
BACHELORARBEIT

Herr
Artur Gaus

Sonden für Erdwärmepumpen

Mittweida, 2015

Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

Bachelorarbeit

Sonden für Erdwärmepumpen

Autor:
Herr Artur Gaus

Studiengang:
Immobilienmanagement und Facilities Management

Seminargruppe:
FM12-w2B

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Jörg Mehlis

Zweitprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Jan Schaaf

Einreichung:
Mittweida, **03.11.2015**

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, **2015**

Faculty Engineering

BACHELOR THESIS

Probes for geothermal heat pumps

author:

Mr. Artur Gaus

course of studies:

**Real Estate Management and Facilities Ma-
nagement**

seminar group:

FM12-w2B

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Mehlis

second examiner:

Prof. Dr.-Ing. Jan Schaaf

submission:

Mittweida, **03.11.2015**

defence/ evaluation:

Mittweida, **2015**

Bibliografische Beschreibung:

Name, Vorname: Gaus, Artur

Thema der Bachelorarbeit:
Sonden für Erdwärmepumpen. 2015.

Seitenzahl Verzeichnisse: 7

Seitenzahl des Inhalts: 54

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen, Bachelorarbeit, 2015

Referat:

Erdwärme ist ein aktuelles Thema und hat in den letzten Jahren grundlegend mehr Aufmerksamkeit bekommen. Neue Entwicklungen in Verbindung mit der grenzenlosen Ressource eröffnet eine Möglichkeit für rentables Heizen und Kühlen. Diese Bachelorarbeit untersucht die Wärmepumpen sowie die dazugehörigen Arten von Erdwärmesonden. Das Thema ist für den Anwender gedacht, der die geothermale Energie nutzen möchte.

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	5
2 Geothermie	8
2.1 <i>Tiefe Geothermie</i>	8
2.1.1 System mit niedriger Enthalpie	9
2.1.2 Systeme mit hoher Enthalpie	9
2.1.3 Petrothermale Systeme	9
2.1.4 Hot-Dry-Rock-System	9
2.2 <i>Oberflächennahe Geothermie</i>	10
3 Wärmepumpen	11
3.1 <i>Funktionsweise und Theorie der Wärmepumpen</i>	11
3.2 <i>Kennzahlen von Wärmepumpen</i>	15
3.3 <i>Bauarten der Wärmepumpe</i>	17
3.3.1 Heizungs-Wärmepumpe Sole/Wasser, Wasser/Wasser	18
4 Erdwärmesonden und Bohrung	19
4.1 <i>Arten der Erdwärmesonden</i>	23
4.2 <i>Aufbau der Erdwärmesonden</i>	26
4.3 <i>Dimensionierung und Funktion von Sonden</i>	27
4.4 <i>Planung und Bemessung</i>	29
4.5 <i>Berechnungsbeispiel</i>	31
4.6 <i>Rechtliche und fachliche Beurteilung von Sonden</i>	33
4.7 <i>Checkliste für Anwender</i>	39
5 Geokoax	41
5.1 <i>Geokoax-Sonden Aufbau und Material</i>	42
5.2 <i>GeoKOAX Technologie</i>	44

5.3	<i>Wasser als Fluid in der Sonde.....</i>	45
5.4	<i>Vorteile der Geokoax.....</i>	47
5.5	<i>Worin unterscheidet sich GeoKOAX von herkömmlichen Sonden?.....</i>	47
5.6	<i>Kühlen eines Hauses mit geoKOAX.....</i>	48
5.7	<i>Beispiele aus dem Alltag.....</i>	49
6	Ausführung und Inbetriebnahme der Sonden.....	51
6.1	<i>Standortanalyse.....</i>	51
6.2	<i>Verbindung von Sondenrohren und Verteilerrohren durch Schweißung.....</i>	52
6.3	<i>Verfüllung der Sonde.....</i>	54
6.4	<i>Horizontale Anbindung zwischen Sonde und Verteiler.....</i>	54
6.5	<i>Einweisung des Betreibers.....</i>	55
7	Fazit.....	56
8	Quellenverzeichnis.....	59
	Selbstständigkeitserklärung.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wärmepumpenprozess bei der Kompressionswärmepumpe	13
Abbildung 2: Absorptionswärmepumpe	14
Abbildung 3: T-s-Diagramm vier Punkte Carnot-Prozess.....	16
Abbildung 4: Arten der Erdwärmenutzung	23
Abbildung 5: Verschiedene Bauarten von vertikalen Erdwärmesonden im Querschnitt ...	25
Abbildung 6: Schemader Erdwärmesonde	26
Abbildung 7: Dimensionierung im Querschnitt.....	27
Abbildung 8: Dimensionierung von Erdwärmesonden mit Werten aus der VDI Richtlinien 4640.....	29
Abbildung 9: Spezifische Entzugsleistung des Bodens in 40 bis 100m Tiefe.....	32
Abbildung 10: Ablaufschema Vorhaben Erdwärmesondenanlage	35
Abbildung 11: Anzeigeformular auf wasserrechtliche Erlaubnis für Erdwärmesonden	37
Abbildung 12: Anzeigeformular auf wasserrechtliche Erlaubnis für Erdwärmesonden	38
Abbildung 13: GeoKOAX Sondenaufbau.....	42
Abbildung 14: Zeichnung Parallelschaltung der Sonden	43

Abkürzungsverzeichnis

λ	Lambda
bzw.	Beziehungsweise
m	Meter
kW	Kilowatt
K	Kelvin
Q	Wärmemenge
P	Leistung
COP	Leistungszahl (Coefficient of Performance)
Q _H	Heizleistung/ Wärmemenge
T	Absolute Temperatur
P _{ANTR}	Elektrische Leistungsaufnahme des Kompressors
LEWS	Länge der Erdwärmesonde
Q _{EWS}	Der Wärmequelle entzogene Spitzenleistung
T _{h/a}	Jährliche Vollbenutzungsstunden
Q _q	Leistungsaufnahme des Verdampfers
q _{EWS}	Maximale spezifische Entzugsleistung
€	Euro
β _a	Jahresarbeitszahl

1 Einleitung

In dieser Bachelorarbeit geht es um Wärmepumpen und den Vergleich herkömmlicher Erdwärmesonden zu einer geoKOAX- Sonde die mit einem anderen System arbeitet. Zum weiteren allgemeinen Verständnis wird auch auf das Thema Geothermie und die Inbetriebnahme eingegangen sowie definiert. Neben den theoretischen Darstellungen werden auch physikalische Eigenschaften, technische Zeichnungen und Berechnungsbeispiele detailliert erklärt. Das Thema dieser Arbeit ist für den Anwender gedacht, der erneuerbare Energie im Sinne von Erdwärme nutzen möchte. Es spielen natürlich immer steigende Energiekosten eine wichtige Rolle und das zunehmende Bewusstsein um die Endlichkeit der fossilen Energieträger, die die Geothermie als Alternative immer attraktiver erscheinen lassen.¹ Erdwärme ist eine unerschöpfliche Energieressource, ihre Nutzung wirkt sich positiv auf die Umwelt aus, da sie zur Verminderung von Co₂-Emissionen beiträgt und fossile Energiequellen schont.² Des Weiteren ist Erdwärme, ganzjährig in Tiefen unter 20m unabhängig vom Wetter verfügbar.³ Bei fachgerechtem Bau und Betrieb sowie der richtigen Planung ist die Anlage vollkommen unbedenklich für Grundwasser und Boden.⁴ In den vergangenen Jahren konnten enorme Fortschritte erreicht werden, über Wissen im Untergrund, die Entwicklung neuer Tiefenbohrungen und die Genauigkeit von geologischen Erkundungen. Die Forschungsgelder bewirken neue innovative Produkte wie zum Beispiel die Geokoax Sonde aber auch neue Arbeitsplätze.⁵

Das Ziel in dieser Bachelorarbeit ist, sich mit dem Thema Erdwärme und die daraus zu gewinnende Energie vertraut zu machen. Dieser sehr breite Themenkomplex setzt aber nicht nur beim großen Thema Energie an. Rechtliche Aspekte, in den dafür tätigen Ämtern treten auf, es müssen Formblätter und Anträge vor der Inbetriebnahme ausgefüllt werden. Des Weiteren sollte man sich als Anwender mit der dafür qualifizierten Firma auseinandersetzen und auf Erfahrung und Arbeitsqualität setzen. Der zweite Punkt ist, welche Sonden Technik man anwenden möchte und welches breitgefächerte Spektrum sich mit der Nutzung ergibt. Da häufig nur an die Wärmeversorgung als auch

¹ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 26.

² Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 3.

³ Vgl. ebenda, S. 3.

⁴ Vgl. ebenda, S. 3.

⁵ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 26.

Stromerzeugung von einzelnen Gebäuden oder Gebäudekomplexen gedacht wird. Jedoch sind auch Einsätze in Thermalwässern, Kühlung von Gebäuden, die Wärme- und Kältespeicherung, Schnee und eisfrei Haltung von Straßen, Brücken, Schienen oder Landebahnen möglich.⁶

Jeder, der auf erneuerbare Energien setzen möchte, ist es selbst überlassen welche er für sich nutzen möchte. Die Entscheidungen liegen bei Solarenergie, Windenergie, Wasserkraft, Bioenergie und die Geothermie. Ganz egal welcher dieser Arten gewählt wird, das Ziel dabei, ist immer Energie in Form von Elektroenergie oder Wärmeenergie zu gewinnen. Es wird keine neue Energie erschaffen, sondern nur von einer Form in eine andere gebracht. Um das anzuwenden benötigt es an Knowhow, darum sind viele Firmen aus den Boden gewachsen, die sich dieses Wissen angeeignet haben um Profit zu erwirtschaften und um einen grünen Trend auf dem Energiemarkt zu bringen. Um einen Schwung reinzubringen, reagierte auch der Staat durch Förderprogramme und Gelder die bereitgestellt wurden. Somit entstehen neue Ziele in der Klimawende,

Die Geothermie ist eine interessante Alternative, jedoch sollte man sich im Vorhinein schon auf die vorherrschenden Bodenverhältnisse informieren. Kommt es in Frage, muss entschieden werden welche Art von Sonde eingesetzt wird, das ist abhängig von der Grundstücksgröße und den Gegebenheiten. Die Entscheidung im Allgemeinen beläuft sich auf horizontale oder vertikale Sondenysteme. Horizontale Sondenysteme sind Erdwärmekollektoren die in 1 m bis 1,5 m unter dem Erdreich eingebaut werden und auf die Fläche verlegt werden. Bei vertikalen Sondenystemen spricht man von Erdwärmesonden die auch in Tiefen von unter 100 m eingebracht werden und dort die Wärme entziehen. Ist das Bohren im Gebiet aufgrund Schichtfolgen oder besonderen Grundwasserspiegel beschränkt, sollten genaue Überlegungen gemacht werden, welche Sonden zum Einsatz kommen. Die geoKOAX- Sonde funktioniert schon bei geringen Bohrmeterern und erwirtschaftet demnach auch ausreichend Energie. Die Technik ist vorangeschritten und ausgereift, somit sollten diesbezüglich keine Bedenken aufkommen.

Die Erschließung von geothermaler Energie ist bei Neubau als auch bei Bestandsimmobilien möglich. Bei Neubau, wird das komplette Heizsystem danach aufgebaut. In Bestandsimmobilien beispielsweise bei einer Modernisierung, kann die erneuerbare Energie auch als Unterstützung des Vorhandenen Heizsystems bei Grund und Spitzen-

⁶ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 4.

lasten dienen, was den Gedanken und die Vielfalt der Anwendung weiter ausdehnt. Jedoch reicht die entzogene Wärme aus dem Erdreich in der Regel nicht aus, darum werden gezielt Wärmepumpen eingesetzt. In einer Wärmepumpe fungiert ein Arbeitsmittel, was durch Änderung des Zustands von flüssig in gasförmig verdampft und verdichtet wird und somit auf ein höheres Temperaturniveau gebracht wird.

Die Themengebiete sind speziell und aufeinander aufbauend gegliedert, für das allgemeine Verständnis um tiefere Einblicke zu erlangen. Das Thema ist sehr komplex und setzt technisches sowie wirtschaftliches Verständnis voraus.

2 Geothermie

Dieses Kapitel definiert Begriffe um die Geothermie und erläutert sie. Geothermie stammt aus dem Griechischen und bedeutet Wärme aus der Erde oder Erdwärme. Zusammengefasst ist die gesamt-gespeicherte, thermische Energie die unter der Erdoberfläche herrscht gemeint. Im engeren Sinne lediglich nur der zugängliche und technisch nutzbare Anteil.⁷ Die Erde besteht aus mehreren Schalen. Die äußerste ist die Erdkruste und ist im Mittel 40 km dick. Darunter befindet sich der 3000 km tiefe fließfähige Erdmantel. Der Erdkern besteht aus einem äußeren flüssigen Kern und dem inneren Kern mit einem Radius von 1200km.⁸ Aufgrund dieses Temperaturgefälles, strömt ständig ein geothermischer Wärmestrom, von 0,065 W/m² von innen nach außen. Über das Jahr hoch gerechnet, ist das eine Menge von ca. $2,9 \cdot 10^{14}$ kWh/a.⁹ Es wird unterteilt in Oberflächennahe Geothermie (bis 400 m), Sonderfälle im Übergangsbereich zur tiefen Geothermie zum Beispiel Grubenwasser-Geothermie und die tiefe Geothermie (ab 400 m).¹⁰

2.1 Tiefe Geothermie

Die tiefe Geothermie umfasst Systeme, bei den geothermische Energien über Tiefenbohrungen erschlossen werden. Dies beginnt ab einer Tiefe von 400 m und einer Temperatur im inneren von 20°C¹¹. Es ist allgemein üblich von tiefer Geothermie zu sprechen, ab einer Tiefe von 1000 m und herrschenden Temperaturen von mehr als 60 °C.¹² Thermalquellen für Bade und Heizzwecke sind einer der ältesten Nutzungsarten von Geothermie durch den Menschen, hierbei kann die Energie direkt genutzt werden.¹³ Für die Energienutzung unterscheidet man in Hydrothermale Systeme mit unter-

⁷ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 16.

⁸ Vgl. ebenda. S. 16.

⁹ Vgl. ebenda, S. 16.

¹⁰ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 5.

¹¹ Vgl. Obst, Fritzer, Stober 2011, S. 9.

¹² Vgl. ebenda, S. 9.

¹³ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 32.

schiedlicher Enthalpie. Enthalpie ist der Wärmeinhalt und das Maß an Energie in einem thermodynamischen System. Des Weiteren gibt es das Petrothermale Systeme.¹⁴

2.1.1 System mit niedriger Enthalpie

Das Wasser wird thermisch genutzt und dient meist direkt zur Einspeisung in das Fern- und Nahwärmenetz.¹⁵ Die Förderung erfolgt über Injektionsbohrungen, hierbei wird es wieder demselben Grundwasserleiter zugeführt.¹⁶

2.1.2 Systeme mit hoher Enthalpie

Ist in Deutschland nicht vorhanden, eher in Gebieten mit hoher vulkanischer Aktivität. Dampf, oder Zweiphasensysteme werden zur Stromerzeugung genutzt.¹⁷

2.1.3 Petrothermale Systeme

Hierbei wird die im Gestein gespeicherte Wärme genutzt, zum einen durch tiefe Erdwärmesonden, die mit Flüssigkeit zirkuliert. Diese wird im Ringraum kalt nach unten geführt, wo sie die Wärme des Gesteins aufnimmt und durch ein Steigrohr nach oben wieder abgibt.¹⁸

2.1.4 Hot-Dry-Rock-System

Dieses System, ist eine Verbindung von Wasser und heißem Gestein. Das Wasser wird über eine Bohrung in das Gestein gepumpt, dort strömt es durch die Klüften und Risse und erwärmt sich dabei. Diese reichen für einen guten Durchfluss meist nicht aus, deswegen wird Wasser mit mehr als 100 bar Druck in die Bohrung gepresst um

¹⁴ Vgl. Obst, Fritzer, Stober 2011, S. 9.

¹⁵ Vgl. ebenda, S. 9.

¹⁶ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 32.

¹⁷ Vgl. ebenda, S. 32.

¹⁸ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 33.

den Weg zu erweitern.¹⁹ Mit diesem System liegen keine Langzeiterfahrungen vor und es wird hauptsächlich zur Stromerzeugung genutzt.²⁰

2.2 Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie ist der Bereich bis zur Tiefe von 400 m unterhalb der Erdoberfläche. In Deutschland beträgt die mittlere Erdoberflächentemperatur 6 bis 12 °C.²¹ Bis ca. 20 m, im Oberflächennahen Bereich wird der Wärmehaushalt durch Sicker- und Grundwasser sowie durch Sonneneinstrahlung beeinflusst.²² Die Temperatur in der Erde wird ab 20 m nahezu konstant. Bei 9 bis 15°C²³ ist das Temperaturniveau in diesem Bereich relativ gering, jedoch in Verbindung mit einer Wärmepumpe zur Erhöhung der Heiztemperatur, werden Gebäude, die mit einem Niedertemperaturheizsystem ausgestattet sind beheizt. Angenommen werden beispielsweise Fußbodenheizungen. Es ist weiter zu sagen, je höher die benötigte Heiztemperatur ist, desto ineffektiver wird die Wärmepumpe. Da sie mehr Strom aufnehmen muss um diese Temperaturen zu erreichen.²⁴

Im Einfamilien-Wohnhausbereich, besitzt es die meist genutzte Anwendung. Meistens wird nur an das heizen gedacht, jedoch durch das niedrige Temperaturniveau der oberflächennahe Geothermie eignet es sich auch sehr gut für die Gebäudekühlung.²⁵

¹⁹ Vgl. Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 33.

