

Wichtige Einflussfaktoren bei der Bemessung größerer Erdwärmesondenanlagen

Dipl.-Geol. Marc Sauer, Dr. Erich Mands, Dr. Burkhard Sanner

Zusammenfassung

Zur Anlagendimensionierung mittlerer und auch größerer Erdwärmesondenanlagen (gem. VDI 4640 Anlagen > 30 kW Heizleistung) wird immer noch häufig die sog. spezifische Entzugsleistung (z.B. 50 W/m) herangezogen. Dabei werden wichtige Faktoren wie Anlagenlaufzeit, Temperaturniveau im Gebäudekreislauf bzw. Wärmepumpenarbeitszahl, Sondenabstände etc. außer Acht gelassen. Eine korrekte Auslegungsberechnung der Anlage führt nicht selten zu völlig anderen Felddimensionen.

1. Einleitung

Zur Dimensionierung kleinerer Anlagen bis 30 kW Heizleistung kann nach VDI 4640 eine spezifische Entzugsleistung aus dem Untergrund angenommen werden. Dabei wird grob die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes und auch die Volllaststundenzahl (Heizarbeit) berücksichtigt. Bei Beachtung der am Projektstandort vorliegenden Geologie und der in der VDI-Richtlinie angegebenen spezifischen Entzugsleistung werden solche Anlagen, zwar unterschiedlich effektiv, auf jeden Fall aus technischer Sicht funktionsfähig sein.

Häufig wird jedoch die spezifische Entzugsleistung auch bei der Bemessung mittlerer und großer Anlagen (> 30 kW) zu Grunde gelegt. Dabei kann es zu massiven Fehlern kommen, die die langfristige Funktionalität der Anlage gefährden oder auch zur Überdimensionierung der Anlage führen. Letzteres führt schlimmstenfalls dazu, dass eine Anlage aufgrund der hohen Investitionskosten (Bohrkosten) nicht gebaut wird. Eine Unterdimensionierung führt günstigstenfalls zu einer schlechteren Effizienz der Anlage und im Extremfall zu einem Komplettausfall bzw. zu Folgeschäden.

Gegenüber der Verwendung der spezifischen Entzugsleistung nach VDI 4640, Bl. 2 führt (bei Anlagen > 30 kW) die korrekte Auslegungsberechnung der Anlage häufig zu völlig anderen Felddimensionen.

Nachfolgend sind einige wichtige Eingabeparameter aufgeführt:

- **Thermische Untergrundparameter**
Die wichtigsten Größen dieser Gruppe sind: Untergrundwärmeleitfähigkeit, ungestörte Erdreichtemperatur und Grundwassereinfluss. Diese Parameter wirken sich grundlegend auf die erforderliche Feldegröße aus; sie sollten bei der Vorauslegung einer Anlage zumindest grobenordnungsmäßig bekannt sein und spätestens bei der Errichtung der Erdwärmesondenanlage mittels Geothermal-Response-Test bestimmt werden.

Während die thermischen Untergrundparameter grundsätzlich nicht verändert werden können, lassen sich weitere wichtige Auslegungsgrößen (mit unterschiedlichem Aufwand) durch die Planung und Ausführung der Anlage beeinflussen:

- **Länge (Tiefe) der Erdwärmesonden**
Je tiefer eine Erdwärmesonde in das Erdreich einbindet, um so höhere Temperaturen werden erschlossen; dadurch kann dem Untergrund mehr Energie entzogen werden.
- **Abstand der Sonden zueinander**
Je größer der Abstand zwischen den einzelnen Erdwärmesonden ist, umso größer ist das erschlossene Erdreichvolumen und umso kleiner ist die gegenseitige Beeinflussung der Erdwärmesonden.

- **Sondenfeldgeometrie**
Je nach Anordnung der Erdwärmesonden hat eine Erdwärmesonde mehr oder weniger Nachbarn. Je größer die Anzahl der Nachbarsonden ist, umso größer ist die gegenseitige Beeinflussung und umso weniger Erdwärme kann der einzelnen Sonde von außerhalb zufließen.
- **Thermischer Bohrlochwiderstand [1, S. 520]**
Beim Übergang vom Erdreich in das Wärmeträgermedium (Sole) sind verschiedene Widerstände zu berücksichtigen. Diese können durch geeignete Maßnahmen verbessert (verringert) werden. Einflussgrößen sind z.B. Bohrlochdurchmesser und Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials
- **Art der Erdwärmenutzung**
Häufig wird neben der Beheizung eines Gebäudes auch eine passive oder aktive Kühlung gewünscht. Der dabei auftretende Speichereffekt im Erdreich kann zu erheblichen Einsparungen in der Sondenanzahl führen.

Gebäudeseitig wird die Anlagengröße maßgeblich vom Heizbedarf (Leistung, Volllaststunden bzw. Heizarbeit) und der Arbeitszahl bestimmt. Beide Faktoren beziehen das dynamische Verhalten der Wärmepumpe stark mit ein. Die Interaktionen Gebäude-Wärmepumpe-Untergrund sind sehr komplex und von einer Vielzahl weiterer Faktoren bestimmt, auf die hier nicht im Einzelnen weiter eingegangen werden kann.

Beispielobjekt

Um aufzuzeigen, wie sich die Größe eines Erdwärmesondenfeldes ändern kann, werden für ein fiktives Beispielobjekt unter Variation jeweils eines Parameters und unter Beibehaltung aller sonstiger Randbedingungen (s. Tabelle 1) die resultierenden Gesamtsondenlängen ermittelt.

In VDI 4640, Bl. 2 wird für einen normalen Festgesteins-Untergrund mit einer Wärmeleitfähigkeit zwischen 1,5 und 3,0 W/(m·K) und einer Volllaststundenzahl von 1.800h/a eine spezifische Entzugsleistung von 60 W/m angegeben. Wird also für das Beispiel eine spezifische Entzugsleistung von 50 W/m angenommen, kann dies als eher konservative Einschätzung angesehen werden.

