

Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes

Erdwärmekollektoren – Erdwärmesonden

Empfehlungen für Planer, Ingenieure und Bauherren

Herausgeber:

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume des Landes
Schleswig-Holstein (LLUR)
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek
Tel.: 0 43 47 / 704-0
www.llur.schleswig-holstein.de

Redaktion:

Abteilung Geologie und Boden
Ansprechpartnerin:
Claudia Thomsen
Tel. 0 43 47 / 704-563
claudia.thomsen@llur.landsh.de

Titel:

Große Graphik: Wegweiser (Malte Thomsen)
Kleine Graphik: Erdsonde
Foto oben: Bohrkopf
Foto unten: Bohrgerät
(Fotos und kleine Graphik: LLUR)

wenn nicht anders angegeben, Graphik und
Fotos im Innenteil von LLUR

Pdf der Broschüre im Internet

www.llur.schleswig-holstein.de

Herstellung:

hansadruk, Kiel

September 2011

ISBN: 978-3-937937-53-3

Schriftenreihe: LLUR SH – Geologie und Boden; 18

Diese Broschüre wurde auf
Recyclingpapier hergestellt.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der
Öffentlichkeitsarbeit der Schleswig-
holsteinischen Landesregierung heraus-
gegeben. Sie darf weder von Parteien
noch von Personen, die Wahlwerbung
oder Wahlhilfe betreiben, im Wahl-
kampf zum Zwecke der Wahlwerbung
verwendet werden. Auch ohne zeit-
lichen Bezug zu einer bevorstehenden
Wahl darf die Druckschrift nicht in einer
Weise verwendet werden, die als Partei-
nahme der Landesregierung zu Gunsten
einzelner Gruppen verstanden werden
könnte. Den Parteien ist es gestattet,
die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer
eigenen Mitglieder zu verwenden.

Die Landesregierung im Internet:

www.landesregierung.schleswig-holstein.de

Inhalt

Vorwort.....	5
1. Einleitung.....	6
2. Komponenten einer oberflächennahen Erdwärmeanlage	7
2.1. Wärmequellenanlage	7
2.2. Wärmepumpe	9
2.3. Wärmenutzungsanlage	10
3. Bauliche und technische Anforderungen.....	12
3.1. Material	12
3.2. Einbau und Abstände	13
3.2.1. Einführung Kollektoranlagen	13
3.2.2. Erdwärmekollektor.....	13
3.2.3. Spiralsonden	14
3.2.4. Erdwärmekörbe	15
3.2.5. Sonden	15
4. Wärmeträgermittel.....	21
5. Dimensionierung der Wärmequellenanlage	22
5.1. Allgemeines	22
5.2. Erdwärmekollektoren (inkl. Körbe und Spiralsonden) – Einführung	22
5.3. Erdwärmekollektoren.....	23
5.4. Erdwärmekörbe und Spiralsonden.....	26
5.5. Erdwärmesonde.....	26
6. Die thermische Nutzung des Untergrundes (größere Anlagen).....	32
7. Rechtliche Rahmenbedingungen	36
7.1. Bergrechtliche Aspekte.....	36
7.2. Regelungen des Lagerstättengesetzes	36
7.3. Wasserrechtliche Aspekte	36

8. Adressen der zuständigen Behörden in Schleswig-Holstein.....	44
9. Weiterführende Informationen.....	46
10. Literatur.....	47
11. Anhang.....	49
A. Anlageninstallationsprotokoll	49
B. Antrag auf Errichtung einer Anlage zur Gewinnung von Erdwärme durch Erdwärmesonden und Anzeige nach § 7 Landeswassergesetz (LWG) zur Durchführung von Erdaufschlüssen.....	50
C. Anzeige § 7 Landeswassergesetz (LWG) – Erdaufschlüsse zur Errichtung von Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörpern etc.	52
D. Anzeige von Bohrung(en) beim LLUR – Geologischer Dienst des Landes SH.....	54

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die vergangenen Jahre haben gezeigt, dass in Schleswig-Holstein der Trend, die Erdwärme (Geothermie) zu nutzen, unvermindert anhält. Die Erdwärme ist im Gegensatz zu den meisten anderen erneuerbaren Energieträgern wie Wind, Sonne und Wasser eine Energieform, die unabhängig von Witterung und Tageszeit immer und nahezu überall zur Verfügung steht. Sie stellt daher im zukünftigen Energiemix eine wichtige Option mit großem Potenzial für die Wärmeversorgung dar.

Der Geologische Dienst Schleswig-Holsteins im Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume berät verstärkt Bürgerinnen und Bürger, Planungsbüros sowie Fachhandwerksunternehmen zur wirtschaftlichen und umweltverträglichen geothermischen Nutzung und liefert geologische Grundlagen zur Dimensionierung der Geothermieanlagen. Die stetige Nachfrage nach Informationen, das Auftreten von Problemen bei der Erstellung von Erdwärmeanlagen sowie die Notwendigkeit eines schonenden Umgangs mit der Umwelt führten dazu, dass unsere Broschüre „Geothermie in Schleswig-Holstein – Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes“ vollständig überarbeitet wurde und nun der Öffentlichkeit vorgestellt werden kann.

Wie der Wegweiser auf dem Deckblatt andeutet, sollen mit dem Leitfaden Möglichkeiten einer umweltfreundlichen Erdwärmennutzung aufgezeigt, der rechtliche Rahmen zur Erstellung der Anlagen dargestellt, sowie Hinweise und Handlungsempfehlungen zum Vermeiden planungs- und ausführungstechnischer Fehler gegeben werden.

Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein wird auch weiterhin in Fragen der Geothermie als zukunftsweisender regenerativer Energie als Ansprechpartner und zur Beratung allen Interessierten zur Verfügung stehen.



Wolfgang Vogel
Direktor des Landesamtes für Landwirtschaft,
Umwelt und ländliche Räume des Landes
Schleswig-Holstein

1. Einleitung

Energiegewinnung aus regenerativer Erdwärme hat einen hohen Wert für den Schutz unserer Umwelt. Durch einen verstärkten Einsatz dieser erneuerbaren Energiequelle können die CO₂-Emissionen in die Atmosphäre reduziert werden. Auch in Schleswig-Holstein haben das öffentliche Interesse an der Nutzung von erneuerbaren Energien und gestiegene Energiekosten seit 2005 zu einem starken Anstieg der Zahl der Anlagen zur oberflächennahen Erdwärmenutzung geführt.

Die Ermittlung der standortabhängigen geothermischen, hausenergetischen und genehmigungsrelevanten Randbedingungen, der Einsatz hochwertigen Materials und die qualifizierte Bauausführung sind Voraussetzungen für einen langfristigen und störungsfreien Betrieb.

Da der Einbau von Wärmequellenanlagen in den Untergrund, insbesondere von Erdwärmesonden, potentiell mit dem Risiko der Grundwassergefährdung verknüpft ist, werden

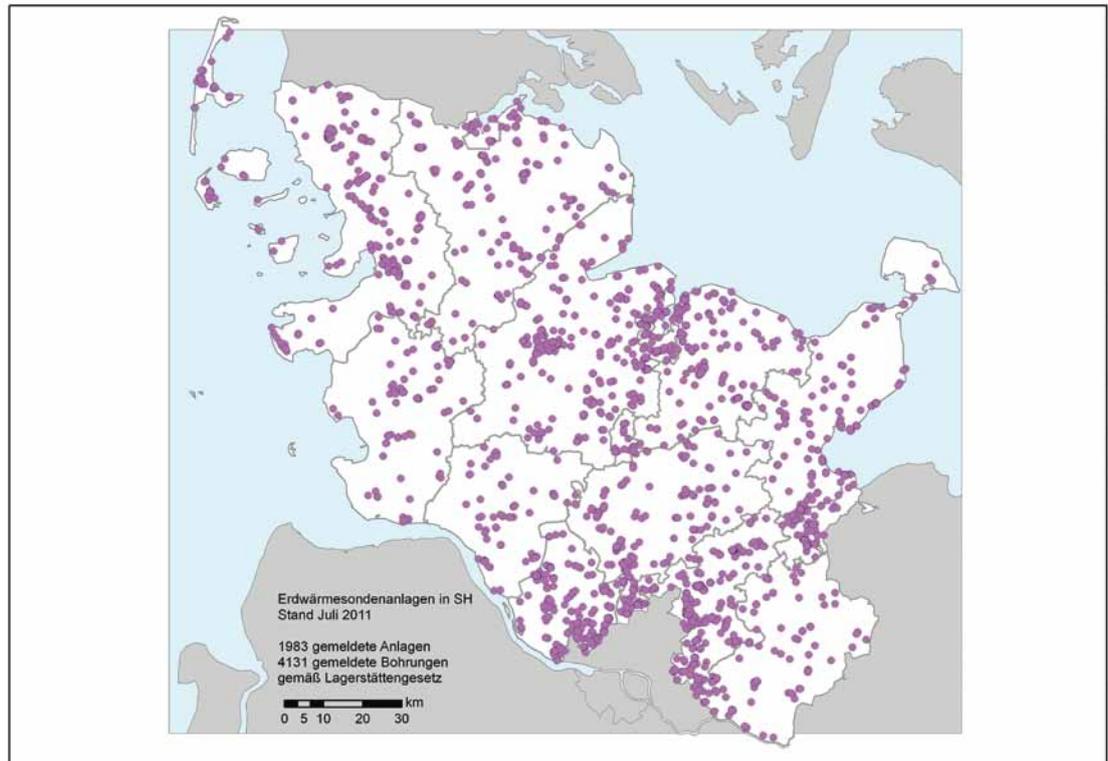


Abbildung 1: Standorte von Erdwärmesondenanlagen, die gemäß Lagerstättengesetz beim Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) gemeldet worden sind (Stand Juli 2011).

Dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) sind rund 2.000 Erdwärmesondenanlagen mit 4.100 Erdwärmesonden gemeldet worden (Stand Juli 2011). Darüber hinaus sind eine unbekannte Anzahl an Erdwärme-Kollektoren/-Körben installiert worden.

Zunehmend werden die Möglichkeiten der Erdwärmenutzung im oberflächennahen Bereich (1,5 m bis etwa 150 m Tiefe) auch von der gewerblichen Wirtschaft z.B. zur Gebäudekühlung und in Einkaufszentren genutzt. Komplexe Anlagen oder Anlagen mit einer Wärmepumpen-Gesamtheizleistung von >30 kW werden in diesem Leitfaden nicht behandelt.

Zur Errichtung einer wirtschaftlich effizienten Erdwärmeanlage ist eine frühzeitige Planung mit allen an der Ausführung Beteiligten gebo-

zum Schutze des Grundwassers hohe wasserrechtliche Anforderungen an das Bohrverfahren, die Bohrlochabdichtung, Drucktests und Dokumentation etc. gestellt (siehe Abschnitt 7.3 Wasserrechtliche Aspekte). Neuere Forschungsergebnisse, Schadensfälle und die stark gestiegene Anzahl von Erdwärmeanlagen machen es notwendig, zum Schutze unseres Grundwassers die wasserrechtlichen Anforderungen deutlich herauszuarbeiten.

Der vorliegende Leitfaden hat sich zur Aufgabe gesetzt, mit Hilfe der beschriebenen Qualitätskriterien Empfehlungen bei der Errichtung von Erdwärmeanlagen herauszuarbeiten, die zu einer möglichst konfliktarmen Nutzung dieser erneuerbaren Energie beitragen. Denn nur so kann die oberflächennahe Geothermie einen tatsächlichen Beitrag zur Einsparung von fossilen Rohstoffen und zum Schutze der Umwelt leisten.

2. Komponenten einer oberflächennahen Erdwärmeanlage

Die Erdwärme im Tiefenbereich der oberen 100 m bei Temperaturen von durchschnittlich 10 °C bis 12 °C wird mit erdgekoppelten Wärmepumpen über Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren oder anderen Systemen vor allem für dezentrale Heizanlagen genutzt. Erdwärmenutzung über Grundwasserbrunnen wird aufgrund der schwierigen technischen und rechtlichen Umsetzung in diesem Rahmen nicht weiter behandelt. Der Untergrund kann sowohl als Quelle als auch als Speicher für Wärme und/oder Kälte genutzt werden. In Abhängigkeit von den baulichen Gegebenheiten, der Heizungsanlage und dem Nutzerverhalten lässt sich die Geothermieanlage individuell dimensionieren.

Damit spielen drei Komponenten eine wichtige Rolle, die optimal aufeinander abgestimmt werden müssen, um einen wirtschaftlichen und zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten:

- **Wärmequellenanlage:** Erdwärmekollektoren oder andere Systeme, Erdwärmesonden
- **Wärmepumpe**
- **Wärmenutzungsanlage:** Fußbodenheizung, Radiator, Warmwasserversorgung

2.1. Wärmequellenanlage

Die im Erdreich gespeicherte Wärme kann über im Erdreich verlegte Rohre, durch die ein Wärmeträger strömt – meist ein Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch (im allgemeinen Sprachgebrauch kurz Sole genannt), erschlossen werden. Diese bestehen in der Regel aus langlebigen Kunststoffrohren und werden überwiegend horizontal (**Flächenkollektor**)

wenige Meter unter der Erde verlegt oder senkrecht in Bohrlöchern (**Erdwärmesonden**) eingebracht. Daneben gibt es noch weitere Möglichkeiten, Kollektorrohre im Erdreich anzuordnen. Beispiele hierfür sind Spiralsonden, Erdwärmekörbe und Grabenkollektoren. Sie unterscheiden sich jeweils im Flächenbedarf und bei den Erschließungskosten und ähneln hinsichtlich ihrer thermodynamischen Eigenschaften den Erdwärmekollektoren.

Erdwärmekollektoren

Erdwärmekollektoren werden flächenhaft oder in flachen Gräben verlegt (Abbildung 2), anschließend wird das Erdreich wieder aufgefüllt. Die Verlegung der Kunststoffrohre erfolgt waagrecht unterhalb der Frostgrenze in ca. 1,2 m bis 1,5 m Tiefe. Sie nutzen gespeicherte Sonnenenergie, die durch direkte Einstrahlung, Wärmeübertragung aus der Luft und durch Niederschlag in den Untergrund eindringt.

Der Bedarf an möglichst nicht überbauten Flächen beträgt bei herkömmlichen Kollektoren etwa das 1,5- bis 2-fache der zu beheizenden Fläche. Die Kollektorfläche beträgt etwa 15 m² bis 30 m² pro kW Heizleistung, je nach den Untergrundverhältnissen. Diese Faustregel ist jedoch nur ein grober Anhaltspunkt für die Auslegung eines Erdwärmekollektors, da dessen Leistungsfähigkeit stark von der Bodenbeschaffenheit und den Betriebsstunden abhängt.

Werden Wärmequellenanlagen mit Direkterwärmung als Flachkollektor ausgeführt, werden dazu meist etwa 75 m lange, nahtlose Kupferrohre mit einer Ummantelung aus Polyethylen (PE) oder ähnlichem Material verwendet.

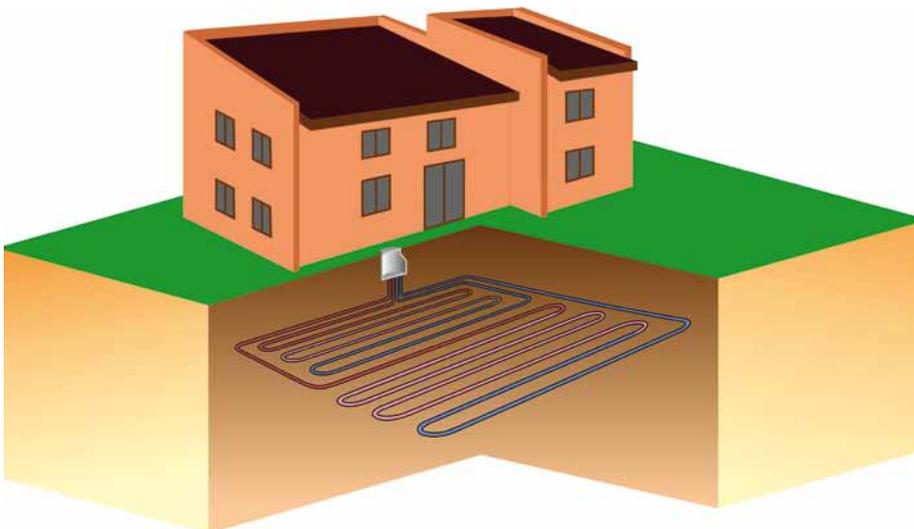


Abbildung 2: Erdwärmekollektor

Spiralsonden

Zylindrische Drahtkörbe (o. ä., Abbildung 3), die mit Kollektorrohren umwickelt sind, werden frostfrei zwischen 1,5 m und 5,0 m Tiefe vergraben. Die Baugrube wird danach mit dem Aushub bzw. Sand wieder verfüllt. Bei Durchmessern von z.B. 50 cm und einer Höhe von 2,0 m beträgt die Rohrlänge 50 m (PE 100). Um einen möglichst geringen Druckverlust des Gesamtsystems zu gewährleisten, sollten die Sonden in parallel geschalteten Kreisen zum Verteiler geführt werden. Bis zu 2 bis 3 Spiralsonden (je nach Bauart) können seriell angeschlossen werden.

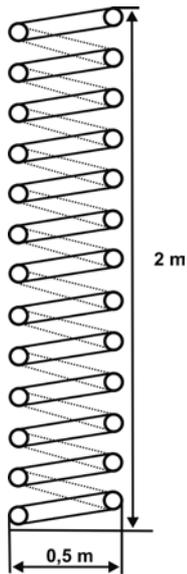


Abbildung 3: Prinzipskizze für Spiralsonde. Unterschiedliche Bauarten sind verfügbar

Erdwärmekörbe

Es handelt sich um konisch gewickelte Erdwärmesonden. Sie haben in der Regel eine Höhe zwischen 1,0 m bis 3,0 m, der obere Durchmesser liegt bei etwa 2,0 m (Abbildung 4). Die Sondenlänge liegt je nach Korbart zwischen 100 m und 300 m. Die Körbe werden unterhalb der Frostgrenze zwischen 1,5 m und 5,0 m Tiefe eingebaut. Standardmäßig werden 3 kleine Körbe in Reihe verbunden und stellen einen Strang von 320 m bis 340 m dar – inklusive Anbindeleitung zum Verteiler.