²⁰ Vgl. Obst, Fritzer, Stober 2011, S. 9.

²¹ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 138.

²² Vgl. ebenda, S. 138.

²³ Vgl. Thieß 2008, S. 75.

²⁴ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 138.

²⁵ Vgl. ebenda, S. 138.

3 Wärmepumpen

Da die Temperaturen in den oberflächennahen Erdschichten, die in Tiefen von einigen Zentimetern, etwa der jeweiligen Außentemperaturen und in 10 bis 20 m Tiefe der Jahresmitteltemperatur entspricht und erst danach gemäß dem geothermischen Gradienten ansteigt, ist die direkte Wärmenutzung meistens nicht möglich.²⁶ Diese entzogene Wärme muss mittels einer Wärmepumpe, auf ein für die Wärmenutzung geeignetes Temperaturniveau angehoben werden. Die Wärmepumpe ist ein Gerät welches Wärme aufnimmt und diese nach Zufuhr von Antriebsenergie bei Erreichen eines höheren Temperaturniveu wieder abgibt.²⁷

3.1 Funktionsweise und Theorie der Wärmepumpen

Die Wärmepumpen arbeiten mit einem thermodynamischen Grundprinzip, welches einer Wärmequelle thermische Energie aus einem niedrigen Temperaturniveau entzieht. Die aufgenommene Energie, einschließlich der eingesetzten Antriebsenergie, wird in Form thermischer Energie auf ein höheres Temperaturniveau gebracht.²⁸ Die Antriebsenergie wird in Form von Wärme oder mechanischer Energie zugeführt und ist je nach Funktionsprinzip abhängig. Das Herz einer Wärmepumpe ist der Kompressor, er pumpt ein spezielles Arbeitsmittel durch den Kreislauf, das einen Energietransfer ermöglicht. Das Arbeitsmittel ändert seinen Zustand bei der Ab- und Aufnahme von Wärme in flüssig zu gasförmig und umgekehrt.²⁹ Es fungieren Erdsonden, oder Kollektoren, als eigentliche Wärmequelle, die ihre Energie an den Verdampfer liefert, dieser ist wie ein Warmwasserspeicher. Der Wärmetauscher ist nicht warm genug um Wasser aufzuheizen aber es reicht um das kalte, flüssige Arbeitsmaterial zum Verdampfen zu bringen. Das dampfförmige Arbeitsmaterial wird dem Kompressor zugefügt, der es verdichtet und weiter in den Wärmetauscher des Kondensators pumpt. Der Wärmetauscher gibt die Wärme an das Heizsystem ab, diese kondensiert dabei.³⁰ Das kondensierte, flüssige und warme Arbeitsmaterial wird anschließend im Expansionsventil

²⁶ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S.75.

²⁷ Vgl. ebenda, S. 75.

²⁸ Vgl. ebenda, S.75.

²⁹ Vgl. Bo Hanus, Stempel 2007, S. 64.

³⁰ Vgl. ebenda, S. 65.

schlagartig abgekühlt und der Kreislauf beginnt von neuem. Bei Zentralheizungsanlagen wird noch ein Pufferspeicher installiert.³¹ Die Differenzierung liegt zwischen Kompressions-, und Sorptionswärmepumpen. Sorptionswärmepumpen, unterscheiden sich grundsätzlich in Absorptions- und Resorptionsanlagen.³²

Kompressionswärmepumpe: Es findet in einem geschlossenen Kreislauf, ein Kaldampfprozess statt, der aus vier Schritten, der Verdampfung, Verdichtung, Kondensation und Expansion besteht. Die Hauptbestandteile der Pumpe sind der Verdampfer, der Verdichter mit Antrieb, dem Kondensator (Verflüssiger) und das Expansionsventil. Die Nebenbestandteile die für den Betrieb ebenfalls notwendig sind, bestehen aus Ventile, Manometer, Sicherheitseinrichtungen und sonstige Armaturen.³³ Der Kompressor läuft mittels Verbrennungs- oder Elektromotor. Der Vorteil von Verbrennungsmotoren liegt darin, dass die erzeugte Wärme in den Heizprozess eingekoppelt werden kann. Im Verdampfer wird das im Kreislauf zirkulierende Arbeitsmittel bei niedriger Temperatur und niedrigerem Druck durch Wärmezufuhr verdampft. Diese Wärme wird bei Direktverdampfung durch das Erdreich oder Grundwasser bereitgestellt. Das gasförmige Arbeitsmaterial wird nun vom Kompressor angesaugt und verdichtet, es entsteht eine Druckerhöhung. Wird der Dampf auf ein höheres Temperaturniveau gebracht, liegt das über der Vorlauftemperatur z.B. der Heizungsanlage.³⁴ Bei noch bestehendem hohem Druck wird im Kondensator unter Wärmeabgabe an die Heizanlage verflüssigt und tritt durch das Expansionsventil in den Niederdruckteil über, ab da beginnt der Kreislauf wieder von neuem.

³¹ Vgl. Bo Hanus, Stempel 2007, S. 66

³² Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S.75.

³³ Vgl. ebenda, S.75.

³⁴ Vgl. ebenda, S.75.

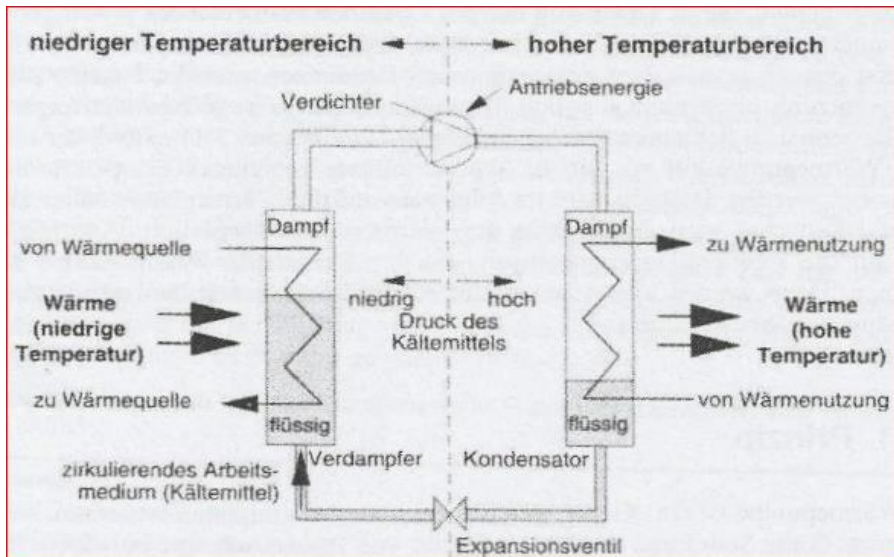


Abbildung 1: Wärmepumpenprozess bei der Kompressionswärmepumpe³⁵

Sorptionswärmepumpe: Als wesentlicher Vertreter sind es hier die Absorptionswärmepumpen, da Resorptionsanlagen kaum Bedeutung erlangen. Die Pumpen bestehen aus dem Verdampfer, Austreiber, Verflüssiger und einem Absorber. Den Betrieb ermöglichen zwei Expansionsventile und eine Lösungsmittelpumpe.³⁶ Es wird kein mechanischer Verdichter, sondern ein thermischer Verdichter verwendet. Die Antriebsenergie wird thermisch durch Verbrennung von Gas oder Öl bereitgestellt. Im Kreislauf zirkuliert ein Zweistoffgemisch, es handelt sich hierbei um ein sogenanntes Arbeitsstoffpaar was aus einer Arbeitskomponente und einer Lösungskomponente besteht. Mögliche Kombinationen sind Ammoniak/Wasser und Wasser/Lithiumbromid. Das erstgenannte ist immer der Stoff des Arbeitsmittels, das zweitgenannte das Lösungsmittel.³⁷ Identisch mit der Kompressionswärmepumpe ist der Vorgang im Kondensator, Expansionsventil und Verdampfer. Der Verdichtungsprozess ist anders und wird aus zwei ineinandergreifenden Kreisläufen mit jeweils unterschiedlichen Druckniveaus gebildet. Zwischen den beiden Druckniveaus regelt eine Lösungsmittelpumpe, diese benötigt viel weniger Antriebsenergie im Vergleich zu einer Kompressionspumpe, da sich flüssiges Material mit einem niedrigerem Aufwand an Energie auf ein höheres Druckniveau bringen lässt, als ein gasförmiges.³⁸ Im Absorber wird das gasförmige Arbeitsmaterial, was vom Verdampfer kommt von der abgereicherten Lösung absor-

³⁵ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S.76.

³⁶ Vgl. ebenda, S.76.

³⁷ Vgl. ebenda, S.77.

³⁸ Vgl. ebenda, S.77.

biert, dabei wird Wärme frei gesetzt. Diese Lösung wird danach unter Druckerhöhung durch die Lösungsmittelpumpe in den Austreiber gepumpt, wobei durch Wärmezufuhr, das Arbeitsmittel, wieder aus dem Lösungsmittel ausgetrieben wird und zum Verflüssiger gelangt und dabei Wärme freigibt.³⁹ Das Arbeitsmittel durchläuft wie bei Kompressionswärmepumpen die gleichen Schritte mit Expansionsventil und Verdampfer, es erreicht gasförmig den Absorber, während das Lösungsmittel durch ein Drosselorgan vom Austreiber wieder zum Absorber gelangt, um das Arbeitsmittel wieder aufzunehmen. Nutzwärme entsteht im Absorber und Verflüssiger.

Im Vergleich sind bei den Absorptionswärmepumpen, durch die einfach aufgebauten Komponenten, z.B. Wärmeübertrager und Lösungsmittelpumpe, geringe Wartungs-, Verbrauchs- und Betriebskosten zu erwarten. Es lässt sich nur ein gutes Teillastverhalten, mit einem entsprechend im Vergleich hohen regelungstechnischen Aufwand erreichen. Demnach ist eine Anwendung im Grundlastbetrieb vorzuziehen.⁴⁰

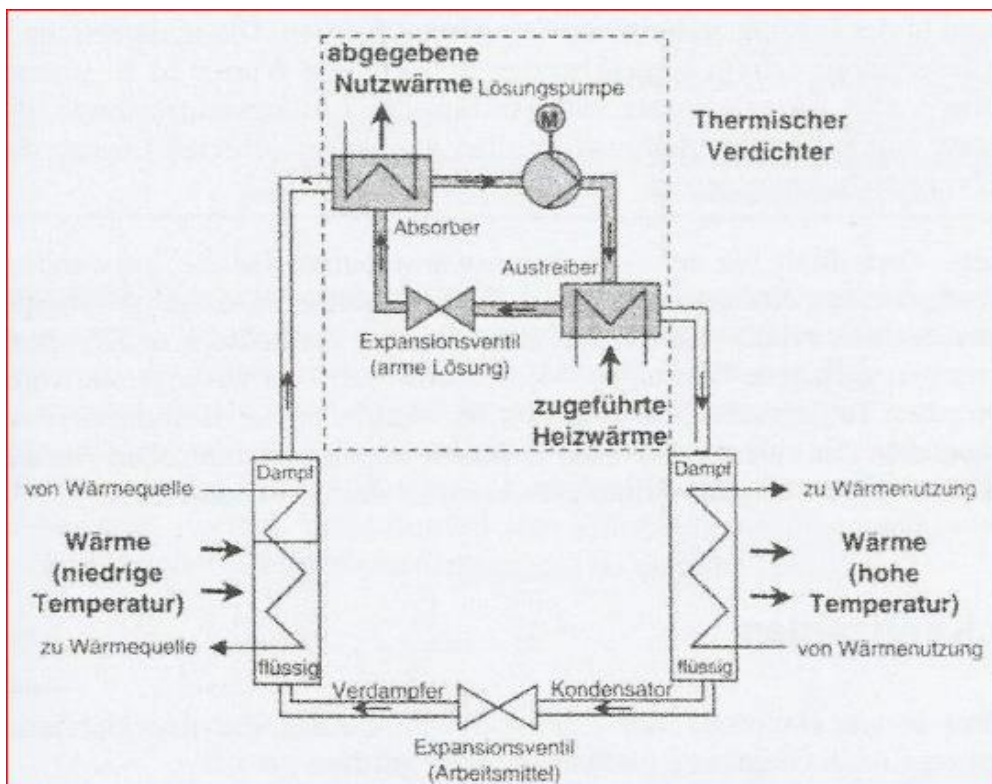


Abbildung 2: Absorptionswärmepumpe⁴¹

³⁹ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S.77.

⁴⁰ Vgl. ebenda, S.78.

⁴¹ Vgl. ebenda, S.77.

3.2 Kennzahlen von Wärmepumpen

Es gibt verschiedene Kennzahlen einer Wärmepumpe bzw. der gesamten Anlage, die zur Beurteilung von Bedeutung sind. Die Wärmebilanz kann nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik aufgestellt werden, er besagt: dass Energie nicht erzeugt werden kann, sondern nur von einer Energieform in die andere umgewandelt werden kann.⁴² Die Summe der Wärmeleistung des Verdampfers $Q_{\text{Verdichter}}$ und der Antriebsleistung des Verdichters P_{Antrieb} , ist die Wärmeleistung des Kondensators $Q_{\text{Kondensator}}$.

$$Q_{\text{Kondensator}} = Q_{\text{Verdichter}} + P_{\text{Antrieb}}^{43}$$

Die Leistungszahl ist das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zur aufgenommenen elektrischen Antriebsleistung. In Abhängigkeit zu einem bestimmten Anlageumfang an einem bestimmten Arbeitspunkt. Das Formelzeichen für die Leistungszahl ist COP (Coefficient of Performance) und sagt aus, wie Effizient eine Anlage arbeitet, also welchen Nutzungsgrad sie hat. Sie gibt das Verhältnis der Wärme Q_H , die an den Heizkreis abgegeben wird. Zur aufgewendeten elektrischen Leistung P_{Antrieb} für den Verdichter an.⁴⁴

$$\text{COP} = Q_H / P_{\text{Antrieb}}^{45}$$

Es gibt noch einen zweiten Hauptsatz in der Thermodynamik der besagt, dass die Wärme selbst immer vom warmen zum kühlen Bereich fließt. Die Zustandsänderung des Kältemittels nennt man Carnot'scher Kreisprozess.

$$\text{COP} = T_{\text{warm}} / T_{\text{warm}} - T_{\text{kalt}}^{46}$$

Grundsätzlich weicht der berechnete Wert von den Realleistungszahlen der Wärmepumpe ab, da betriebsbedingt mechanische, thermische und elektrische Prozesse als auch der Energiebedarf des Hilfsantriebs des Verdichters die Leistung der Anlage drosseln.⁴⁷

⁴² Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 48.

⁴³ Vgl. ebenda, S. 48.

⁴⁴ Vgl. ebenda, S. 48.

⁴⁵ Vgl. ebenda, S. 48.

⁴⁶ Vgl. ebenda, S. 48.

⁴⁷ Vgl. ebenda, S. 48.

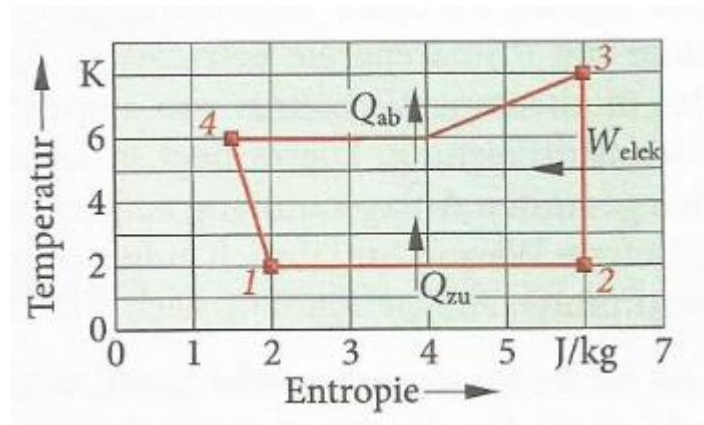


Abbildung 3: T-s-Diagramm vier Punkte Carnot-Prozess⁴⁸

Im Carnot-Prozess durchläuft das Kältemittel vier Punkte. Der Wärmequelle wird zwischen Punkt eins und zwei bei konstanter Temperatur, die Wärmemenge Q_H entzogen und an den Kreislauf abgegeben. Zwischen Punkt zwei und drei wird das Kältemittel unter Zugabe von elektrischer Arbeit W_{elek} verdichtet, es entsteht ein Temperaturanstieg von zwei bis acht Kelvin. Es wird mit einer gewissen Überhitzung gearbeitet, damit wird das flüssige Arbeitsmedium, was in den Verdampfer eingespritzt wird, mehr Wärme ausgesetzt als erforderlich ist. Die Temperaturerhöhung findet statt, damit eine sichere vollständige Verdampfung erfolgt und der Kompressor keine Restflüssigkeit ansaugt und somit zu Schaden geht.⁴⁹ Die Kondensation bzw. Verflüssigung findet zwischen Punkt drei und vier statt, wobei der Druck stark und die Temperatur leicht abfallen. Um den Kreislauf zu schließen wird das wieder flüssige Kältemittel entspannt und verliert somit wieder an Temperatur.