Unter Annahme einer Jahresarbeitszahl von $\beta = 4$ ergibt sich eine Verdampferleistung von 45 kW. Bei der spezifischen Entzugsleistung von 50 W/m wäre das Sondenfeld mit insgesamt 900 Sondenmetern (z.B. 9 x 100m) zu bemessen.

Zum Vergleich wird bei den folgenden Auslegungsberechnungen die jeweilige aus der benötigten Einzel- bzw. Gesamtsondenlänge resultierende spezifische Entzugsleistung angegeben. Dabei ist zu betonen, dass die Sondenlänge nicht von der spezifischen Entzugsleistung abhängig ist. Vielmehr errechnet sich die spezifische Entzugsleistung aus der benötigten Gesamterdwärmesondenlänge.

Die Berechnungen erfolgen mit dem Programm „Earth Energy Designer“ (EED) [2, 3]. Mit der Software werden unter den vorgegebenen Randbedingungen die mittleren Temperaturverläufe der Sole ermittelt. Zur Anlagenbemessung werden die Feldkonfiguration und die weiteren variablen Eingabeparameter so lange variiert, bis die Soletemperaturen vorgegebene Grenztemperaturen gerade noch einhalten.

Für die Beispielberechnungen werden folgende Konvergenzkriterien angesetzt:

1. Solemitteltemperatur im Monatsdurchschnitt (Base load): nicht unter 0° Celsius.
2. Mittlere minimale Soletemperatur (Peak heat load): nicht unter minus 5° Celsius.

Eine zulässige Feldkonfiguration muss beide Bedingungen erfüllen.

Als Ausgangspunkt des Beispiels liegen der Berechnung die in Tabelle 1 aufgelisteten Randbedingungen zu Grunde.

Tab. 1: Randbedingungen für das Beispielgebäude

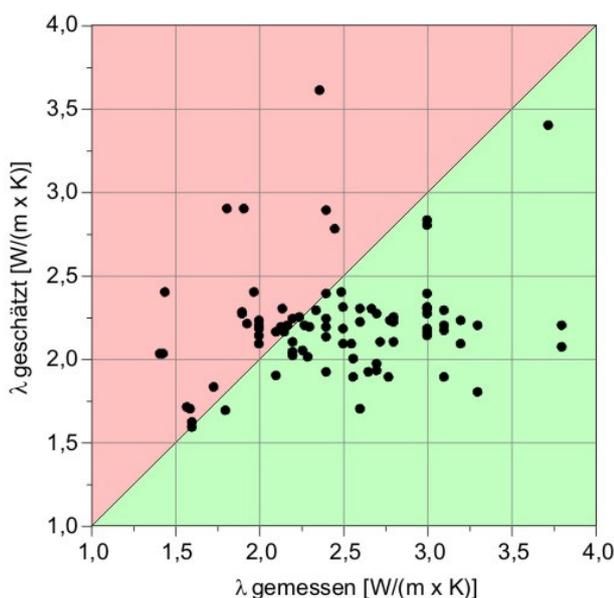
Heizleistung	60 kW
Volllaststunden	1.800 h/a
Jahresheizarbeit	108 MWh/a
Arbeitszahl WP	4
Lithologie	Kalksandstein
Wärmeleitfähigkeit	2,6 W/(m•K)
Oberflächentemperatur	11,5 °C
Geotherm. Wärmefluss	0,07 W/m ²
Bohrlochdurchmesser	150 mm
Verfüllung	Zement-Bentonit mit $\lambda_{\text{Grout}} = 0,8 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Sondenabstand	6m
Feldgeometrie	Doppelreihe

Im Ergebnis zeigt sich, dass ein Feld von 2 Reihen mit je 6 Erdwärmesonden und einer Tiefe von 100,5 m (insgesamt 1.206m) benötigt werden, um die Konvergenzkriterien einzuhalten. Dies entspricht einer spezifischen Entzugsleistung von 37,3 W/m.

Gegenüber der Auslegung mit der spezifischen Entzugsleistung werden gut 3 x 100m Erdwärmesonden mehr benötigt, um den nachhaltigen Betrieb der Anlage zu ermöglichen. Wird die Anlage in der oben beschriebenen Konfiguration, jedoch mit nur insgesamt 900m Sondenlänge (2 x 6 x 75m) errichtet, können die Auslegungskriterien (Temperaturgrenzen) ab der dritten Heizperiode nicht mehr eingehalten werden. Die Anlage funktioniert dann nur noch mit sich stetig verringernden Effizienz (geringere Leistung, geringere Arbeitszahl). Ab etwa der sechsten Heizperiode besteht die Gefahr, dass sich um die Erdwärmesonden und Anbindeleitungen herum ein permanenter Eiskörper bildet. Frostschäden an der Bausubstanz oder Versorgungsleitungen (Trinkwasser, Abwasser) können die Folge sein. Damit wird auch deutlich, dass eine fehlerhafte Auslegung bzw. Unterdimensionierung möglicherweise erst nach einigen Betriebsjahren offenkundig wird.

2. Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes ist erdseitig die wichtigste Einflussgröße zur Bemessung eines Sondenfeldes. Eine höhere Wärmeleitfähigkeit wirkt sich immer positiv aus, die Wärmeenergie wird schneller zur Sonde hin (Wärmeentzug) oder von ihr weg (Wärmeeintrag) transportiert; auch die natürliche Temperaturregeneration im Untergrund erfolgt bei höherer Wärmeleitfähigkeit schneller.



Die Wärmeenergie wird schneller zur Sonde hin (Wärmeentzug) oder von ihr weg (Wärmeeintrag) transportiert; auch die natürliche Temperaturregeneration im Untergrund erfolgt bei höherer Wärmeleitfähigkeit schneller.

