle Projekte selbstverständlich die wirtschaftlichen Gesichtspunkte einer exakten Bestimmung der Untergrundwärmeleitfähigkeit von vorrangigem Interesse.

Liegen zur Bemessung eines Erdwärmesondenfeldes keine gemessenen thermischen Untergrundparameter vor, werden diese entsprechend der zu erwartenden lokalen lithologischen Gegebenheiten abgeschätzt. Der tatsächliche Wert wird meist von dem geschätzten Wert abweichen, so dass die aufgrund von Schätzwerten berechnete Feldgröße dann über- oder unterdimensioniert ist.

Die Entscheidung, ob die zusätzlichen Kosten für die Ausführung eines GeRT aufgewendet werden oder nicht, kann anhand einer „Worst-/Best-Case Betrachtung“ getroffen werden. Dabei wird zur Vor-Auslegung eine plausible mittlere Wärmeleitfähigkeit eingesetzt. Ausgehend von dem so bemessenen Sondenfeld werden die möglichen Folgen einer Unterdimensionierung (höhere Verbrauchskosten) und Überdimensionierung (höhere Investitionskosten als notwendig) bei einer tatsächlich geringeren bzw. höheren Wärmeleitfähigkeit betrachtet.

Es zeigt sich, dass durch die genaue Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit schon bei kleineren Projekten mit weniger als 50 kW Heiz- oder Kühlleistung Einsparungen (durch Verringerung der Sondenanzahl oder Vermeidung von Mehrverbrauchskosten) möglich sind, die höher ausfallen als die Kosten für die Ausführung eines Geothermal-Response-Tests.

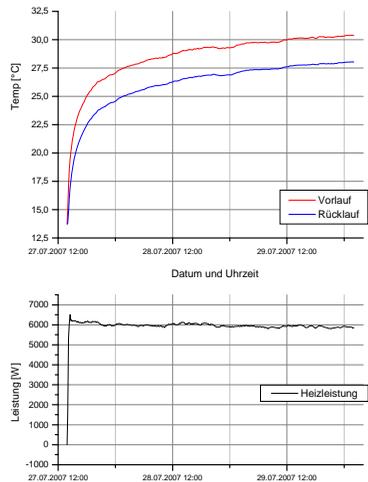
1. Einleitung

Der maßgebende Untergrundparameter zur Auslegung einer Erdwärmesondenanlage ist die Wärmeleitfähigkeit des Gebirges. Die genaue Kenntnis der Untergrundwärmeleitfähigkeit ermöglicht eine optimale Auslegung der Anlage.

Der Geothermal-Response-Test stellt eine mittlerweile etablierte Methode zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes dar (SANNER et al., 1999; SANNER et al., 2005). Dabei wird das Testgerät hydraulisch mit einer Erdwärmesonde verbunden. In dem geschlossenen Kreislauf zirkuliert Wasser, welches mit einer definierten Wärmeleistung beaufschlagt wird. Diese Wärme wird über die Erdwärmesonde an das Gebirge abgegeben. Die Ein- und Austrittstemperaturen werden aufgezeichnet. Anhand des Verlaufs der Temperaturkurven kann z.B. mit Hilfe der Kelvin'schen Linienquellentheorie die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes als Mittelwert über die Sondenlänge berechnet werden.



Abbildung 1: Geothermal-Response-Testgerät im Gelände und aufgezeichnete Temperaturen sowie abgegebene Heizleistung



Liegt zur Bemessung eines Erdwärmesondenfeldes kein Messwert vor, wird die Wärmeleitfähigkeit üblicherweise anhand von Erfahrungswerten entsprechend der zu erwartenden Lithologie abgeschätzt. Aufgrund des erforderlichen Sicherheitszuschlags führt diese Vorgehensweise oftmals zur Überdimensionierung von Erdwärmesondenfeldern. Aufgrund einer falschen Parameterabschätzung kann die Anlage jedoch ebenso unterdimensioniert werden, was günstigstenfalls zu einer schlechteren Effizienz der Anlage führt und im Extremfall zu einem Komplettausfall bzw. Folgeschäden führen kann.

Die Investitionskosten von Erdwärmesondenanlagen sind i.d.R. deutlich höher als die konventioneller Systeme. Die Amortisation ergibt sich erst durch die Einsparungen in den verbrauchsgebundenen Kosten. Die Vermeidung von Überdimensionierung senkt die Investitionskosten und führt damit zu einer kürzeren Amortisationszeit.

Die Kosten für die Ausführung eines Geothermal-Response-Tests belaufen sich heute incl. Anfahrt auf durchschnittlich etwa 3.500 bis 4.000 Euro (incl. MwSt.). Im Einfamilienhausbereich wird fast immer auf die Ausführung eines GeRT verzichtet. Die aufgrund der genauen Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit mögliche Einsparung (Investitionskosten oder Verbrauchskosten) stehen hier in keinem vertretbaren Verhältnis zu den Kosten eines solchen Tests.