Die zweite Kennzahl ist die Jahresarbeitszahl β_a . Die Arbeitszahl wird als Verhältnis jährlich gelieferter Wärme zur jährlich aufgenommenen elektrischen Antriebsarbeit, bezogen auf einen bestimmten Anlageumfang, in einer bestimmten Zeit (in den meisten Fällen ein Jahr) definiert. So kann die Effizienz der gesamten Wärmepumpenanlage ermittelt werden.⁵⁰ Es ist von großer Bedeutung, da Temperaturänderungen bezogen auf das Jahr und die gesamte Anlagenauslegung in die Messung mit eingehen.

⁴⁸ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 49.

⁴⁹ Vgl. ebenda, S. 49.

⁵⁰ Vgl. ebenda, S. 50.

Für die Anlagen gibt es zwei Möglichkeiten, die Effizienz zu ermitteln. Durch Heizzahl und Jahresarbeitszahl.

Die Heizzahl, ist bei verbrennungsmotorisch angetriebenen Wärmepumpen zu errechnen. Es ist das Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung zur aufgenommenen Brennstoffleistung. Dieses liegt in einem bestimmten Arbeitspunkt und muss für den gesamten Anlagenumfang aufgenommen werden.

Die Jahresheizzahl gibt an, wie hoch der Aufwand für einen bestimmten Nutzen ist. Dieser Aufwand ist die elektrische Energie, die in das System gesteckt wird, die für den Verdichter der Wärmepumpe und andere Hilfsantriebe benötigt wird. Die Heizwärme wird als Nutzen angesehen.⁵¹

3.3 Bauarten der Wärmepumpe

Die Einteilung von Wärmepumpen kann erfolgen nach:

- Wärmequelle: Erdwärme, Grundwasser, Außenluft sowie Abluft.
- Einsatz: Kühlung, Heizung, Warmwasserbereitung, Entlüftung, Wohnraumlüftung und Wärmerückgewinnung.
- Medium Wärmequelle/ Wärmenutzungsanlage: Sole/Wasser, Direktverdampfung/Wasser, Wasser/Wasser, Luft/Luft und Luft/Wasser.
- Bauart: Kompressions-Wärmepumpe, Absorptions-Wärmepumpe, Kompakt, Split, nach Antrieb (Elektro, Gasmotor) als auch den Aufstellungsort (innen, außen).⁵²

⁵¹ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 50.

⁵² Vgl. Ochsner 2007, S. 19.

3.3.1 Heizungs-Wärmepumpe Sole/Wasser, Wasser/Wasser

Das Heizungs-Wärmepumpen System kommt zur monovalenten Heizung (überwiegend Erdwärme), Wärmerückgewinnung, Kühlung und Warmwasserbereitung zur Anwendung. Bei den meisten handelt es sich um Kompaktgeräte für Innenaufstellung, die einen internen Überlastungsschutz, Expansionsventil, Kondensator, einen Verdampfer und meist Edelstahl-Plattenwärmetauscher als Verdampfer besitzen.⁵³ Der Kältekreislauf sollte dabei vollständig gegen Schwitzwasser und Wärmeverluste isoliert sein. Das Kältemittel im Kreislauf sollte aus chlorfreien Arbeitsmittel bestehen. Der Elektroteil ist je nach Hersteller extern angeordnet, wobei die Heizungsregelung integriert ist. Die Regelung sollte witterungsgeführt und lastabhängig geschaltet sein.⁵⁴ Bei einigen Herstellern, sind die Heizungs-sowie Sole-Umwälzpumpen im Gerät integriert. Bei Kompaktgeräten auch der Warmwasserspeicher. Die Sicherheitseinrichtungen in den Geräten beinhalten Motorschutzrelais, Frostschutzthermostat, Hoch- und Niederdruckpresostat. Bei Großanlagen wird ein Strömungswächter empfohlen.⁵⁵ Sollte es zu Störungen kommen, wird es im Display angezeigt, hier findet man außerdem die Temperaturanzeige für den Wärmepumpenvorlauf, Betriebsstundenzähler, Anzeigen für Niederdruck-Hochdruck, Frostschutz, Motorschutz, Diagnosen als auch eine Resettaste.⁵⁶

⁵³ Vgl. Ochsner 2007, S. 19.

⁵⁴ Vgl. ebenda, S. 19.

⁵⁵ Vgl. ebenda, S. 20.

⁵⁶ Vgl. ebenda, S. 21.

4 Erdwärmesonden und Bohrung

Erdwärmesonden sind Wärmetauschersysteme, die durch Tiefenbohrungen von 30 m und 300 m, im Rohrsystem die Wärmeenergie an die Oberfläche befördern.⁵⁷ Neben vertikalen Erdwärmesonden gibt es auch die Möglichkeit, schräg zu bohren. Dieses Verfahren wendet man bei schlechten Platzbedingungen auf dem Grundstück an.⁵⁸ Es handelt sich hierbei um zwei U-Rohre, auch Doppel-U-Rohre genannt. Diese bestehen aus Polyethylen Kunststoff (PE 100 RC / PE-Xa)⁵⁹ und werden seit mehr als 50 Jahren in der Wasserversorgung als Rohrwerkstoff eingesetzt. Dieser Kunststoff kann bei einer fachgerechten Verarbeitung, eine Lebensdauer von 100 Jahren erreichen.⁶⁰ Doppel-U-Rohre haben in der Regel zwei Vorlauf und zwei Rücklaufleitungen, die am Sondenfuß verschweißt sind.⁶¹ Über Verteiler und Regeleinrichtungen werden die Erdwärmesonden an eine Wärmepumpe angeschlossen. In der Sonde befindet sich reines Wasser oder mit Beimischung von Frostschutzmitteln, das von einer Pumpe umgewälzt wird.⁶² Beim Durchströmen entnimmt das Wärmeträgermedium in der Erdwärmesonde, dem Untergrund die Wärme und stellt es dem Gebäude direkt oder in den meisten Fällen über eine Wärmepumpe zur Verfügung. Die Ergiebigkeit im Erdreich ist je nach Teufen und Gebieten unterschiedlich, somit sollte schon im vornherein eine Analyse des Bodens mithilfe von Bodenkatasterkarten vorgenommen werden.⁶³ Demnach gibt es schlechten Untergrund, wie trockener Kies mit Sand ($\lambda < 1,5 \text{ W/mK}$), normaler Untergrund mit einer normaler Wärmeleitfähigkeit, wie zum Beispiel Kalkstein oder Sandstein mit ($\lambda = 1,5\text{-}3,0 \text{ W/mK}$). Und es gibt sehr guten Boden mit einer Wärmeleitfähigkeit von ($\lambda > 3,0 \text{ W/mK}$) wie in Basalt oder Gneis.⁶⁴

In Deutschland sind Tiefen von 50 bis 150 m üblich. Nur bestimmte Bauformen wie Ramm- und Koxialsonden bleiben unter 50 m. Somit sollte nach VDI 4640 Kleinanlagen mit 30kW Heizleistung der angeschlossenen Wärmepumpe, für ein Einfamilienhaus

⁵⁷ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 60.

⁵⁸ Vgl. Grimm, Heske, Popp 2013, S. 3.

⁵⁹ Vgl. ebenda, S. 3.

⁶⁰ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S.139.

⁶¹ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 60.

⁶² Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S.139.

⁶³ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 61.

⁶⁴ Vgl. VDI 4640 2014, Blatt 2.

normalerweise eine bis zwei Sonden ausreichen.⁶⁵ Keine Seltenheit sind auch Großanlagen mit 10 bis 100 Sonden.

Um Sonden einzubauen muss vorerst gebohrt werden. Die Bohrungen sind zwischen mehreren zehn und einigen hundert Meter tief, dabei variiert der Durchmesser zwischen 120 mm und 200 mm. Für die Doppel-U-Rohre werden vorgefertigte PE-Rohre mit 25 mm, 32 mm oder 40 mm Außendurchmesser und einem Sondenfuß verwendet.⁶⁶ Damit die Sonde auch einwandfrei in die Bohrung eingebracht werden kann, muss diese mit einem größeren Durchmesser dimensioniert werden. Der Hohlraum der entsteht, bezeichnet man als Bohrlochringraum.⁶⁷ Dieser Raum wird mit einem Fertigstoff, der gut wärmeleitfähig ($> 1,8 \text{ W/mK}$) und frostbeständig ist, verfüllt.⁶⁸ Das Grundwasser muss ebenso geschützt werden, darum muss das Bohrloch dauerhaft und über die gesamte Länge hydraulisch-lückenlos abgedichtet sein. Dieser Fertigstoff ist ähnlich Zement und heißt Bentonit-Zement-Sand-Suspension, in diesem Gebiet gibt es auch schon Verbesserungen mit einer besseren Leitfähigkeit von $> 2 \text{ W/mK}$.⁶⁹

Es muss jede Erdwärmesonde einzeln absperrbar sein, was über Regelarmaturen an den Erdwärmesondenverteilern erfolgt. Somit besteht die Möglichkeit, jede einzelne Sonde separat einzustellen, weil die Erdwärmesonden selten den ähnlichen Abstand zum Verteiler haben.⁷⁰ Da die frostfreie Grenze erst ab ungefähr einen Meter beginnt, muss die Leitungsführung zwischen Sonde und Verteiler in Gräben erfolgen. Das Verlegen erfolgt vorsichtig und in einem Sandbett.⁷¹

Im Prinzip kann überall gebohrt werden, außer in Wasserschutzgebieten. Das Projekt kann beginnen, sobald alle Genehmigungen da sind und der Wärmebedarf des Gebäudes bestimmt und eine thermische Simulation anhand der zu erwartenden Geologie durchgeführt wurde.⁷²

⁶⁵ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 79.

⁶⁶ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 140.

⁶⁷ Vgl. ebenda, S. 140.

⁶⁸ Vgl. Grimm, Heske, Popp 2013, S. 3.

⁶⁹ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 140.

⁷⁰ Vgl. ebenda, S. 142.

⁷¹ Vgl. ebenda, S. 142.

⁷² Vgl. Klemmer 2015.

Weltweit gibt es verschiedene Bodenarten, demzufolge gibt es auch verschiedene Bohrwerkzeuge und Bohrverfahren.⁷³ Das Werkzeug wird über das Gestänge angetrieben, es arbeitet über die Rotation. Das Bohren erfolgt über zwei Techniken, einmal das Imlochhammer- Bohrverfahren mit Luftspülung (Anwendung bei Festgestein) oder Direktspülverfahren mit Wasser (bei Sedimenten oder Lockergestein). Das dabei austretende Bohrgut wird in einem Container gesammelt und nach Abschluss der Arbeiten entsorgt.⁷⁴ Auftretendes Grundwasser muss gerecht abgeleitet werden. Durch Potenzialkarten können die geothermischen Verhältnisse des jeweiligen Ortes bestimmt werden. Denn die Anzahl und Tiefe der Bohrungen sind vom Energiebedarf und den geologischen Bedingungen des Standortes abhängig.⁷⁵

Damit sich die einzelnen Anlagen nicht gegenseitig beeinflussen, müssen gewisse Mindestabstände eingehalten werden. Es gilt, zum Nachbar 3-5 m, bei Sondenteufungen bis 50 m ein Mindestabstand von 5 m und bei Sondenlängen zwischen 50 m- 100 m ein Abstand von 6 m. untereinander.⁷⁶

Damit es für den Anwender keine Probleme vor der Bohrung sowie während und nach der Bohrung gibt, sollten diese Tipps dabei helfen.

- „Anfertigen einer Heizlastberechnung“
Im vornherein klar, wie hoch der Energiebedarf ist und wie viel Bohrungen benötigt werden.
- „Anfertigen einer geothermischen Standortbewertung (EED-Simulation), Kenntnisse der Geologie“
Um zu erfahren wie der Energiebedarf und die geologischen Bedingungen des Standorts sind.
- „Bohrlochtiefen und Bohrlochanzahl berechnen“
Daraus erschließt sich, die daraus gewonnene Wärme, die in die Wärmepumpe eingespeist wird.

⁷³ Vgl. Klemmer 2015.

⁷⁴ Vgl. ebenda.

⁷⁵ Vgl. ebenda.

⁷⁶ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 64.

- „Auswahl des geeigneten Bohrverfahrens“
Sollte mit der Fachfirma besprochen und hinterfragt werden. Da diese das gewisse „know-how“ besitzen.
- „Zertifizierung des Bohrunternehmens“
Der Nutzer sollte sich über Aktuelles der Firma, wie zum Beispiel das Auftreten bei Messen oder Veranstaltungen, sowie über aktuelle oder ältere Referenzen bekannt machen.
- „Einsatz fachkundigen und geschulten Bohrpersonals (Erfahrung am Einsatzort, Geologie?)“
Über geschickte Fragestellungen, Antworten bekommen.
- „Beachtung der behördlichen Auflagen“
Vor der Bohrung sollte man sich mit der Rechtsgrundlage auseinandersetzen, es gelten das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), das Sächsische Wassergesetz (SächsWG), das Bundesberggesetz (BbergG) sowie das Lagerstättengesetz (LagerstG).⁷⁷
- „Ableitung von Bohr- und Grundwasser klären“
Bei Austreten von Grundwasser, sollte das abfließen im Vorhinein abgeklärt sein. Beispielsweise durch einen Kanal oder Einleitegenehmigung.
- „Dokumentation aller Arbeiten“⁷⁸
Sollten Probleme einige Jahre nach Fertigstellung auftreten, ist eine Dokumentation hilfreich, Fotos können ebenfalls dabei helfen Sachverhalte aufzuklären.

⁷⁷ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 13.

⁷⁸ Vgl. Klemmer 2014.

4.1 Arten der Erdwärmesonden

Unterschiedlich ist die Art und Weise wie dem Untergrund, die Wärme entnommen bzw. dort eingeleitet wird. Es lassen sich zwei grundlegende Varianten unterscheiden.⁷⁹

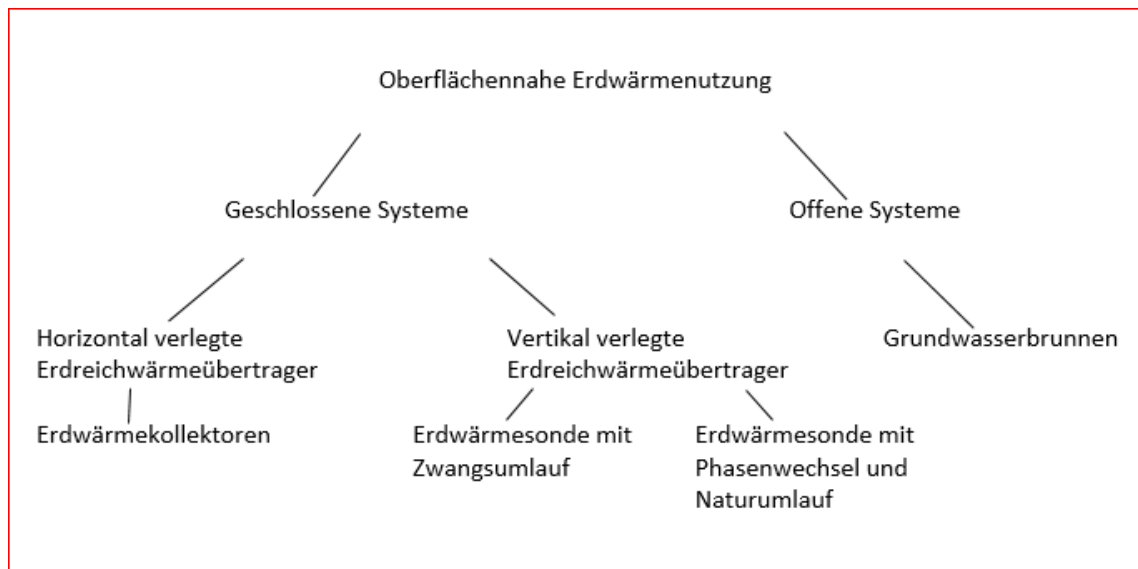


Abbildung 4: Arten der Erdwärmennutzung⁸⁰

Die offenen Systeme, arbeiten mit abgepumpten Grundwasser über Brunnen. Dieses Grundwasser dient als Wärmeträgermedium. Als fortlaufender Prozess wird das Wasser abgekühlt und über einen Schluckbrunnen wieder in die gleiche grundwasserführende Schicht eingeleitet.⁸¹ Voraussetzungen für so ein System, ist das Vorhandensein von geeigneten, grundwasserführenden Schichten im Untergrund.⁸² Es wird vom offenen System gesprochen, weil das Grundwasser nicht in einem klar definierten Kreislauf bewegt wird und es direkten Kontakt zur grundwasserführenden Schicht hat.⁸³

Bei den geschlossenen Systemen werden Wärmeübertrager horizontal oder vertikal im Erdreich installiert und vom Wärmeträgermedium in einen geschlossenen Kreislauf

⁷⁹ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S. 61.