In der nachfolgenden Abbildung 1 ist für 86 Fälle der Unterschied zwischen der anhand der angetroffenen Lithologie und anhand der in VDI 4640, Bl. 1 angegebenen „typischen Rechenwerte“ abgeschätzten Wärmeleitfähigkeit und der später mittels Geothermal-Response-Test ermittelten tatsächlichen Untergrundwärmeleitfähigkeit aufgezeigt. Etwa 45% aller Schätzungen weichen um mehr als 0,5 W/(m•K) von den gemessenen Beträgen ab. Nur etwa 8% aller Schätzungen können als Deckungsgleich mit den Messwerten betrachtet werden.

Abb. 1: Gegenüberstellung Schätzwert/Messwert Wärmeleitfähigkeit, n = 86 [4]

Wird für die Beispielberechnung bei sonst gleich bleibenden Randbedingungen die Wärmeleitfähigkeit in einer realistischen Spanne von 1,4 bis 3,8 W/(m•K) variiert, resultieren erforderliche Sondenlängen zwischen ca. 132m und ca. 83m (28 W/m bzw. 45 W/m).

Selbst bei einer für Kalksandstein unrealistisch hohen Wärmeleitfähigkeit von 3,8 W/(m•K) kann für die Beispielanlage nur eine spezifische Entzugsleistung von ca. 45 W/m erreicht werden. Zum Vergleich: Nach VDI 4640 kann für kleine Anlagen (< 30 kW) bei einer Wärmeleitfähigkeit > 3 W/(m•K) und 1.800 Vollaststunden/a eine spezifische Entzugsleistung von 84 W/m angesetzt werden.

3. Sondenanzahl

Wird die Sondenanzahl verändert (s. Abbildung 2), muss sich zwangsläufig die Tiefe der Einzelsonden ändern. Dabei kann jedoch eine 100m-Sonde nicht durch zwei 50m-Sonden ersetzt werden.

Bei der Auslegung spielen mehrere Faktoren eine Rolle:

1. Mit der Tiefe nimmt die Erdreichtemperatur durchschnittlich um ca. 3K/100m zu. Eine größere Sondentiefe wirkt sich daher für den Heizfall immer positiv aus. Eine tiefe Sonde muss i.d.R. nicht so lang sein wie die Summe zweier flachen Sonden.
2. Durch eine größere Sondenanzahl (bei geringerer Sondentiefe) kann das für den Entzug von Wärme erschlossene Bodenvolumen vergrößert werden.
3. Mit dem größeren erschlossenen Bodenvolumen vergrößert sich auch die das Sondenfeld einhüllende Fläche, über die eine Temperaturregeneration durch Wärmezufluss von den Seiten und von unten her erfolgen kann.
4. Eine geringere Sondenanzahl vermindert den nachteiligen Effekt der gegenseitigen Beeinflussung.

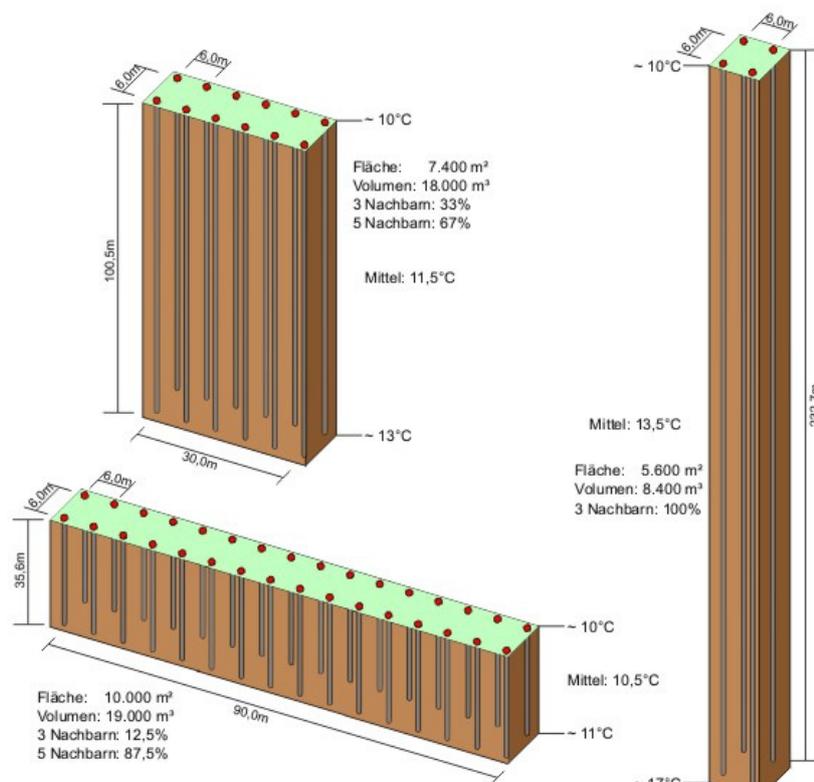


Abb. 2 Beispiele Variation Sondenanzahl und resultierende Sondentiefen

Wird für die Berechnung bei sonst gleich bleibenden Randbedingungen die Sondenanzahl zwischen 4 und 32 Stück variiert, sind für einen nachhaltigen Anlagenbetrieb Gesamtsondenlängen zwischen 1.237m und 931m erforderlich.