Ob der Einsatz eines Geothermal-Response-Tests wirtschaftlich sinnvoll ist, kann anhand einer im Vorfeld ausgeführten Parameterstudie ermittelt werden. Dabei wird zunächst ein Wärmeleitfähigkeitswert geschätzt und die Feldgröße entsprechend VDI 4640 oder durch EED-Berechnung ermittelt. Ausgehend von dem so bemessenen Sondenfeld werden die Auswirkungen einer Über- oder Unterdimensionierung durch Variation der Wärmeleitfähigkeit innerhalb realistischer Grenzen bei sonst gleich bleibenden Randbedingungen (insbesondere Anzahl und Tiefe der Erdwärmesonden) abgeschätzt.

Die Investitionskosten der Anlage sind gegenüber einer korrekten Auslegung bei einer Unterdimensionierung zwar geringer, jedoch sinken die Temperaturen der Wärmequelle (Sole in den Erdwärmesonden) im Betrieb zu schnell und zu stark ab. Dadurch verschlechtert sich die Effizienz der Wärmepumpe und die Arbeitszahl verringert sich, da weniger Wärmeenergie

aus dem Untergrund entzogen werden kann. Um die erforderliche Heizarbeit zu verrichten, muss daher mehr Antriebsenergie aufgewendet werden und der Stromverbrauch steigt.

Bei Überdimensionierung der Anlage liegt das Einsparpotential in einer möglichen Verkleinerung des Sondenfeldes durch Vermeidung nunmehr unnötiger Sicherheitszuschläge.

Umgekehrt würde eine Überdimensionierung eine etwas höhere Wärmequellentemperatur bedeuten. Da sich jedoch die Fluidtemperaturen immer nur als Differenz zur ungestörten Erdreichtemperatur einstellen können, wird der Effekt einer Überdimensionierung immer kleiner, je näher man dieser ungestörten Erdreichtemperatur kommt. In Abb. 2 ist ein Beispiel dargestellt; für eine Wärmepumpe mit 40 kW Heizleistung und 2100 Vollaststunden im Jahr wurden dazu die resultierenden Soletemperaturen bei Grund- und Spitzenlast für verschiedene Gesamtsondenlängen berechnet. Es wurde dabei von gleich langen Einzelsonden ausgegangen, um den Einfluss des geothermischen Gradienten bei unterschiedlichen Sondenlängen vernachlässigen zu können. Zur Berechnung eingesetzt wurde die Software EED (Earth Energy Designer) (Hellström et al., 1994).

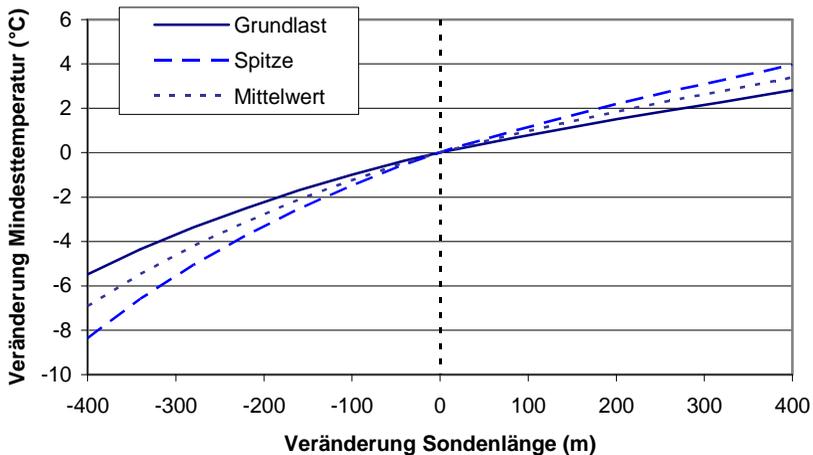


Abbildung 2: Änderung der Soletemperaturen bei Grundlast und Spitzenlast aufgrund von Unter- oder Überdimensionierung, gegenüber der Temperatur bei korrekter Auslegung

Auch die Jahresarbeitszahl (JAZ) lässt sich nicht beliebig steigern, und der Einspareffekt wächst bei höherer JAZ nicht linear mit (eine doppelte JAZ bedeutet nicht doppelte Einsparung). Im Ergebnis bedeutet dies eine bei größerer Anlagenauslegung immer geringer steigende Einsparung in der Stromaufnahme und damit in den Betriebskosten. In Abb. 3 ist dieser Effekt auf Basis der für Abb. 2 berechneten Erdwärmesondenanlage dargestellt. Dabei wurde die Mitteltemperatur zwischen den Temperaturkurven für Grund- und Spitzenlast herangezogen (als typische Verdampfertemperatur während des Wärmepumpen-Laufzeit) und anhand einer realen Leistungszahl-Kurve für eine Wärmepumpe mit 40 kW Nenn-Heizleistung (bei 0/35) die resultierende Stromaufnahme in kW errechnet (in der Annahme, dass bei einer unter 40 kW absinkenden Heizleistung der Wärmepumpe eine entsprechend längere

Betriebszeit nötig wird; genau genommen ist also dargestellt, wie viel kWh Strom die Wärmepumpe für je 40 kWh Heizarbeit benötigt). Da sich somit der Einspareffekt mit steigender Überdimensionierung immer weiter verringert, werden eingesparte Stromkosten bei Überdimensionierung (Kap. 3) in dieser Untersuchung nicht weiter berücksichtigt.