⁸⁰ Vgl. Arten der Erdwärmennutzung

⁸¹ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S. 62.

⁸² Vgl. ebenda S. 62.

⁸³ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S. 62.

durchströmt. Das Wärmeträgermedium steht nicht in direkten Kontakt mit den Gesteinen und deren Porenfüllung.⁸⁴

Erdwärmekollektoren sind horizontale Wärmeübertrager für geschlossene Systeme. Die Rohre bestehen aus Metall oder Kunststoff und werden in einer Tiefe von 1 m bis 1,5 m in das Erdreich eingebaut.⁸⁵ Es gibt verschiedene Bauarten wie zum Beispiel die Serienschaltung, Parallelschaltung oder die Verlegung in einen Graben. Der Abstand der Rohre sollte bis zu 1 m betragen. Die Installation folgt auf weichen Sandschichten.⁸⁶ Die dabei genutzte Erdfläche, sollte die 1,5 bis 2-fache Größe, wie die zu beheizende Fläche betragen. Es ist jeweils abhängig von der Bodenbeschaffenheit und den Standard des Hauses.

Vertikal verlegte Erdreichwärmeübertrager, weisen gegenüber den horizontalen einen viel geringeren Flächenbedarf auf. Es sind Erdwärmesonden, die vertikal in über 100 m Bohrungen eingebracht werden.⁸⁷ Die Sondenrohre können auf zwei Arten gebohrt werden, einmal die gerade-gebohrte Sonde und bei sehr geringen Platzverhältnissen, bieten sich gerammte Sonden an. Dabei wird das Bohrgerät drehbar aufgebaut und muss nicht weiter umgesetzt werden.⁸⁸ Vor allen bei Lockergestein ist das eine kostengünstigere Variante.

Vertikale Erdwärmesonden entziehen dem Erdreich die Wärme, bezüglich der Art des Wärmetransports und der Wärmeübertragung, lassen sie sich in zwei Klassen unterteilen. Zum einen gibt es Erdwärmesonden mit Zwangsumlauf und Erdwärmesonden mit Phasenwechsel und Naturumlauf. Bei Erdwärmesonden mit Zwangsumlauf wird das Wasser-Frost-Schutzmittelgemisch mithilfe einer elektrisch betriebenen Umwälzpumpe in einen Kreislauf zwischen Verbraucher (ein Wärmeübertrager zum Beispiel direkt in den Wärmepumpen-Verdampfer) und der Sonde umgepumpt. Es kann jedoch damit nicht nur geheizt werden, über einen Zwangsumlauf, kann auch Wärme zur Speicherung, Rückkühlung von Kälteanlagen und direkte geothermische Kühlung vorgenom-

⁸⁴ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S. 61.

⁸⁵ Vgl. ebenda, S. 63.

⁸⁶ Vgl. ebenda, S. 63.

⁸⁷ Vgl. ebenda, S. 65.

⁸⁸ Vgl. ebenda, S. 65.

men werden.⁸⁹ Es sind die Standardbauformen wie Einfach-U-Sonde, Doppel-U-Sonde sowie einfache Koxialsonden, die mit dieser Technik ausgestattet sind.

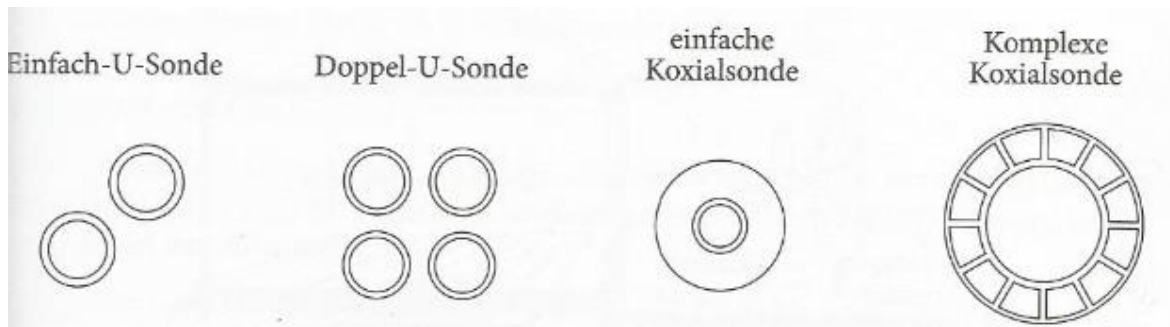


Abbildung 5: Verschiedene Bauarten von vertikalen Erdwärmesonden im Querschnitt⁹⁰

Erdwärmesonden mit Phasenwechsel, arbeiten meist mit dem Heat-Pipe-Prinzip (einem Wärmerohr). In der Sonde wird CO₂ oder Propan (ein Kältemittel) eingesetzt, was dampfförmig auf einen Wärmeübertrager (Verdampfer einer Wärmepumpe) eintritt. Dabei wird dem Kältemittel die Wärme entzogen, sodass es kondensiert.⁹¹ Das entstandene Kondensat ist kälter als das Erdreich und wird durch die Schwerkraft wieder abwärts transportiert. Dabei nimmt es die Erdwärme auf und verdampft wieder, dadurch steigt es im Kern des Rohres (als Kältemitteldampf) von selbst wieder nach oben, wo es am Kopf der Sonde durch Kondensation die aufgenommene Wärme an den Wärmeüberträger abgibt.⁹² Es ist zu verstehen, dass sich die gesamte Wärmepumpe direkt am Sondenkopf befindet. Eine weitere Möglichkeit sind Splitanlagen, hierbei ist der Kältekreislauf verlängert und der Verdampfer ist zu den anderen Komponenten räumlich getrennt. Lösbar ist auch, durch einen Zwischenkreis die Wärme vom Sondenkopf bis zur Pumpe zu transportieren.⁹³

⁸⁹ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 79.

⁹⁰ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 63.

⁹¹ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 80.

⁹² Vgl. ebenda, S. 81.

⁹³ Vgl. ebenda, S. 81.

4.2 Aufbau der Erdwärmesonden

Einfach- oder Doppel-U-Sonden bestehen aus zwei bzw. vier Rohren, diese sind so verbunden, dass die Sole in einem Rohr nach unten und im anderen wieder nach oben strömen kann. Bei coaxialen Sonden findet der Wärmeentzug nur auf einer Fließstrecke statt.⁹⁴



Abbildung 6: Schemader Erdwärmesonde⁹⁵

Das Betonit-Einfüllrohr ist der Anschluss um den Hohlraum zwischen Sonde und Bohrloch mit Betonit-Suspension von unten nach oben zu füllen. Die Distanzhalter in der Sonde sind zur Zentrierung und Distanzierung der Sondenrohre. Der Vor und Rücklauf beinhalten die Sole und geben es an den Wärmeüberträger ab. Im untersten Bereich befindet sich die Schutzklappe mit dem Gewicht, damit die Sonde leicht in die Bohrung eingeführt werden kann.

⁹⁴ Vgl. Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S. 66.

⁹⁵ Vgl. Drescher, Kley, Schlabbach 2012, S. 63.

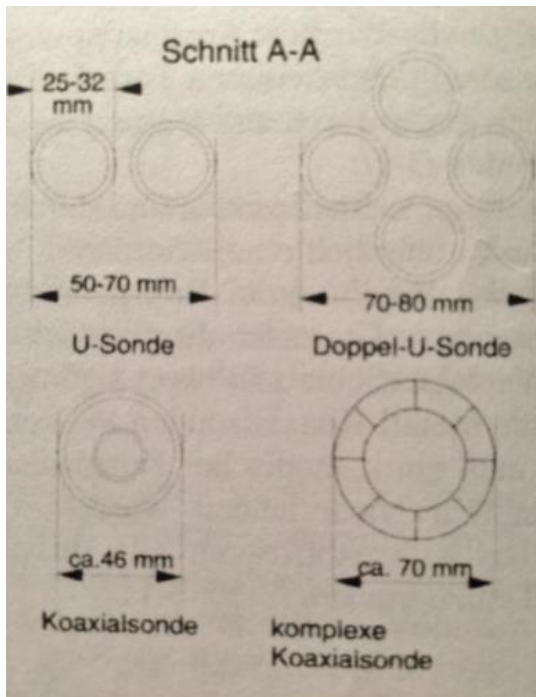


Abbildung 7: Dimensionierung im Querschnitt⁹⁶

Auf der Abbildung 4, sieht man die Standardmaße. In Deutschland ist die Anwendung der Doppel-U-Sonde am weitesten verbreitet. Das einzelne Rohr gibt es mit 25 mm, 32 mm oder 40 mm. Insgesamt herrscht dann ein Durchmesser bis 80 mm. Die dafür benötigte Bohrung kann zwischen 120 mm und 200 mm liegen.⁹⁷

4.3 Dimensionierung und Funktion von Sonden

Ausschlaggebend für die Auslegung von Erdwärmesonden ist die Temperatur des Wärmeträgermediums. Im Betrieb der Sonden unterscheidet man zwischen zwei Arten, dem Grundlastbetrieb und Spitzenlastbetrieb. Nach VDI-Richtlinie 4640 soll im Grundlastbetrieb im Wochenmittel, die Temperatur vom Wärmeträgermedium zur Erdoberflächentemperatur 11 K nicht über bzw. unterschreiten. Das gleiche gilt im Spitzenlastbe-

⁹⁶ Vgl. Baumgärtner, Hoth, Jung 2009, S. 66.

⁹⁷ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 140.

trieb, hier sind es 17 K.⁹⁸ Für die Dimensionierung an einem Standort sind folgende Angaben von wichtiger Bedeutung:

- Den Anlagenbetriebsstunden im Jahr
- Der Grundstücksgröße
- Daten zur örtlichen Geologie
- Den benötigten Kälte- und Wärmeleistungen
- Den behördlichen Auflagen entsprechend Erlaubnis.⁹⁹

Des Weiteren fordert die VDI, 4640 bei „einer größeren Anzahl von Kleinanlagen, Anlagen mit einer Wärmepumpen-Gesamtheizleistung größer 30 kW, Anlagen mit mehr als 2400 projektierten Betriebsstunden, Anlagen mit zusätzlichen Wärmequellen bzw. senken, eine korrekte Anlagenauslegung, die durch Berechnung nachgewiesen werden muss.“¹⁰⁰

Im Einfamilienhausbereich ist es üblich, keine Berechnungen zu verlangen. Da spezifische Entzugsleistungen Tabellen entnommen werden können.¹⁰¹

⁹⁸ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 144.

⁹⁹ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 145.

¹⁰⁰ Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 145.

¹⁰¹ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 145.

Dimensionierung Erdwärmesonden			
Einfamilienhaus			
Benötigten Heizleistung	6 kW	8 kW	10 kW
Gewünschte Jahresarbeitszahl JAZ des Wärmepumpensystems (= Effektivität)	4	4	4
Stromanteil an Wärmeleistung	1,5 kW	2 kW	2,5 kW
Anteil Erdwärme	4,5 kW	6 kW	7,5 kW
Beispiel 1			
Betriebsstunden	2.400 h/a	2.400 h/a	2.400 h/a
Schlechter Untergrund – Spezifische Entzugsleistung in W/m	20	20	20
Benötigte Erdwärmesondenlänge	225 m	300 m	375 m
Beispiel 2			
Betriebsstunden	1.800 h/a	1.800 h/a	1.800 h/a
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit – Spezifische Entzugsleistung in W/m	81	84	84
Benötigte Erdwärmesondenlänge	54 m	72 m	89 m

Abbildung 8: Dimensionierung von Erdwärmesonden mit Werten aus der VDI Richtlinien 4640¹⁰²

Es wird ersichtlich, dass es keinen für alle Gebiete gültigen Dimensionierungsansatz gibt, da es allgemeine Werte sind, die durch Schieferung, Klüftung und Verwitterung schwanken.¹⁰³ Auch die Anforderungen an der Gebäudetechnik sind immer unterschiedlich. Der Bauherr selber kann meist die Geologie und die daraus zuziehende Effektivität seiner zukünftigen Anlage nicht beurteilen, deswegen sollte er das, dem Bohrunternehmen überlassen. Sollte die Anlage größer 30 kW sein, ist es sinnvoll, um eine natürliche Regeneration des Erdreichs bei zu behalten, Gebäudekühlung zu nutzen, um damit durch Einbringung der Wärme in das Erdreich, dieses zu unterstützen.¹⁰⁴

4.4 Planung und Bemessung

Die Voraussetzungen für das einbauen von Erdwärmesondenanlage, sind Genehmigungsfähigkeit und eine geeignete Geologie für die Bohrung am geplanten Standort. Erdwärmebohrungen sind der zuständigen Behörde anzuzeigen, das jeweilige Genehmigungsverfahren ist von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich und ist den

¹⁰² Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 146.

¹⁰³ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 146,147.

¹⁰⁴ Vgl. Bußmann, Frick, Fritschen 2013, S. 147.

Leitfäden zu entnehmen oder bei der zuständigen Behörde zu erfragen.¹⁰⁵ Bei Kleinanlagen oder Sonden bis zu einer bestimmten Tiefe werden bei einigen Bundesländern Vereinfachungen definiert, bei dem keine besonderen Anzeigen oder Prüfungen, ebenfalls zulässig sind.¹⁰⁶ Unzulässig sind Erdwärmesonden in Wasserschutzgebieten in den Zonen 1 und 2, Möglichkeiten zum Durchsetzen gibt es in Zone 3 durch Einzelprüfungen und eventuell durch Auflagen mittels Ausnahmegenehmigung.¹⁰⁷

Es gibt neben Karten in denen Erdwärmesonden auf günstigen oder ungünstigen sowie unzulässigen Gebieten verzeichnet sind auch digitale Informationssysteme mit geologischen 3D-Modellen. In einigen Bundesländern gibt es diese Karten über das Internet, ansonsten auf CD-ROM als digitaler Atlas.¹⁰⁸ Mit diesen geologischen Karten können thermische Eigenschaften des Untergrunds für die Planung abgeschätzt werden. Die Informationen sind sehr hilfreich, jedoch nicht für die konkrete Dimensionierung der Sondenlage und Länge gedacht.¹⁰⁹

In der Praxis wird die Leistungsfähigkeit durch Fachleute geologisch erkundet und in Watt pro Bohrmeter beschrieben. Diese Angabe reicht jedoch nicht, denn die thermische Nutzleistung hängt auch von der Übertragungsfläche, dem Durchsatz des Wärmeträgerfluids als auch der Temperaturdifferenz zwischen Erdreich und dem Wärmeträgerfluid. Das Fluid wird in Rohrschenkel nach unten transportiert und im Nachbarrohr im selben Bohrloch mit einer anderen Temperatur wieder nach oben, dadurch entsteht ein sogenannter thermischer Kurzschluss.¹¹⁰ Aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen entsteht ein asymmetrisches Temperaturfeld mit einem Temperaturgefälle, welches ein Wärmestrom vom wärmeren zum kälteren Rohr verursacht.¹¹¹

Wärmeübertragungsvorgänge werden innerhalb des Bohrlochs im effektiven Bohrlochwiderstand zusammengefasst, der die Wärmeleistung pro Meter Bohrlänge und Kelvin Temperaturdifferenz, zwischen den Mittelwert der Fluidtemperatur in der Sonde und der Erdreichtemperatur in der Sonde und der Temperatur am Bohrloch umfasst. Ist der Bohrlochwiderstand gering, ist zwischen Erdreich und Fluid die Wärmeübertragung

¹⁰⁵ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 82.

¹⁰⁶ Vgl. ebenda, S. 82.

¹⁰⁷ Vgl. ebenda, S. 82.

¹⁰⁸ Vgl. ebenda, S. 82.

¹⁰⁹ Vgl. ebenda, S. 82.

¹¹⁰ Vgl. ebenda, S. 84.