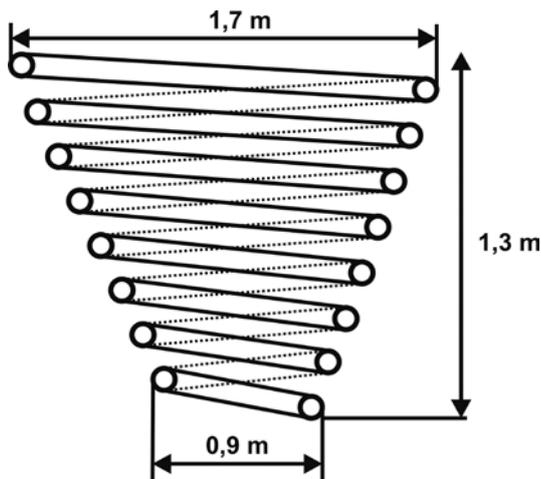


Abbildung 4: Prinzipskizze für Erdwärmekorb

Grabenkollektor

Für den Grabenkollektor wird ein Graben mit schrägen Wänden ausgehoben (Abbildung 5). An dessen Wandflächen werden PE-Rohre in regelmäßigen Abständen in schräg im Gra-

ben liegende Kunststoffhalter geknipst. Die Grabentiefe beträgt 2,6 m oder 3,0 m. Je kW Heizlast sind ca. 2 bis 3 lfm. Graben notwendig. Der Graben kann gerade, in L-Form oder in U-Form ausgeführt werden.

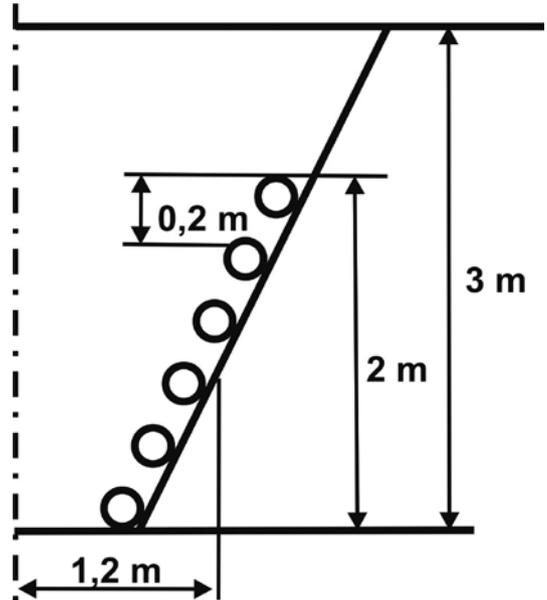


Abbildung 5: Prinzipskizze für Grabenkollektor

Eine Sonderform des Grabenkollektors sind die unten beschriebenen U-förmigen senkrecht verlegten Kollektoren (Abbildung 6). Sie werden in 1 m bis 2 m Tiefe unterhalb der Frostgrenze in Gräben eingelassen und mit Erddreich aufgefüllt.

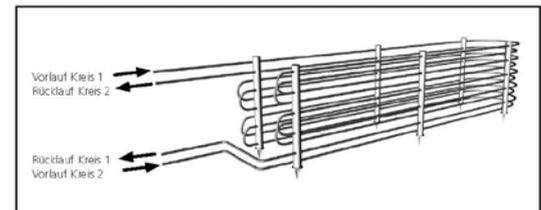


Abbildung 6: U-förmiger, senkrecht verlegter Grabenkollektor (Quelle: Fa. Roth, 2009) – Länge 5 m, Höhe 1 m und Breite 0,8 m

Erdwärmesonden

Erdwärmesonden werden in eigens dafür erstellte vertikale Bohrungen bis etwa 100 m Tiefe, in Einzelfällen bis zu 150 m Tiefe, eingebracht. Die Sonden bestehen in der Regel aus paarweise gebündelten U-förmigen Kunststoffrohrschleifen, die nahe der Erdoberfläche über Sammelleitungen an eine Wärmepumpe angeschlossen sind (Abbildung 7). Die in den Sonden zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit übernimmt den Wärmetransport aus dem Untergrund zur Wärmepumpe hin. Bei richtiger Auslegung wird die entzogene thermische Energie durch die nachströmende Wärmeenergie aus dem Untergrund regeneriert. Die Sondenlänge hängt von den Wär-

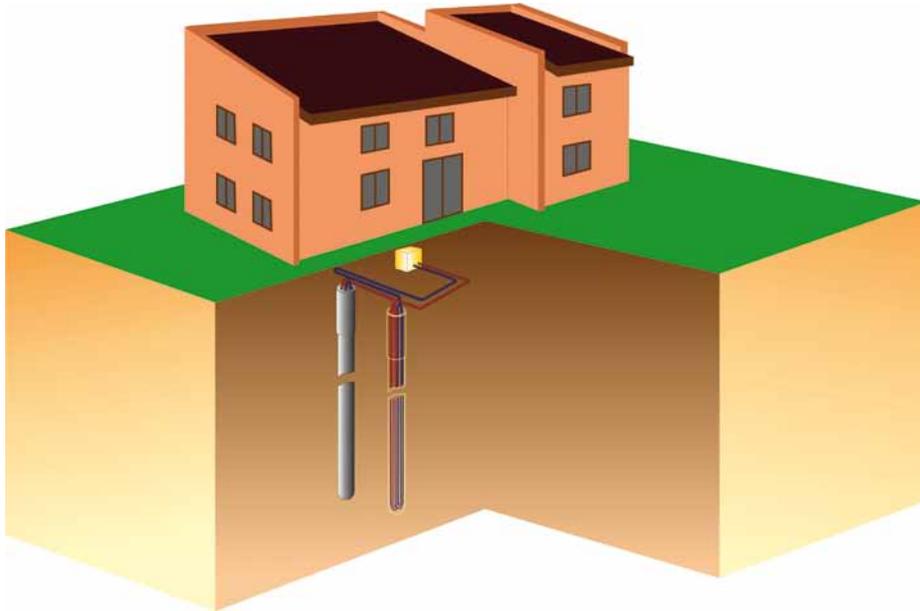


Abbildung 7: Erdwärmesonden

meleitfähigkeiten des Untergrundes ab, der in Schleswig-Holstein komplex aufgebaut ist. Grundsätzlich gilt: ab einer Tiefe von etwa 20 m unter Geländeoberkante ist kein witterungsbedingter Einfluss auf den Wärmeertrag mehr vorhanden.

Nach dem Einbau der Sonden wird der zwischen den Sondenbündeln und der Bohrlochwand verbleibende Hohlraum mit einer Ton-Zement-Suspension hohlraumfrei verpresst, um einerseits eine hydraulische Verbindung zweier oder mehrerer Grundwasserstockwerke zu verhindern und andererseits, um eine thermische Anbindung der Sonden an den Untergrund zu optimieren bzw. diese Kunststoffrohre vor mechanischen Einwirkungen z.B. durch Setzungen zu schützen (siehe unter Abschnitt 3.2.).

Für den Sondenbetrieb sind sowohl Koaxialrohre als auch Doppel-U-Rohre bekannt. Der Einfluss des Sondentyps auf die Leistung ist eher gering. Je nach Untergrundbeschaffenheit ist bei einer 100 m – Sonde mit Entzugsleistungen von 3 kW bis 6 kW zu rechnen.

Durch gerammte Stahlsonden und Bohrungen mit kleinem Gerät (bis etwa 30 m Tiefe) ist eine radialstrahlige Anordnung der Sonden möglich. Bei diesem Verfahren werden die Sonden in verschiedenen Richtungen und Winkeln von 15° bis 60° eingebaut. Durch die relativ geringe Platzinanspruchnahme findet dieses Verfahren speziell bei beengten Grundstücksverhältnissen Anwendung.

Heat-Pipe/Wärmerohr

Der Wärmetransport aus einer Sonde, die aus einem oder mehreren Rohren bestehen kann,

erfolgt ohne zusätzliche Fremdenergie. Durch Verdampfung des Kältemittels an der Innenwand des Sondenrohres wird dem Erdreich die Wärme entzogen. Dabei läuft ein dünner Kondensatstrom unter Einfluss der Schwerkraft nach unten. Der Kältemitteldampf steigt im Zentrum des Sondenrohres nach oben zu dem Wärmetauscher am Sondenkopf. Die Wärme wird hier an den Kältekreislauf der Wärmepumpe übertragen. Wegen der höheren Betriebsdrücke (je nach Kältemittel) sind diffusionsdichte und korrosionsbeständige Metallrohre zu verwenden. Hierfür kommen Edelstahlwell- oder kunststoffummantelte Kupferrohre zum Einsatz. Als Wärmeträger werden Kältemittel wie z.B. CO₂ oder Propan genutzt. Der Leitfaden bezieht sich nicht auf Wärmepumpen mit Direktverdampfung.

2.2. Wärmepumpe

Arbeitsprinzip

Das Prinzip der Wärmepumpe hat sich seit über hundert Jahren in Kühlschränken bewährt, bei denen Wärme aus dem Inneren abgepumpt und am Kondensator auf der Rückseite an die Raumluft abgegeben wird.

Die Komponenten einer Wärmepumpe sind Kompressor, Kondensator und Verdampfer sowie ein Arbeitsmedium mit niedrigem Siedepunkt. Das gasförmige Arbeitsmedium wird komprimiert und erwärmt sich dabei. Im Kondensator gibt es einen Teil der Wärme an das Heizungssystem ab, das führt zur Abkühlung und Verflüssigung. Anschließend nimmt das Arbeitsmedium im Verdampfer über einen Wärmetauscher Wärme aus dem Solekreislauf der Erdwärmesonden auf. Dabei wird die Sole der Erdwärmesonden abgekühlt (teilweise auf unter 0 °C). Die hierbei von der Wärmepumpe

pe aufgenommene Leistung wird daher als Kälteleistung bezeichnet. Das Arbeitsmedium erwärmt sich über den Siedepunkt und wird wieder gasförmig. Im Kompressor wird es dann erneut komprimiert und gibt seine Wärme im Kondensator ab.

Wärmepumpen mit Direktverdampfer haben keinen Solekreislauf in der Erdwärmesonde bzw. dem Flächenkollektor. Das Arbeitsmedium der Wärmepumpe (z.B. CO_2) durchströmt direkt die Erdwärmesonde und nimmt Wärme aus dem Untergrund auf. Da weder Wärmetauscher mit entsprechenden Verlusten noch Umwälzpumpe für den Solekreislauf benötigt werden, ist dieses System besonders energieeffizient. Es sind allerdings Erdwärmesonden aus Metall erforderlich.

Leistungszahl der Wärmepumpe nicht liegen, da der Wirkungsgrad der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen lediglich bei 30 bis 40 % liegt. Eine zu geringe Leistungszahl würde dann – neben den hohen Stromkosten für den Benutzer – eine ungünstigere CO_2 -Bilanz aufweisen als die direkte Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Beispiel: Der COP-Wert beträgt bei einer Soletemperatur von 0°C und einer Vorlauftemperatur der Heizungsanlage von 35°C durchschnittlich etwa 4,5; bei einer Vorlauftemperatur von 50°C nur noch 3,0. Für eine erfolgreiche geothermische Wärmeversorgung ist eine moderne Heizung mit niedriger Vorlauftemperatur vorteilhaft.

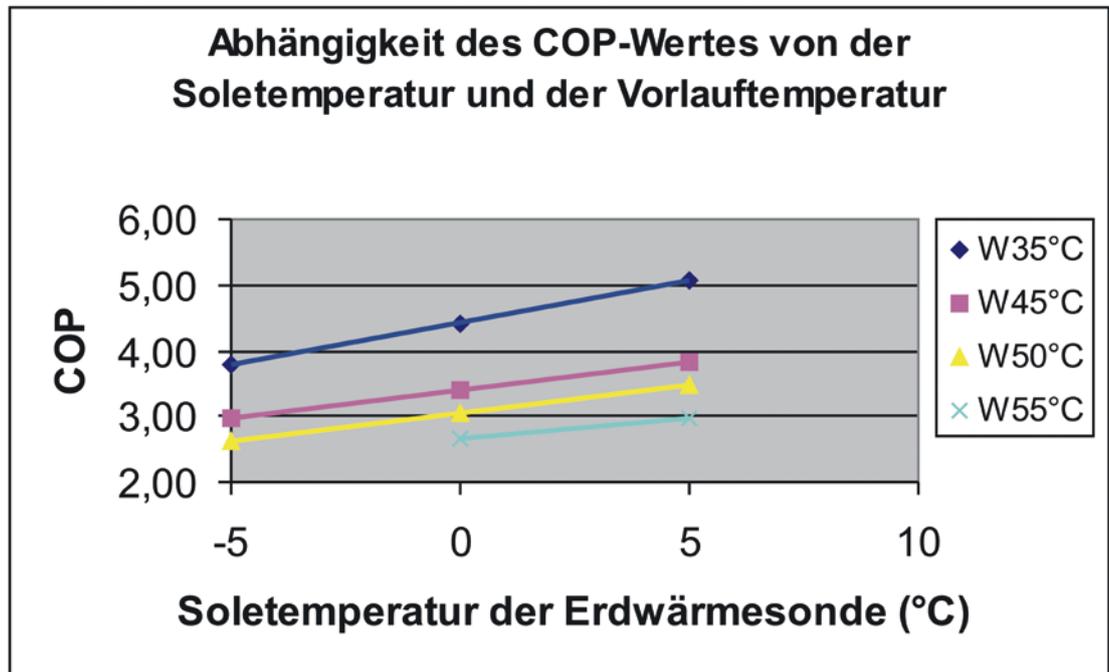


Abbildung 8: Leistungszahl in Abhängigkeit von der Soletemperatur der Erdwärmesonde – zusammengestellt aus Daten des Wärmepumpentestzentrums Schweiz, Stand 8.5.07

Effizienz der Wärmepumpe

Die Leistungszahl der Wärmepumpe wird von den Herstellern meist mit dem **COP**-Wert angegeben („**C**oeffizient **o**f **P**erformance“).

Der COP-Wert gibt die Effizienz der Wärmepumpe an einem bestimmten Arbeitspunkt unter vorgegebenen Betriebsbedingungen an. Er benennt das Verhältnis zwischen abgegebener Wärmeleistung und aufgenommener Antriebsleistung (inkl. Hilfsenergie) unter bestimmten Prüfbedingungen.

Der COP-Wert hängt von der Temperatur des Wärmeträgermittels in der Sonde (= Soletemperatur) und der Vorlauftemperatur der Heizungsanlage im Haus ab. Die meisten Wärmepumpen weisen eine Leistungszahl zwischen 3 und 4,5 auf. Unter 3,5 sollte die

2.3. Wärmenutzungsanlage

Wie bei jeder Entscheidung zur Festlegung eines Heizungssystems bestimmen die jeweiligen wirtschaftlichen Bedingungen des Bauherrn maßgeblich die Art und Auswahl der Wärmenutzungsanlage. Dabei sollten bei einem Neubau die neuesten Wärmeschutzrichtlinien nach dem Stand der Technik zu Grunde gelegt werden. Je besser ein Gebäude isoliert ist, desto geringer ist der Wärmebedarf. Bei Altbauten gilt dieser Grundsatz entsprechend. Der Wärmeschutz am Gebäude ist eine primär zu betrachtende Schlüsselfunktion zum erfolgreichen wirtschaftlichen Betrieb einer Heizanlage.

Die Ermittlung der maximal erforderlichen **Heizlast** erfolgt mit dem Ziel der Heizquellendimensionierung (z.B. Kessel) für Gebäude und Heizflächenauslegung für den Raum. Im

Rahmen von Energieberatungen wird empfohlen, die Heizquellen und die Heizflächen genau nach DIN EN 12831 zu berechnen und nicht mit Schätzwerten wie 100 W/m² die Heizungsanlage überzudimensionieren. Überschlägige Rechnungen, auch wenn der tatsächliche Verbrauch herangezogen wird, lassen einen Rückschluss auf die Heizlast nicht zu.

Der Bauherr kann die Leistungszahl der Wärmepumpe durch eine günstige **Heizungskonfiguration** beeinflussen. Beim Neubau sollten die Heizflächen daher nicht höher als 35 °C ausgelegt werden. Flächenheizungen wie Fußboden-, Wand- oder Deckenheizungen, die mit möglichst niedrigen Vorlauf- (35 °C) bzw. Rücklauftemperaturen (30 °C) arbeiten, sind daher den Radiatoren vorzuziehen. In Altbauten sollte zunächst der Wärmedämmung (neue Fenster, Dämmung des Dachgeschosses usw.) und der Überprüfung des Nutzungsverhaltens der Vorzug gegeben werden, um den Energiebedarf so gering wie möglich zu halten. In Heizungsanlagen können zwar Wärmepumpen mit Vorlauftemperaturen von 55 °C betrieben werden, doch ist hier – aufgrund der kleinen Leistungszahl – schnell die Wirtschaftlichkeitsgrenze erreicht. Eine Senkung der Vorlauftemperaturen kann z.B. durch Austausch der Heizflächen vorgenommen werden. Für den störungsfreien Betrieb sind allerdings Mindestumlaufmengen des Heizungswassers notwendig, um häufige Schaltintervalle der Wärmepumpe, die die Lebensdauer beeinflussen, zu vermeiden. Da eine Wärmepumpe meist nur eine geringere Temperaturdifferenz zwischen Heizungsvorlauf und –rücklauf erbringen kann als z.B. eine Gastherme, muss dies bei einer Umstellung auf eine erdgekoppelte Wärmepumpe berücksichtigt werden. So kann dies beispielsweise dazu führen, dass bei einer Fußbodenheizung der Verlegeabstand im Estrich geringer gewählt werden sollte.

Ein wichtiger Punkt der Energieversorgung ist neben der Heizwärme die **Warmwasserbereitung**. Diese kann durch die Wärmepumpe als zusätzliche Funktion erfolgen. Als Konsequenz ergibt sich eine höhere Belastung der Erdwärmesonden (als Richtwert 2.400 anstatt 1.800 Volllaststunden pro Jahr), da warmes Wasser über das ganze Jahr zur Verfügung stehen soll. Dies muss durch eine Erhöhung der Sondenlänge kompensiert werden. Zusätzlich ist das benötigte Temperaturniveau des Warmwassers höher als 35°C und somit höher als das der Fußbodenheizung. Wird die Warmwasserbereitung durch die Wärmepumpe mit betrieben, so sinkt – je nach gewünschtem Temperaturniveau – die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Die Warmwasserbereitung kann aber auch extern erfolgen, z.B. durch eine zusätzliche Luft-Wasser-Wärmepumpe oder einen Durchlauferhitzer.

Es ist sinnvoll, im Rahmen der Vorplanung mehrere Varianten zur Haus- und Heiztechnik zu prüfen oder prüfen zu lassen. Mit den Ergebnissen und der Entscheidung zu einer geothermischen Anlage sollte die Ausführungsplanung von einer **Fachfirma für Heizungsanlagen unter Beteiligung eines Bohrbzw. Brunnenbauunternehmens** umgesetzt werden.

3. Bauliche und technische Anforderungen

3.1. Material

Die Qualität der baulichen und technischen Anlagen sowie der auszuführenden Arbeiten unterliegt dem jeweiligen Stand der Technik. Dieser Stand der Technik ist den jeweils gültigen technischen Regelwerken des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN) sowie den Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) und der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs e.V. (DVGW) zu entnehmen.