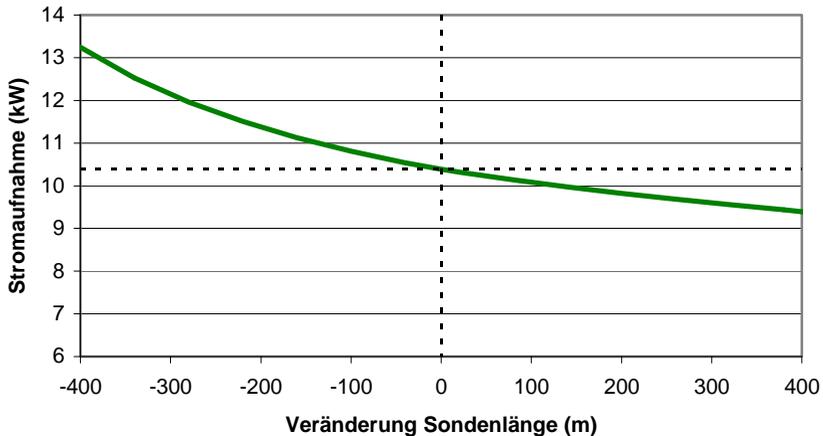


Abbildung 3: Veränderung der Stromaufnahme bei Unter- oder Überdimensionierung, für den Fall der Abb. 2 berechnet (40 kW Heizleistung); die Stromaufnahme bei korrekter Sondenlänge (1000 m) beträgt 10,4 kW, bei 200 m Defizit wären bereits 11,5 kW (1,1 kW mehr) nötig, bei 200 m Überdimensionierung 9,8 kW (d.h. nur 0,6 kW weniger)

2. Unterdimensionierung

Um die Effekte einer Unterdimensionierung quantifizieren zu können, werden für ein Beispielobjekt unter Variation der Wärmeleitfähigkeit die resultierenden Jahresarbeitszahlen ermittelt und die sich dabei ergebenden Verbrauchskosten (Stromkosten) dargestellt.

2.1 Methodik

Das Zusammenspiel zwischen Klima, Gebäude, Wärmepumpe und Untergrund ist ein äußerst dynamisches System. Die momentane Leistungszahl einer Wärmepumpe ist immer auf ein bestimmtes Temperaturniveau auf Verdampfer- und Verflüssigerseite bezogen und hängt somit stark von der Wärmequellentemperatur (Soletemperatur in den Erdwärmesonden) ab. Diese wiederum ändert sich fortwährend mit dem Anlagenbetrieb (und auch wenn die Anlage nicht in Betrieb ist). Als Charakteristikum eines kompletten Systems hat sich daher die Jahresarbeitszahl (JAZ) etabliert. Diese ist ein statistischer Wert und drückt das Summenverhältnis von abgegebener Wärmeenergie zu aufgenommener Antriebsenergie über einen einjährigen Betrachtungszeitraum aus.

Um einen Vergleich der Verbrauchskosten bei korrekter Auslegung mit denen bei Unterdimensionierung zu ermöglichen, wird für ein bestimmtes Anforderungsprofil an die Wärmepumpe und für angenommene thermische Untergrundparameter eine

Sondenfeldkonfiguration berechnet. Zum Einsatz kam wieder der „Earth Energy Designer“ (EED). Das Programm berechnet aus den vorgegebenen Last- und Untergrunddaten die resultierenden Fluidtemperaturen (s. Abb. 4) für eine bestimmte Sondenfeldkonfiguration. Auf iterativem Weg lässt sich so eine günstige Konfiguration finden, bei der im langjährigen Betrieb die Fluidtemperaturen bestimmte Temperaturgrenzen (s. VDI 4640, Bl. 2) einhalten.

Ein wichtiger Parameter ist dabei die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Hierdurch wird definiert, wie hoch der Anteil aus der Erde gewonnener Energie ist. Wird nun eine Anlage unterdimensioniert (d.h. die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit ist niedriger als die für die Auslegung angesetzte), so sinken die Fluidtemperaturen tiefer ab, und die Wärmepumpe muss wegen der dann niedrigeren JAZ mehr Strom einsetzen, um die geforderte Heizarbeit zu verrichten. Um diese Verringerung abschätzen zu können, wird zunächst der Temperaturverlauf bei einer geschätzten Wärmeleitfähigkeit und einer vorgegebenen Arbeitszahl berechnet. Anschließend wird die Wärmeleitfähigkeit reduziert, dabei sinken die berechneten Fluidtemperaturen in einen Bereich ab, der nicht mehr VDI 4640 konform ist. Die Arbeitszahl wird dann schrittweise reduziert, bis die Fluidtemperaturen wieder annähernd das Auslegungsniveau erreicht haben. Über die Differenz der Arbeitszahlen kann der resultierende Mehrstromverbrauch ermittelt werden.