¹¹¹ Vgl. ebenda, S. 84.

besser.¹¹² Es erweist sich als positiv wenn das Verfüllmaterial große Wärmeleitfähigkeit besitzt. Wenn der Fluid-Volumenstrom geringer wird, nähern sich die Bohrlochwiderstände an, da die Aufenthaltsdauer in der Sonde zunimmt. Dadurch wird der thermische Kurzschluss von auf- und absteigenden Fluid deutlich stärker.¹¹³

4.5 Berechnungsbeispiel

Q_H = Heizleistung/ Wärmemenge

P_{ANTR} = Elektrische Leistungsaufnahme des Kompressors

L_{EWS} = Länge der Erdwärmesonde

Q_{EWS} = Der Wärmequelle entzogenen Spitzenleistung

$T_{h/a}$ = jährliche Vollbenutzungsstunden

Q_q = Leistungsaufnahme des Verdampfers

q_{EWS} = Maximale spezifische Entzugsleistung

Als Beispielsrechnung soll eine Wärmepumpe mit einer Heizungsvorlauftemperatur von 35°C aus Erdwärmesonden als geothermische Quelle versorgt werden. Die Wärmepumpe hat eine Heizleistung von $Q_H = 8,2$ kW und eine elektrische Leistungsaufnahme des Kompressors von $P_{Antr} = 1,7$ kW. Die entzogene Spitzenleistung Q_{EWS} , muss mindestens der Leistungsaufnahme des Verdampfers der Wärmepumpe Q_Q entsprechen.

$$Q_Q = -Q_H - P_{ANTR} = -(8,2 \text{ kW}) - 1,7 \text{ kW} = 8,2 \text{ kW} - 1,7 \text{ kW} = \underline{6,5 \text{ kW}} = Q_{EWS}^{114}$$

Die komplette Anlage soll eine Wärmemenge von 19.000 kWh im Jahr liefern. Die Vollbenutzungsstunden werden demnach berechnet:

$$T_{h/a} = Q_H \text{ Wärmemenge pro Jahr} / Q_H \text{ Wärmemenge Wärmepumpe} = 19.000 \text{ kWh/a} / 8,2 \text{ kW} = \underline{2.317 \text{ h/a}}^{115}$$

¹¹² Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 82.

¹¹³ Vgl. ebenda, S. 85.

¹¹⁴ Vgl. ebenda, S. 95.

¹¹⁵ Vgl. ebenda, S. 95.

Untergrund	spez. Entzugsleistung für 1800 h	spez. Entzugsleistung für 2400 h
Allgemeine Richtwerte		
Schlechter Untergrund (trockenes Sediment); $\lambda < 1,5 \text{ W/(m K)}$	25 W/m	20 W/m
Untergrund normales Felsgestein und wassergesättigtes Sediment; $\lambda = 1,5 \text{ bis } 3,0 \text{ W/(m K)}$	60 W/m	50 W/m
Felsgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit; $\lambda > 3,0 \text{ W/(m K)}$	85 W/m	70 W/m
Einzelne Gesteine		
Kies, Sand, trocken	< 25 W/m	< 20 W/m
Kies, Sand, wasserführend	65 bis 80 W/m	55 bis 65 W/m
Einzelanlagen bei starkem Grundwasserfluss in Kies und Sand		80 bis 100 W/m
Lehm und Ton, feucht	35 bis 50 W/m	30 bis 40 W/m
Kalkstein, massiv	55 bis 70 W/m	45 bis 60 W/m
Sandstein	65 bis 80 W/m	55 bis 65 W/m
saure Magmatite, Granit, etc.	65 bis 85 W/m	55 bis 70 W/m
basische Magmatite, Basalt, etc.	40 bis 65 W/m	35 bis 55 W/m
Gneis	70 bis 85 W/m	60 bis 70 W/m

Abbildung 9: Spezifische Entzugsleistung des Bodens in 40 bis 100m Tiefe¹¹⁶

Die Wärmeleitfähigkeit im Erdreich am Standort liegt bei $\lambda_E = 3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, daraus lässt sich eine hierfür zulässige spezifische Entzugsleistung von 50 W/m abschätzen. Mit diesem Wert ergibt sich die erforderliche Sondenlänge. Bei der Gleichung sollte man die Vorzeichen beachten, da entzogene Leistung negativ und zugeführte positiv zu zählen ist.

$$L_{EWS} = Q_{EWS} / q_{EWS} = -6.500 \text{ W} / -50 \text{ W/m} = \underline{130 \text{ m}}.^{117}$$

Das Ergebnis bei einer Wärmepumpe mit einer Heizleistung von $8,2 \text{ kW}$, bei diesem Boden der ca. 50 W/m bei einer spezifischen Entzugsleistung von rund 2400 h pro Jahr abwirft, benötigt man eine Sondenlänge von 130 Meter . Je nach Platz und Gegebenheiten auf dem Grundstück kann das in einer Bohrungen oder mehreren umgesetzt werden.

¹¹⁶ Vgl. Theiß 2008, S. 80.

¹¹⁷ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 95.

4.6 Rechtliche und fachliche Beurteilung von Sonden

Beim Bau von thermischen Anlagen im Untergrund sind Bestimmungen und Genehmigungen zu beachten. Die rechtlichen Grundlagen bilden das Wasserhaushaltsgesetz, das Sächsische Wassergesetz, das Lagerstättengesetz, sowie das Bundesberggesetz.¹¹⁸

Wasserhaushaltsgesetz (WHG): Durch den Bau und Betrieb von Erdwärmesonden, kann unabhängig, ob auf Grundwasser gestoßen oder nicht, ein erlaubnispflichtiger Benutzungstatbestand erfüllt sein. Eine Bohranzeige ist notwendig, wenn es auf das Grundwasser einwirkt, ansonsten bedarf das Niederbringen einer Bohrung keine Genehmigung.¹¹⁹ Das Interesse dieser Gesetze, liegt dem Schutz des Grundwassers, zum Zwecke der Trinkwasserversorgung. Dabei darf die Bohrspülung keine wassergefährdeten Stoffe enthalten. Der Kurzschluss von zwei oder mehreren Grundwasserstockwerken ist zu unterbinden, beispielsweise durch Verpressen des Bereichs. In Gebieten mit ergiebigen Grundwasserstockwerken, wird der Einbau in der Regel abgelehnt.¹²⁰ Bei einer Prüfung wird festgestellt, ob der Einbau von Sonden zulässig ist. Dabei stellen die folgenden Kriterien eine entscheidende Rolle:

- Lage in festgesetzten Wasserschutzgebieten, hierbei bedarf es einer besonderen fachlichen Prüfung. Es sind die jeweiligen Nutzungsbeschränkungen und Verbote zu beachten.
- Lage in Gebieten mit bestehenden Boden- und Grundwasserverunreinigungen. Es bestehen Altlasten, es herrscht eine bestehende Gefahr der Verschleppungen von Kontaminationen. Kommt in der Regel immer auf den Einzelfall drauf an.
- Standorte mit aktivem Bergbau, Altbergbau. Es können Probleme beim Bohren auftreten sowie beim Verfüllen.
- Standorte innerhalb des Gewässerrandstreifen
- Technische Neuerungen
- Lage in Überschwemmungsgebieten¹²¹

¹¹⁸ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 13.

¹¹⁹ Vgl. Sobotta 2008, S. 66.

¹²⁰ Vgl. ebenda, S. 66.

¹²¹ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 16.

Bergrecht (BBerG): Im Bohrbereich von 0-99 m wird das Bergrecht nicht angewandt. Ab 100 m sind die Bestimmungen anzuwenden.¹²² Ist dies der Fall, ist der Auftraggeber der Bohrung oder das Bohrunternehmen verpflichtet, das der Bergbehörde anzuzeigen.¹²³ Nach dieser Anzeige entscheidet die Bergbehörde, ob ein Betriebsplan für die Bohrung erforderlich ist, ist das der Fall, werden im Verfahren auch alle anderen betroffenen Behörden informiert und beteiligt. Im Betriebsplan werden Tätigkeiten wie vorübergehende Grundwasserentnahme, Bohrung im Grundwasser und Pumpversuche beschrieben. Kein Betriebsplan ist dann erforderlich, wenn die Bohrung, Gewinnung und die Nutzung auf einem Grundstück erfolgen und keine weiteren Bedingungen für den Schutz Beschäftigter oder Dritter bestehen.¹²⁴ Wenn mit Altbergbau gerechnet wird, sollte man sich über eine Mitteilung der unterirdischen Hohlräume gemäß Sächsische Hohlraumverordnung bei der Bergbehörde informieren und diese einholen.¹²⁵

Lagerstättengesetz (LagerstG): Nach Gesetz sind alle Bohrungen, durch den Bohrunternehmer, mindestens zwei Wochen vor Beginn der Bohrung bei der zuständigen geologischen Anstalt des Landes, (in Sachsen: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landschaft und Geologie) anzuzeigen. Nach Abschluss der Arbeit, oder spätestens sechs Monate danach, sind die Bohrergebnisse, und Untersuchungsergebnisse dem LfULG (sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) mitzuteilen. Auch die Bohrproben müssen vom Bohrunternehmen aufbewahrt werden.¹²⁶

¹²² Vgl. Sobotta 2008, S. 66.

¹²³ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 13.

¹²⁴ Vgl. ebenda, S. 14.

¹²⁵ Vgl. ebenda, S. 14.

¹²⁶ Vgl. ebenda, S. 14.

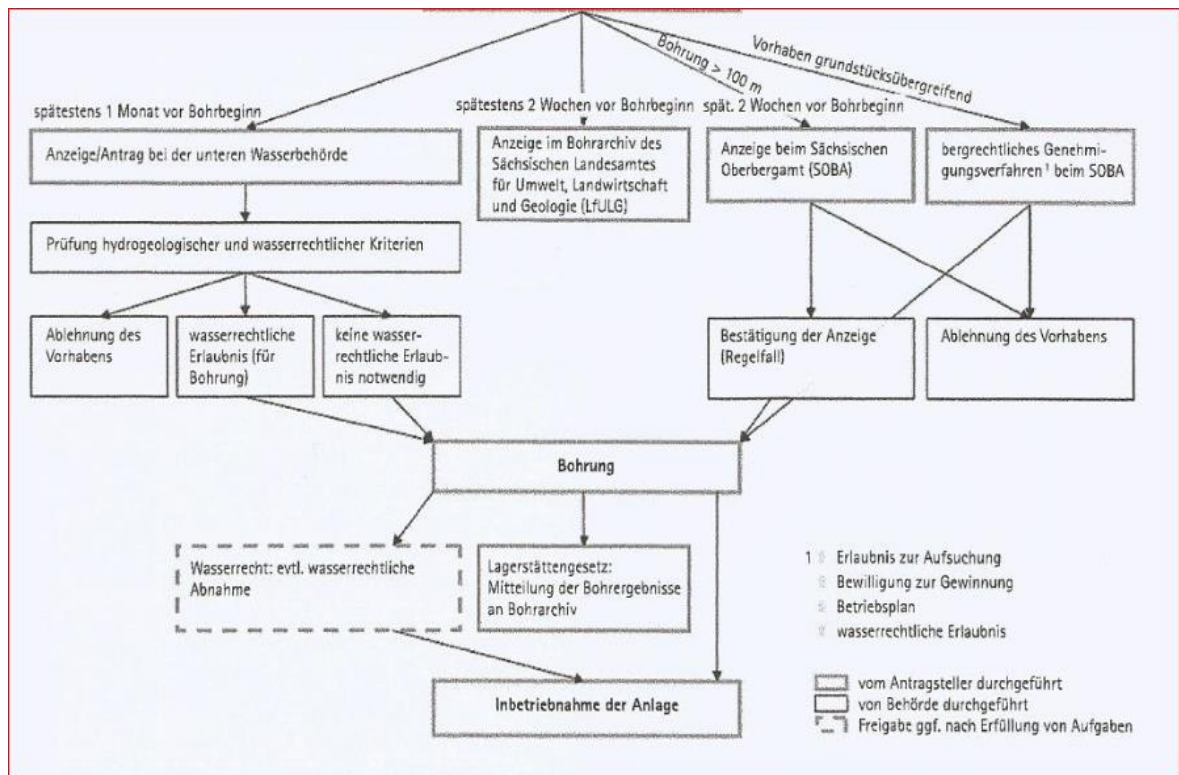


Abbildung 10: Ablaufschema Vorhaben Erdwärmesondenanlage¹²⁷

Das Vorhaben beziehungsweise der ganze Ablauf ist bei der zuständigen Verwaltungsbehörde anzuzeigen (1 Monat vor Baubeginn). Zur Beschleunigung gibt es ein Formular für die Erdaufschlüsse sowie eins für die wasserrechtliche Erlaubnis. Bei schwierigen und komplizierten Verhältnissen, zur Prüfung der Eignung der geologischen-hydrogeologischen Standorteigenschaften, ist das LfULG, die fachlich zuständige Behörde. Daraufhin gibt es eventuell eine fachtechnische wasserrechtliche Bewertung durch die Wasserbehörde.¹²⁸ Diese überprüfen die Gebiete, es gibt Gebiete mit ungestörten oberflächennahen Festgestein sowie Standorte mit komplizierten Verhältnissen.

Günstige Standorteigenschaften besitzen eine schwach bis durchlässige Wasserdurchlässigkeit und eine unwesentliche Stockwerksgliederung im Grundwasser, wobei durch die Bohrung die betroffenen Schichten keine flächige Verbreitung haben.¹²⁹

¹²⁷ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 15.

¹²⁸ Vgl. ebenda, S. 14.

¹²⁹ Vgl. ebenda, S. 15.

Standorte mit komplizierten Verhältnissen besitzen Kriterien wie gespannte Grundwasserleiter, Wasserschutzzonen, stark wechselnde Untergrundverhältnisse oder das durchteufen von Deckschichten, die wirtschaftlich bedeutsame Grundwasservorkommen schützen.¹³⁰

Nach Sondeneinbau und der Verfüllung als auch vor Inbetriebnahme, muss eine Druckprüfung durchgeführt werden und das Prüfzeugnis der Wasserbehörde übergeben werden. Vier Wochen nach Abschluss der Aufschlussarbeiten, müssen die Anlagendokumentation, der Ausbauplan der Erdwärmesonde, das eingebrachte Volumen des Betonit und des Wärmeträgermittels, die Leitungsführung sowie die Schweißverbindung zugeleitet werden.¹³¹ Wird das alles beachtet kann man die Anlage in Betrieb nehmen.

Die Anträge werden mittels Anzeigeformulare ausgefüllt.

¹³⁰ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 15.

¹³¹ Vgl. ebenda, S. 14.

1. Allgemeine Angaben

Antragsteller (Bauherr)	Name, Vorname:	
	PLZ, Ort:	
	Straße, Nr.:	
	Telefon-Nr.:	Telefax-Nr.:
	E-Mail-Adresse:	
Standort der Anlage	Stadt/Landkreis:	
	Gemeinde/Ortsteil:	
	Gemarkung:	
	Flur:	Flurstück:
	PLZ:	Straße, Nr.:
	Hochwert:	Rechtswert:
	<i>(oder Eintragung in beigefügter Karte)</i>	
Geländehöhe (m ü. HN):		
Messtischblatt Nummer TK25:	Name:	
Bohrunternehmen	Firma:	
	PLZ, Ort:	
	Straße, Nr.:	
	Telefon-Nr.:	Telefax-Nr.:
	E-Mail-Adresse:	
	Verantwortlicher Fachmann:	
	Telefon-Nr.:	Telefax-Nr.:
Planendes Ingenieurbüro (wenn zutreffend)	Firma:	
	Ansprechpartner:	
	PLZ, Ort:	
	Straße, Nr.:	
	Telefon-Nr.:	Telefax-Nr.:
E-Mail-Adresse:		

2. Angaben zur Berechnung der Erdwärmesonden

fachgerechte Anlagenberechnung (z.B. Vordimensionierung nach VDI 4640): ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
zur Berechnung
verwendete spezifische Entzugsleistung des Untergrundes [W/m]:
bzw. Gesteinswärmeleitfähigkeit [W/m·K]:
<i>Für Erdwärmeanlagen > 30 kW Heizleistung (Großanlagen) auszufüllen:</i>
Sind ein Thermal-Response-Test an einer Erstbohrung und eine anschließende Anlagendimensionierung mittels Fachsoftware geplant? ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>

3. Angaben zur Durchführung der Bohrungen

Beginn der Arbeiten:	voraussichtliche Dauer:
Anzahl:	Bohrdurchmesser [mm]:
geplante Bohrtiefe [m]:	
Bohrverfahren:	
Spülmittel (bei Spülbohrung):	
geplantes Verfüllmaterial:	
Art der Verfüllung (z. B. Kontraktorverfahren):	
Angaben zur schadlosen Ableitung des möglicherweise während der Bohrarbeiten ausgepressten Grundwassers:	

Abbildung 11: Anzeigeformular auf wasserrechtliche Erlaubnis für Erdwärmesonden¹³²¹³² Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 29.