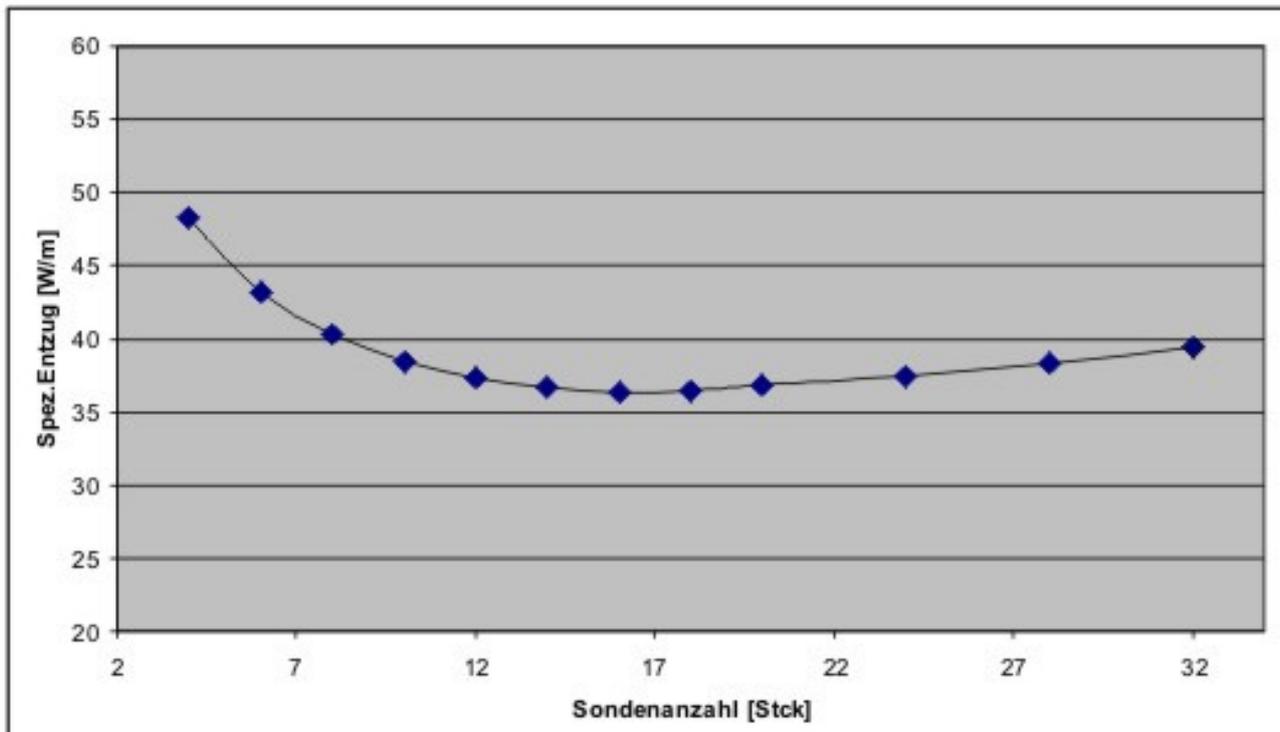


Abb. 3 Spezifische Entzugsleistung in Abhängigkeit von der Sondenanzahl

In dem Beispiel kann die spezifische Entzugsleistung alleine durch die Variation der Sondenanzahl zwischen 48 W/m und 36 W/m schwanken. Abbildung 3 zeigt deutlich, dass bei größerer Sondenanzahl auch mehr Gesamtsondenmeter benötigt werden. Der im rechten Kurvenabschnitt zu beobachtende Anstieg der Entzugsleistung bei weiterer Steigerung der Sondenanzahl ist nur theoretischer Natur, da mit zunehmender Verkürzung der Sonden (hier auf ca. 35m bei 32 Sonden) der jahreszeitliche Einfluss immer größer wird, dieser jedoch in der Berechnung mit EED nicht berücksichtigt wird.

4. Sondenabstand

Die schon im vorigen Abschnitt angesprochene gegenseitige thermische Beeinflussung der Sonden untereinander kann am effektivsten durch eine Vergrößerung des Sondenabstandes verringert werden.

In Abbildung 4 ist die Temperaturverteilung nach 5 Betriebsjahren bei 6m und bei 12m Sondenabstand dargestellt. Für diese Berechnungen wurde nicht EED eingesetzt, da bei diesem keine Temperaturwerte zwischen den Sonden berechnet werden, sondern ein numerisches Modell mit dem FE-Simulationsprogramm FEFLOW [5]. Numerische Simulationen sind erheblich langwieriger als EED-Berechnungen, doch sind sie bei der Betrachtung räumlicher Temperaturentwicklungen nicht zu umgehen.

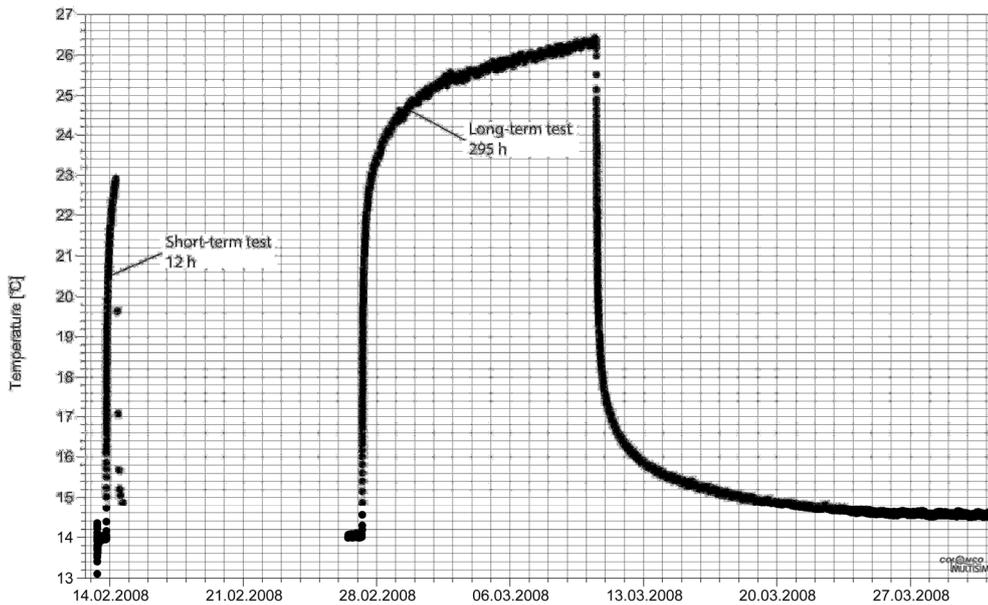


Abb. 4 Temperaturverteilung im Sondenfeld nach 5 Jahren, 6m Sondenabstand und 12m Sondenabstand

Deutlich erkennbar sind die insgesamt geringeren Temperaturen im Sondenfeld bzw. die raschere Auskühlung des Untergrundes bei nur 6m Sondenabstand. Dies führt letztlich zu einer geringeren Soletemperatur, was durch größere Sondenlänge kompensiert werden muss.