2.2 Beispiel

Für die nachfolgend aufgeführten Grunddaten wird eine günstige Sondenfeldkonfiguration gesucht:

Heizleistung:	50	kW
Volllaststunden:	2.100	h/a
Jahresheizarbeit:	105	MWh/a
Lithologie	Tonstein	
geschätzte Wärmeleitfähigkeit	2,2	W/(m x K)
Arbeitszahl der Wärmepumpe	4,0	

Als Konvergenzkriterien (Temperaturlimits der Sole) wurden angenommen:

- Solemitteltemperatur (Mittel zwischen Vor- und Rücklauf Erdwärmesonden) in der Basislast nicht unter 0°C
- Solemitteltemperatur (Mittel zwischen Vor- und Rücklauf Erdwärmesonden) in der Spitzenlast nicht unter -5°C

Bei der Sondenfeldkonfiguration:

Sondentyp:	Doppel-U, 32 mm
Sondentiefe:	102,2 m
Anzahl der Sonden:	12
Gesamtsondenmeter:	1.226,4
Abstand der Sonden zueinander:	8 m
Feldgeometrie:	Rechteck (4 x 3)

ergibt sich im 25. Betriebsjahr der in Abb. 4 dargestellte Temperaturverlauf.

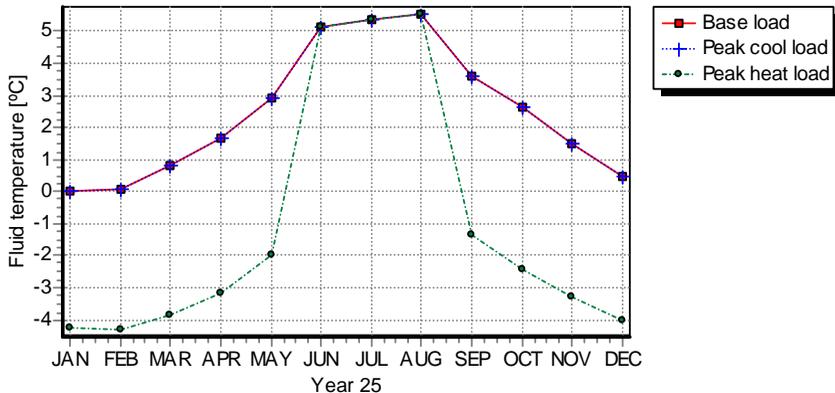


Abbildung 4: Verlauf der Fluidtemperaturen im 25. Betriebsjahr

Für die Erstellungskosten der Sondenanlage (Bohrungen, Anbindung, Solebefüllung) kann ein Betrag von ca. 92.000 EUR angenommen werden.

Der jährliche Strombedarf ergibt sich bei der Arbeitszahl 4 zu etwa 26 MWh/a. Bei einem Strompreis von 150 €/MWh belaufen sich die jährlichen Stromkosten auf ca. 3.900,00 €.

In der nachfolgenden Tabelle sind die resultierenden Arbeitszahlen und Stromkosten angegeben, die entstehen würden, wenn die Anlage zwar auf eine Untergrundwärmeleitfähigkeit von 2,2 W/(m x k) ausgelegt, die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit jedoch geringer ist.

Wärmeleitfähigkeit [W/(m x K)]	JAZ [-]	Stromverbrauch [MWh/a]	Stromkosten [EUR/a]	Mehrkosten [EUR/a]
2,2	4,0	26,3	3.945,00	-
2,0	3,5	30,0	4.500,00	555,00
1,8	3,1	33,9	5.085,00	1.140,00
1,6	2,8	37,5	5.625,00	1.680,00

Tabelle 1: JAZ und Stromkosten bei geringerer Wärmeleitfähigkeit als angenommen für eine 50kW-Anlage

Die Tabelle zeigt, dass schon bei einer geringen Abweichung der tatsächlichen Wärmeleitfähigkeit von der für die Feldbemessung zugrunde gelegten Wärmeleitfähigkeit die Mehrverbrauchskosten bereits nach wenigen Jahren höher sind als die Kosten eines Geothermal-Response-Tests.

Liegt die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit nur um 0,4 W/(m x K) unter dem angenommenen Wert, so betragen im o.g. Beispiel (50kW) die Mehrverbrauchskosten über 4 Jahre bereits ca. 4.560,00 EUR, wobei Strompreissteigerungen nicht berücksichtigt sind.

2.3 Ergebnisse

Um einen Überblick über die finanziellen Auswirkungen einer Unterdimensionierung bei kleineren Objekten zu erhalten, wurden für unterschiedliche Leistungen zwischen 30 kW und

50 kW nach dem oben aufgeführten Muster mehrere Rechenläufe durchgeführt. Dabei wurden die geforderte Heizleistung, der geschätzte und der tatsächliche Wärmeleitfähigkeitswert sowie Sondenabstand (von 6 bis 10m) variiert.

In Abbildung 5 ist die resultierende Verringerung der Arbeitszahl gegen die Änderung der Differenz von tatsächlicher zu angenommener Wärmeleitfähigkeit aufgetragen. Dabei zeigt sich, dass bei einem um $0,2 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ zu hoch geschätzten Wärmeleitfähigkeitsbetrag die Arbeitszahl um 0,5 geringer ist als bei einer auf dem tatsächlichen Wärmeleitfähigkeitswert basierenden Feldkonfiguration.