- Einschlägige DIN-Normen zur Arbeitssicherheit bei der Erstellung von Gruben und Böschungen sind zu beachten (z.B. DIN 4124)
- Materialien, die in den Untergrund eingebaut werden, sollen ungiftig und korrosionssicher sein
- Erdwärmesonden bestehen aus einem Sondenfuß und den Sondenrohren ohne weitere Schweißmuffen im Vertikalstrang. Die gängigen Rohraußendurchmesser liegen zwischen 25 mm und 40 mm. Der Sondenfuß und seine Anschlüsse an die Sondenrohre sind werkseitig herzustellen. Lösbare Verbindungen im Vertikalstrang (z.B. Steckverfahren) sind nicht zulässig. Für die Verbindungsverfahren, insbesondere Schweißverfahren, sind die Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik verbindlich zu beachten. Der fertig gestellte Sondenfuß einschließlich seiner Verbindung ist einer Druck- und Durchflussprüfung zu unterziehen. Die Rohre müssen vom Hersteller für die Verwendung als Erdwärmesonde oder -kollektor vorgesehen und entsprechend gekennzeichnet sein (mindestens werkseitiges Prüfzeugnis und Herstellerdatenblatt). Freiliegende Rohrleitungen und Geräte sind UV-beständig auszuführen.
- Die Wärmeüberträgerrohre müssen wegen der Tauwasserbildung in korrosionssicheren Ausführungen eingebaut werden und für den geplanten Temperaturbereich geeignet sein.
- Wegen ihrer mechanischen Haltbarkeit, guter Langzeitstabilität gegen Soleflüssigkeit sowie preiswerter Herstellung, einfacher Verarbeitbarkeit und eines relativ geringen hydraulischen Widerstandes kommen Kunststoffrohre aus High Density Polyethylen PE 100 (gemäß DIN 8074 bzw. 8075) zum Einsatz (THOLEN & WALKER-HERTKORN 2008). Zunehmend werden PE 100-RC-Sonden, die eine erhöhte Spannungsriß-, Kerb- und Punktlast-

beständigkeit aufweisen, verwendet.

- Bei Beschädigungen durch Einkerbungen oder Riefen, die $> 1/10$ der Wanddicke betragen, ist die Möglichkeit der Rissbildung im Laufe der Jahre gegeben. Dies kann nicht nur zur Unbrauchbarkeit der Anlage, sondern auch zu hydraulischen Verbindungen von Grundwasserstockwerken und – bei Verwendung von wassergefährdenden Stoffen als Wärmeträgermittel – zu einem Risiko für das Grundwasser führen. Daher sind Beschädigungen der Sonden durch mechanischen Abrieb und Punktbelastungen beim Einbau zu vermeiden.
- Weitere Sonden aus hochdruckvernetztem Polyethylen, die eine höhere Temperaturbeständigkeit sowie größere Robustheit aufweisen, sind entwickelt worden. Aufgrund glatter Rohinnenflächen ist zusätzlich der Druckverlust reduziert.
- Bei Direktverdampfersystemen sind Kupferrohre in Kältequalität, Edelstahlrohre oder gleichwertige Materialien zu verwenden (LAWA-Entwurf 2009) und gegen Korrosion zu schützen (Entwurf VDI-Richtlinie 4640).
- Werden in Ausnahmefällen Stahlrohre verwendet, ist auf ausreichende Wanddicke, Qualität des Materials und auf ausreichenden Korrosionsschutz in Verbindung mit der Grundwasserqualität zu achten. Im Falle von mechanischer Beschädigung von z.B. oberflächenbehandelten Rohren ist eine dauerhafte Korrosionssicherheit nach derzeitigem Stand nur bei Edelstahl gegeben.
- Bereits bei der Auswahl des Materials und der Wärmequellenanlage sind eine spätere Stilllegung und die damit verbundene Entsorgung zu berücksichtigen.

Druckprüfungen der Sonden- und Kollektorsysteme

Die Sonden- und Kollektorsysteme sollten mehreren Druckprüfungen unterzogen werden:

- **Werkseitige** Druck- und Durchflussprüfung wird in der Regel bei vorkonfektionierten Erdwärmesonden und -kollektoren durchgeführt (Dokumentation)
- **Baustelle**
 - a) Druckprüfung nach dem Einsetzen und vor dem Verfüllen des Ring-

- raumes bzw. dem Abdecken der Kollektoren wird **empfohlen**, um mögliche Schäden beim Einbau vor dem Verfüllen bzw. vor dem Befüllen der Kollektoren mit Wärmeträgermittel erkennen zu können
- b) Funktionsendprüfung nach den Injektionsarbeiten der Sondenanlage (Druckprüfung nach VDI-Richtlinie 4640 bzw. die jeweiligen Normen in ihrer jeweils aktuellen Fassung, die die spez. Eigenschaften der eingesetzten Rohre berücksichtigt)
- c) Vor der Inbetriebnahme ist das Gesamtsystem einer Druckprobe mit dem 1,5-fachen Betriebsdruck zu unterziehen. Die Prüfbescheinigung ist gemäß VDI-Richtlinie 4640 dem Betreiber auszuhändigen
- Zur Drucküberwachung ist ein Manometer mit Min.- Max- Druckkennzeichnung vorzusehen (VDI-Richtlinie 4640). Der Sondenkreislauf ist durch eine selbsttätige Leckageüberwachungseinrichtung gegen Flüssigkeitsverlust infolge von Leckagen (z.B. Druck-/Strömungswächter) zu sichern.
- Bei Schadensfällen ist die zuständige Untere Wasserbehörde unverzüglich zu benachrichtigen.

- Bei der Verlegung des Kollektors sind Verdichtungen des Erdreichs zu vermeiden.
- Die gärtnerische Nutzung oberhalb der verlegten Anlagen ist möglich, sofern von tief wurzelnden Sträuchern und Bäumen abgesehen wird, damit eine Beschädigung der Kollektorrohre vermieden wird. Zur natürlichen Wärmeregeneration des genutzten Untergrundes durch regelmäßige Sonneneinstrahlung und Befeuchtung des Erdreichs durch Regen sollte eine flächenhafte Versiegelung bzw. Abschattung vermieden werden. Eine mögliche Verzögerung des Pflanzenwachstums durch das kühlere Erdreich über dem Kollektor kann durch gärtnerische Maßnahmen verringert werden (HUBER 2010).
- Zum Schutze der Kollektoranlagen z.B. bei späteren ggf. umfangreichen gärtnerischen Tätigkeiten ist die Verlegung eines Warnbandes sinnvoll. Bei Erdwärmekollektoren ist dies gemäß VDI-Richtlinie 4640 30 cm oberhalb der Rohre vorgeschrieben. Nach dem Einbau von Körben und Spiralsonden sollte deren Lage dokumentiert werden, um einerseits eine Zuordnung am Verteiler zu ermöglichen und um andererseits z.B. bei Eigentümerwechsel Schäden durch Bodenaushub zu vermeiden.

3.2. Einbau und Abstände

3.2.1. Einführung Kollektoranlagen

Für die Verlegung der Kollektoranlagen (inklusive Körbe und Spiralsonden) sind umfangreiche Erdarbeiten notwendig. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf den Aufbau des Bodens, da seine natürlichen Lagerungsverhältnisse und folglich seine bodenphysikalischen Eigenschaften verändert werden.

- Die Sammler und Verteiler sollten jederzeit gut zugänglich sein. Alle Leitungen sollten ansteigend zum Haus verlegt werden. Dabei sollte jeder Kreis einzeln abgesperrt werden können. Eine Drucküberwachung mit ggf. akustischen und/oder optischen Signalen ist vorzusehen.
- Da die Kollektorrohre vor Punktlasten zu schützen sind und keine mechanischen Beschädigungen erfahren dürfen, sind sie üblicherweise auf dem gewachsenen Boden in einem Sandbett zu verlegen (VDI-Richtlinie 4640); Bauschutt und scharfkantige Steine sind zu entfernen. Die Kollektorrohre sollten nicht in Kies oder Schotter verlegt werden, da große Luft gefüllte Porenräume zu einer Verminderung der Wärmeleitfähigkeit führen.

3.2.2. Erdwärmekollektor

a) Einbau

Die Verlegung sollte grundsätzlich auf gewachsenem Boden erfolgen. Bei der Grabenverlegung wird das Erdreich aus dem zweiten Graben direkt in den ersten parallel dazu liegenden Graben, in dem der Kollektor bereits verlegt wurde, wieder eingefüllt. Da das dazwischen liegende Erdreich nicht bewegt wird und eine Zwischenlagerung des Erdaushubs meist nicht nötig ist, sind die Kosten für die Grabenverlegung meist beträchtlich kleiner als bei der flächigen Abtragung, bei der die gesamte Kollektorfläche abgetragen wird.

Von den dargestellten Verlegearten eignet sich die Verlegeart Schnecke insbesondere zur Flächenverlegung, während die Verlegearten Doppelmäander und Tichelmann (Abbildung 9) sich besonders für die Grabenverlegung eignen (Verweis auf z.B. DIN 4124).

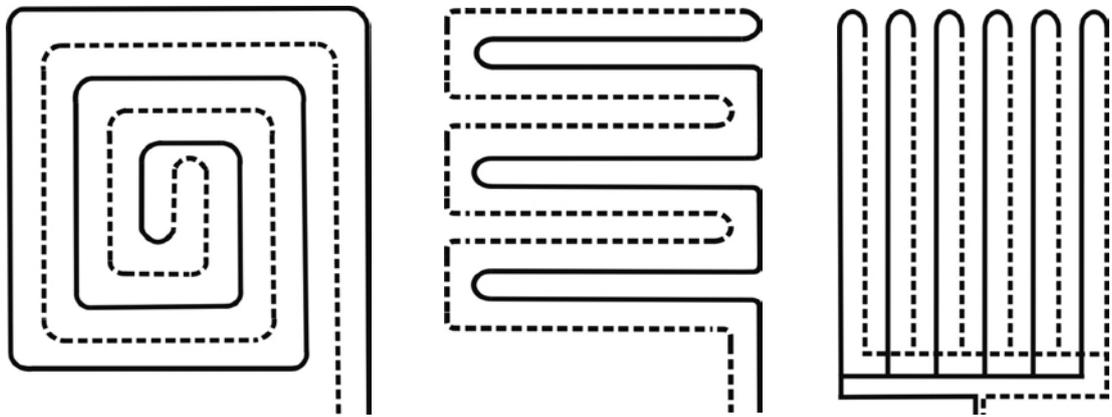


Abbildung 9: Verlegeart Schnecke
(nach RAUGEO 2007)

Verlegeart Doppelmäander

Verlegeart Tichelmann

b) Abstände

Die Röhre weisen Durchmesser von 20, 25 oder 32 mm auf und sind in mehreren, gleich langen Schleifen von je 100 m-Länge angeordnet. Minimale Biegeradien in Abhängigkeit vom Sondenmaterial, SONDENDURCHMESSER und der Verlegetemperatur sind zu beachten. Die Abstände zwischen den einzelnen Endlosrohren richten sich nach dem Rohrdurchmesser und dem angetroffenen Erdreich. Wenn im Winter das in dem umliegenden Erdreich befindliche Wasser anfängt zu gefrieren, bilden sich Eisradialen um die Kollektorröhre, die zusammenwachsen können. Wenn im Frühjahr stärker werdende Niederschläge nicht versickern können, bildet sich Matsch an der Erdoberfläche, der insbesondere in Hanglagen zu Problemen führen kann. Um diese Matschbildung zu vermeiden, sollte das Eis im Frühjahr abgetaut sein, was durch Berücksichtigung von Mindestrohrabständen erreicht werden kann. Als minimale Rohrabstände werden in der Literatur folgende Werte angegeben:

- Feuchtes Erdreich: 0,60 m
- Nasses Erdreich: 0,50 m

Bezüglich der flächenoptimierten Auslegung, (siehe Kapitel Dimensionierung) sind z.B. bei Rohrdurchmessern von 32 mm in Abhängigkeit von den angetroffenen Schichten Verlegeabstände zwischen 0,40 m und 0,60 m empfehlenswert (Klimaregionen Norddeutschland; nach RAMMING 2007). Größere Abstände ermöglichen die meist kostengünstigere Grabenverlegung.

Aus hydraulischen Gründen wird empfohlen, die Solekreise gleich lang und nicht länger als 100 m auszuführen, da damit das aufwendige Regeln am Verteiler vermieden wird.

Zu Ver- und Entsorgungsleitungen müssen Abstände von mindestens 1,0 m eingehalten werden. An den Grundstücksgrenzen sollten die Kollektoren ebenfalls in Abständen von mindestens 1,0 m verlegt werden.

c) Druckprüfung

Der erdseitige Anlagenteil muss für die auftretenden Drücke zugelassen sein und ist einer Druckprüfung zu unterziehen. Die Prüfergebnisse sind in einem Prüfprotokoll zu dokumentieren.

3.2.3. Spiralsonden

a) Einbau

Standardmäßig erfolgt der vertikale Einbau unterhalb der Frostgrenze in 1,50 m bis 5,00 m Tiefe je nach Bauart. Liegender Einbau ist in Abhängigkeit örtlicher Bodenverhältnisse möglich.

In der Praxis werden zwei Verlegearten durchgeführt. Im ersten Fall wird mit Hilfe eines Schaufelbaggers ein Loch von bis zu 5,0 m Tiefe ausgehoben und ein Schutzrohr abgesetzt. Außerhalb des Schutzrohres wird normalerweise das Aushubmaterial wieder hinterfüllt und durch ein Vibrationsverfahren verdichtet. Das Aushubmaterial muss verdichtbar sein, andernfalls durch Sand ersetzt werden. Da bei Einbautiefen bis 5 m bereits wichtige hydraulische Sperrschichten durchörtert (durchbohrt) sein können, ist „schichtengerecht“ zu verfüllen. Nach dem Einbau der Spiralsonde in das Schutzrohr wird das Schutzrohr entfernt.

Die zweite Variante sieht vor, einen Sonden-graben zu erstellen, in dem mit Hilfe eines Spiralbohrers – bei Sanden und Kiesen unter Mitführung eines Stützrohres – das Loch vorbereitet wird. Das Erdreich im Sondenbereich wird nicht verdichtet und bei trockenen Böden eingeschlämmt. Ebenfalls wird der wiederverfüllte Graben nicht verdichtet, damit Aushubmaterial innerhalb des Sondenkreises nachsacken kann. Diese Setzungen sind zu berücksichtigen und bauseits nachträglich aufzufüllen. Einschlägige DIN-Normen zur Arbeitssicherheit bei der Erstellung von Gruben und Böschungen sind zu beachten (Verweis auf z.B. DIN 4124).

Bei anstehendem Grundwasser sollten die Sonden zum Einbringen mit Wasser befüllt werden, damit ein „Aufschwimmen“ vermieden wird.

b) Abstände

Die Platzierung ist variabel und wird den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Dabei ist ein Mindestabstand zur Bebauung und zu den Grundstücksgrenzen von 2,0 m bis 3,0 m zu berücksichtigen. Der Verlegeabstand zu anderen Versorgungsleitungen sollte mindestens 1,0 m betragen. Die Spiralsonden können einreihig oder mehrreihig angeordnet werden. Da in der Regel zur Beheizung von Einfamilienhäusern mit einer Heizlast von 5 kW bis 10 kW mehrere Spiralsonden benötigt werden, ist zu beachten, dass sich benachbarte Erdwärmekörbe negativ thermisch beeinflussen können, was bei der Auslegung berücksichtigt werden sollte (siehe Kapitel Dimensionierung). Es wird daher empfohlen, einen Abstand von mindestens 4,0 m zu den benachbarten Sonden, d.h. einen Flächenbedarf von 16 m² je Sonde (je nach Anordnung) einzukalkulieren (RAMMING 2007; BASSETTI & ROHNER 2005).

c) Druckprüfung

Der erdseitige Anlagenteil muss für die auftretenden Drücke zugelassen sein und ist einer Druckprüfung zu unterziehen. Die Prüfergebnisse sind in einem Prüfprotokoll zu dokumentieren.

3.2.4. Erdwärmekörbe

a) Einbau

Für die Erdwärmekörbe wird mit Hilfe eines geeigneten Baggers ein 2 m x 2 m großes und 2,5 m tiefes Loch vorbereitet und darin der Korb eingelassen. Verbindungsgräben zwischen jeweils drei Körben werden gezogen. Das vorhandene Erdreich wird – sofern geeignet – wieder eingefüllt und mit Wasser eingeschlämmt.

Ebenfalls wird nicht verdichtet, damit Aushubmaterial innerhalb des Sondenkreises nachsacken kann. Diese Setzungen sind zu berücksichtigen und bauseits nachträglich aufzufüllen. Einschlägige DIN-Normen zur Arbeitssicherheit bei der Erstellung von Gruben und Böschungen sind zu beachten (Verweis auf z.B. DIN 4124).

Bei anstehendem Grundwasser sollten die Sonden zum Einbringen mit Wasser befüllt werden.

b) Abstände

Ähnlich wie bei den Spiralsonden sind verschiedene Anordnungen der Körbe möglich. Es sollten Abstände zur Bebauung und zu den Grundstücksgrenzen von 2,0 m bis 3,0 m eingehalten werden. Der Verlegeabstand zu anderen Versorgungsleitungen sollte mindestens 1,0 m betragen. Aufgrund der möglichen gegenseitigen thermischen Beeinflussung benachbarter Körbe wird auch hier empfohlen, Abstände von mindestens 4,0 m, d.h. einen Flächenbedarf von 16 m² je Korb (je nach Anordnung) einzuhalten.

c) Druckprüfung

Der erdseitige Anlagenteil muss für die auftretenden Drücke zugelassen sein und ist einer Druckprüfung zu unterziehen. Die Prüfergebnisse sind in einem Prüfprotokoll zu dokumentieren.

3.2.5. Sonden

a) Einbau

- Die Herstellung von Erdwärmesondenanlagen ist eine Bauleistung. Bohr- und Ausbauarbeiten zum Zwecke der geothermischen Nutzung (Sonden unterschiedlicher Bauart mit Wärmeträgermittel) sollten daher **grundsätzlich** von einem fachkundigen Bohrunternehmen bzw. einem Meisterbetrieb des Brunnenbauerhandwerks mit nachweislichen Qualitätsmerkmalen (Zertifizierung nach DVGW W 120 in den Gruppen G1 und/oder G2, RAL GZ 969 oder gleichwertig) vorgenommen werden. Die Sachkunde gemäß DIN EN ISO 22475 bzw. DIN 4021 ist sicherzustellen.
- Die Zertifikate sollten über die Homepage der jeweiligen Zertifizierungsstelle auf ihre Aktualität überprüft werden.
- Zur Durchführung von Bohrungen wird ein ausreichendes Baufeld benötigt. Der Platzbedarf beinhaltet das Aufstellen des Bohrgerätes mit der Möglichkeit der Verschiebung bei Mehrfachsonden und/oder Hindernissen, Aufstellen von weiteren bohrtechnischen Zusatzanlagen und die Zwischenlagerung von Material. Angepasst an die standörtlichen Untergrundverhältnisse ist das geeignete Bohrverfahren zu wählen.
- Von Bohrgeräten, Bohrspülungen und Zubehör (z.B. Schmierstoffe) dürfen keine Schadstoffe in den Untergrund und damit in das Grundwasser gelangen.
- Führen von Schichtenverzeichnissen nach DIN EN ISO 14688 (Nachfolger von DIN 4022).