Abbildung 5 zeigt die spezifische Entzugsleistung in Abhängigkeit vom Sondenabstand. Für das Beispielobjekt kann allein durch die Vergrößerung des Sondenabstandes von 6 auf 12m die spezifische Entzugsleistung um fast 20%, von 37 W/m auf 44 W/m gesteigert werden.

Für den reinen Heizfall bringt eine Vergrößerung der Sondenabstände immer eine Verbesserung mit sich. Bei Anlagen, die zum Heizen und Kühlen genutzt werden, ist es möglich, dass aufgrund des Speichereffektes eine Vergrößerung der Sondenabstände keinen signifikanten positiven Einfluss hat.

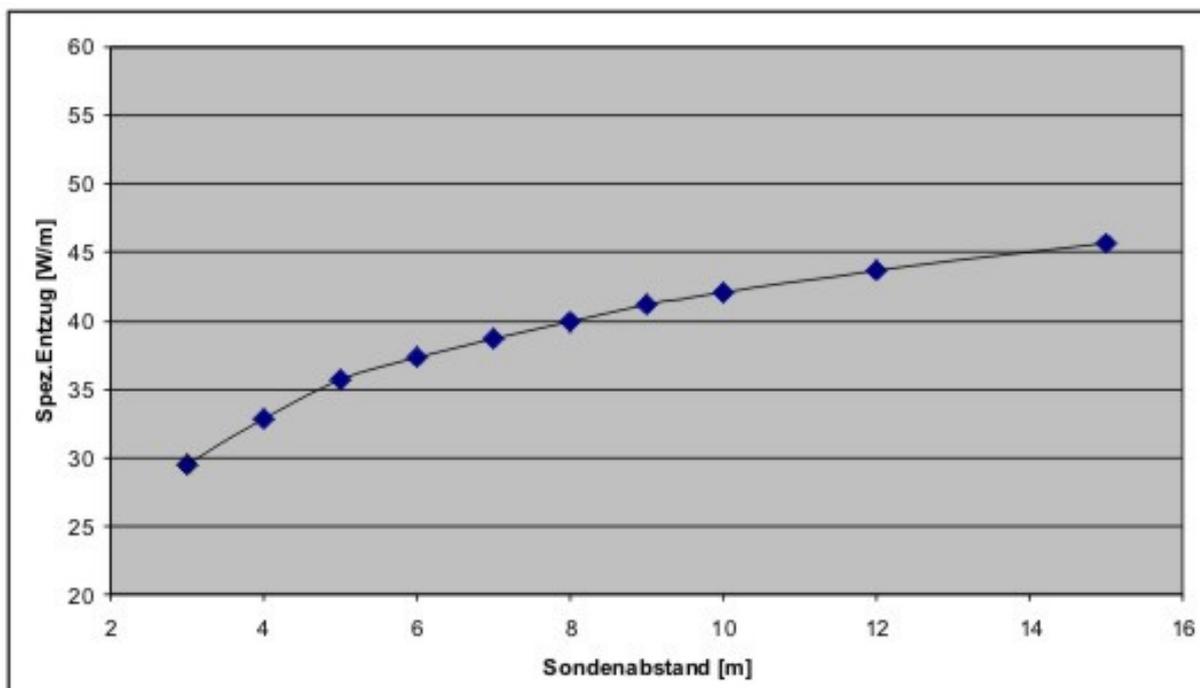


Abb. 5 Spezifische Entzugsleistung in Abhängigkeit vom Sondenabstand

5. Sondenfeldgeometrie

Eine ähnliche Wirkung hat die geometrische Form des Erdwärmesondenfeldes auf die spezifische Entzugsleistung. Infolge unterschiedlicher Anordnung (s. Abbildung 6) der Sonden kann der gegenseitige Einfluss (bei gleichem Sondenabstand) verändert werden.