Je nach Anlagenkonfiguration (30-50kW, Sondenabstand, geschätzte Wärmeleitfähigkeit, Volllaststunden) variiert das Ergebnis um $\pm 15\%$.

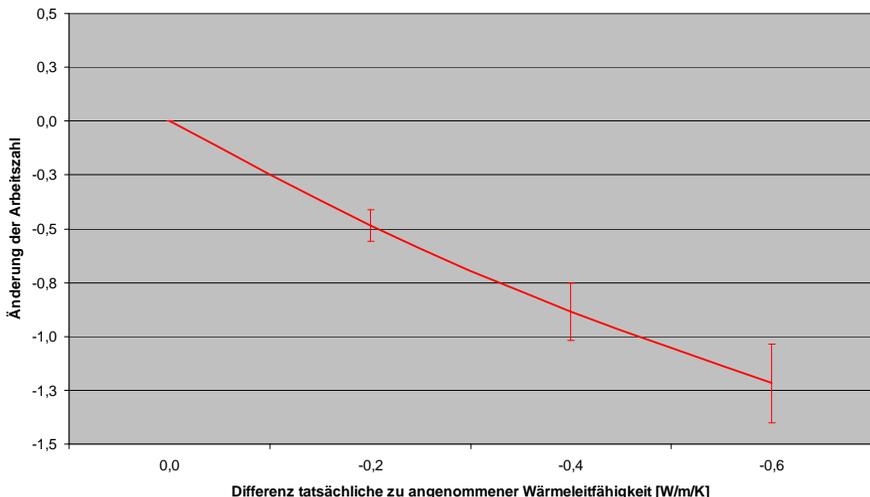


Abbildung 5: Mittlere Änderung der Arbeitszahl in Abhängigkeit von der Variation der Wärmeleitfähigkeit, Berechnungen für Leistungen von 30 kW bis 50 kW bei 2.100 Volllaststunden/a

Für Anlagengrößen zwischen 30kW und 50kW sind in der Abbildung 6 die jährlichen Mehrverbrauchskosten aufgrund Unterdimensionierung aufgetragen. Die Werte sind berechnet für eine Anlage mit 2.100 Volllaststunden/a, 100m Sondentiefe und 8m Abstand der Sonden zueinander. Die JAZ bei korrekter Auslegung wird mit 4 angesetzt. Die zur Vorauslegung geschätzte Wärmeleitfähigkeit beträgt $2,2 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$. Für andere Fälle (andere angenommene Wärmeleitfähigkeit bei Vorauslegung, anderer Sondenabstand etc.) liegen die Mehrkosten in der etwa gleichen Größenordnung.

Bei einer Anlage mit einer Heizleistung von 40kW bedeutet eine gegenüber der zur Anlagenbemessung angenommenen um $0,4 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ kleinere Wärmeleitfähigkeit Mehrverbrauchskosten von etwa 900 EUR pro Jahr. Nach etwa 4 bis 5 Jahren liegen die Mehrverbrauchskosten damit in der gleichen Größenordnung wie die Kosten für die Ausführung eines Geothermal-Response-Tests.

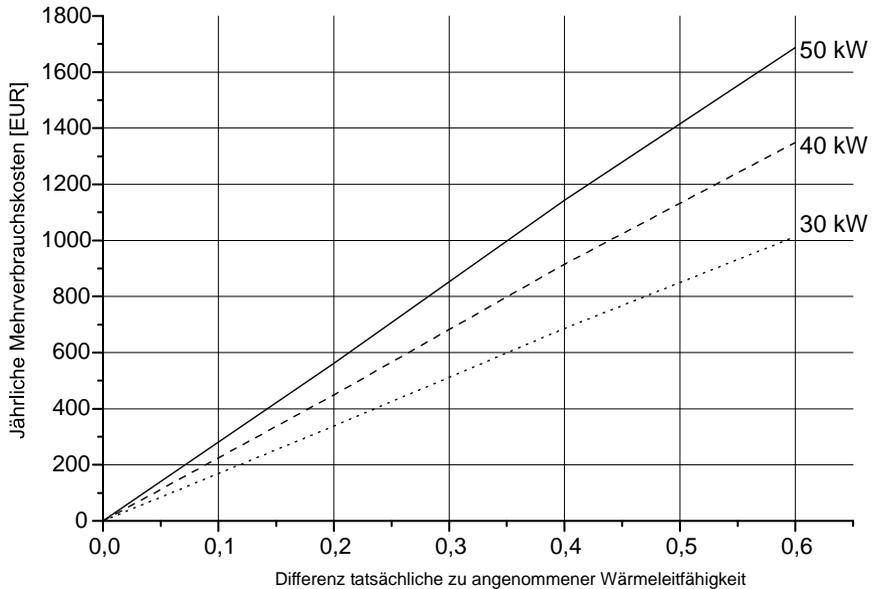


Abbildung 6: Mehrverbrauchskosten aufgrund von Unterdimensionierung

Es muss weiterhin berücksichtigt werden, dass bei starker Unterdimensionierung des Sondenfeldes mit dem Absinken der Fluidtemperaturen nicht nur die Arbeitszahl reduziert wird, sondern auch die von der Wärmepumpe erzeugbare Heizleistung. Die Unterdimensionierung kann daher im Extremfall dazu führen, dass die erforderliche Heizleistung (und Heizarbeit) trotz höher zusätzlicher Stromaufnahme nicht mehr erbracht werden kann und die Anlage damit nicht mehr funktionsfähig ist. Die Anlage schaltet sich ab (besonders dann, wenn sie am dringendsten gebraucht wird) und/oder es bildet sich um die Erdwärmesonden und Anbindeleitungen herum ein permanenter Eiskörper. Frostschäden an der Bausubstanz oder Versorgungsleitungen (Trinkwasser, Abwasser) können die Folge sein.