Abbildungen 10 und 11: Bohrgerät (links) und Bohrkopf (Flügelmeißel und Rollenmeißel, rechts)

- Beim Bau der Erdwärmesondenanlage sind ggf. auftretende Vorkommnisse oder Besonderheiten wie z.B. Spülungsverluste, das Antreffen artesisch gespannter Grundwasserleiter, Probleme bei der Verpressung des Ringraumes, Auftreten von Altlasten usw. gewissenhaft zu dokumentieren und das weitere Vorgehen umgehend mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde abzustimmen.
- Auf Grund des möglicherweise unkalkulierbaren Aufquellverhaltens sind Bohrungen in Gips- und Anhydrit-führende Gesteine strikt zu vermeiden. Auskünfte hierzu erteilt das LLUR.

b) Bohrlochdurchmesser

Mit der Zielsetzung, eine langfristig betriebssichere und umweltverträgliche Anlage zu errichten, geht einher, Sondenrohre ohne Beschädigungen in das Bohrloch einzubringen, diese vor mechanischen Beschädigungen durch Setzungs- und Erdbewegungen zu schützen und eine vollständige Ummantelung der Sondenrohre mit Verpressmaterial sicher zu stellen. Unabdingbare Voraussetzung hierfür ist ein ausreichend großer Bohrlochdurchmesser.

Bei Bohrungen im Lockergestein (relevante Gesteinsart in Schleswig-Holstein) sind Abweichungen des Bohrlochkalibers nach innen infolge aufquellender Tone oder in das Bohrloch hereinragende Steine auch bei guter Bauausführung an der Tagesordnung. Unter weiterer Berücksichtigung i.d.R. abweichender Bohrlochgeometrien von der Lotrechten sowie nahezu unvermeidbarer Biegungen des Sondenstranges ist daher ein Mindestabstand zwischen der Bohrlochwand und den äußeren Sondenbauteilen von 40 mm vorzusehen.

Die Auswahl des geeigneten Bohrlochdurchmessers hängt von der Länge der Einzelsonden, des Verpressleerrohres, der Größe der Innenabstandshalter und des benötigten Ringraumes für die vollständige Verpressung mittels geeigneten Verpressmaterials ab.

Innenabstandshalter haben die Aufgabe, die einzelnen Sondenrohre voneinander fernzuhalten, damit warme und kalte Rohrstränge (Vor- und Rücklauf) sich nicht zu sehr beeinflussen und somit der thermische Bohrlochwiderstand verringert wird.

Hieraus ergibt sich die Mindestforderung:

Bohrdurchmesser > Sondendurchmesser + Abstandshalter + 2 x 40 mm

c) Einbringen der Sonde

Beim Einbringen von Sonden in das Bohrloch besteht die Gefahr von Mikrorissbildungen (siehe auch unter Abschnitt „b) Bohrlochdurchmesser“). Rissbildungen können – auch Jahre später – zu Leckagen führen, die Anlage ist dann nicht mehr funktionstüchtig. Besteht die Wärmeträgerflüssigkeit aus wassergefährdenden Stoffen (WGK 1) kann dies auch zur Grundwasserverunreinigung führen. Es wird daher empfohlen, die mit Wasser gefüllte und verschlossene Sonde über eine Haspel, die möglichst am Bohrmast oder an einem Kranausleger hängt, einzubauen. Die Wasserfüllung und ein zusätzlich angehängtes Gewicht sind notwendig, um bei Spülbohrungen dem Auftrieb im Bohrloch entgegenzuwirken.

d) Verfüllung

Nach Einbringen der Erdwärmesonde ist das Bohrloch unmittelbar vor Beginn weiterer Bohrlocharbeiten vollständig von der Sohle aus nach oben mit einem für den Einsatz im Grundwasser geeigneten Verpressmaterial (Nachweis) hohlraumfrei zu verfüllen (Abbildung 12).

Bei großen Sondenlängen ist das Mitführen eines Verpressrohres sinnvoll, um ein gleichmäßiges Verfüllen sicherzustellen. Weicht der Bedarf an Verpressmaterial stark vom errechneten Ringraumvolumen ab, ist unverzüglich die Untere Wasserbehörde zu informieren.

In Schleswig-Holstein werden bei Erdwärmesonden-Bohrungen häufig mehrere Grundwasserstockwerke durchbohrt. Zur Vermeidung von hydraulischen Kurzschlüssen (Abbildung 13) ist es zum Schutz des Grundwassers notwendig, das Bohrloch nach Einbringung des Sondenmaterials abzudichten. Dies gilt auch für im Schrägbohrverfahren eingebrachte Sonden. Zudem hängt die thermische Effizienz der Gesamtanlage wesentlich davon ab, ob der Wärmetransport von den geologischen Schichten an das Wärmeträgermedium der Sonde möglichst verlustarm, d.h. mit möglichst geringem Bohrlochwiderstand über die vollständigen Mantelflächen der Sondenrohre erfolgt.

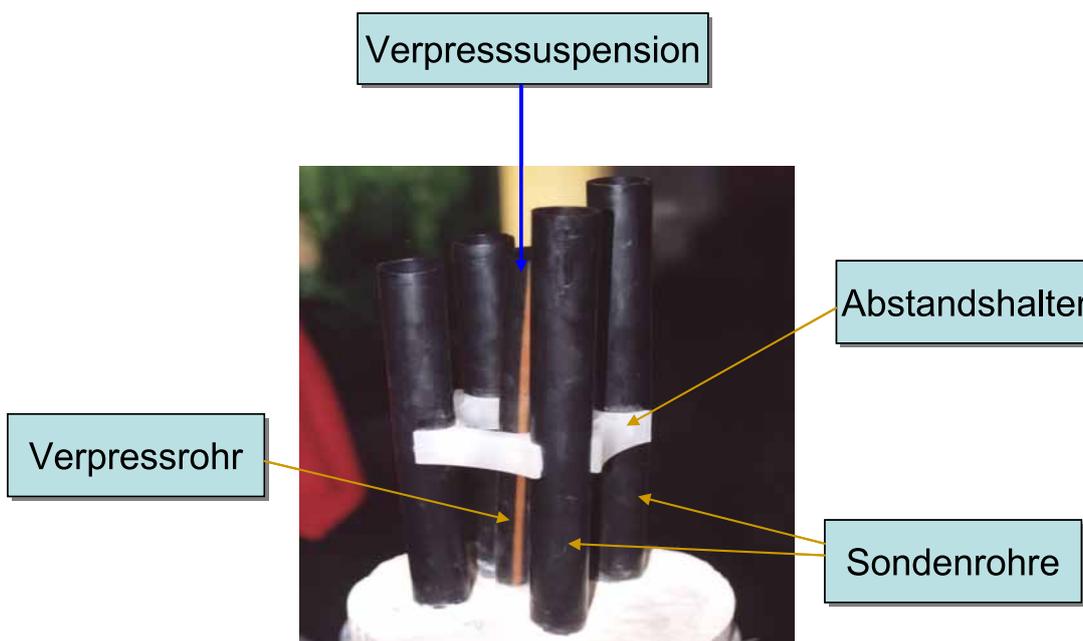


Abbildung 12: Erdwärmesondenrohr mit Abstandshaltern. Das Verpressrohr zwischen den Sondenrohren dient zur Verfüllung des Ringraums mittels Verpresssuspension.

e) Verpressmaterial

Laut VDI-Richtlinie 4640 muss die Verpressung des Ringraumes nach dem Aushärten eine „dichte und dauerhafte, physikalisch und chemisch stabile Einbindung der Erdwärmesonde in das umgebende Gestein“ gewährleisten und für die **jeweilige Einsatztemperatur** geeignet sein.

- Abdichtung der durch die Bohrung entstandenen vertikalen Wegsamkeiten, um Schadstoffeinträge und hydraulische Kurzschlüsse von Grundwasserstockwerken zu vermeiden.
- Gute thermische Anbindung der Sonde an den Untergrund
- Reduzierung der Gefahr von Setzungen

Folgende **Funktionen** sollte die Ringraumverpressung einer Erdwärmesonde erfüllen:

- Vollständige Ummantelung der Sondenrohre zum Schutz der Sonden vor Punktlast und zum Schutz des Grundwassers bei Leckagen

Jedoch ist nicht jede Ton / Zement Mischung gleichermaßen geeignet. An das Verpressmaterial sind folgende Anforderungen zu stellen:

Parameter	Mindestanforderung	Bemerkung
Wärmeleitfähigkeit	Möglichst hoch	Gute thermische Anbindung der Sonde an den Untergrund minimiert den Bohrlochwiderstand
Marshzahl	40-100 s	Maß für Viskosität
Wasser/Feststoffwert	<1	Massenverhältnis zwischen zugeführtem Wasser und dem Baustoff
Suspensionsdichte	1,3-1,9 t/m ³	Eine hohe Dichte dient der sicheren Verdrängung der Bohrspülung
Absetzmaß	< 3%	Dient der hohlraumfreien Verfüllung
Filtratwasserabgabe	< 130 ml	
Verschleiß der Verpresspumpen	Gering	
Ausreichende Druckfestigkeit	> 1 N/mm ²	z.B. Schutz der Sonde vor Punktbelastungen
Frost-Tau-Wechsel (FTW)-Beständigkeit	Hohe Widerstandsfähigkeit	Bis zum Vorliegen anerkannter Prüfverfahren zur FTW-Beständigkeit sind die Anlagen so zu dimensionieren, dass unterhalb der natürlichen Frostgrenze von etwa 120 cm Temperaturen unter 0 °C im Verpresskörper auch bei Spitzenlasten ausgeschlossen sind Erläuterung hierzu siehe unten
Wasserdurchlässigkeit	k _f -Wert max 1*10 ⁻⁸ m/s *1	
Umweltverträglichkeit		Insbesondere wasserhygienische Unbedenklichkeit (Bescheinigung durch Hersteller)

*1 In Schleswig-Holstein liegt die mittlere Durchlässigkeit von Geschiebemergel bei 1*10⁻⁸, dieser Wert sollte vom Verpressmaterial sicher erreicht werden.

Spezielle Prüfkriterien zur Beurteilung des Frost-Tauwechsel-Verhaltens von Verfüllmaterialien, die in Erdwärmesondenanlagen eingesetzt werden, existieren bisher nicht. Es wird daher meist auf standardisierte Frostuntersuchungsmethoden für Gesteine und betonhaltige Baustoffe zurückgegriffen (z.B. DIN 52104). Bei untersuchten Baustoffen aus dem Brunnenbau, so genannte Dämmern, traten bereits nach wenigen Frost-Tau-Belastungen deutliche Risse und Abplatzungen auf. Speziell für EWS entwickelte Fertigprodukte weisen nur geringfügige Spuren der Frostbelastung in Form sehr kleiner Risse oder geringer Abplatzungen auf (MÜLLER 2008). Aufgrund der fehlenden **anerkannten** Prüfverfahren, die die Randbedingungen der Erdwärmennutzung berücksichtigen, ist eine tatsächliche Gewähr der Frost-Tau-Wechselbeständigkeit zur Zeit nicht gegeben. Bei längerem Anlagenbetrieb unterhalb 0°C wird auch das Erdreich – je nach Wärmeleitfähigkeit des Verfüllmaterials und der tatsächlichen Stärke des Ringraumes – Frost-Tau-Wechsel bedingte Einflüsse erfahren. Bisher ist nicht sicher nachgewiesen, ob bindiges Material, das z.B. als Geschiebemergel eine im Sinne des Grundwasserschutzes wichtige Funktion als Geringleiter hat, tatsächlich bei Frost-Tau-Wechsel-Belastungen **signifikante** Veränderungen hinsichtlich seiner Funktion erfährt. Daher sind die Anlagen so zu dimensionieren, dass unterhalb der natürlichen Frostgrenze von etwa 120 cm Temperaturen unter 0 °C im Verpresskörper auch bei Spitzenlasten ausgeschlossen sind.

Der Einsatz von Brunnendämmern in Geothermiebohrungen ist aufgrund der geringen Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel-Belastungen und der geringen Wärmeleitfähigkeit nicht sachgerecht.

In einigen Landesteilen Schleswig-Holsteins treten artesische Grundwasserverhältnisse und Bereiche mit höher mineralisierten Grundwässern auf. Da die dauerhafte Funktion der Abdichtung gewährleistet werden muss, sind hier weitere Eigenschaften nachzuweisen:

- Ausreichende Suspensionsdichte und Druckfestigkeit bei artesischen Grundwasserverhältnissen
- Resistentes Quell- und Abbindeverhalten sowie dauerhafte Beständigkeit bei höher mineralisierten Grundwässern (Salzwassereinfluss) insbesondere bei Auftreten von Kohlensäure, Sulfat usw.

Informationen können – sofern hierzu Daten vorliegen – beim LLUR sowie bei der zuständi-

gen Unteren Wasserbehörde eingeholt werden.

Das eingebrachte Produkt, das Volumen, die Dichte und der Verpressdruck sind in einem Verpressprotokoll zu dokumentieren. Um eine vollständige Aushärtung des Verpressmaterials zu erhalten, sollte eine Aushärtezeit von i.d.R. 28 Tagen vor der Inbetriebnahme der Anlage eingehalten werden.

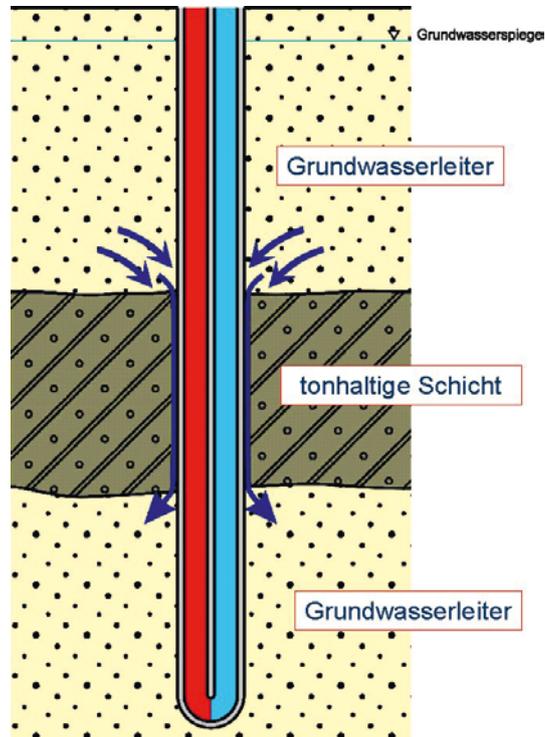


Abbildung 13: Mögliche Wasserwegsamkeiten bei nicht ordnungsgemäß abgedichteter Sonde

f) Fertigstellung

Die Erdwärmesonde, die dem Verteiler am nächsten liegt, wird in der Regel am tiefsten gesetzt und die am weitesten entfernte am höchsten.

Die Erdwärmesondenrohre sollten in parallel geschalteten Kreisen zum Verteiler geführt werden. Der Verteiler sollte an der höchsten Stelle installiert werden. Eine Entgasungseinrichtung an geeigneter Stelle ist vorzusehen. Die Verteiler können mit Durchflussmesser zur Einregulierung der Sonden ausgestattet werden.

Befüllen der Anlage mit dem fertig angemischten Wärmeträgermedium. Durchspülen der Rohrleitungen über ein offenes Gefäß, bis diese luftfrei sind.

g) Abstände

Die Einhaltung eines Mindestabstandes zwischen den Sonden ist erforderlich, weil ein Abweichen der Bohrungen von der Lotrechten nicht ganz zu verhindern ist.

Weiterhin ist die **gegenseitige thermische Beeinflussung** von Erdwärmesonden im reinen Heizbetrieb zu beachten. Die Überlagerung der Abkühlungsbereiche von benachbarten Sonden kann zu Temperaturen von unter 0 °C in den Sonden und – bei Zerstörung des Verfüllmaterials – zu Grundwasserbeeinträchtigungen und wirtschaftlichen Schäden führen. Daher sollten die Abstände grundsätzlich möglichst groß gewählt werden, um eine gegenseitige Beeinflussung so gering wie möglich zu halten. Anderenfalls sind zur Kompensation der thermischen Belastung größere Sondenlängen zu veranschlagen.

Bei zwei benachbarten Sonden ist die gegenseitige thermische Beeinflussung relativ gering (THOLEN & WALKER-HERTKORN 2008). **In bestimmten Fällen sind höhere Abstände erforderlich** z.B. bei ungünstiger Grundwasserfließrichtung und/oder einer Vielzahl von unmittelbar benachbarten Sonden (HÄHNLEIN 2009).

Ein **Mindestabstand** der einzelnen Sonden einer Anlage von 5,0 m bzw. 6,0 m sollte daher eingehalten werden (Anlagen mit einer Heizleistung <30 kW).

Um zu verhindern, dass sich **benachbarte Erdwärmeanlagen** gegenseitig beeinflussen, sollte die Temperaturänderung auf dem eigenen Grundstück weitgehend abklingen. Daher wird ein Mindestabstand zur Grundstücksgrenze von mindestens 5,0 m bzw. 6,0 m und folglich ein Abstand von mind. 10 m bis zur nächsten Sondenanlage (Abbildung 14) empfohlen. (Mit Einverständnis des Nachbarn sind auch geringere Grenzabstände möglich).

Bei einer **Vielzahl benachbarter Erdwärmesondenanlagen in Wohngebieten** sollten die gegenseitige Beeinflussung ermittelt und die Abstände und die Tiefen der Sonden unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse optimiert werden. Es wird vorgeschlagen, bei einer Gesamt-Heizleistung der Anlagen von > 30 kW diese als Erdwärmesondenfelder zu betrachten und entsprechend zu dimensionieren. Sind derartige Bebauungsgebiete noch in der Planungsphase, ist es ratsam, zwischen den Nutzern eine freiwillige Vereinbarung einzugehen und von einem gemeinsamen Planer die Sondenanlagen dimensionieren und entsprechende Sondenabstände ermitteln zu lassen.