4. Technische Daten Erdwärmesonden	
Erdwärmesonden	Sondenart (z. B. U-, Doppel-U-, Koaxial-Sonde):
	Anzahl: Länge [m]:
	minimaler Abstand untereinander [m]:
	Abstand zur Grundstücksgrenze [m]:
	Sondenmaterial: Sondendurchmesser [mm]:
	Durchmesser Sondenbündel mit Verfüllrohr [mm]:
	herstellereitige Druckprüfung: ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Wärmeträgermittel in Sonde (Solefluid)	Name/Inhaltsstoffe:
	Wassergefährdungsklasse: Gesamtmenge:
5. Technische Daten Wärmepumpenanlage / Anlagenplanung	
gebäudespezifische Angaben	Heizlastberechnung nach DIN EN 12831: ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
	Heizlast [kW] DIN EN 12831: Kühllast [kW]:
	Gebäudefläche [m ²):
	Nutzung: Heizen: <input type="checkbox"/> Heizen+Warmwasserbereitung: <input type="checkbox"/> Kühlen: <input type="checkbox"/> Jahresbetriebsstunden der Wärmepumpe [h]:
Wärmepumpe	Hersteller: Typ:
	Heizleistung [kW]: Leistungszahl (COP):
	Standort: <input type="checkbox"/> außerhalb <input type="checkbox"/> innerhalb des Gebäudes
	Kältemittel in der Wärmepumpe:
Sicherheits-einrichtungen u. Schutzvorkehrungen	<input type="checkbox"/> automatische Drucküberwachung im Wärmeträgerkreislauf
	<input type="checkbox"/> andere

Abbildung 12: Anzeigeformular auf wasserrechtliche Erlaubnis für Erdwärmesonden¹³³

Als erstes sind es die allgemeinen Angaben, wie die des Bauherrn, den Standort der Anlage, sowie die Daten des Bohrunternehmens. Im Punkt zwei und drei geht es um die technischen Gegebenheiten, hier geht es um die Angaben der Erdwärmesonden, die Bohrtiefe, Leistung in Watt, welches Bohrverfahren angewandt wird und welche Verfüllung benutzt wird. Im vierten Punkt des Antrags werden die technischen Daten der Erdwärmesonde behandelt. Die Sondenart, welche Länge, Abstände, verwendetes Material, und Maße sind hier ausschlaggebend. Der letzte Punkt befasst sich mit der Wärmepumpenanlage, Angaben über den Hersteller, Heizleistung und den Standort der Anlage müssen niedergeschrieben werden. Davor sollten die Angaben über das Gebäude bekannt sein und ebenfalls in das Formular rein geschrieben werden. Die letzten Angaben befassen sich mit der Sicherheit und deren Einrichtung.

¹³³ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 30

4.7 Checkliste für Anwender

Es gibt zehn Schritte die beachtet werden sollten, auch die Reihenfolge dieses Werdegangs ist von wesentlicher Bedeutung.

1. Vorinformationen:
gibt mein Stromversorger einen günstigen Wärmepumpentarif an?
Bestehen Fördermöglichkeiten?
Welche Varianten der Erdwärmenutzung sind an meinem Standort möglich?
(Kollektoren, Brunnen, Sonden).
2. Gebäudetechnische Informationen:
Beratung durch eine Fachfirma, Informationen über Heiz- und, oder Kühlbedarf,
Art des Heizsystems berücksichtigen (Radiatoren, Fußbodenheizung).
3. Planung und Dimensionierung der Erdwärmesondenanlage:
Die Fachfirma muss mithilfe geotechnischer und hydrogeologischer Daten,
Sondenzahl und Bohrtiefe für den Standort, individuell berechnen können.
4. Grundstücksbezogene Informationen:
Mindestabstände zu den Grenzen beachten, mit der Bohrfirma über die allgemeine Lage absprechen und die Zufahrt für das Bohrgerät berücksichtigen, einschließlich das beachten von Grundstücksplänen mithilfe des Schachtscheins zwecks Medienträger.
5. Zertifizierte Bohrfirma:
Vorlage von Referenzen, Bestätigung zur Einhaltung der Anforderungen des Gewässerschutzes und Zertifizierung der Bohrfirma.
6. Wurden alle Anzeigen durchgeführt und liegen alle Genehmigungen vor? :
Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis, Anzeige beim Bergamt bei Tiefen ab 100 m.

7. Bohrarbeiten und Einbau der Erdwärmesonden:
Sonden im Werk hergestellt, Dichtheitsprüfung und Zertifizierung der Erdwärmesonden, vollständige Verfüllung des Bohrlochs mit Betonit, von unten nach oben, Druckprüfung auf Dichtheit nach dem Verfüllen.

8. Anschluss der Erdwärmesonden an die Wärmepumpe:
Anschluss an die Wärmepumpe, hydraulischer Abgleich der Sonde mit der Wärmepumpe und entlüften, sowie das einfüllen mit dem Wärmeträgermedium.

9. Inbetriebnahme der Wärmepumpe:
Der Heizungsinstallateur hat die Funktionsweise zu erklären und die Übergabe der Dokumentation aller ausgeführten Arbeiten, samt Prüfzeugnisse.

10. Effektive Nutzung der Wärmepumpe:
Der Heiztechniker überprüft die Einstellungen und vergleicht die verbrauchten Wärmemengen nach etwa einem Jahr.¹³⁴

¹³⁴ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S 34.

5 Geokoax

Die GeoKOAX GmbH ist ein internationales Unternehmen mit Niederlassungen in Schleswig und Köln, dazu Vertriebspartnerschaften in USA, Serbien und Polen. Die Erdwärmesonden Technologie ist mit einem Patent geschützt. Diese Sonde ist bundesweit und in vielen Teilen Europas in Betrieb.¹³⁵ Die Besonderheit bei dieser Sonde, sie entwickelt ab einem Volumenstrom von 0,1 l/Sek eine turbulente Durchmischung des Fluids. Um dieses Ziel zu erreichen werden Verwirbelungskörper in regelmäßigen Abständen in den Ringraum eingebaut.¹³⁶ Diese sorgen für gute Durchmischung bei geringen Volumenströmen und zum anderen, wird die Wärmeübertragung verbessert. Das Gesamtpaket erstreckt sich von der Standortanalyse über Planung, Testing und Umsetzung bis zum Monitoring.¹³⁷ Die Speichersonde, ist die leistungsstärkste Erdwärmesonde, zum Heizen und Kühlen von Wohn- und Gewerbeimmobilien, auch in bohrtiefenbegrenzten Regionen. Kleinere Grundstücke mit hohem Energiebedarf profitieren auch von den Sonden, die 60% weniger Bohrmeter benötigen als herkömmliche.¹³⁸

¹³⁵ Vgl. Oberflächennahe Geothermie, Erdwärme mit der Geokoax 2015, S. 1.

¹³⁶ Vgl. Ledwon 2012, S. 1.

¹³⁷ Vgl. geoKOAX geothermal Systems 2015, S. 5.

¹³⁸ Vgl. ebenda, S. 5.

5.1 Geokoax-Sonden Aufbau und Material

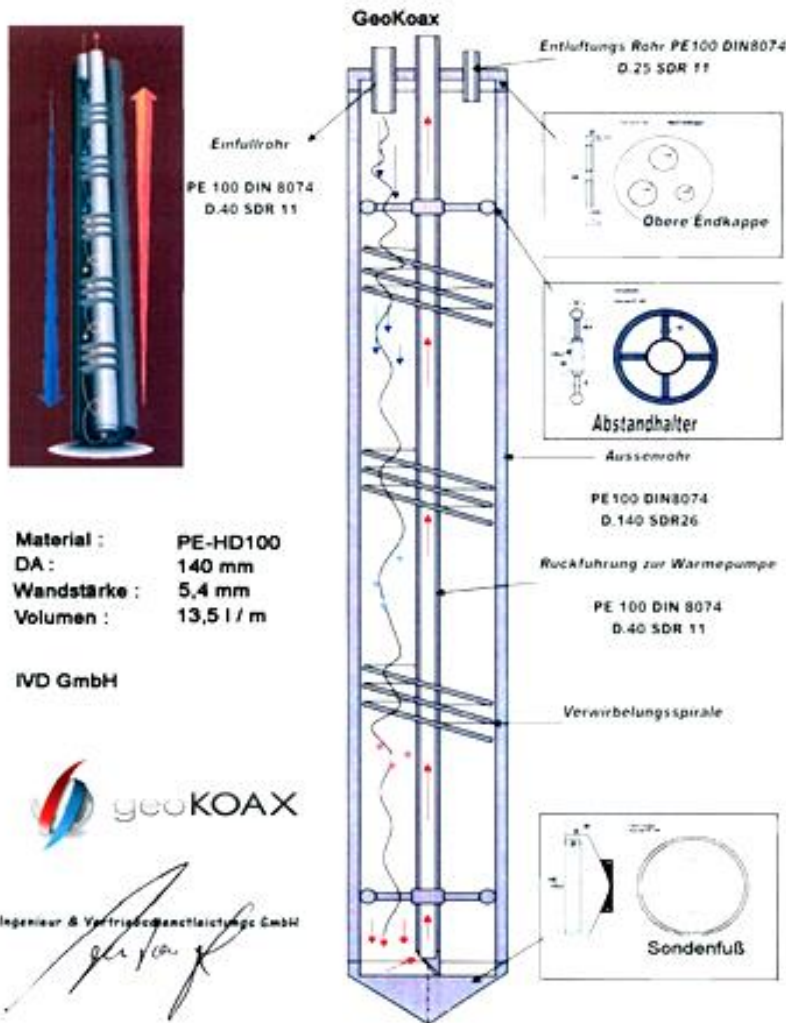


Abbildung 13: GeoKOAX Sondenaufbau¹³⁹

Die GeoKOAX besteht wie die anderen Sonden aus einem Vor- und Rücklauf. An oberster Stelle befindet sich immer das Entlüftungsrohr, das bis vor in den Soleverteiler geht. Zum Entlüftungsrohr gehört noch ein Kugelhahn. Im Kern befindet sich der Rücklauf, der für die Rückführung zur Wärmepumpe verantwortlich ist. Im Gegensatz dazu gibt es an der Außenhaut die Außenrohre, zwischen diesen beiden durchströmt das Fluid. Verwirbelungsspiralen sind zwischen den Außenrohren angebracht, um einen hohen Volumenstrom zu erreichen und demnach eine hohe Wärmeübertragung zu erreichen. An unterster Stelle befindet sich der Sondenfuß, ein gespritztes Formteil aus

¹³⁹ Vgl. Oberflächennahe Geothermie, Erdwärme mit der Geokoax 2015, S. 4.

dem Material PE 100. Durch die günstige Verteilung der Eigenspannung, entsteht ein deutlich höherer Widerstand.¹⁴⁰ Damit es zu keinen Deformierungen kommt halten Abstandshalter zwischen den beiden Außenrohren die gewünschte Form.

PE 100-RC: dieses Material bietet eine spezielle molekulare Vernetzung und verbesserte Eigenschaften gegenüber Risswachstum, äußeren Beschädigungen und Punktlasten.¹⁴¹ Die Bedeutung des RC kommt aus dem Englischen und bedeutet resident to crack, auf Deutsch übersetzt heißt es, „ist vor dem Zerschlagen fest“. Des Weiteren bietet PE 100-RC gegenüber bisherigen Kunststoffen eine um ca. 10% höhere Wärmeleitfähigkeit.¹⁴²

Zu den technischen Daten der Sonde:

- Durchmesser 140 mm
- Volumen: 13,5 l/m
- Vorlauf/Einlaß: 40 mm
- Rücklauf: 40 mm
- Entlüftung: 25 mm¹⁴³

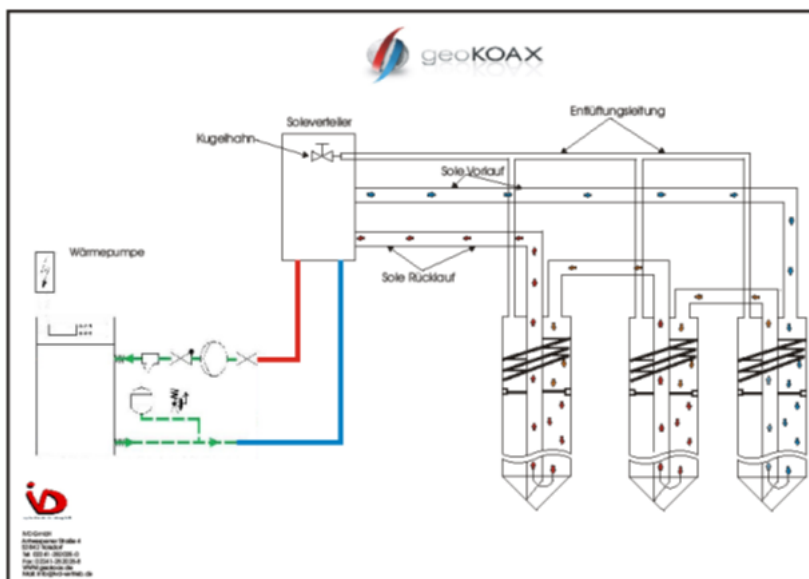


Abbildung 14: Zeichnung Parallelschaltung der Sonden¹⁴⁴

¹⁴⁰ Vgl. GeoKOAX Heizen und Kühlen 2015, S. 4.

¹⁴¹ Vgl. ebenda, S. 4.

¹⁴² Vgl. ebenda, S. 4.

¹⁴³ Vgl. GeoKOAX die Revolution in der Geothermie 2015, S.1.

5.2 GeoKOAX Technologie

Es gibt vier neue Technologien, die diese Erdwärmesonde spezieller macht. Durch diese Entwicklungen steigern sich die Kennzahlen sowie die Effektivität der gesamten Anlage.

1. Verwirbelung:

Der Kern dieser Tausch-Technologie ist die Verwirbelung. Der Wärmeübergangskoeffizient wird gesteigert, durch den permanenten Wechsel von laminarer zu turbulenter Strömung.¹⁴⁵

2. Volumen:

Im Gegensatz zu herkömmlichen SONDENSYSTEMEN, verfügt das geoKOAX-Erdwärmetausch-System über ein 6,5-fach größeres Volumen an Wärmeträgerflüssigkeit. Die Flüssigkeit bewirkt dabei die Wärmeaufnahme und fungiert als Energiespeicher. Das bewirkt eine genaue, sowie temperaturkonstante Abgabe der Energie und erlaubt längere Ruhephasen für die Wärmepumpe.¹⁴⁶

3. Aufnahme­fläche:

Der Mantel der Sonde hat so eine geometrische Konzeption, dass die Aufnahme­fläche doppelt so groß ist, als herkömmliche SONDENSYSTEME. Eine homogene Verfüllung des Ringraums ohne Lufteinschlüsse ist durch die homogene, glatte Ummantelung gewährleistet. Der Abstand zum Erdreich ist ebenfalls stets gleichmäßig.¹⁴⁷

4. Geringer Bohrloch­widerstand:

Die Ausrichtung, gewährleistet einen einheitlichen Abstand zum Erdreich. Und somit einen geringen Bohrloch­widerstand, was zu einer effizienten Energieaufnahme führt.¹⁴⁸

¹⁴⁴ Vgl. Oberflächennahe Geothermie, Erdwärme mit der Geokoax 2015, S. 5.

¹⁴⁵ Vgl. GeoKOAX Heizen und Kühlen 2015, S. 3.

¹⁴⁶ Vgl. ebenda, S. 3.

¹⁴⁷ Vgl. GeoKOAX Heizen und Kühlen 2015, S. 3.

¹⁴⁸ Vgl. ebenda, S. 3.

Durch die speziell entwickelte Verwirbelungstechnik, findet in der Sonde ein optimaler und harmonischer Energieaustausch zwischen der Wärmeträgerflüssigkeit und dem Erdreich statt.¹⁴⁹ Die große Speicherfunktion, verweilt in der Flüssigkeit und speichert die Wärme optimal. Durch die großen Wärmetauschflächen und dem dadurch großen Volumen, ermöglicht es eine effektive Energieaufnahme. Gleichzeitig benötigt man nur noch eine geringere Bohrtiefe.¹⁵⁰

5.3 Wasser als Fluid in der Sonde

Das Sondenfluid, agiert als Wärmeträgerflüssigkeit, durch den Sondenkreislauf der aus Erdwärmesonde, der Umwälzpumpe, dem Expansionsgefäß und dem Verdampfer der Wärmepumpe besteht. In der Fachsprache wird die Wärmeträgerflüssigkeit als Sole bezeichnet. Dieser Begriff erinnert an früher, weil Salz dem Wasser als Frostschutz beigemischt wurde. In der Erdwärmesonde ist es nicht zwingend notwendig dem Sondenfluid ein Frostschutzmittel beizumischen. Pures Wasser ist umweltfreundlicher, und erreicht bei korrekter Dimensionierung eine höhere Arbeitszahl. Sollte doch ein Frostschutz beigegeben werden, ist es heute kein Salz mehr, sondern Ethanol oder Ethylenglykol in verschiedener Konzentrationsstärke. Trotz allem ist wegen seiner niedrigen Viskosität, Wasser das beste und günstigste Sondenfluid. Die Umwälzpumpe verbraucht wegen den guten Eigenschaften weniger Strom und die Leistungsziffer der Wärmepumpe wird besser. Damit es nicht zu Einfrierungen im Verdampfer der Wärmepumpe kommt, muss die Erdwärmesonde mindestens 30% tiefer gebohrt werden, auch die Hinterfüllung sollte aus thermisch besser leitenden Material gebaut werden.