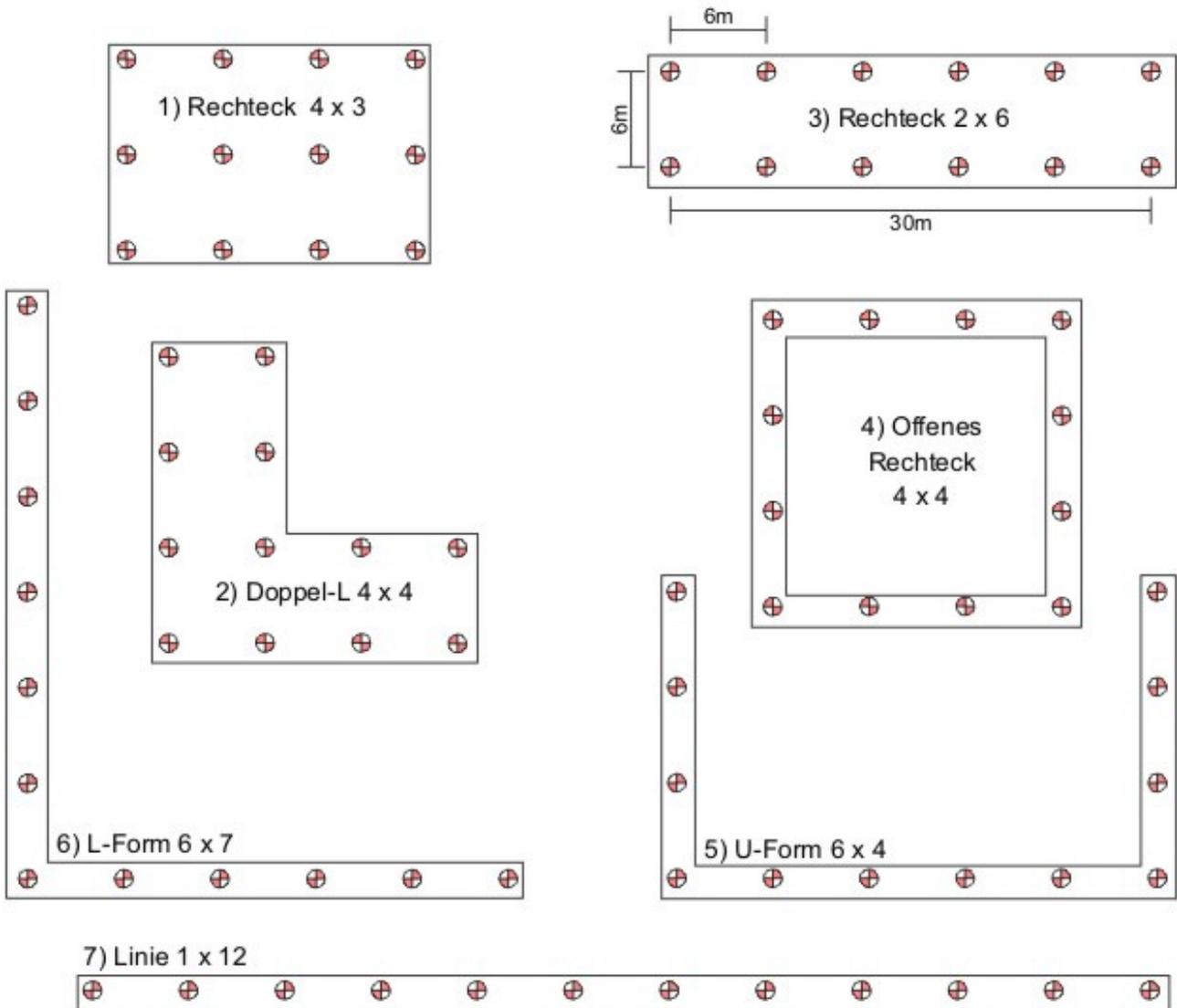


Abb. 6 Mögliche Sondenfeldgeometrien

Mit einer langgestreckten Feldform werden die höchsten spezifischen Entzugsleistungen erreicht, während gedrungene Formen die niedrigste Entzugsleistung aufweisen.

Genau anders herum verhält es sich wenn der Untergrund als Speicher für Wärme/ Kälte genutzt werden soll. In diesem Fall sind gedrungene Formen die effektiveren Speicher, da sie geringere Temperaturverluste aufweisen.

Durch Variation der Sondenanordnung kann bei sonst gleich bleibenden Randbedingungen die spezifische Entzugsleistung von ca. 36 W/m (Rechteckanordnung mit 4 x 3 EWS) auf ca. 42 W/m (eine Linie mit 12 EWS) vergrößert werden.

6. Thermischer Bohrlochwiderstand

Der thermische Bohrlochwiderstand gibt, ähnlich einem Wärmeübertragungsverlust, den Temperaturverlust beim Übergang von Wärme aus dem Gebirge auf das Wärmeträgermedium (Sole) oder umgekehrt an. Der thermische Bohrlochwiderstand wird u.a. bestimmt durch den Bohrlochdurchmesser und die Wärmeleitfähigkeit des Verfüllmaterials.

Durch die Wahl eines geringen Bohrdurchmessers kann der Bohrlochwiderstand verringert werden. Aufgrund behördlicher Vorgaben sind jedoch häufig Mindestdurchmesser einzuhalten.

Bei einer höheren Wärmeleitfähigkeit des Hinterfüllmaterials wird der Temperaturverlust (und damit der Bohrlochwiderstand) beim Wärmeübergang vom Gebirge zur Erdwärmesonde vermindert. Auf dem deutschen Markt werden mittlerweile eine Reihe von thermisch verbesserten Verpressmaterialien mit Leitfähigkeiten zwischen 1,4 und 2,0 W/(m·K) angeboten. Gegenüber einer herkömmlichen Zement-Bentonit-Verfüllung kann durch den Einsatz von thermisch verbessertem Verfüllmaterial bei sonst gleich bleibender Bohrlochkonfiguration im Heizfall mit 1,0 bis 1,5 K höheren Soletemperaturen gerechnet werden.

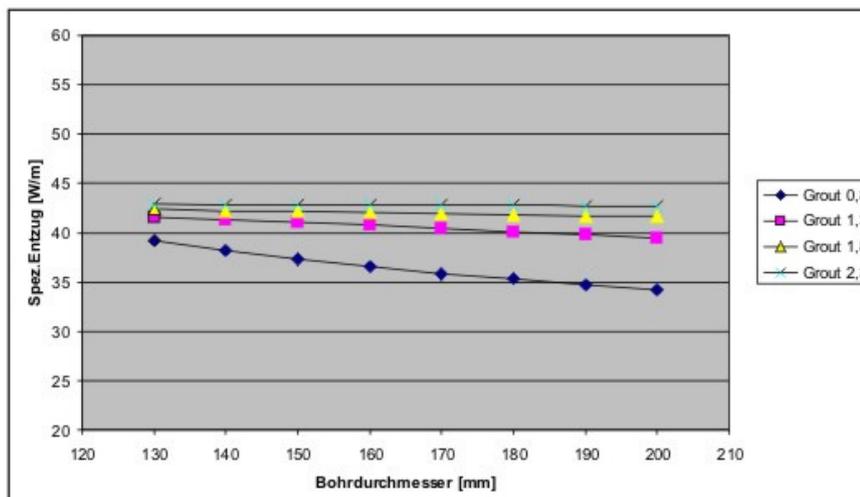


Abb. 7 spezifische Entzugsleistungen in Abhängigkeit vom Bohrlochdurchmesser und der Wärmeleitfähigkeit des Verfüllmaterials