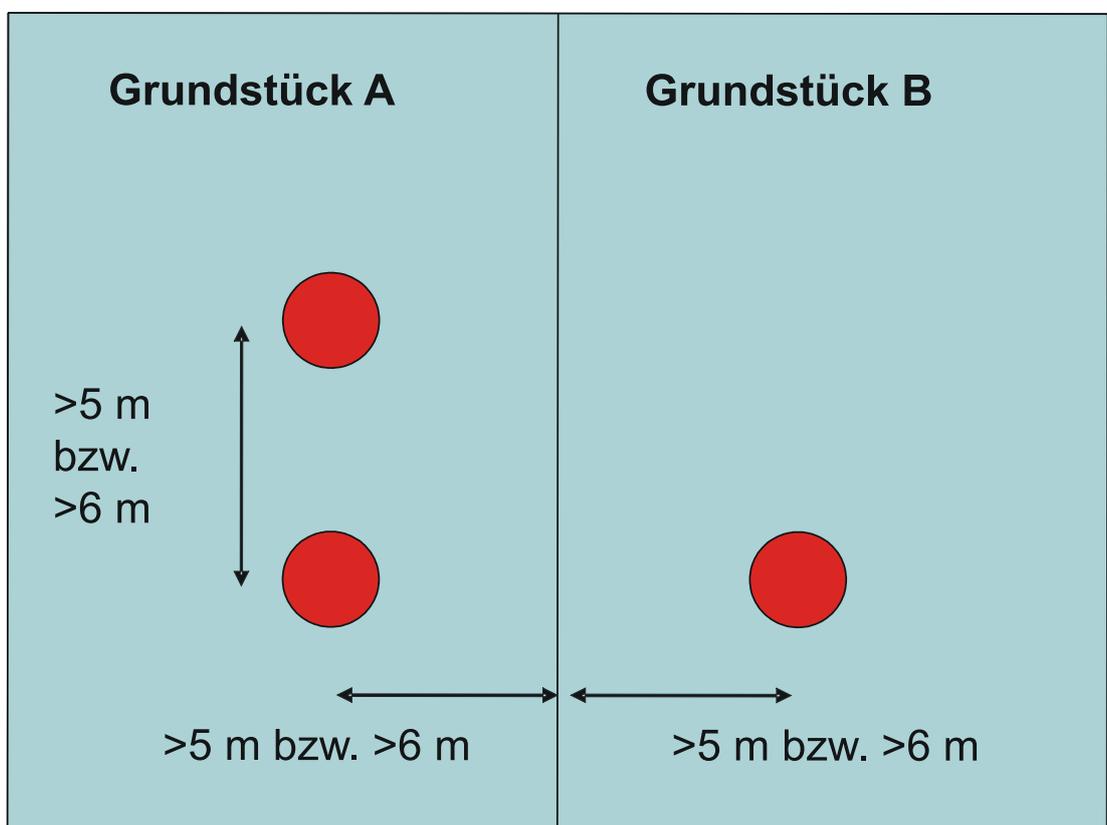


Abbildung 14: Abstände von Erdwärmesonden (bei Sondentiefen bis 50 m: > 5,0 m; bei Sondentiefen von > 50 m: > 6,0 m). In bestimmten Fällen sind höhere Abstände erforderlich – z.B. bei ungünstiger Grundwasserfließrichtung und/oder einer Vielzahl von unmittelbar benachbarten Sonden (HÄHNLEIN 2009).

4. Wärmeträgermittel

Das gewählte Wärmeträgermedium sollte ein stabiles Langzeitverhalten haben, d.h. über eine lange Betriebszeit alterungsbeständig und frei von Korrosionseinflüssen gegenüber den verschiedenen Werkstoffen innerhalb des Systems sein.

In der Praxis besteht das Wärmeträgermittel meist aus einem Gemisch aus Wasser und einem Frostschutzmittel (im allgemeinen Sprachgebrauch: „Sole“). Das Frostschutzmittel bewirkt eine Erniedrigung des Gefrierpunktes von Wasser und soll so eine Frostspaltung im Verdampfer der Wärmepumpe verhindern. Eine Erdwärmesondenauslegung mit Wasser als Wärmeträgerfluid setzt allerdings ein wesentlich höheres Temperaturniveau innerhalb des Sondenkreislaufs voraus, damit die Wärmepumpe in der Betriebsphase ungestört laufen kann. Es wird empfohlen, die Gewährleistungsbedingungen der Wärmepumpenhersteller bei Betrieb ohne Frostschutzzusatz zu beachten.

Zum Schutze der korrosionsanfälligen Anlagenteile werden dem Frostschutzmittel meist Korrosionsinhibitoren in geringen Mengen (ca. 1 %) zugegeben. Der Lieferant hat zu bescheinigen, dass das Wärmeträgermittel den Anforderungen entspricht und trotz Zusatz derartiger Additive in die Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 einzustufen ist. Der Einsatz des jeweiligen Frostschutzmittels ist nach Art (Datenblatt) und Menge zu dokumentieren.

Einwandige Anlagen und Anlagenteile im Boden oder Grundwasser dürfen als Wärme-

trägermittel nur nicht wassergefährdende oder wassergefährdende Stoffe der WGK 1 enthalten.

Als Kältemittel bei Direktverdampfern werden häufig CO₂ oder Propan eingesetzt. Diese natürlichen Kältemittel gelten als nicht wassergefährdend. Eine Abkühlung des Verpressmaterials und des umgebenden Erdreichs unter den Gefrierpunkt durch hohen Wärmeentzug ist zu vermeiden.

Folgende Aspekte sind beim Befüllen der Sonden zu beachten:

1. Spülen

Die Sonden sind mit sauberem Wasser zu spülen und von Schmutzteilchen zu befreien und anschließend zu entlüften. Verunreinigungen können große Schäden verursachen. Luftpolster und Lufteinschlüsse können im späteren Betrieb den Durchfluss behindern.

2. Füllen

Jeder Kreis der Sondenanlage ist separat zu füllen. Dabei ist auf eine gute Durchmischung des Frostschutzmittelkonzentrats zu achten. Eine von der Berechnung stark abweichende Solekonzentration kann zu Frost- und Korrosionsschäden führen.

3. Volumen

Folgende Volumen für Kollektoren bzw. Sonden sind anzusetzen:

Rohrdurchmesser (Außen-/Innendurchmesser)	Inhalt pro Laufmeter Erdkollektor
25 mm (25x2,3 mm)	0,327 l/m
32 mm (32x2,9 mm)	0,539 l/m
40 mm (40x3,7 mm)	0,838 l/m
32 mm (32x2,9 mm)	2,16 l/m (4x0,539 l/m)
40 mm (40x3,7 mm)	3,36 l/m (4x0,838 l/m)

5. Dimensionierung der Wärmequellenanlage

5.1. Allgemeines

Die Dimensionierung der Erdwärmeanlage hängt im Wesentlichen von folgenden Aspekten ab:

- Zunächst Ermittlung der Heizleistung und Wärmepumpenleistungszahl, woraus die **Kälteleistung** der Wärmequellenanlage errechnet werden kann (siehe Abbildung 15)
- Ermittlung der spezifischen Entzugsleistung des Erdreichs in Abhängigkeit von der Nutzungsart, der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes und der Volllaststundenzahl (siehe in den jeweiligen Abschnitten zu den Wärmequellenanlagen des Kapitels 5.2)

- Druckverluste in der Anlage (z.B. durch Mantelreibung)

Die Jahresarbeitszahl wird als Maß für die energetische Effizienz einer Anlage angesehen. Sie ist erfahrungsgemäß niedriger als die Leistungszahl der Wärmepumpe (COP-Wert). Je besser die Vorplanung ist, umso geringer weicht sie davon ab. Die Jahresarbeitszahl sollte durch eine fachkundige Stelle nach VDI-Richtlinie VDI 4650 berechnet werden.

Jahresarbeitszahlen können für jeden beliebigen Standort der Wärmepumpe berechnet werden. Grundlage hierfür sind die Messergebnisse des Herstellers. Berechnungen, wie z.B. die durchschnittliche Soletemperatur bei

Beispiel:
Heizleistung: 12 kW
Leistungszahl COP: 4

$$\frac{12 \text{ kW} \times (4 - 1)}{4} = 9 \text{ kW}$$

Heizleistung X (Leistungszahl -1)

Leistungszahl = Kälteleistung

Kälteleistung = 9 kW
= erforderliche Wärmeentzugsleistung der Wärmequelle

Abbildung 15: Beispielhafte vereinfachte Ermittlung der **Kälteleistung**, die von der Wärmequellenanlage erbracht werden soll, mit Hilfe der Leistungszahl (COP).

Bei einer Unterdimensionierung der Wärmequellenanlage ist eine Regeneration der Untergrundtemperaturen in den Sommermonaten, wenn der Heizbetrieb eingestellt ist, nicht mehr gewährleistet. Eine stetige Absenkung der Wärmequellentemperatur ist die Folge. Über die Auswirkungen ist in den entsprechenden Abschnitten zu Kollektoren und Sonden zu lesen.

Die Planung einer Erdwärmeanlage verläuft in mehreren Planungsschritten und hängt sowohl von den hausenergetischen, technischen, genehmigungsrelevanten als auch von den geologischen Randbedingungen ab. Ein Überblick über die Planungsphasen ist am Ende dieses Kapitels in der Abbildung 28 zusammengestellt.

Die **Jahresarbeitszahl (= JAZ)** gibt das Verhältnis des Jahresertrages an Heizenergie zur aufgewendeten Antriebs- und Hilfsenergie wider. Sie wird u.a. beeinflusst durch die im Jahresverlauf tatsächlich

- erreichten Soletemperaturen
- genutzten Heizungsvorlauftemperaturen

Erdsonden bzw. Flachkollektoren, sind mittels Monatsbilanzverfahren vorzunehmen. Die Berechnung der Jahresarbeitszahl sollte dem Bauherrn vom Planer grundsätzlich im Detail vorgelegt werden.

Zur langfristigen Betriebsüberwachung wird empfohlen, die von der Wärmepumpe abgegebene Heizenergie mit einem elektronischen Wärmehzähler zu erfassen, um die tatsächliche Jahresarbeitszahl ermitteln zu können.

Grundsätzlich sollte beachtet werden, dass diese Broschüre nur **orientierende Werte zur Dimensionierung** für eine Plausibilitätsprüfung durch den Bauherrn oder durch die Behörden liefern kann.

5.2. Erdwärmekollektoren (inkl. Körbe und Spiralsonden) – Einführung

Abbildung 16 zeigt, wie sich die Temperatur des Untergrundes im Verlauf eines Jahres verhält. Danach sind unterhalb von etwa 2 m Tiefe die höchsten Temperaturen im Herbst, die niedrigsten im Frühsommer anzutreffen.

Oberflächennah werden die Erdreichtemperaturen im Wesentlichen von der Sonneneinstrahlung und von den Witterungsverhältnissen beeinflusst. Saisonale Schwankungen wirken sich bis in Tiefen von etwa 15 m bis 20 m aus, danach steigen die Temperaturen etwa alle 33 m um 1 °C.

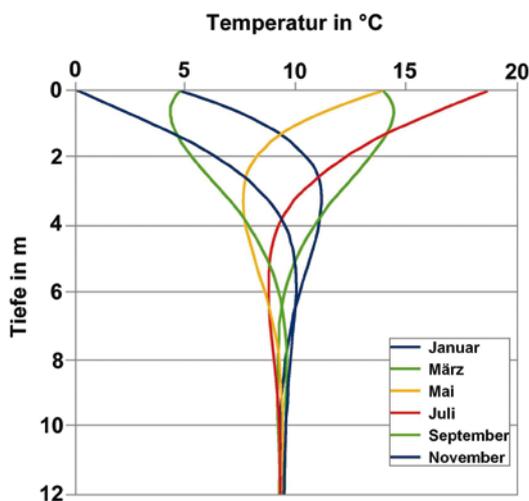


Abbildung 16: Jahrestemperaturverlauf im ungestörten Erdreich

Da der Untergrund einerseits eine relativ geringe Wärmeleitfähigkeit aufweist, andererseits aber eine große Wärmekapazität besitzt, bleibt die Sonnenwärme, die oberflächennah in den Untergrund eindringt, für mehrere Monate erhalten und die Erdreichtemperatur nimmt langsamer als die Lufttemperatur ab. Diese Phasenverschiebung wird von den verschiedenen Systemen wie Erdwärmekollektoren, Spiralsonden und Erdwärmekörpern genutzt (Abbildung 17).

Die von diesen Systemen entzogene Energie wird im Wesentlichen durch die solare Einstrahlung und nur unwesentlich durch die beim Versickern von Niederschlag mitgeführte Wärme ausgeglichen. Der geothermale Wärmestrom hat nur einen vernachlässigbaren Einfluss von weniger als 0,1 W/m² (RAMMING 2007).

Die Temperatur des zum Erdwärmekollektor zurückkehrenden Wärmeträgermediums soll gemäß VDI-Richtlinie 4640 im Dauerbetrieb (Wochenmittel) den Grenzbereich von ±12 Kelvin (K) Temperaturänderung gegenüber der ungestörten Erdreichtemperatur nicht überschreiten, bei Spitzenlast können es maximal ±18 K sein.

5.3. Erdwärmekollektoren

Aus Messreihen und Simulationen wird deutlich, dass die Kollektoren in einem Großteil der Heizperiode im Winter ihre Wärme aus dem Gefrieren des Bodenwassers in Kollektornähe erhalten. Diese Eisbildung ist ein gewünschter Effekt, da einerseits Eis die Wärme besser leitet als Wasser, andererseits die freiwerdende Energie beim Übergang von flüssig zu fest als Energiereservoir genutzt wird. Somit ist der Wassergehalt in Abhängigkeit von dem im Erdreich angetroffenen Boden (Körnung und Dichte) für die Einschätzung der Leistungsfähigkeit eines Kollektors von großer Bedeutung.

Die VDI-Richtlinie 4640 gibt für trockene, feuchte und wassergesättigte Böden spezifische Entzugsleistungen für 1.800 Volllaststunden/Jahr für reinen Heizbetrieb bzw. 2.400 Volllaststunden/Jahr für Heizbetrieb und Warmwasserbereitung an. Verschiedene Bodenarten werden dabei nicht weiter unterschieden.

Mittlerer Jahrestemperaturverlauf im Erdreich

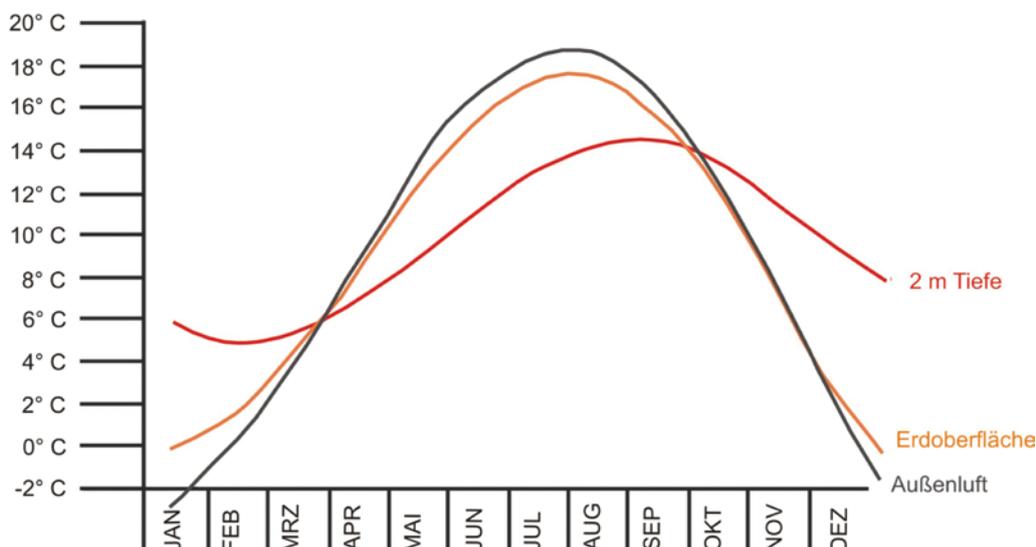


Abbildung 17: Die ungestörte Erdreichtemperatur (hier in 2 m Tiefe) folgt der Umgebungstemperatur zeitverzögert und gedämpft.

Untergrund	Spezifische Entzugsleistungen nach VDI 4640 Blatt 2	
	1.800 Volllaststunden/a	2.400 Volllaststunden/a
Trockener, nicht bindiger Boden	10 W/m ² *	8 W/m ²
Bindiger Boden, feucht	20-30 W/m ²	16-24 W/m ²
Wassergesättigter Sand/Kies	40 W/m ²	32 W/m ²

Abbildung 18: Spezifische Entzugsleistungen nach der VDI Richtlinie 4640 zur überschlägigen Abschätzung

* Einheit bedeutet Watt pro Quadratmeter Kollektorfläche.

Der oben stehenden Abbildung 18 können die **möglichen** Wärmeentzugsleistungen aus der VDI-Richtlinie 4640 entnommen werden.

RAMMING (2007) konnte aufzeigen, dass die unterschiedlich „**feuchten**“ – oberhalb des Grundwasserspiegels – auftretenden Böden in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung und ihrer Lage innerhalb verschiedener Klimazonen beträchtlich voneinander abweichende Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten und folglich unterschiedliche spezifische Entzugsleistungen aufweisen. Niederschläge und die jahreszeitlich schwankenden Temperaturen weisen innerhalb Deutschlands große Unterschiede auf. Entsprechend dieser Studie sind im Nordwestdeutschen Raum flächenspezifische Entzugsleistungen für Kollektoren mit Durchmessern von 32 mm (turbulente Strömung) ermittelt worden (Abbildung 19: ohne Gewähr). Bei kleineren Rohrdurchmessern werden die maximalen flächenspezifischen Entzugsleistungen bei etwas kleineren Rohrabständen erreicht und sind zudem etwa 10 % niedriger. Die Angaben dienen der Orientierung.

Es wird an den in Abbildung 19 dargestellten Simulationsergebnissen deutlich, dass Sand – oberhalb des Grundwasserspiegels – sowohl im gefrorenen als auch im ungefrorenen Zustand geringe Wärmeleitfähigkeiten und entsprechend geringere Wärmeentzugsleistungen aufweist. Dies liegt an der geringen Wassermenge, die Sand oberhalb des Grundwasserspiegels gegen die Schwerkraft zurückhalten kann (Feldkapazität).

Entscheidend für eine gute Entzugsleistung ist folglich der Ausbau in mindestens feuchten, besser in wassergesättigten Böden. Die Grundwasserverhältnisse schwanken jahreszeitlich im Bereich mehrer Dezimeter bis zu zwei Meter.

Die Bodenverhältnisse sind nicht überall gleich in Schleswig-Holstein. Hierzu können Sie sich beim LLUR beraten lassen und/oder geologische bzw. bodenkundliche Karten heranziehen.

Aus den Angaben der VDI-Richtlinie 4640 und der Betriebsstundenzahl sowie der erforderlichen Kälteleistung lässt sich überschlägig die Kollektorfläche anhand des Berechnungsbeispiels wie folgt berechnen (Abbildung 20):

Beispiel

Klimazone	Entzugsleistung	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
	Rohrabstand				
Bremerhaven	W/m ²	29	38	39	43
	m	0,34	0,51	0,54	0,51
Hamburg-Fuhlsbüttel	W/m ²	26	36	38	41
	m	0,38	0,53	0,56	0,53

Abbildung 19: Simulationsergebnisse von RAMMING (2007): Maximal mögliche flächenspezifische Entzugsleistungen für „feuchtes“ Erdreich in den Klimazonen „Bremerhaven“ und „Hamburg“ bei Heizbetrieb unter Berücksichtigung der Auslegungskriterien (Vermeidung von Matschbildung) für Kollektoren mit Durchmessern von 32 mm (turbulente Strömung). Bei kleineren Rohrdurchmessern werden die maximalen flächenspezifischen Entzugsleistungen bei etwas kleineren Rohrabständen erreicht und sind zudem etwa 10 % niedriger.