Diese Faktoren ziehen zwar höhere Investitionskosten nach sich, jedoch wird es durch die niedrigeren Stromkosten kompensiert. Sollte man die Erdwärmesonden, nach Standard gebaut haben, muss man Frostschutzmittel beigegeben. Wie erwähnt ist Ethylenglykol üblich, was auf metallische Bauteile korrosiv wirkt, deswegen beinhalten sie außerdem immer Korrosionsschutz-Inhibitoren. Damit die wirksam werden, muss die Konzentration mindestens 20% erreichen. Der Nachteil davon, ist eine erhöhte Zähig-

¹⁴⁹ Vgl. Oberflächennahe Geothermie, Erdwärme mit der Geokoax 2015, S. 5.

¹⁵⁰ Vgl. ebenda, S. 5.

keit des Sondenfluids, was eine stärkere Umwälzpumpe benötigt, auch die Wärmespeicherkapazität sinkt, was eine höhere Durchflussrate erfordert und mehr Strombedarf für die Pumpe bedeutet. Die gesamte Sole ist mit Frostschutz umweltschädlich und hat eine ungefähre Lebensdauer von 20 Jahren.

Wenn Ethanol verwendet wird, sollte man eine Konzentration, von maximal 20% wählen, was eine Gefriergrenze von $-8,4\text{ °C}$ ergibt. Solche Mischungen haben einen Vorteil gegenüber Ethylenglykol, denn es herrscht eine höhere Wärmekapazität und es ist umweltfreundlicher sowie ungiftig. Sollte die Mischung über 20% Ethanol enthalten, wird es ebenfalls sehr zäh. Somit steigt auch wieder der Strombedarf der Umwälzpumpe.

Vor dem Befüllen, muss als erstes die Umwälzpumpe und der Verdampfer unter Druck und mit sauberem Leitungswasser gereinigt werden. Danach wird jede Sonde einzeln gespült und entlüftet. Wenn das alles geschehen ist, wird sie komplett mit Leitungswasser gefüllt, und danach einer Druck- und Dichtigkeitsprüfung unterzogen. Wenn Frostschutzmittel eingesetzt wird, muss die richtige Menge mit sauberem Wasser gemischt werden und in die gereinigte Sonde eingefüllt werden. Das Konzentrat muss vor dem Verfüllen gemischt werden (es gibt Fertigmischungen), andernfalls kann es zu Verstopfungen kommen.

Bei allen Anlagen kann es dazu kommen, dass die Wärmeträgerflüssigkeit ausgast. Dies passiert häufig bei größeren Anlagen, dann kommt es zur Bildung von Gasblasen, die die Zirkulation unterbrechen. Wenn das passiert kommen die Entlüfter in Einsatz, hier sammeln sich die Gasblasen an einem Punkt und können entweichen. Die komplette Anlage ist somit wieder entlüftet.

5.4 Vorteile der Geokoax

Die Vorteile der GeoKOAX- Sonde im Vergleich zu herkömmlichen Sonden, entstehen durch den Sondaufbau. Zum Beispiel, ermöglichen die großen Wärmetauschflächen und das große Volumen eine effektive Energieaufnahme.¹⁵¹ Die Speicherfunktion, trägt die Wärme flüssigkeit länger in der Sonde, dadurch nimmt sie die Wärme optimal auf.

Reihenverbindungen für einen höheren Entzug sind kostengünstig. Sollte es Probleme geben könnten sie eventuell durch Entlüftungs- und Revisionssysteme gelöst werden.¹⁵² Fehlbohrungen sind durch geringe Bohrtiefen, von im Schnitt 15-30 m und mit einem dadurch geringen Bohrrisiko fast ausgeschlossen.

Durch die hierfür speziell, entwickelte Verwirbelungstechnik, findet ein optimaler und harmonischer Energieaustausch zwischen der Wärmeträgerflüssigkeit und dem Erdreich statt.¹⁵³ In Bohrtiefenbegrenzten Gebieten, bieten sich diese Sonden hervorragend an.¹⁵⁴ Auch bei Bestandsimmobilien, finden geoKOAX-Sonden Anwendung, sie speist verschiedene Wärmepumpen zum Beispiel von Dimplex, Roth, Vaillant, Buderus und viele mehr.¹⁵⁵

5.5 Worin unterscheidet sich GeoKOAX von herkömmlichen Sonden?

Die passive Verwirbelung ist der Kern der geoKOAX-Technologie. Durch den permanenten Tausch der Strömungen, steigert es den Wärmeübergangskoeffizient.

Der Mantel besitzt eine doppelt so große Aufnahme fläche für die Erdwärme, wie herkömmliche Erdsonden. Die Sonde besitzt dazu ein 6,5-fach größeres Volumen an

¹⁵¹ Vgl. geoKOAX die Revolution in der Geothermie 2015, S. 2.

¹⁵² Vgl. ebenda S. 3.

¹⁵³ Vgl. o.V. 2012.

¹⁵⁴ Vgl. geoKOAX die Revolution in der Geothermie 2015, S. 4.

¹⁵⁵ Vgl. o.V. 2012.

Wärmeträgerflüssigkeit.¹⁵⁶ Das Koxialrohr arbeitet auch als Energiespeicher und ermöglicht die Abgabe temperaturkonstant, an die Wärmepumpe.¹⁵⁷

5.6 Kühlen eines Hauses mit geoKOAX

Die Kühlung funktioniert in der Regel über Flächenheizungen wie Fußbodenheizung, Gebläseradiatoren oder Deckenheizungen bzw. Kühldecken mit der Wärmepumpe.¹⁵⁸ Es gibt den Unterschied zwischen aktiver und passiver Kühlung.

Passive Kühlung: Der Kompressor der Wärmepumpe ist abgeschaltet, es ist nur die Umwälzpumpe in Arbeit. Dieses Konzept ist sehr umweltfreundlich, nachhaltig und kosteneffizient.¹⁵⁹ Die Trägerflüssigkeit in der Sonde, leitet die Wärme durch Zirkulation in das Erdreich ab. Somit wird Kühlung bereitgestellt.¹⁶⁰

Aktive Kühlung: Wird genutzt wenn größerer Kühlbedarf besteht. Der Kompressor der Wärmepumpe wird zugeschaltet und im umgekehrten Kreislauf (wie ein Kühlschranks), Kälte produziert.¹⁶¹ Im Gebäude wird ein Zusatzmodul angebracht, das den Niedrigtemperaturbereich kontrolliert als auch die Feuchtigkeit um Kondensieren auszuschließen. Im Vergleich zu Klimaanlage, ist die Kühlung von Geothermie-Anlagen effizienter.

Besitzt man im Gebäude separate Heiz- und Kühlkreise, ist es möglich gleichzeitig zu Heizen und zu Kühlen.

Eine weitere Möglichkeit ist bivalentes Kühlen, es ist die Kombination aus geoKOAX-Sonden mit einer Anlage für kontrollierte Wohnraumbelüftung sowie Wärmerückgewinnung.¹⁶²

¹⁵⁶ Vgl. geoKOAX die Revolution in der Geothermie 2015, S. 4.

¹⁵⁷ Vgl. ebenda S. 4.

¹⁵⁸ Vgl. ebenda S. 4.

¹⁵⁹ Vgl. ebenda S. 5.

¹⁶⁰ Vgl. ebenda S. 4.

¹⁶¹ Vgl. ebenda S. 4.

¹⁶² Vgl. ebenda S. 4.

5.7 Beispiele aus dem Alltag

Ein Reihenhaus mit einer Wohnfläche von 259 m², belegt im Energieeinsparnachweis einen Primärjahresenergiebedarf von 67,5 kWh/m²a, was nach der EnEV 2014 dem Standard eines Niedrighauses entspricht und der Energieeffizienzklasse B zuzuordnen ist. Der Bauherr entschied sich für die Einsparung von Kosten und CO₂ Emissionen und setzte auf ein regeneratives, geothermisches Energiesystem mit einer 7,3 kW Wärmepumpe.¹⁶³ Problematik dabei war jedoch, dass der Untergrund nur eine mäßige Wärmeleitfähigkeit von 33 W/Meter*K abwirft. Dazu kam noch eine geringe Größe des Standortes, somit konnten herkömmliche Sonden-Systeme, die Ziele nur mit entsprechenden Bohrtiefen und daraus folgenden hohen Bohrkosten erfüllen. Aufgrund der Braunkohle- Einschlüsse herrscht in dem Gebiet eine Bohrtiefenbegrenzung von 25 Metern.¹⁶⁴

Rahmenbedingung	
Bohrtiefenbegrenzung	25 m
Beheizte Fläche in qm	259
Heizleistung in kW	7,3

Die Berechnungen ergeben das 175 Meter Doppel-U-Sonden benötigt werden, um den Energiebedarf sicher zu stellen. Bei drei möglichen Bohrlöchern und einer maximalen Bohrtiefe von 25 Metern schied die Verwendung der Doppel-U-Sonde aus.¹⁶⁵ Aufgrund dieser Erkenntnis entschied sich der Bauherr für die geoKOAX- Sonde, statt 175 Meter genügen hier 63 Meter, somit reduzieren sich auch die Investitionskosten.

Es wurden drei Bohrungen je 21 Meter geoKOAX- Sonden realisiert und an die 7,3 kW-Wärmepumpen angeschlossen.¹⁶⁶ Für Überwachung der Anlage wurde sie mit einem Monitoring-Tool ausgestattet. Hierbei sammeln Sensoren Daten über den Betrieb, wie z.B. wichtige Kenndaten über Temperaturverläufe, Stromverbrauch, CO₂ Einsparun-

¹⁶³ Vgl. geoKOAX geothermal Systems 2015, S. 2.

¹⁶⁴ Vgl. ebenda S. 2.

¹⁶⁵ Vgl. ebenda S. 2.

¹⁶⁶ Vgl. ebenda S. 3.

gen und Volumenstrom an die Steuereinheit, wo sie dann kontrolliert und überwacht werden.¹⁶⁷

Ein Projekt mit 22 Wohneinheiten, und einem Bauherrn dem das ökologische Heizen und Kühlen eine Grundanforderung ist, sah zunächst einen Einsatz von Doppel-U-Sondensystemen vor. Nachdem die erste Bohrung nach 23 Metern auf eine Ton-Trennschicht traf, erließ die Wasserbehörde eine Bohrtiefenbegrenzung. Nach einer anschließenden Berechnung mittels Earth-Energy-Designer ergab es einen Wert von 1704 Meter einzubringende Doppel-U-Sonden. Die zusätzlichen Bohrungen waren auf der Grundstücksfläche nicht realisierbar.¹⁶⁸ Die 22 Wohneinheiten betragen eine Fläche von 2500 qm, die eine Heizleistung von 88 kW und eine Kühlleistung von 69 kW benötigen.¹⁶⁹

Rahmenbedingung	
Bohrtiefenbegrenzung	23 m
Beheizte Fläche in qm	2500
Heizleistung in kW	88
Kühlleistung in kW	69

Es wurden 34 Bohrungen je 23 Metern durchgeführt. Jedoch sind nur 30 von den 34 Sonden angeschlossen, die restlichen vier Sonden dienen als Backup. In den 690 Meter Sonden fließen rund 10000 Liter Sole, die als Energielieferant zum Heizen und Kühlen dienen.¹⁷⁰ Trotz der Einsparung von rund 1000 Metern Bohrtiefe wurde eine konstante Jahresarbeitszahl gemessen, der Boden kühlt ebenfalls nicht aus, sondern regeneriert sich in den Ruhephasen der Wärmepumpe.¹⁷¹ Die Anlage wurde für die Überwachung ebenfalls mit einem Monitoring-tool ausgestattet. Zur Endabrechnung konnte der Bauherr 45% der Investitionskosten einsparen.¹⁷²

¹⁶⁷ Vgl. geoKOAX geothermal Systems 2015, S. 3.

¹⁶⁸ Vgl. ebenda, S. 2.

¹⁶⁹ Vgl. ebenda, S. 3.

¹⁷⁰ Vgl. ebenda, S. 3.

¹⁷¹ Vgl. ebenda, S. 4.

¹⁷² Vgl. ebenda, S. 4.

6 Ausführung und Inbetriebnahme der Sonden

Grundvoraussetzung ist das Einhalten der allgemeinen Regeln der Technik für die Errichtung von Erdwärmeanlagen. Maßgebend sind DIN-Normen, VDI-Richtlinien und die DVGW-Regelwerke. Alle Erdwärmesonden sowie alle zugehörigen Teile müssen den Stand der Technik entsprechen.¹⁷³ Die Bohrungen dürfen nur von zertifizierten, sachkundigen Fachfirmen durchgeführt werden. Die Herstellung von Sonden wird als Bauleistung angesehen, somit muss die Wahl von Materialien, Hinterfüllmaterial, Bohrspülungszusätze und Wärmeträgerflüssigkeit nach den Richtlinien der VDI 4640 erfolgen. Bei besonderen Vorkommnissen wie gespanntes Grundwasser oder Probleme bei der Ringraumverfüllung, ist alles genauestens zu Dokumentieren.¹⁷⁴ Neben der Auslegung, Installation und regelgemäßen Überprüfung der Erdwärmesonden, ist auch die Qualität der Wärmepumpenanlage als so genanntes Herzstück zu sichern.

6.1 Standortanalyse

Die Eignung eines Standortes zur Nutzung von Erdwärme hängt von der geologisch-hydrogeologischen Beschaffenheit der Sondenumgebung ab. Die Umgebung beeinflusst mit der jährlichen Betriebsdauer die Effizienz der Erdwärmesonde. Ist man schon bei der Planung, helfen Karten der geothermischen Entzugsleistung für die Orientierung.¹⁷⁵ Genaue Aussagen müssen aber vor Ort gemacht werden, da die Karten nicht als Planungsgrundlage für die konkrete Dimensionierung zu verwenden sind und jede Abweichung von technischen Rahmenparameter, weitere Veränderungen im Ergebnis herbeiführen können.¹⁷⁶ Ist das Projekt weiter fortgeschritten muss der Standort einer Sondenbohrung ein Mindestmaß an Zugänglichkeit und Platz aufweisen. Es ist nicht nur der Arbeitsraum für das Personal und das Bohrgerät, sondern es benötigt auch an Fläche für Bohrgestänge, Zubehör und eventuell eine Spülwanne. Des Weiteren sind

¹⁷³ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 18.

¹⁷⁴ Vgl. ebenda, S. 19.

¹⁷⁵ Vgl. ebenda, S. 19.

¹⁷⁶ Vgl. ebenda, S. 19.

Durchfahrtshöhen und Anfahrtswege für das Bohrgerät zu beachten.¹⁷⁷ Wie schon erwähnt sollten Mindestabstände zwischen den einzelnen Bohrungen und zum Nachbarn eingehalten werden.

Bei größeren Anlagen (>30kW), die auch zum kühlen verwendet werden können, ist die Hilfe von Ingenieurbüros die auf diesem Gebiet spezialisiert sind, durch weitere hydrogeologische und geologische Erkundungen erforderlich.¹⁷⁸

6.2 Verbindung von Sondenrohren und Verteilerrohren durch Schweißung

Die Verbindung der einzelnen Rohre findet durch Schweißung auf der Baustelle statt. Hierbei ist auf eine fachgerechte Ausführung mit den entsprechenden Hilfsmitteln wie zum Beispiel Elektroschweißmuffen zu achten.¹⁷⁹ Der Sondenfuß wird mit den Sondenrohren schon voraus im Werk unter kontrollierten Bedingungen verbunden. Es können verschiedene Schweißverfahren angewandt werden, die häufigsten sind, Muffenschweißung, Stumpfschweißung, Elektroschweißung, Infrarot-Schweißung und Wulst- und Nutfreie Schweißung.¹⁸⁰ Die meistangewandte Technik ist das Elektroschweißen, hierbei wird über ein Schweißgerät einem Elektroschweißfitting elektrische Energie zugeführt. Eine Heizwendel wandelt die elektrische Energie zu Wärmeenergie um, dabei werden die benachbarten Oberflächen von Rohr und Fitting erwärmt und plastifiziert. Der Druck wird im Fitting, durch angeordnete Kaltzonen aufgebaut.¹⁸¹ Bevor geschweißt werden kann, müssen noch einige Arbeitsschritte erledigt werden.

1. Zuschneiden: das Rohr muss entsprechend zugeschnitten werden, dabei ist ein rechtwinkliger Schnitt zur Rohrachse gefordert.
2. Säubern: mit Hilfe von Tüchern und Tangit KS-Reiniger (Reinigungsflüssigkeit), es darf kein Dreck oder Schmutz die Schweißung behindern.
3. Schälen: mit Hilfe rotierendem Schälgerät, wird die Oberfläche vorbereitet.

¹⁷⁷ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 102.

¹⁷⁸ Vgl. Informationsbroschüre Erdwärmesonden 2014, S. 19.

¹⁷⁹ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 103.

¹⁸⁰ Vgl. Graf, S.19.

¹⁸¹ Vgl. ebenda, S.20.