Der Bohrlochwiderstand wächst mit zunehmendem Bohrlochdurchmesser, so dass der Einsatz von thermisch verbesserten Verpressmaterialien bei größeren Bohrlochdurchmessern besonders effektiv ist. Da eine der Hauptaufgaben des Verpressmaterials die Abdichtung des Bohrloches gegen ein-

dringendes Oberflächenwasser und die Unterbrechung von Verbindungen zwischen unterschiedlichen Grundwasserleitern ist, sollte bei der Wahl eines thermisch verbesserten Materials darauf geachtet werden, dass diese Aufgaben erfüllt werden. Weiterhin sollten Materialien eingesetzt werden, die frei von Schwermetallen oder sonstigen umweltschädlichen Stoffen sind. Als besonders umweltfreundlich scheint daher der Einsatz von Quarzsanden, die dem Verpressmaterial als thermisch sehr gut leitende Materialien zugegeben werden können.

Dadurch können Wärmeleitfähigkeiten erreicht werden, die bei etwa 1,8 W/(m·K) liegen. Wie die Abbildung 7 zeigt, wird bei einer Verbesserung auf 1,8 W/(m·K) eine Entzugsleistung erreicht, die bei weiterer Steigerung der Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials nur noch marginal verbessert werden kann.

Insbesondere bei Anlagen die zum Heizen und Kühlen genutzt werden, wirkt sich der Einsatz von thermisch verbessertem Material positiv aus, was z.B. bei der Anlage der Deutschen Flugsicherung in Langen (Einsatz von StüwaTherm) in [6] dokumentiert ist.

7. Art der Nutzung

Die größte Effizienz wird i. d. R. mit Erdwärmesondenanlagen erreicht, die zur Gebäudebeheizung und -kühlung genutzt werden. Die Abwärme aus der Gebäudekühlung wird (zum Teil) im Untergund gespeichert und steht für die Gebäudebeheizung im Winter zur Verfügung und umgekehrt.

Die Berücksichtigung des Speichereffektes kann zu einer erheblichen Reduzierung der benötigten Tiefe und/oder Anzahl der Erdwärmesonden führen.

Die Abbildung 8 zeigt die spezifischen Entzugsleistungen im Heizfall unter Berücksichtigung einer Gebäudekühlung bis etwa 60 MWh/a. Dabei wird die Kühlung bis 40 MWh/a (40 kW mit 1.000 Volllaststunden) als passive Kühlung, darüber hinaus aufgrund des steigenden Temperaturniveaus als aktive Kühlung (mit reversibler WP) betrieben.

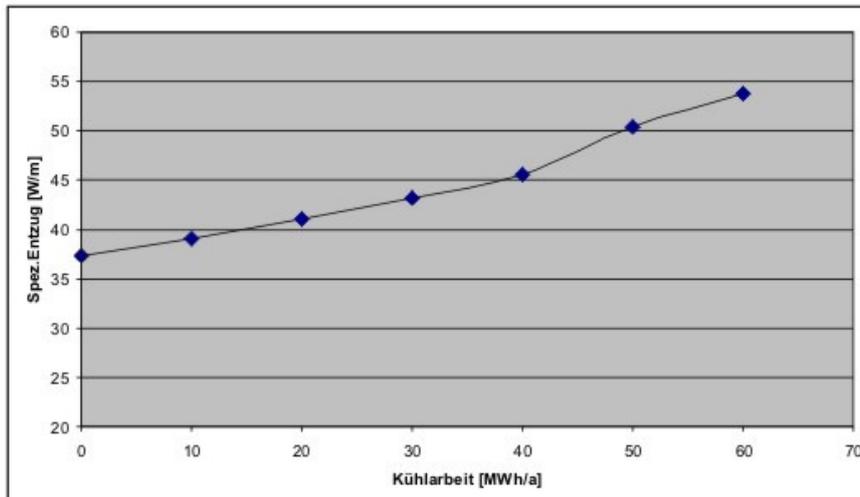


Abb. 8 spezifische Entzugsleistungen im Heizfall in Abhängigkeit der Kühlarbeit

Es zeigt sich, dass aufgrund des Speichereffektes erhebliche Einsparungen in der Gesamtsondenmeterzahl möglich sind. Gegenüber einer spezifischen Entzugsleistung von ca. 37 W/m ohne Gebäudekühlung, kann eine Steigerung bis ca. 54 W/m erzielt werden, wenn über 1.200 Volllaststunden/a mit einer Leistung von 50kW aktiv gekühlt wird.

8. Fallbetrachtung

Die beschriebenen Faktoren lassen sich oft nicht beliebig variieren. Bei der Planung sind natürlich die gebäudetechnischen Anforderungen (kann z.B. eine Kühlung realisiert werden und wird dies überhaupt gewünscht?), die örtlichen Gegebenheiten (Platzverhältnisse) und behördlichen Vorgaben (Tiefenbeschränkung, Bohrlochdurchmesser) zu berücksichtigen. Weiterhin sind die positiven Effekte nicht immer kumulierbar, und einige Effekte heben sich auf, so bringt z.B. eine Vergrößerung des Sondenabstandes oder die Anordnung der Sonden in einer Linie statt in einem engständigen Cluster bei Kombination mit der Gebäudekühlung kaum nennenswerte Vorteile.

Abschließend sollen daher drei Extrembeispiele die Kombinationsmöglichkeit aufzeigen (Tab. 2). In dem „ungünstigen“ Beispiel wird ein verhältnismäßig großer Bohrlochdurchmesser mit einer herkömmlichen Bohrlochverfüllung kombiniert. Der Sondenabstand wurde mit 6m angesetzt und die Sondenanzahl und -feldgeometrie wurden engständig mit 4 x 4 Sonden angesetzt. Im Ergebnis beträgt die erforderliche Sondenlänge für diese Konfiguration 87m. Bei einer Gesamtsondenmeterzahl von 1.392m ergibt sich eine spezifische Entzugsleistung von 32 W/m.