Abbildung 20: Beispielhafte Berechnung der Kollektorfläche anhand der erforderlichen Kälteleistung und der spezifischen Entzugsleistung

In Abhängigkeit vom Sondendurchmesser und Verlegeabstand lässt sich aus der berechneten Kollektorfläche die notwendige Sondenlänge ermitteln.

Eine Übersichtskarte zur potenziellen Standorteignung für Erdwärmekollektoren ist als Planungshilfe für Teile Schleswig-Holsteins

im Agrar- und Umweltatlas des Landes Schleswig-Holstein unter www.umweltatlas.schleswig-holstein.de zu finden (Abbildung 21). Sie stellt eine erste Orientierungshilfe dar und ist nicht als konkrete Planungsgrundlage zu verwenden, da ihre Grundlage die Bodenverhältnisse nicht parzellenscharf abbildet.



Abbildung 21: **Zur Orientierung bei kleinen Anlagen:** Die potenzielle Standorteignung für Erdwärmekollektoren wird über die Klassifikation der Wärmeentzugsleistung bewertet. Diese wiederum ist hier im Wesentlichen eine Funktion der Wärmeleitfähigkeit auf der Basis der bodenkundlichen Landesaufnahme Umweltatlas SH: www.umweltatlas.schleswig-holstein.de

Mögliche Folgen der Abkühlung auf unter 0°C

- die – grundsätzlich gewünschte – Vereisung der Kollektoren wird zu groß und die Eisrädien wachsen zusammen
- Matschbildung, da bei Tauwetter im Frühjahr die Versickerung von Regen- und Schmelzwasser erheblich behindert wird.
- Verzögerung des Pflanzenwachstums möglich
- Jahresarbeitszahl der Anlage wird durch Absinken der Soletemperatur schlechter.
- Im Extremfall Vereisen der Soleumwälzpumpe

5.4. Erdwärmekörbe und Spiralsonden

Analog zu den grundsätzlichen Überlegungen zu Erdwärmekollektoren sind die hydraulischen Bodenparameter sowie die unterschiedlichen klimatischen Einflüsse von Bedeutung für die Ermittlung spezifischer Entzugsleistungen. Generell ist bei Erdwärmekörben und Spiralsonden die thermische Kopplung an das umliegende Erdreich und vor allem an die Erdoberfläche schlechter als bei Kollektoren, da die Oberfläche der Körbe und Spiralsonden relativ klein ist. Dabei sind diese Systeme auf den Wärmefluss aus der Umgebung, insbesondere von der Erdoberfläche angewiesen (RAMMING 2007). Aus diesem Grund wird eine vergleichsweise große Rohrmenge pro Korb bzw. Spiralsonde eingesetzt.

Benachbarte Systeme beeinflussen sich thermisch gegenseitig negativ, was bei der Auslegung berücksichtigt werden sollte.

Da die aktuelle VDI-Richtlinie keine Angaben zu Wärmeentzugsleistungen für diese Systeme gibt, können hier **zur Orientierung** Berechnungsergebnisse von RAMMING (2007) herangezogen werden (ohne Gewähr). Diese Ergebnisse beziehen sich auf „feuchte“ Bodenarten für Körbe und Sonden mit 4 benachbarten Systemen im Abstand von 4 m (Abbildung 22). Liegt der Grundwasserspiegel in geringer Tiefe, sind die Schichten wassergesättigt und höhere Entzugsleistungen können erwartet werden.

Beispiele

System	Erdwärmekorb (1,3 m/1,7 m)		Spiralsonde (2,0 m/0,5 m)	
	Mannheim	Passau	Mannheim	Passau
Klimazone	Mannheim	Passau	Mannheim	Passau
„Feuchte“ Bodenarten (Sand, Lehm, sandiger Ton)	380-690 W	280-520 W	220-430 W	160-320 W

Abbildung 22: Maximale Entzugsleistungen (Heizbetrieb) pro Erdwärmekorb bzw. Spiralsonde im Korbfeld bei 4,0 m Abstand (Korbmittenabstand) in Abhängigkeit von den „feuchten“ Bodenarten (Quelle: RAMMING 2007)

Da keine veröffentlichten Ergebnisse für Schleswig-Holstein vorliegen und die Ergebnisse noch weiter verifiziert werden müssen, sollten mit den Sondenherstellern/-vertreibern klare Absprachen hinsichtlich der Bemessung von Wärmequellenanlagen erfolgen und Referenzanlagen oder Feldtests mit herangezogen werden. Diese oben angegebenen Werte dienen der Plausibilitätsprüfung für Planer und Bauherren. Weitere Dimensionierungshilfen und Berechnungsbeispiele werden von LOOSE (2009) angeboten.

Entscheidend für eine gute Entzugsleistung ist auch hier der Ausbau in mindestens feuchten, besser in wassergesättigten Böden mit

möglichst großen Abständen zwischen den Anlagenteilen (siehe auch unter Abschnitt 3.2. Einbau und Abstände).

Die Bodenverhältnisse sind nicht überall gleich in Schleswig-Holstein. Hierzu können Sie sich beim LLUR beraten lassen und/oder geologische bzw. bodenkundliche Karten heranziehen.

5.5. Erdwärmesonde

Gemäß VDI-Richtlinie 4640 ist die spezifische Wärmeentzugsleistung einer Erdwärmesonde abhängig von:

- **Wärmetransportvermögen** des Untergrundes
- **Anzahl der Betriebsstunden**
- **Gegenseitige Beeinflussung** bei einer Anzahl benachbarter Anlagen.

Bei Erdwärmesonden ist ein hohes **Wärmetransportvermögen** des Untergrundes erwünscht, damit die dem Untergrund entzogene Wärme kontinuierlich aus dem Umgebungsmaterial nachgeführt wird. Die Wärmenachführung erfolgt durch Wärmeleitung des Untergrundmaterials sowie, wenn möglich, durch den (geringen) Fluss des Grundwassers.

Im Regelfall kann die Grundwasserbewegung, insbesondere in tieferen Grundwasserstockwerken, nicht quantifiziert werden. Daher basieren die Prognosen über realisierbare Entzugsleistungen für Erdwärmesonden lediglich auf der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes. Durch die Grundwasserbewegung ist ein zusätzlicher Wärmeentzug möglich. Diese Größe kann als Sicherheitszuschlag für die Sondendimensionierung angesehen werden.

Die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes hängt vom Mineralgehalt (Sand oder Ton), der Porosität und der Art der Porenfüllung ab. Luft ist ein schlechter Wärmeleiter, daher hat der trockene bzw. teilgesättigte Bereich oberhalb des Wasser-

spiegels eine geringere Wärmeleitfähigkeit. Der Bereich oberhalb des Grundwasserspiegels ist daher für den Wärmeentzug weniger produktiv.

In Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes, der Volllaststundenzahl und dem Sondentyp sind Wärmeentzugsleistungen für Anlagen bis zu einer Heizleistung von 30 kW berechnet worden (VDI-Richtlinie 4640), die als Grundlage zur Dimensionierung von erdgekoppelten Wärmepumpen dienen. Die **Rahmenbedingungen** hierfür sind:

- Nur Wärmeentzug
- Länge der einzelnen Erdwärmesonden zwischen 40 m und 100 m
- Kleinster Abstand zwischen zwei Erdwärmesonden:
5 m bei Sondenlängen von 40 m bis 50 m
6 m bei Sondenlängen >50 m bis 100 m
- Doppel-U Sonde oder Koaxialsonde >60 mm Durchmesser
- Nicht anwendbar bei einer größeren Anzahl kleiner Anlagen auf einem begrenzten Areal.

Je höher die Anzahl der **Jahresbetriebsstunden** (Volllaststunden), umso geringer ist die mögliche Entzugsleistung der Erdwärmesonde. Generell bringt eine Unterdimensionierung der Erdwärmesonden einen starken Wärmeentzug, geringere Wärmequellentemperaturen und eine kleinere Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe mit sich. Im Dauerbetrieb (Wochenmittel) soll die Temperatur des zur Erdwärmesonde zurückkehrenden Wärmeträgermediums nicht mehr als ±11 Kelvin (K) von der ungestörten Erdreichtemperatur abweichen, bei Spitzenlast ±17 K (nach VDI 4640).

Die VDI-Richtlinie 4640 gibt spezifische Entzugsleistungen für 1.800 Volllaststunden pro Jahr (ohne Warmwasserbereitung) und 2.400 Volllaststunden pro Jahr (mit Warmwasserbereitung) an. Bedingt durch die Vielfalt unterschiedlicher Anlagenkonstellationen und durch die technischen Weiterentwicklungen (z.B. verbessertes Verpressmaterial) können diese Angaben nur als Dimensionierungshilfe dienen:

Untergrund	Spezifische Entzugsleistung nach VDI 4640 Blatt 2	
	1.800 Volllaststunden/a	2.400 Volllaststunden/a
Kies, Sand, trocken	< 25 W/m ^{*1}	< 20 W/m
Kies, Sand, wasserführend	65-80 W/m	55-65 W/m
Ton, Lehm, feucht	35-50 W/m	30-40 W/m
Geschiebemergel	45 W/m ^{*2}	45 W/m ^{*2}

Abbildung 23: Spezifische Entzugsleistungen oberflächennaher Sedimente in Schleswig-Holstein für Erdwärmesonden (nach VDI 4640)

*1 Einheit bedeutet Watt pro Meter Sondenlänge

*2 Geschiebemergel setzt sich aus Sand, Kies/Steinen und Ton/Schluff mit stark variierenden Gemischverhältnissen zusammen. In der VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 sind Wärmeleitfähigkeiten angegeben für Sand, Ton und Moränenmaterial, was am ehesten dem Geschiebemergel entspricht. Die Wärmeleitfähigkeit von Moränenmaterial liegt nach dieser Richtlinie zwischen denen von Sand und Ton. Da die thermische Leistung der Erdwärmesonde von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes bestimmt wird, schlagen wir als mittlere thermische Leistung bei Geschiebemergel 45 W/m vor.

Beispiel:
Kälteleistung: 9 kW
Betriebsstunden: 1.800 h/a

Spez. Entzugsleistung
gemäß VDI 4640:
gemittelt
45 W/m*

Sondenlänge
= 200 m
z.B. 2 Sonden à
100 m

$$\frac{\text{Kälteleistung}}{\text{Spez. Entzugsleistung (W/m)}} = \text{Sondenlänge}$$

Abbildung 24: Überschlägige Berechnung der Sondenlänge anhand der erforderlichen Kälteleistung und der spezifischen Entzugsleistung. Ein ggf. tief liegender Grundwasserspiegel und das Auftreten von sehr unterschiedlichen Gesteinsschichten bleiben hier unberücksichtigt!

* der häufig eingesetzte Wert von 45 W/m sollte daher nur zu einer überschlägigen Einschätzung in der frühen Planungsphase genutzt werden.

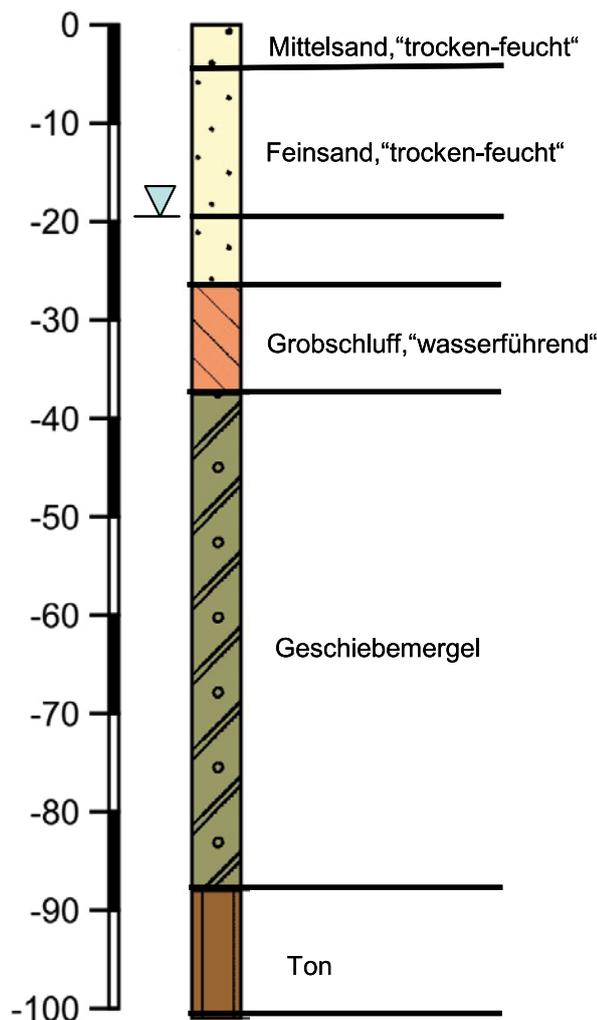
Im Rahmen der **Vorplanung** kann zur überschlägigen Ermittlung gemäß oben aufgeführtem Rechenbeispiel (Abbildung 24) die mögliche Sondenlänge ermittelt werden. Grundsätzlich gilt: ab einer Sondentiefe von etwa 20 m erfolgt der Wärmeertrag weitgehend unabhängig von den jahreszeitlich wechselnden Temperaturen an der Erdoberfläche und von der Tiefenlage des Grundwasserspiegels. Die sich verändernden hydraulischen Bedingungen in der Sonde (Druckverlust der Sole) bei großen Sondenlängen sind dabei zu berücksichtigen.

Zur **weiteren Überprüfung** sollten die lokalen geologischen Verhältnisse und die Tiefenlage des Grundwasserspiegels einbezogen werden. Damit kann anhand des Schichtenaufbaus des Untergrundes auf Basis der Schichtmächtigkeiten und der gemittelten spezifischen Entzugsleistungen die zu erwartende Entzugsleistung der Erdwärmesonde berechnet werden. Ein Beispiel hierzu ist in Abbildung 25 gezeigt. Bereits eine geringe Grundwasserströmung kann schon eine erhebliche Wirkung auf das thermische Verhalten einer Sonde haben und zu höheren möglichen Entzugsleistungen führen. Wegen fehlender Datenbasis können hierzu meist keine Angaben gemacht werden.

Die geologischen Verhältnisse sind nicht überall gleich in Schleswig-Holstein. Hierzu können Sie sich beim LLUR beraten lassen.

Eine Übersichtskarte zu den überschlägigen Wärmeentzugsleistungen für Schleswig-Holstein nach VDI-Richtlinie 4640 ist als Planungshilfe im Agrar- und Umweltatlas des Landes Schleswig-Holstein unter www.umweltatlas.schleswig-holstein.de zu finden (Abbildung 26).

Abbildung 25: Beispiel zur Berechnung der Entzugsleistung einer Erdwärmesonde anhand des durch eine Bohrung belegten Untergrundaufbaus (1.800 h/a Volllastbetrieb). Für die spezifischen Wärmeentzugsleistungen sind mittlere Werte angegeben. Im Vergleich zum überschlägig ermittelten Ergebnis des Berechnungsbeispiels (2 Sonden à 100 m), zeigt sich, dass unter Berücksichtigung der lokalen geologischen Verhältnisse nur eine Kälteleistung von $2 \times 3.960 \text{ W} = 7.920 \text{ W}$ zu erzielen ist. Die geforderte Kälteleistung (Beispiel 9.000 W) ist somit erst über größere Sondenlängen zu erreichen.



Spez. Wärmeentzugsleistung	Berechnete Wärmeentzugsleistung
20 W/m	400 W
60 W/m	360 W
45 W/m	495 W
45 W/m	2250 W
35 W/m	455 W

Gesamt: 3960 W

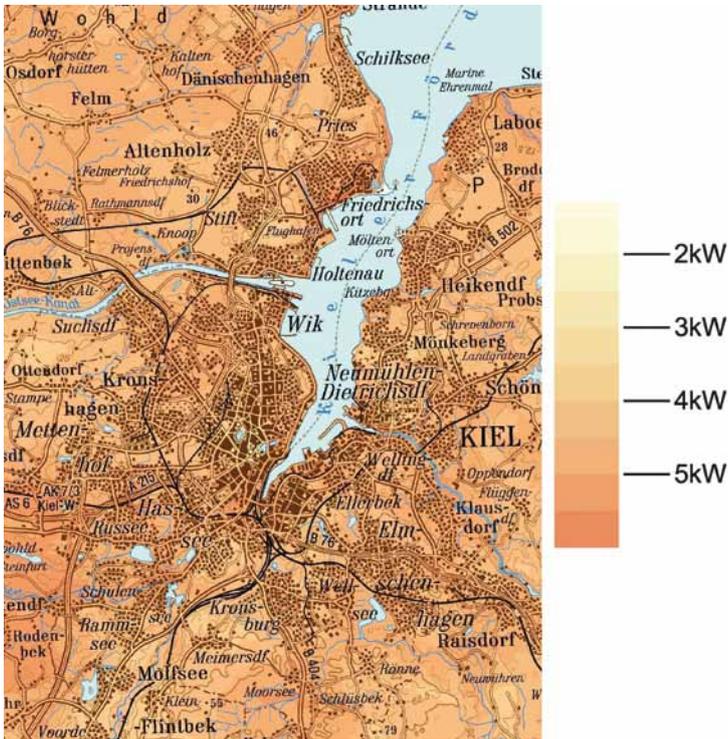


Abbildung 26: **Zur Orientierung bei kleinen Anlagen:** Abgeschätzte Entzugsleistung für 100 m tiefe Erdwärmesonden, berechnet nach Bohrinformationen, Grundwasserständen und spezifischen Entzugsleistungen nach VDI-Richtlinie 4640

Umweltatlas SH: www.umweltatlas.schleswig-holstein.de

Sie stellt eine erste Orientierungshilfe dar und ist nicht als konkrete Planungsgrundlage zu verwenden, da jede Abweichung von den in der VDI-Richtlinie angesetzten technischen Parametern wie z.B. Volllaststundenzahl, Bohrabstände usw. zu abweichenden geothermischen Entzugsleistungen führen kann.

Die im Untergrund anstehenden Substrate weisen aufgrund ihrer unterschiedlichen petrografischen Eigenschaften (physikalisch und chemisch) sowie variierender Wassergehalte erhebliche Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit (Abbildung 27) und der Wärmekapazität auf.