3. Überdimensionierung

Ist die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit höher als die zuvor angenommene, wird die Erdwärmesondenanlage überdimensioniert, d.h. es werden mehr Sonden bzw. Sondenmeter errichtet als nach einer VDI 4640-konformen Auslegung erforderlich gewesen wären. Anders als bei der Unterdimensionierung wird die Anlage jedoch in jedem Fall funktionsfähig sein.

Für das in Abschnitt 2.2 dargestellte Beispiel ergibt sich bei einer tatsächlichen Wärmeleitfähigkeit von $2,6 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ eine erforderliche Sondenlänge von 91,5m statt 102,2m um den (annähernd) gleichen Temperaturverlauf in der Sole zu erhalten wie bei Annahme einer Wärmeleitfähigkeit von $2,2 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$.

Für das Beispielobjekt werden also bei einer um $0,4 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ höheren Wärmeleitfähigkeit insgesamt 128,4m weniger Sondenmeter benötigt. Bei durchschnittlichen Investitionskosten von 75,00 EUR (incl. Anbindung, Solebefüllung und MwSt.) je Sondenmeter ergeben sich Mehrkosten in Höhe von ca. 9.600,00 EUR.

Um eine Größenordnung zu erhalten, wurde für Anlagen mit 30, 40 und 50kW Heizleistung berechnet, wie viele Sondenmeter bei geänderter Untergrundwärmeleitfähigkeit benötigt werden um die Konvergenzkriterien über einen Zeitraum von 25 Betriebsjahren gerade noch einzuhalten. Alle anderen Parameter (Volllaststunden, Sondenabstand etc.) bleiben konstant. In Abbildung 7 sind für die Anlagengrößen 30, 40 und 50kW die Mehrinvestitionskosten gegen die Differenz tatsächlicher zu geschätzter Wärmeleitfähigkeit aufgetragen. Dabei wird für den Sondenmeter ein Erstellungspreis von 75,00 EUR angenommen (Bohrung, Sonde, Verfüllung, Anbindung, Solefüllung und MwSt.). Alle weiteren Parameter (Feldgeometrie, Sondenanzahl, Volllaststunden etc.) bleiben jeweils konstant

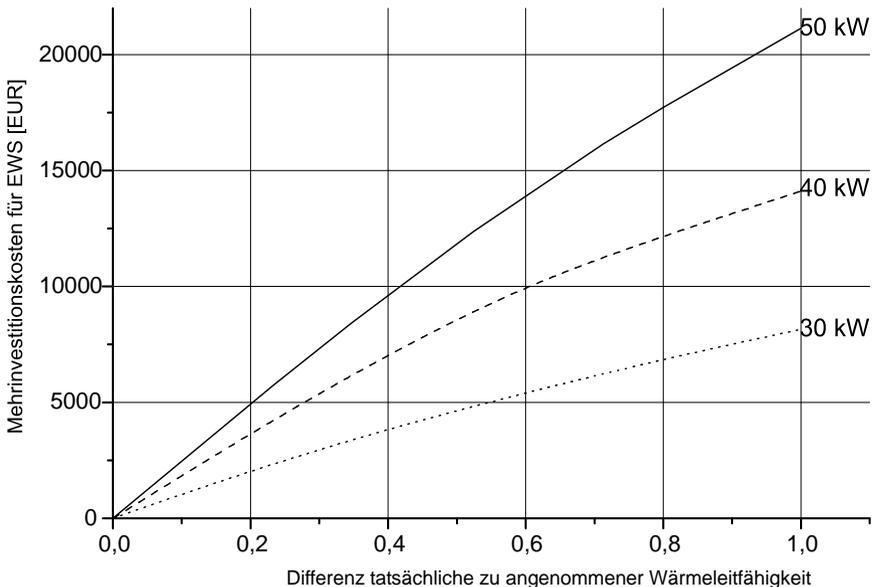


Abbildung 7: Mehrinvestitionskosten aufgrund von Überdimensionierung

Randbedingungen der Berechnungen:

- 2.100 Volllaststunden/a
- Geschätzte Wärmeleitfähigkeit: 2,2 W/(m x K)
- Feldgeometrie: Rechteck (4x3, 3x3 und 2x3 EWS)
- Sondenabstand: 8m
- Variiert wurden jeweils die Wärmeleitfähigkeit und die Sondentiefe

Es zeigt sich, dass schon bei kleinen Anlagen mit einer Heizleistung von 30kW eine um 0,4 W/(m x K) unter dem tatsächlichen Wert angenommene Wärmeleitfähigkeit zu einer Überdimensionierung des Sondenfeldes um insgesamt 51 Sondenmeter führt. Bei einem Sondenherstellungspreis von 75 EUR/m ergeben sich so Mehrinvestitionskosten von ca. 3.800EUR. Bei größeren Anlagen mit einer Heizleistung von 40kW-50kW wird dieser Betrag schon bei Differenzen um bzw. kleiner 0,2 W/(m x K) erreicht.