Durch günstige Anordnung der Sonden in einer Linie und einem größeren Sondenabstand sowie Einsatz eines thermisch verbesserten Verfüllmaterials, Verringerung der Sondenanzahl und kleineren Bohrlochdurchmesser kann auf fast die Hälfte der Sondenmeter verzichtet werden. Die spezifische Entzugsleistung verdoppelt sich nahezu auf 59 W/m.

Eine weitere Steigerung bei geringerem Platzbedarf ist durch Kombination mit einer aktiven Kühlung (40 kW über 1.500 h/a) möglich. Dabei wird für den Heizfall eine spezifische Entzugsleistung von 70 W/m erreicht.

Tab. 2: Vergleich besonders ungünstiger und besonders günstiger Varianten

	Ungünstig	Günstig	Mit Kühlung
Heizleistung	60 kW		
Volllaststunden	1.800 h/a		
Heizarbeit	108 MWh/a		
JAZ	4,0		
Kühlleistung	---		40 kW
Volllaststunden	---		1.500 h/a
Kühlarbeit	---		60 MWh/a
JAZ	---		5,0 (aktiv)
Bohrlochdurchmesser	180 mm	140 mm	
Verfüllung	Konventionell 0,8 W/(m x K)	Thermisch verbessert 1,8 W/(m x K)	
Sondenabstand	6m	10m	6m
Feldgeometrie	Rechteck 4 x 4	Linie	Rechteck 2 x 4
Sondenanzahl	16	5	8
Sondenlänge	87 m	152 m	80 m
Gesamtsondenmeter	1.392 m	760 m	640 m
„Spez. Entzugsleistung“	32,3 W/m	59,2 W/m	70,0 W/m

9. Resümee

Die spezifische Entzugsleistung ist kein geeignetes Instrument zur Auslegung mittlerer und großer (> 30 kW) Erdwärmesondenanlagen, wie schon bei [7] beschrieben. Sie kann am Ende einer Auslegungsberechnung stehen, um innerhalb des Findungsprozesses der günstigsten Konfiguration als Vergleichswert zu dienen, ist aber für Vergleichszwecke unterschiedlicher Anlagen nur bedingt geeignet. Beispielsweise geht eine hohe Volllaststundenzahl immer mit einer vergleichsweise niedrigen Entzugsleistung einher. Dies kann jedoch nicht zwingend als Effizienzminderung interpretiert werden, da hohe Betriebskosteneinsparungen (und nur darüber amortisiert sich eine Erdwärmesondenanlage) nur durch hohe Volllaststundenzahlen erreicht werden.

Die exemplarischen Berechnungen zeigen auf, dass durch relativ unkomplizierte Änderungen wie Sondenabstand, -anordnung, -anzahl, Verfüllmaterial, Bohrlochdurchmesser etc. eine große Variation der spezifischen Entzugsleistung möglich sind.

Die Bemessung größerer Erdwärmesondenanlagen (>30 kW) auf Grundlage der spezifischen Entzugsleistung ist zum einen nach VDI 4640 nicht zulässig und führt zum anderen regelmäßig zur Unterdimensionierung von Erdwärmesondenanlagen. Die fehlerhafte Auslegung wirkt sich, je nach Grad der Unterdimensionierung, u.U. erst nach einigen Betriebsjahren aus; die in letzter Zeit gehäuft auftretenden Schadensfälle belegen dies.

Die Beispiele haben gezeigt, dass auch eine Überdimensionierung möglich ist. Dies kann dazu führen, dass eine Anlage aufgrund der vermeintlich zu hohen Investitionskosten nicht gebaut wird.

Literatur

- [1] CLAEISSON, J. & ESKILSON, P. (1988): Conductive Heat Extraction to a deep Borehole, Thermal Analysis and Dimensioning Rules. - Energy 13/6, S. 509-527
- [2] HELLSTRÖM, G. & SANNER, B. (1994): Software for dimensioning of deep boreholes for heat extraction. - Proc. CALORSTOCK 94, S. 195-202, Espoo/Helsinki
- [3] HELLSTRÖM, G., SANNER, B., KLUGESCHIED, M., GONKA, T. & MÄRTENSSON, S. (1997): Experiences with the borehole heat exchanger software EED. - Proc. MEGASTOCK 97, S. 247-252, Sapporo
- [4] SAUER, M., MANDS, E., SANNER, B. & GRUNDMANN, E. (2007): Wirtschaftliche Aspekte beim Einsatz von Geothermal-Response-Tests, Tagungsband Geothermiekongress 2007 Bochum, Paper Nr. 124
- [5] DIERSCH, H.-J.G. (2006). FEFLOW[®] 5.3 User's Manual. - WASY GmbH, Berlin, 200 S.
- [6] Sanner, B., Mands, E., Sauer, M., Seidinger, W. (2002): Das Low Energy Office der Deutschen Flugsicherung in Langen mit geothermischer Wärme/Kälte-Speicherung – <http://www.ubeg.de/Downloads/LeoDFSGerm.pdf>
- [7] SANNER, B. (1999): Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen? - Geothermische Energie 26-27/99, S. 1-3, Geeste (auch unter: http://www.geothermie.de/oberflaechennahe/erdwaermesonde/kann_man_erdwaerme-sonden_mit_hilf.htm)
- [8] SAUER, M., MANDS, E. & SANNER, B. (2008): Wichtige Einflussfaktoren bei der Bemessung größerer Erdwärmesondenanlagen, bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 59, 4/08, Bonn
- VDI 4640 (2001): Thermische Nutzung des Untergrunds, Bl. 1 und Bl. 2. – Beuth-Verlag, Berlin
- UBeG Dr. E. Mands & M. Sauer GbR, Nauborner Str. 184, 35580 Wetzlar
UBeG@UBeG.de