Mit zunehmender Wärmeleitfähigkeit der angetroffenen Substrate steigt auch die zu erwartende spezifische Entzugsleistung an, wie an Abbildung 28 deutlich wird. Dabei ist der Einfluss des Verpressmaterials auf die Entzugsleistungen umso größer, je mehr dessen Wärmeleitfähigkeit von der des Untergrundes abweicht; d.h. der thermische Bohrlochwiderstand steigt. Der Wärmeübergang von den Schichten des Untergrundes auf die Wärmeträgerflüssigkeit der Sonde wird eingeschränkt.

Berechnungen mit Simulationsprogrammen haben gezeigt, dass die Einflüsse des Bohrdurchmessers, der Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials, der Volllaststundenzahl usw. relativ groß sind und sich gegenseitig verstärken und/oder kompensieren können. Je

Gesteinstyp	Wärmeleitfähigkeit in W/mK
Ton/Schluff, trocken	0,4 - 1,0
Ton/Schluff, wassergesättigt	1,1 - 3,1
Sand, trocken	0,3 - 0,9
Sand, wassergesättigt	2,0 - 3,0
Geschiebemergel/-lehm	1,1 - 2,9
Torf	0,2 - 0,7

Abbildung 27: Wärmeleitfähigkeiten (in Watt pro Meter und Kelvin) ausgewählter Gesteinstypen (Quelle: Auszug aus Entwurf VDI-Richtlinie 4640, Stand 2008)

größer die Anzahl der Sonden ist bzw. je mehr die Rahmenbedingungen von der Standardauslegung der VDI-Richtlinie 4640 abweichen, umso notwendiger werden eine **genaue Ermittlung der Wärmeleitfähigkeiten** und eine **Simulationsberechnung der Entzugsleistungen** bei gegebenen Sonden- und Bohrlochparametern sowie den Bohrlochabständen. Für mittlere bis große Anlagen wird daher empfohlen, **Geothermal Response Tests (GRT)*** durchzuführen, um in-situ die entscheidenden

* Bei Geothermal Response Tests (GRT) wird eine definierte Wärmeleistung durch einen Wasserkreislauf an die Erdwärmesonde angelegt und eine Langzeitmessung der Ein- und Austrittstemperaturen durchgeführt.

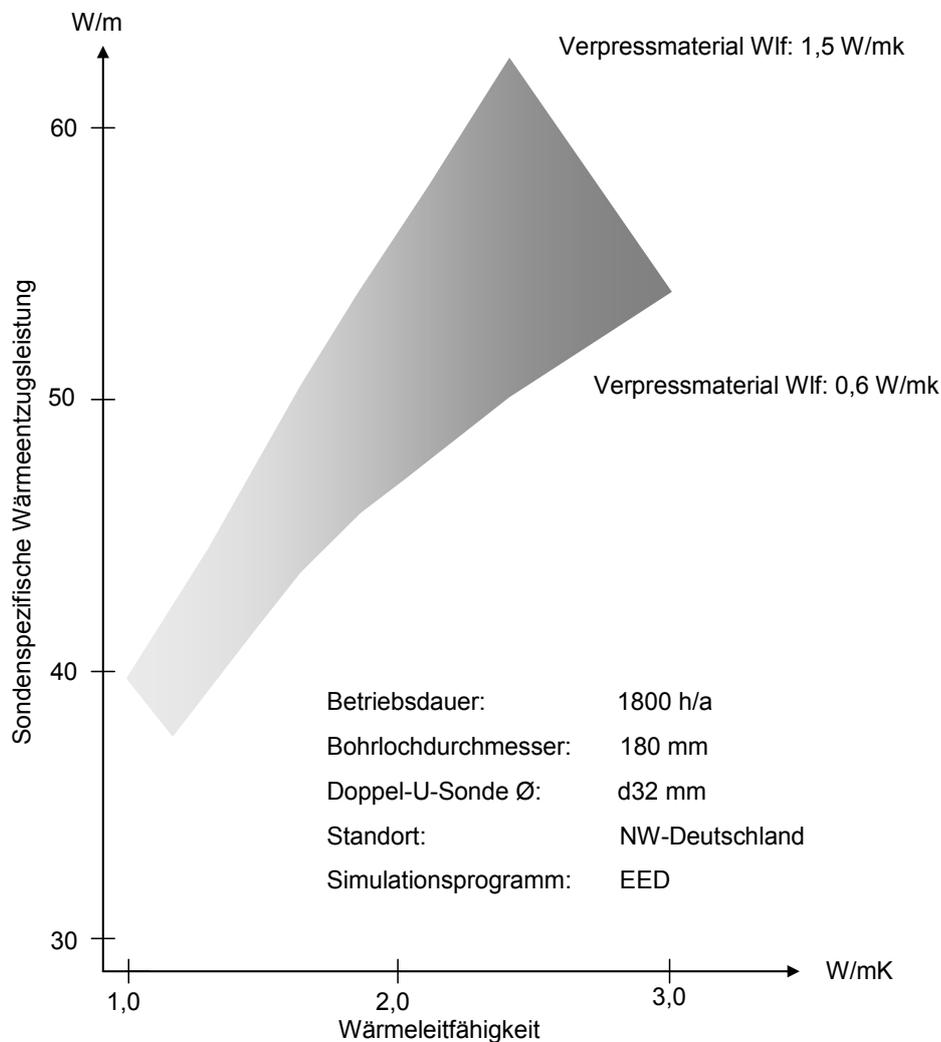


Abbildung 28: Beispiel für die Spannweite spezifischer Wärmeentzugsleistungen in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des angetroffenen Erdreichs unter Berücksichtigung verschiedener Wärmeleitfähigkeiten des Verpressmaterials bei gegebenem Sondendurchmesser und Volllaststundenzahl (berechnet mit dem Simulationsprogramm EED).

Mögliche Folgen der Abkühlung auf unter 0°C innerhalb des Verpresskörpers und Gesteins

- Betriebsbedingte Frost-Tau-Wechsel führen infolge der Beeinflussungen der Material-/Sedimentstruktur zu nachteiligen Veränderungen der hydraulisch dichtenden und thermisch leitenden Eigenschaften des Verpresskörpers
- Frostsprengungen im wassergesättigten Bereich zwischen Sondenrohr und Verpresskörper können im Laufe der Zeit hydraulische Verbindungen entlang der Sondenrohre und ggf. zwischen mehreren durchteuften Grundwasserstockwerken ermöglichen.
- Abnahme des Wirkungsgrades der Anlage aufgrund der tiefen Temperaturen, hohe Betriebskosten
- Ab einer Temperatur von ca. -5 °C im Rohrinternen Eisbildung in den angrenzenden Schichten
- Ab einer Temperatur von ca. -6 °C übt die Eisbildung Druck auf EWS aus, Verringerung des Querschnitts, Anstieg des Anlagendrucks
- Bei druckfestem nicht bindigem Untergrund (Sand, Kies) besteht die Gefahr, dass die EWS abgeklemmt wird.
- Bei bindigem duktilen Material (Lehm, Schluff) kann durch die Eisbildung das natürlich anstehende Sediment verdrängt werden. Trichterbildungen oberhalb der EWS beim Auftauen und Bauschäden sind mögliche Folgen
- Im Extremfall Vereisen der Soleumwälzpumpe, Abklemmen der EWS, Versagen der Anlage
- Der Betreiber trägt grundsätzlich die Verantwortung für die Anlage (Haftungsfrage siehe unter 7. Rechtliche Rahmenbedingungen)

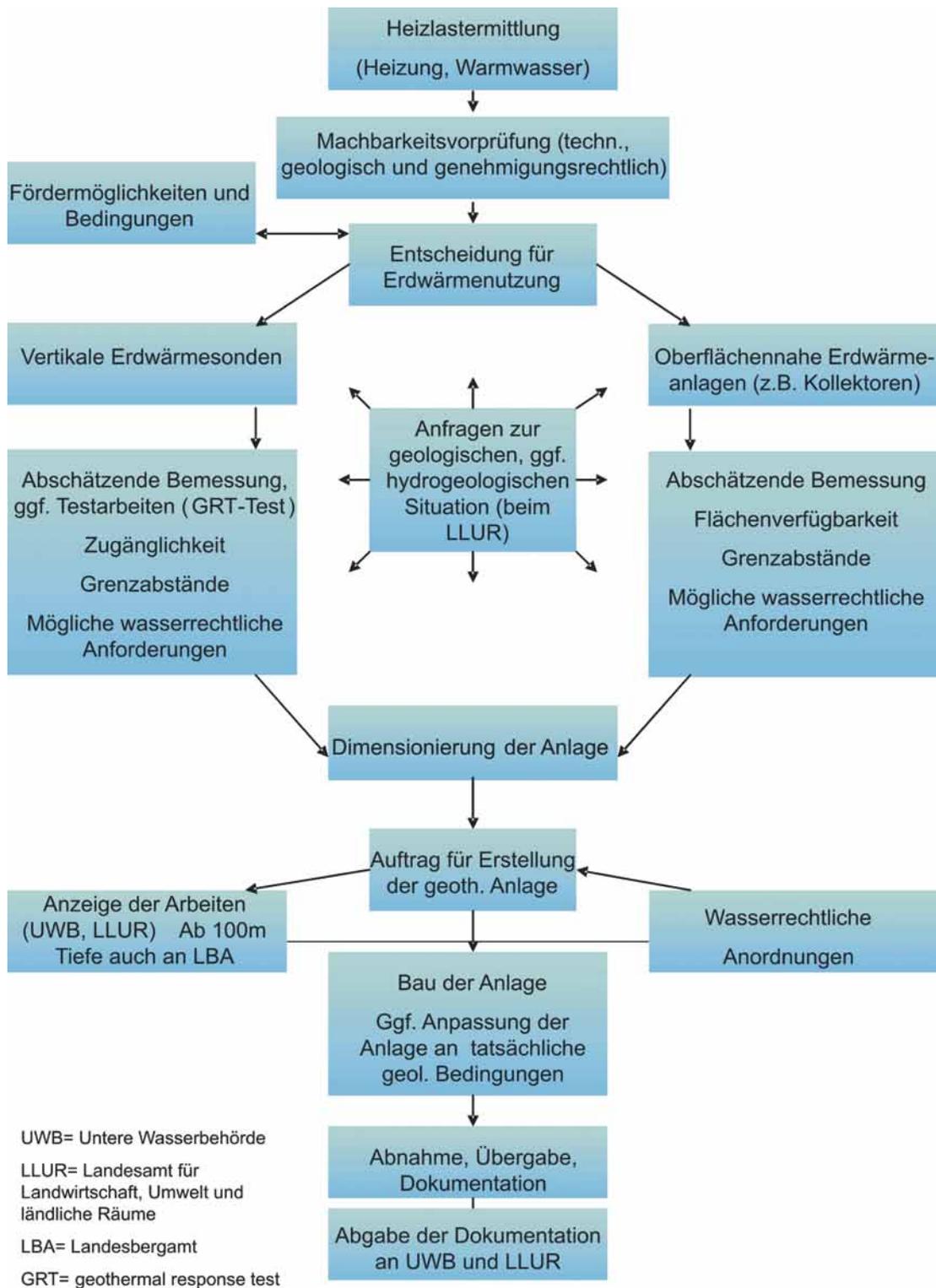


Abbildung 29 : Planungsphasen für geothermische Heizanlagen

Parameter (effektive Wärmeleitfähigkeit und thermischer Bohrlochwiderstand) zur optimalen Bemessung der Sondenanlage zu erhalten. Regionale Unterschiede der effektiven Wärmeleitfähigkeit aufgrund eines zusätzlichen Wärmetransports durch das Grundwasser können ebenfalls auftreten.

Der Einfluss des Sondenabstandes auf das thermische Verhalten des Untergrundes – insbesondere bei Grundwasserströmungen – ist nicht zu unterschätzen. Mindestabstände sollten eingehalten werden und bei einer größeren Anzahl von benachbarten Sonden mit geeigneten Simulationsprogrammen optimiert werden (siehe auch Abschnitt 3.2. Einbau und Abstände).

6. Die thermische Nutzung des Untergrundes (größere Anlagen)

Der geologische Untergrund wird nicht nur zunehmend zur Beheizung von Wohngebäuden genutzt, sondern kann auch zur Kälteversorgung von größeren Gebäuden eingesetzt werden. Der Energieaufwand zur Kühlung von z.B. Bürogebäuden ist insbesondere aus architektonischen Gründen (Glasfassaden), durch hohe interne Wärmelasten (IT-Ausstattung) und höhere Komfortansprüche gestiegen. Eine optimale Nutzung des Untergrundes ergibt sich für Gebäude, die nicht nur beheizt, sondern im Sommer auch gekühlt werden müssen. Dann dient der Untergrund – bei entsprechender Beschaffenheit – als saisonaler thermischer Speicher von Umweltwärme. Als Wärmequelle für unterirdische thermische Speicher kommen in der Praxis auch zunehmend Solarthermie, Abwärme (Industrieanlagen, Lebensmittelbranche, IT-Einrichtungen usw.) zum Einsatz.

Voraussetzung dafür, dass die thermische Energiespeicherung eine tatsächliche Energieeinsparung oder einen Ersatz fossiler Brennstoffe bewirkt, ist, dass die zur Speicherbeladung anfallende Energie möglichst als Abwärme anfällt oder mit nur geringem Primärenergieaufwand zu erzeugen ist.

Die thermische Nutzung des Untergrundes kann somit prinzipiell auf zwei Arten erfolgen:

Wärme- oder Kältequelle

- Wärmeentzug
- Wärmeeintrag (Kühlung, aktiv und passiv)

(Saisonal) Thermischer Speicher

- Umweltwärme
- Solarthermie
- Abwärme aus Industrieprozessen, Lebensmittelkühlung usw.

Passive Kühlung

Grundwasser und Erdreich haben in größeren Tiefen, d.h. > 8 m Tiefe, Temperaturen von ca. 9 °C bis 10 °C. Somit ist die Temperatur des Untergrundes im Sommer geringer als die Umgebungstemperatur und kann mit Hilfe einer erdgekoppelten Wärmepumpe über Wand-, Decken- oder Fußbodenheizung zur Raumkühlung genutzt werden. Dabei wird die den Räumen über die Heiz- bzw. Kühlflächen entzogene Wärme mittels eines zusätzlichen Plattenwärmeübertragers auf den Solekreislauf der Sonden übertragen. Die Sole gibt die Wärme anschließend über z.B. die Erdwärmesonde an das Erdreich ab. Die Temperatur der Sole, die bei Rückholung aus dem Erdreich in die Wärmepumpe tritt, liegt bei etwa 15 °C.

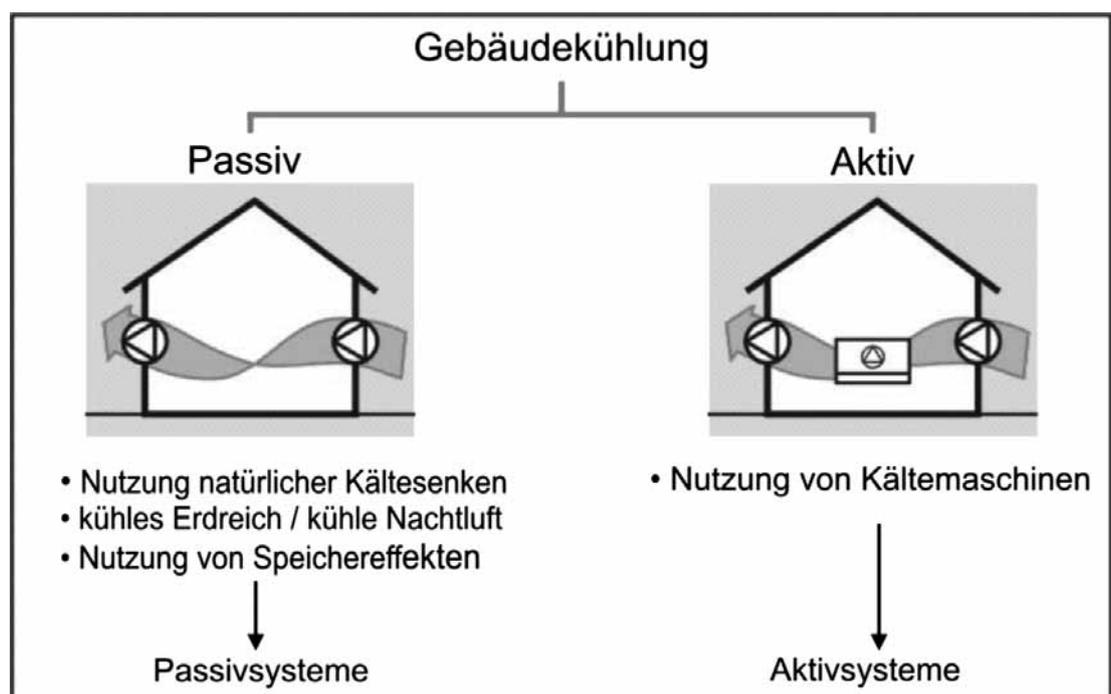


Abbildung 30: Vergleich zwischen aktiver und passiver Kühlung (Quelle: KRONE 2009)

Damit lassen sich Kaltwassertemperaturen von etwa 17 °C oder mehr erreichen, mit denen das Wasser des Heiz- bzw. Kühlkreises dann den Raumkühlflächen zugeführt wird. Die Raumtemperatur kann je nach Raumluftfeuchte um 2 °C bis 3 °C abgesenkt werden. Der Verdichter ist dabei nicht in Betrieb und die Kühlung erfolgt passiv.

Solange die Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Erdreichtemperatur groß genug ist, kann die Raumwärme direkt an das Erdreich abgegeben werden. Diese Art des Kühlens ist durch folgende Angaben charakterisiert:

- Minimaler Energieeinsatz
- Einfacher Aufbau
- Begrenzte Verfügbarkeit: Wenn sich z.B. die Temperatur des Erdreichs durch die Wärmezufuhr zu stark erhöht, dann wird die Kühlung unterbrochen, bis die Temperaturdifferenz wieder erreicht ist (Regeneration der Kühlquelle). Um Schwitzwasserbildung (Taupunktunterschreitung) an den Wänden zu vermeiden, ist die Pumpe über einen Taupunktschalter zu führen.

Aktive Kühlung

Wenn eine bestimmte Kühlleistung verlangt ist oder eine Raumtemperatur während des ganzen Sommers nicht überschritten werden darf, ist im Allgemeinen aktives Kühlen durch das Wärmepumpensystem erforderlich. Dabei ist der Kompressor der Wärmepumpe aktiv. Durch Einsatz einer reversiblen Wärmepumpe (Umkehr des Kältekreises) ist eine aktive Raumkühlung durch Prozessumkehr, d.h.

Vertausch von Wärmequelle und Wärmesenke, möglich.

Diese Art des Kühlens ist – im Vergleich zum passiven Kühlen – durch folgende Angaben charakterisiert (Abbildung 30):

- Höherer Energieaufwand
- Höherer Installationsaufwand
- Höhere Kühlleistung
- Entfeuchtung der Raumluft durch Gebläsekonvektoren möglich.