4. Erfahrungen

In der Praxis wird in den meisten Fällen mit dem Response-Test eine andere Wärmeleitfähigkeit gemessen als zunächst anhand der Lithologie angenommen werden konnte. In der nachfolgenden Abbildung 8 ist für 86 Tests, bei denen eine genaue Aufnahme der Lithologie während der Bohrarbeiten möglich war, die geschätzte Wärmeleitfähigkeit gegen den Messwert aufgetragen (vgl. Sanner et al., 2007). Grundlage der Schätzung sind die in der VDI 4640, Bl. 1 angegebenen „typischen Rechenwerte“ und die in der Software EED empfohlenen Rechenwerte. Für Bohrungen mit wechselnder Lithologie wurde jeweils ein nach der Mächtigkeit gewichteter Mittelwert angesetzt. Testergebnisse mit eindeutigem Grundwassereinfluss wurden nicht berücksichtigt.

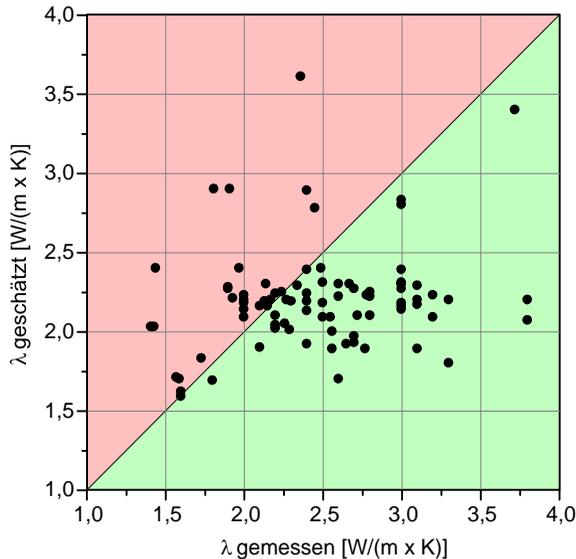


Abbildung 8: Gegenüberstellung Schätzwert/Messwert, $n = 86$

In Abbildung 9 sind die gleichen Messergebnisse nach der Abweichung von geschätztem zu gemessenem Wert entsprechend der aufgetretenen Häufigkeit dargestellt. Bei den 86 betrachteten Tests wurde nur in etwa 8% aller Fälle der geschätzte Wert exakt bestätigt. In 27% der Fälle lag der gemessene Wert um $0,1 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ oder mehr unter dem Schätzwert; 65% der Messwerte lagen um $0,1 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ oder mehr über dem Schätzwert. Dabei ist zu beachten, dass der Schätzwert auf der tatsächlichen Lithologie basiert und nicht auf einer anhand geologischer Karten getroffenen Prognose, die naturgemäß noch ungenauer ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass ohne Ausführung eines Response-Tests gut $1/4$ der Anlagen unterdimensioniert und etwa $2/3$ der Anlagen überdimensioniert gewesen wären. Dabei ist die Abweichung z.T. erheblich. Etwa 45% der Messwerte weichen um mehr als $0,5 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ vom Schätzwert ab.

Bei Überdimensionierung bedeutet dies für Anlagen mit 30 bis 50kW vermeidbare Mehrinvestitionskosten von einigen tausend bis deutlich über zehntausend Euro. Bei Unterdimensionierung ist mit jährlichen Mehrverbrauchskosten zwischen 800 und 1.400 EUR zu rechnen.

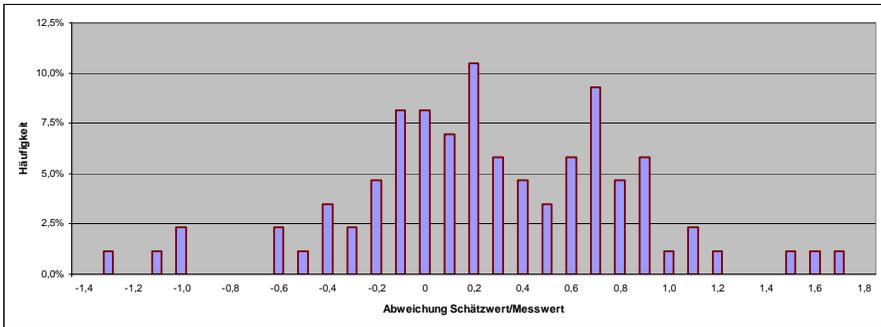


Abbildung 9: Gegenüberstellung Abweichung geschätzt/gemessen nach Häufigkeit, $n = 86$

5. Worst/Best-Case-Betrachtung

Um für ein Bauvorhaben eine Entscheidungshilfe pro oder contra Response-Test zu liefern, wird analog der in den Abschnitten 2 und 3 dargestellten Vorgehensweise ein konkreter Einzelfall untersucht. Dabei wird unter Berücksichtigung der gebäudetechnischen Anforderungen die realistische Schwankungsbreite der zu erwartenden Wärmeleitfähigkeit betrachtet und die sich daraus möglicherweise ergebenden Mehrkosten mit den Kosten für einen Response-Test gegenübergestellt.