4. Fitting und Haltevorrichtung positionieren: der Fitting muss auf die richtige Position gebracht werden, dabei muss unter dem kompletten Rohr eine Haltevorrichtung zum Schutz gegen Lageänderung angebracht werden.
5. Schweißprozess starten und Schweißzeit abwarten: am Schweißgerät läuft die Zeit runter, während dessen dürfen keine Behinderungen auftreten.
6. Abkühlzeit abwarten.
7. Haltevorrichtung entfernen.¹⁸²

Die Schweißstelle, ist bei Regen, Schnee oder Wind mit Hilfe eines Schweißschirms oder Zelt zu sichern. Das Rohr, und der Fitting müssen dieselbe Temperatur aufweisen. Da die Arbeit draußen stattfindet, muss auf die Temperatur des Arbeitsumfeldes ebenso geachtet werden, sie darf nur zwischen $>5^{\circ}\text{C}$ bis 45°C messen.¹⁸³ Unter 5°C besteht auch die Gefahr, dass der KS-Reiniger vereist und Verunreinigungen in die Schweißung kommen, und es damit spätere Nachfolgen mit sich ziehen kann.

Vor den Schweißarbeiten werden die Sondenrohre auf einer Haspel gewickelt und auch so zur Baustelle angeliefert. Werden zugelassene Komponenten und Materialien verwendet, beträgt die Lebensdauer von Kunststoffsonden mindestens 100 Jahre, da sie im Erdreich chemisch und mechanisch beständig sind.¹⁸⁴

¹⁸² Vgl. Graf, S. 23.

¹⁸³ Vgl. ebenda, S. 26.

¹⁸⁴ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 103.

6.3 Verfüllung der Sonde

Bohrt man in einer Gegend mit starken Grundwasser und vielen Grundwasserstöcken, füllt sich das Bohrloch. Um den Auftrieb entgegenzuwirken, sollte die Sonde beim Einführen ebenfalls mit Wasser gefüllt sein. Am Sondenfuß ist ein zusätzlich gehängtes Gewicht zu empfehlen, was die Arbeit erleichtert.¹⁸⁵ Zwischen den Sondenrohren wird ein Verfüllrohr angebracht, dieses hat die Aufgabe Verfüllmaterial (Betonit oder Ton versetzte Zement-Wasser-Gemische) von unten nach oben in das Bohrloch zu transportieren. Die Verfüllung muss lückenlos und vollständig erfolgen, damit Grundwasserhältnisse durch die Bohrung nicht verändert werden und ein guter thermischer Kontakt zwischen Sondenrohren und der Umgebung im Erdreich sichergestellt ist.¹⁸⁶

6.4 Horizontale Anbindung zwischen Sonde und Verteiler

Bei dem Verlegen der Anschlussleitungen zwischen Sonde und Verteiler, sind die Angaben der Rohrhersteller sowie die Regeln für die Verlegung von Rohren im Erdreich samt Grabarbeiten zu beachten. Es gibt zwei Möglichkeiten des Anschlusses, entweder die Sondenrohre werden direkt zum Verteiler geführt, oder an Verteilerrohre angeschlossen. Beim ersteren müssen sie in der richtigen Länge bestellt werden. Diese bestehen dann meist auch aus PE 100 Rohre.¹⁸⁷ Der Anschluss erfolgt dann über geeignetes mechanisches Verbinden oder Schweißen. Bei dem Bearbeiten sind das Einhalten der Biegeradien der Rohre, das Verlegen im gleichmäßigen Gefälle vom Verteiler zur Sonde, das eventuelle Verlegen in einem Sandbett und die Mindestabstände zu anderen Versorgungsleitungen wie Wasserleitung (1-1,5m) oder auch Gebäudewänden (1,2m) zu beachten.¹⁸⁸ Jeder Kreis am Verteiler muss separat absperrbar sein und die Möglichkeit zur Entlüftung und Befüllung bieten.

Die dabei verwendeten Materialien der Leitungen müssen aufeinander abgestimmt sein, damit es zu keinen Korrosionen oder Verschlammungen kommt. Deswegen werden Stahlteile meist nicht mehr eingebaut und Messing oder Kunststoff bevorzugt. Im

¹⁸⁵ Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 103.

¹⁸⁶ Vgl. ebenda, S. 104.

¹⁸⁷ Vgl. ebenda, S. 106.

¹⁸⁸ Vgl. ebenda, S. 106.

Gebäude verlaufende Leitungen sind gegen Dampf und somit entstehenden Schwitzwasser zu dämmen.¹⁸⁹

6.5 Einweisung des Betreibers

Der Betreiber der Anlage muss in Wartung, Bedienung und erforderlichen Maßnahmen im Störfall eingewiesen werden. Ihm sind alle Protokolle, was das Inbetriebnahmeprotokoll, welches die Druckprüfung, Einregulierung und Befüllung der Menge sowie Art des Wärmeträgermediums dokumentiert, als auch die Bestätigung der fachgerechten Ausführung durch der Fachfirma sowie die kompletten Bestandsunterlagen auszuhändigen.¹⁹⁰

¹⁸⁹ Vgl. Vgl. Koenigsdorff 2011, S. 107.

¹⁹⁰ Vgl. ebenda, S. 107.

7 Fazit

Unabhängig von Jahreszeit und Tageszeit oder Klimabedingungen, steht Erdwärme immer zur Verfügung. Es wurde bei der Bachelorarbeit deutlich, sollte erneuerbare Energie auf Basis der Geothermie bei der Wärme-oder Stromgewinnung in Frage kommen, muss sich mit dem Thema Erdwärme und die dazu verwendeten Erdwärmesonden auseinander gesetzt werden. Hierbei wird in offene Systeme sowie geschlossene Systeme unterschieden. Die offenen beziehen sich auf Grundwasserbrunnen, auf die jedoch nicht weiter eingegangen wurde. Interessant sind die geschlossenen Systeme, sie werden vertikal oder horizontal verlegt. Im horizontalen Bereich gelten die in 1 bis 1,5 Meter tief, verlegten Erdwärmekollektoren als bekanntester Vertreter. Das System weist einen hohen Flächenbedarf auf, ist jedoch im deutschen Raum weit verbreitet.

Zu den vertikalen Sondensystemen gehören die Erdwärmesonden. Bis Tiefen unter 100 Meter, wo die Wärme aus dem Erdreich entzogen wird, sind diese einzubringen. In Deutschland ist ab 20 Meter Tiefe, die Temperatur bei 9 bis 15°C nahezu konstant und kann dadurch genutzt werden. Die genaue Tiefe der benötigten Sonde ist durch Berechnungen und unter Anwendung der bekannten Daten durch Formeln zu ermitteln. Dabei sollten die gegebenen Werte der Wärmepumpe und die Bodenverhältnisse bekannt sein und verwendet werden. Die Bodenverhältnisse sind dem Kartenmaterial oder 3D-Modellen zu entnehmen, für die genaue Beschaffenheit ist jedoch ein Ingenieur herbei zurufen. Die Wahl der richtigen Fachfirma ist eines der wichtigsten Angelegenheiten, denn die ist für die Bohrung, den Betrieb, der Dokumentation und der Inbetriebnahme verantwortlich.

Sollte das Vorhaben anfangen, ist es wichtig 1 Monat vor Baubeginn bei der zuständigen Verwaltungsbehörde eine Anzeige diesbezüglich abzugeben. Es ist das Wasserhaushaltsgesetz, Bergrecht und Lagerstättengesetz zu beachten. Bei Bohrungen tiefer als 100 Meter ist das Bergrecht anzuwenden, ansonsten entfällt es. Sollte das Grundstück auf dem gebohrt werden soll, sich in einer Wasserschutzzone befinden, muss entschieden werden. Meistens jedoch wird es abgelehnt. Die am meist verbreitete Erdwärmesonde, ist die klassische Doppel-U-Sonde, mit vier Rohren und jeweils zwei Vor- und zwei Rückläufen. Bei Bohrungen wird sie am häufigsten eingebracht, diese Sonde gibt es schon seit mehreren Jahren und besitzt einen zuverlässigen als auch

guten Ruf. All diese Eigenschaften machen sie zu der meistverkauften Sonde in Deutschland.

In Bohrtiefenbegrenzten Regionen, kommt der Einsatz von geoKOAX-Sonden häufig zum Einsatz. Die Vorteile der Sonden, sie arbeiten mit dem einzigartigen Verwirbelungssystem und besitzen größere Wärmetauschflächen und ein größeres Volumen zur effektiven Energieaufnahme, werden mehrere Sonden für einen höheren Entzug benötigt, kann eine kostengünstige Reihenanbindung in Betracht gezogen werden. Durch die Verwirbelungstechnik wird die Energie vom Erdreich und Wärmeträgerflüssigkeit übertragen. Durch diese Vorteile ermöglicht es auch mit geringer Bohrtiefe die gewünschte Wärmeleistung zu erhalten und Geld einzusparen. Anwendungen im Alltag hat diese Sonde schon, da Fälle von Bohrtiefenbegrenzung auftreten können. Allerdings hat die geoKOAX-Sonde noch keinen hohen Bekanntheitsgrad.

Grundlegend werden Wärme und Kältemaschinen, der Systemanschluss und das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten ausführlich behandelt. Beispiele aus dem Alltag die als Projekt angesehen werden, verdeutlichen die Umsetzung in die Praxis.

Bei Wärmepumpen herrscht das thermodynamische Grundprinzip, welches thermische Energie einer Wärmequelle entzieht. Zu der dabei aufgenommenen Energie wird eingesetzte Antriebsenergie zugeführt und in Form von thermischer Energie auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Das dabei wichtigste Teil, ist der Kompressor und der vorherliegende Verdampfer der das Arbeitsmaterial verdampfen lässt und an den Kompressor weiter leitet. Im Kompressor findet eine Verdichtung statt die auch den Druck und die Temperatur erhöht. Zum Schluss wird es an den Wärmetauscher des Kondensators abgegeben der die Wärme an das Heizsystem abgibt und das Arbeitsmaterial dabei wieder verflüssigt. Die Wärmepumpe ist in der Lage, die unbegrenzte vorhandene Erdwärme regelrecht in unsere Häuser zu pumpen und dabei die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Die Wärmepumpentechnik erlangt einen Boom, da die Kosten gegenüber anderen Systemen gesenkt werden.

Der Systemanschluss, das Verbinden der einzelnen Rohre findet durch Schweißung statt. Es können verschiedene Schweißarten sowie Techniken angewandt werden, jedoch wird meistens das unkomplizierte Elektroschweißen durchgeführt. Dabei muss immer eine wichtige Reihenfolge eingehalten und abgearbeitet werden. Die Einhaltung

von Ordnung und stetiger Sauberkeit ist oberste Priorität. Bei der Verlegung sind die Angaben der Rohrhersteller als auch die Regeln zur Verlegung der Rohre zu beachten.

Ein weiterer Vorteil von Nutzung der Erdwärme, sie ist anbindbar bei Neubau sowie Bestandsimmobilien im Grundlastbetrieb und Spitzenlastbetrieb. Dieser Fakt lässt einen komplett-neuen Anwenderkreis erschließen, das ermöglicht ein weiteres Vertrauen aufzubauen als auch den Bekanntheitsgrad von Erdwärme auszubauen.

Sollte man Anwender sein, gibt es Checklisten nach denen sich gerichtet werden kann. Als erstes, geht es um die Vorinformationen wie günstigeren Tarif beim Stromanbieter für die Wärmepumpe, sowie der Einsatz von Fördermitteln. Gebäude als auch Grundstücksinformationen sind ebenfalls sehr wichtig, denn hier kommt es drauf an was benötigt wird und ob es überhaupt realisierbar ist. Die Bohrfirma sollte unter Vorlage der Referenzen zertifiziert sein und die Bohrarbeiten, sowie den Einbau der Erdwärmesonden vornehmen. Zum Schluss muss ein passender Heizungsinstallateur gefunden werden, der auch die Funktionsweise erklärt. Somit sind dem Betreiber Wartung, Bedienung und erforderliche Maßnahmen im Störfall zu erklären. Es sind ihm alle Protokolle und die Bestätigung der fachgerechten Ausführung durch die Fachfirma sowie die Bestandsunterlagen auszuhändigen.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass in den meisten Fällen Doppel-U-Sonden zum Einsatz kommen, weil diese am bekanntesten sind. Es benötigt in den meisten Fällen eine tiefe Bohrung, erzielt dann aber auch ausreichend Leistung. Bei speziellen Fällen, wie in Gebieten mit Tiefenbegrenzung kommen die geoKOAX-Sonden, die ebenfalls gute Werte erzielen und dabei kostenintensive Bohrmeter einsparen. Die Technologie stellt in beiden Fällen keine Probleme dar, da das der Stand der Technik ist und vollkommen ausgereift ist. Wer eines der beiden Sondenarten anwenden möchte, sollte sich im Vorhinein informieren und vergleichen, da das eine wichtige Investition ist.

8 Quellenverzeichnis

Baumgärter, Jörg; Hoth, Peer; Jung, Reinhard (2009): Energie aus Erdwärme, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Bo Hanus (2007): Alternative Energien im Haus nutzen, Das große Praxishandbuch, Bd. 9, Poing: Franzis Verlag GmbH.

Bußmann, Werner; Frick, Stephanie; Fritschen, Ralf (2012): Geothermie- Energie aus dem Innern der Erde. Hrsg. von Fiz Karlsruhe. Stuttgart: Fraunhofer IRB.

Drescher, Sabine; Kley, Christian (2012): Erdwärme in Ein- und Mehrfamilienhäusern, Hrsg. von Schlabbach, Jürgen. Berlin: VDE Verlag GmbH.

Graf, Hubert (2007) : Sondenmaterial und Schweißung auf der Baustelle, Qualitätssicherung bei der Errichtung von Erdwärmesonden, In:
http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/fachgespraech/2007_Qualitaet/Fachgespraech_Erdwaerme_2007_Graf.pdf, Abgerufen am: 25.10.2015, Idstein.

Grimm, Rüdiger; Heske, Claus; Popp, Thomas (2013): Erdwärme Tipps für Hausbesitzer und Bauherren. Bd. 12., erweiterte Auflage. Hrsg. Von GtV-Bundesverband Geothermie e.V., Berlin: GtV Service GmbH.

Klemmer, Silvio (2015): Erdwärme und Bohrtechnik in Sachsen. In:
[www.http:erdwaerme-bohrtechnik.com/bohrarbeiten](http://www.erdwaerme-bohrtechnik.com/bohrarbeiten). Abgerufen am 19.10.2015.

Klemmer, Silvio (2014): In: www.erdwaerme-zeitung.de/bohrarbeiten2014. Abgerufen am 20.10.2015.

Koenigsdorff, Roland (2011): Oberflächennahe Geothermie für Gebäude, Grundlagen und Anwendungen zukunftsfähiger Heizung und Kühlung, Stuttgart: Fraunhofer IRB.

Ledwon, Anton (2012): geoKOAX Herstellerangaben, Gräfeling: geoKOAX gmbH.

Obst, Karsten; Fritzer, Thomas; Stober, Ingrid (2011): Tiefe Geothermie Nutzungsmöglichkeiten in Deutschland, 3., Auflage. In:

http://www.geotis.de/homepage/Ergebnisse/TIEFE_GEOTHERMIE_Nutzungsmoeglichkeiten_in_Deutschland_3_Auflage_2011.pdf. Abgerufen am 15.10.2015.

Ochsner, Karl (2007): Wärmepumpen in der Heizungstechnik, Praxishandbuch für Installateure und Planer, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: C.F. Müller.

o.V. (2014): GeoKOAX Effizientes Klimamanagement mit Geothermie, Gräfeling: geoKOAX GmbH.

o.V. (2014): GeoKOAX die Revolution in der Geothermie, Gräfeling: geoKOAX GmbH.

o.V. (2015): GeoKOAX Heizen und Kühlen, Gräfeling: geoKOAX GmbH.

o.V. (2015): GeoKOAX geothermal Systems. Gräfeling: geoKOAX GmbH.

o.V. (2014): Oberflächennahe Geothermie Erdwärme mit der Geokoax. Troisdorf: Ingenieur & Vertriebsdienstleistung, IVD GmbH.

o.V. Die Vorteile der geoKOAX, In: <http://oekoportal.de/members/geokoax>, abgerufen am: 17.10.2015.

o.V. Infocenter geoKOAX, In: <http://geokoax.de/infocenter-faq.html>, abgerufen am: 20.10.2015.

o.V. (2014): Erdwärmesonden, Informationsbroschüre zur Nutzung oberflächennaher Geothermie, Bd. 5. Hrsg. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Sachsen: LfULG Karina Hofmann.

Sobotta, Stefan (2008): Praxis Wärmepumpen, Berlin: Solarpraxis AG.

Theiß, Eric (2008): Regenerative Energietechnologien, Stuttgart: Fraunhofer IRB.

VDI (2014): VDI 4640, Blatt 2, Verein deutscher Ingenieure.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Chemnitz, den 01.11.2015

Artur Gaus