Für einen fiktiven Standort einer 50kW-Anlage wird im Untergrund eine homogene Abfolge von Tonstein erwartet. In der VDI-Richtlinie 4640, Bl.1 wird hierfür eine Spanne von 1,1 bis 3,5 W/(m x K) angegeben. Als typischer Rechenwert wird 2,2 W/(m x K) empfohlen. Basierend auf dem empfohlenen typischen Rechenwert wird eine Vorauslegung des Sondenfeldes durchgeführt. Im Ergebnis sollen 12 Erdwärmesonden mit Tiefen von jeweils 102,2m (s. Beispiel in Abschnitt 2.2) ausgeführt werden.

Aus der Erfahrung heraus ist die in der VDI 4640 angegebene Spanne etwas zu groß. In der langjährigen Praxis wurden (durch UBeG) für einen reinen Tonstein nie Werte unter 1,6 oder über 3,0 W/(m x K) gemessen.

Wird die Anlage nun auf die Wärmeleitfähigkeit von 2,2 W/(m x K) bemessen, obwohl der tatsächliche Wert bei 1,6 W/(m x K) liegt (Worst Case), ist die Anlage stark unterdimensioniert und es ist mit Mehrverbrauchskosten von ca. 1.700 EUR/a zu rechnen. Dabei ist noch nicht sichergestellt, ob die Anlage nach einigen Betriebsjahren überhaupt noch funktionsfähig ist.

Liegt die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit bei 3,0 W/(m x K) (Best Case) ist die Funktionalität der Anlage zwar sichergestellt. Statt 1.226 Sondenmeter (s. Beispiel, 12 x 102,2) wären jedoch 990 Sondenmeter ausreichend gewesen um einen nachhaltigen Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Die Mehrinvestitionskosten belaufen sich auf fast 18.000,00 EUR (236m x 75,00 EUR), die durch die bessere Jahresarbeitszahl bei Überdimensionierung mögliche Stromersparung jedoch auf weniger als 800 EUR/a.

Für die 50kW-Anlage ist damit bei der erwarteten Lithologie Tonstein deutlich, dass die Spanne zwischen möglichen Mehrverbrauchskosten von ca. 1.700,00 EUR/a und dem

möglichen Einsparpotential bei den Investitionskosten von ca. 18.000,00 EUR die Ausgaben für einen Geothermal-Response-Test durchaus gut investiert sind.

Für eine 30kW-Anlage reicht die Spanne bei den genannten Beispielbedingungen immer noch von ca. 1.000,00 EUR/a möglichen Mehrverbrauchskosten und ca. 6.800,00 EUR mögliche Investitionskosteneinsparung, so dass auch hier die Ausführung eines Geothermal-Response-Tests zumindest in Erwägung gezogen werden kann.

6. Resümee

Bei mittelgroßen und großen Erdwärmesondenanlagen wird in den meisten Fällen standardmäßig ein Geothermal-Response-Test zur exakten Bestimmung der relevanten thermischen Untergrundparameter durchgeführt. Die hierfür anfallenden Kosten sind im Vergleich zu dem möglichen Nutzen und den Gesamtkosten nahezu vernachlässigbar.

Bei kleineren Anlagen < 50kW wird aufgrund des im Vergleich zu den Investitionskosten hohen Preises bislang nur in Einzelfällen ein Geothermal-Response-Test durchgeführt. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Auslegung mit Schätzwerten in ca. 90% der Fälle unter- oder überdimensioniert ist. Durch die exakte Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit ergibt sich hier ein großes Einsparpotential, entweder durch Ersparnis in den Verbrauchskosten bei Vermeidung einer Unterdimensionierung oder durch Verringerung der Investitionskosten durch Vermeidung einer Überdimensionierung.

Literatur

Hellström, G., Sanner, B., Klugescheid, M., Gonka, T. & Mårtensson, S.: Experiences with the borehole heat exchanger software EED, *Proceedings, MEGASTOCK 97*, 247-252, Sapporo (1997)

Sanner, B., Reuß, M. & Mands, E.: Thermal Response Test - eine Methode zur In-Situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden, *Geothermische Energie*, 24-25 (1999), 29-33

Sanner, B., Hellström, G., Spittler, J. & Gehlin, S.: Thermal Response Test – current status and world-wide application, *Proceedings, WGC 2005, Antalya*, paper #1436 (2005)

Sanner, B., Mands, E., Sauer, M. & Grundmann, E.: Technology, development status, and routine application of Thermal Response Test, *Proceedings, EGC 2007 Unterhaching* (2007)

UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR, Zum Boden 6, 35580 Wetzlar
ubeg@ubeg.de