Eine höhere Effizienz wird erreicht, indem zuerst mit der energiesparenden passiven Kühlung (ohne Verdichter) gekühlt wird. Reicht die Kühlleistung nicht mehr aus, wird das System automatisch auf die aktive Kühlung (mit Verdichter) umgeschaltet.

Da in den Wintermonaten keine Wärmeenergie zu Heizzwecken benötigt wird, erfolgt die Regenerierung nicht durch Wärmeentzug, sondern nur durch den natürlichen Wärmefluss.

Heizen und Kühlen

Die gleichzeitige Nutzung von Kälte und Wärme ist grundsätzlich die optimale Anwendung beim Einsatz von erdgekoppelten Wärmepumpen. Bei dieser Betriebsweise regeneriert sich der Untergrund schneller als bei ausschließlichem Heiz – oder Kühleinsatz, wodurch ein höherer jährlicher Wärme – und Kälteentzug möglich wird (Abbildung 31).

Durch die Nutzung des Untergrundes als saisonaler thermischer Energiespeicher lässt sich der antizyklische Verlauf von Sonnenergieangebot und Heizwärmebedarf auf eine umweltschonende Weise regeln bzw. steuern.

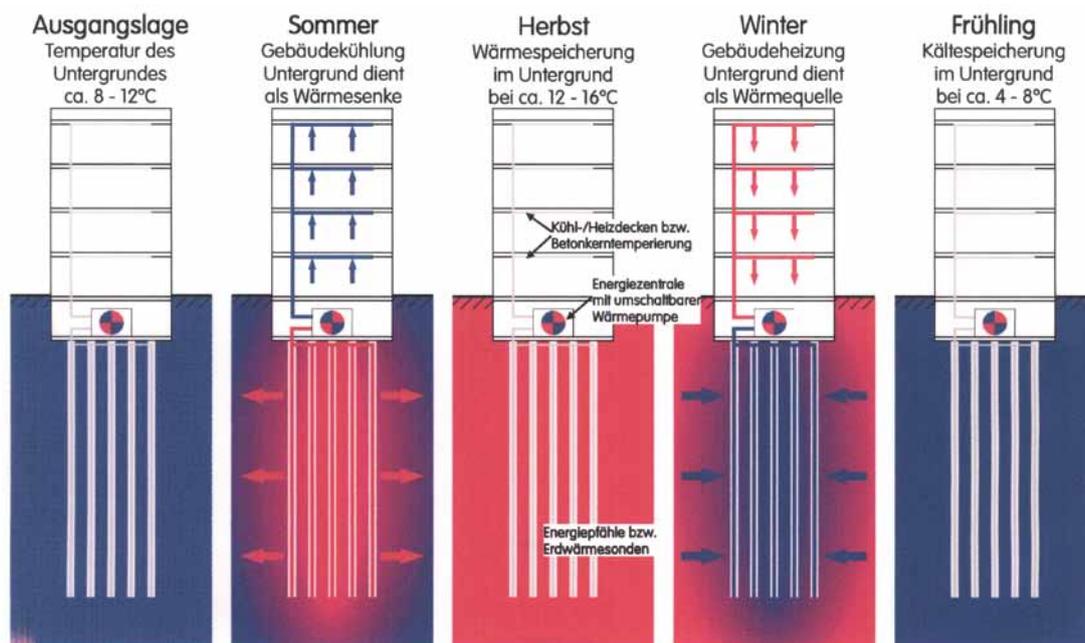


Abbildung 31: Nutzung des Untergrundes als saisonaler thermischer Energiespeicher (Quelle: Zent-Frenger)

Je ausgeglichener die Energieeinzugsbilanz zwischen Winter- und Sommerbetrieb ist, desto nachhaltiger stehen die natürlichen Ressourcen der oberflächennahen Geothermie zur Verfügung.

Solarthermie in Kombination mit Geothermie

Bei Ein- und Mehrfamilienhäusern liegt die sommerliche Kühllast in der Regel unter 15 % der Heizlast im Winter. Die aufgrund der geothermischen Kühlung in das Erdreich eingebrachte Wärmemenge reicht i. d. R. nicht aus, um den Untergrund nachhaltig zu regenerieren.

Dem heutigen Stand der Technik entsprechend sind bereits Anlagenkombinationen von Solaranlagen und Wärmepumpen bekannt (Abbildung 32). Jedoch handelt es sich hierbei meist um Kombinationssysteme, bei denen die direkte solare Nutzung zur Heizungsunterstützung oder Brauchwassererwärmung auf entsprechend hohem Temperaturniveau erfolgt. Daraus folgt, dass die solare Einstrahlung einer Solaranlage nur bis zu einem, dem Temperaturniveau der jeweiligen Anwendung entsprechenden Niveau, genutzt werden kann. Aufgrund des im Sommer hohen Angebots an Sonnenenergie bietet es sich an, die überschüssige Wärme im Erdreich zu speichern, bis sie zu Heizzwecken im Winter benötigt wird.

Im Verlauf des Wärmeentzuges durch Erdwärmetauscherrohre, vorwiegend während der Heizperiode, sinkt die Quelltemperatur. Insbesondere bei oberflächennah eingebrachten Erdreichkollektoren oder vergleichbaren

Ausführungsformen kann sie bis in den Minusbereich absinken. Dadurch erhöht sich der notwendige Temperaturhub der Wärmepumpe, die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Verbraucherseite. Solarer Wärmeeintrag unterstützt die Regeneration des Untergrundes und vermindert den Temperaturhub. Untersuchungen von Herstellern verschiedener Systeme weisen auf Effizienzsteigerungen von rund 30 % hin. Für derartige thermische Speicher sind Erdwärmesonden sowie Kollektoren getestet worden.

Solarunterstützte Nahwärmeversorgung

Die Solarwärme wird von großen Solaranlagen über ein Solarnetz in die Heizzentrale geliefert und kann entweder direkt zur Wärmeversorgung genutzt oder im saisonalen Wärmespeicher eingelagert werden. Der saisonale Wärmespeicher ermöglicht es, die durch das hohe sommerliche Strahlungsangebot gewinnbare Wärme bis in die Heizperiode hinein zu speichern und dann zu nutzen. Bei geologischer Eignung ist aufgrund der Erfahrungen ein Aquifer- und Erdsondenspeicher kostengünstiger als Erdbecken- oder Behälterspeicher zu realisieren, wie Pilotprojekte gezeigt haben (Neckarsulm, Crailsheim). Für die Effizienz eines saisonalen Wärmespeichers sollte ein möglichst kleines Verhältnis von Oberfläche zu Volumen angestrebt werden, um möglichst geringe Wärmeverluste bezogen auf die speicherbare Wärmemenge zu erhalten. Eine an der Erdoberfläche angebrachte Wärmedämmung dient ebenfalls der Verlustminimierung.

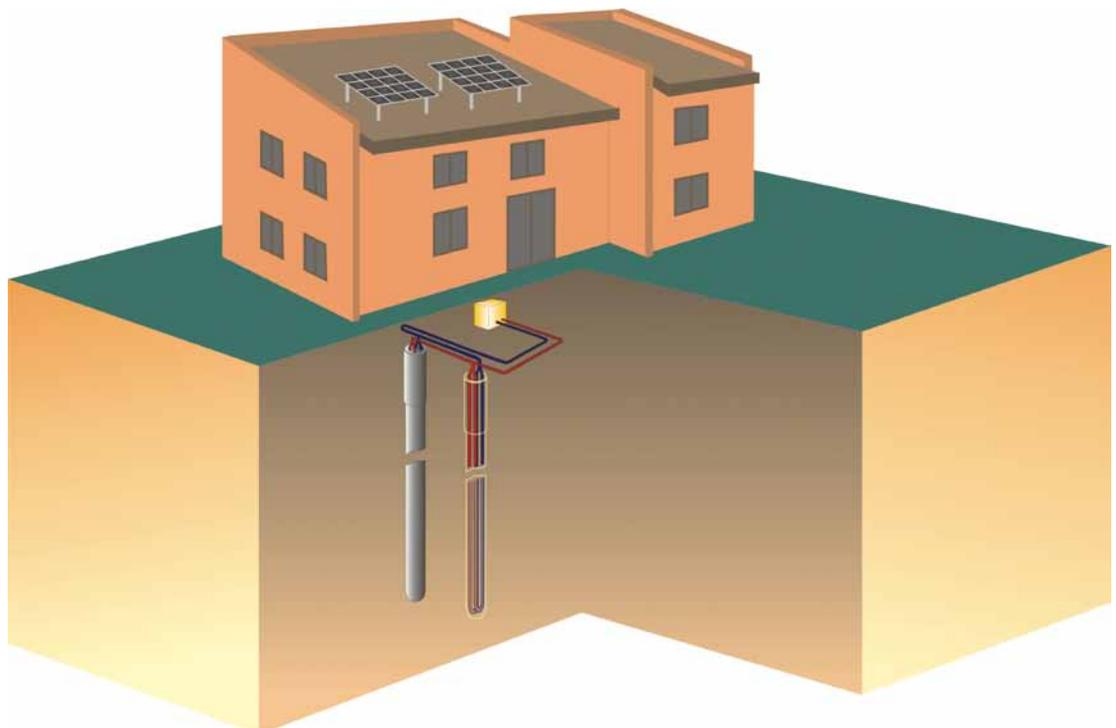


Abbildung 32: Schematische Darstellung der „Solarthermie“

Komplexe Energieversorgungssysteme mit Abwärmenutzung und Wärmespeicherung

Werden mehrere Energieversorgungssysteme mit der Geothermie gekoppelt, können durch internes Wärme- und Kältemanagement Betriebskosten bei geringen Amortisationszeiten eingespart werden. Beispiele sind zunehmend in Verbindung mit der Speicherung von Abwärme z.B. von Kälteerzeugungsanlagen in Lebensmittelmärkten zu finden (Kiel, Reinbek, Meldorf).

Planung

Auf welche Art der Untergrund energetisch genutzt wird, hängt im Wesentlichen von den hydrogeologischen Standortbedingungen respektive dem Gebäudebedarf ab.

Bei geringen Grundwasserfließgeschwindigkeiten lässt sich der anstehende Boden als hocheffizienter saisonaler thermischer Energiespeicher nutzen. Bei höheren Grundwasserfließgeschwindigkeiten ist die Nutzung entweder zum Wärmeentzug oder zur Kühlung vorteilhafter.

Für die richtige Auslegung der Erdwärmetauscheranlagen sollte bei der Einbindung von geothermischen Energiequellen und anderen Wärmequellen (solare und industrielle Abwärme) in ein Gesamtsystem zur Gebäudetemperatur Wert auf einen sorgfältigen Planungsprozess gelegt werden. Dazu gehören die thermische Simulation des Untergrundes mit dem Ziel, Geothermieanlage, Wärmepumpe, Heiz-/Kühlsystem, ggf. Kollektoranlagen usw. exakt aufeinander abzustimmen.

Je nach geologischem Untergrund und den Systemkomponenten bieten sich folgende Anlagen an:

- Grundwassernutzung (Brunnenanlagen, hier nicht weiter betrachtet)
- **Erdwärmetauscher** (Sonden/Kollektoren)
- **Energiefundamente** (z.B. Gründungspfähle, Fundamentplatten)

a) Erdwärmetauscher (Sonden/Kollektoren)

Je tiefer die Erdwärmetauscherrohre verlegt werden, desto unabhängiger ist der Wärme- und Kälteertrag von den klimatischen Bedingungen an der Erdoberfläche. Erdwärmekollektoren sind aufgrund ihrer geringen Verlegetiefe nur bedingt zur Kühlung geeignet. Wesentlich für die dauerhafte Funktion der Anlagen sind die thermischen Eigenschaften des Untergrundes sowie die Grundwasserverhältnisse. Die In-situ-Bestimmung der Wärmeleitfähigkeiten des Untergrundes sowie des thermischen Bohrlochwiderstandes durch Geothermal Response Tests (GRT) ist für eine standortange-

passte Bemessung der Anlage zwingend erforderlich. Bei Kenntnis des Energiebedarfs und der Betriebstemperaturen sowie der Geologie des Untergrundes kann eine Grobauslegung durchgeführt werden. Der thermische Einfluss von Wärme- und Kältespeichern auf den Untergrund bleibt in der Regel dann gering, wenn die Wärmebilanz im Untergrund im Jahresverlauf ausgeglichen ist und die Speichertemperatur auf nicht mehr als 20 °C erhöht wird (VDI-Richtlinie 4640, Entwurf 2008).

Erdwärmesondenspeicher bestehen meist aus einer größeren Anzahl von Sonden, die in einer möglichst kompakten Geometrie zueinander angeordnet werden, um thermische Verluste gering zu halten. Der Abstand der einzelnen Sonden hängt von den thermischen Eigenschaften des Untergrundes und von der Zeitdauer zwischen Laden und Entladen ab (VDI-Richtlinie 4640, Teil 3). Der Wärmetransport an das Erdreich bzw. vom Erdreich erfolgt durch Wärmeleitung. Aufgrund des trägen Betriebsverhaltens des Erdreichs müssen Spitzenlasten bei Be- und Entladung durch separate Pufferspeicher ausgeglichen werden. Bei hohen Beladetemperaturen von über 90 °C und Temperaturen von etwa 65 °C im Speicherkern müssen entsprechend druck- und temperaturbeständige Sondenmaterialien eingesetzt werden. Die Erlaubnisfähigkeit dieser Anlagen muss bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde erfragt werden.

b) Energiefundamente

Zu den erdberührten Betonabsorbieren zählen die Bohr- oder Rammpfähle der Gebäudegründung, die als Energiepfähle genutzt werden, aktivierte Bodenkollektoren unterhalb der Fundamentplatten sowie Bohrpfahlwände, die dem Erdreich Wärme oder Kälte entziehen. Energiepfahlanlagen sind i.d.R. Grundlastanlagen, sodass Leistungsspitzen beim Heizen und/oder Kühlen häufig mit anderen Systemen abgedeckt werden müssen.

Energiepfahlanlagen sollten möglichst als thermische Wechselspeicher (saisonal wechselnder Heiz- und Kühl- bzw. Speicherbetrieb) betrieben werden. Dadurch wird nicht nur eine optimale spezifische Entzugsleistung (W/m) sowohl für die Wärme- und Kältegewinnung bzw. Wärmespeicherung, sondern auch ein stabiles Temperaturregime erreicht. Bei im Jahresmittel nahezu ausgeglichener Wärmebilanz ist die gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Energiepfählen dann gering.

7. Rechtliche Rahmenbedingungen

Rechtliche Pflichten des Bauherrn

Mit dem Bau und Betrieb von Erdwärmelanlagen sind allgemeine Sorgfaltspflichten zum Schutze des Bodens und des Grundwassers verbunden. Der Bauherr ist grundsätzlich für die Erfüllung der wasserrechtlichen Anforderungen und Anordnungen verantwortlich.

7.1. Bergrechtliche Aspekte

Erdwärme gilt nach § 3 Abs. 3 Satz 2 Nr. 2b Bundesberggesetz (BBergG) als „bergfreier Bodenschatz“. Dies bedeutet, dass sich das Eigentum an einem Grundstück nicht auf die Erdwärme erstreckt. Für die Aufsuchung der Erdwärme bedarf es daher einer Erlaubnis nach § 7 BBergG und für die Gewinnung einer Bewilligung nach § 8 BBergG.

Von Erdwärme im Sinne des Bundesberggesetzes kann allerdings erst gesprochen werden, wenn die Energie, d. h. das Energiegefälle direkt und ohne einen Mittler – z. B. eine Wärmepumpe – gewonnen werden kann. Eine Bewilligung nach § 8 BBergG ist deshalb regelmäßig nicht erforderlich, wenn die Erdwärme mit Hilfe einer Wärmepumpe gewonnen wird.

Unabhängig hiervon sind Bohrungen, die mehr als 100 Meter in den Boden eindringen sollen, dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) vom Auftraggeber der Bohrung oder dem beauftragten Bohrunternehmer zwei Wochen vor Beginn der Arbeiten anzuzeigen (§ 127 BBergG). Die Bohrarbeiten können nach Ablauf dieser Frist entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik ausgeführt werden.

Innerhalb der Frist entscheidet die Bergbehörde, ob für die Bohrung, aus Rücksicht auf den Schutz Beschäftigter oder Dritter oder wegen der Bedeutung der Bohrung, ein Betriebsplan nach § 51 ff. BBergG erforderlich ist.

Ist im Einzelfall ein Betriebsplan erforderlich, werden im Zulassungsverfahren nach § 55 ff. BBergG auch andere betroffene Behörden von der Bergbehörde beteiligt. Stellt eine der im Betriebsplan beschriebenen Tätigkeiten (z.B. Bohrungen im Grundwasser, vorübergehende Grundwasserentnahme, Pumpversuche) einen Benutzungstatbestand im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) dar, entscheidet die Bergbehörde unter der Beteiligung der Wasserbehörde auch über die dafür erforderliche wasserrechtliche Erlaubnis.

Die Bohranzeige nach Bergrecht kann im Internet unter der Geschäftsstelle Geothermie

www.LBEG.niedersachsen.de erfolgen:
http://www.lbeg.niedersachsen.de/master/C39742448_N38135090_L20_D0_I31802357.html

7.2. Regelungen des Lagerstättengesetzes

Das Ziel des Lagerstättengesetzes ist die Sammlung der Ergebnisse von geologischen Untersuchungen bei den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD). Darin **verpflichtet** das Gesetz (§ 3,4) diejenigen, die für eigene oder fremde Rechnung geophysikalische Untersuchungen oder mit mechanischer Kraft angetriebene Bohrungen ausführen, diese 14 Tage vor Beginn dem entsprechenden SGD mitzuteilen (siehe Formblatt im Anhang dieser Broschüre). In Schleswig-Holstein ist das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) der zuständige Geologische Dienst. Nach Abschluss der Arbeiten sind die Bohrergebnisse (Schichtenverzeichnis) und/oder Ergebnisse von geophysikalischen Untersuchungen (§ 3 (2), § 5 (2)) dem LLUR vorzulegen. Dazu zählen auch die Ergebnisse von Geothermal Response Tests. Grundsätzlich können Verstöße gegen diese im Lagerstättengesetz geregelten Pflichten als Ordnungswidrigkeiten mit einer Geldbuße geahndet werden.

7.3. Wasserrechtliche Aspekte

Risiken geothermischer Nutzungen

Mit der Errichtung von Anlagen zur Nutzung von Erdwärme ist fast immer eine Erschließung von Grundwasser verbunden, auch wenn durch die Anlagen selbst kein Wasser entnommen wird. Risiken ergeben sich dabei entweder aus der Freilegung des Grundwassers bei oberflächennahen Anlagen oder aus den erforderlichen Bohrungen für die tiefreichenden Erdwärmesonden.

In der Regel werden bei Bohrungen unterschiedliche Gesteinsschichten, oftmals Wechselfolgen von Grundwasserleitern und Grundwasserstauern, durchbohrt. Bei hindernisbedingten Bohrungsabbrüchen, zu geringen Bohrdurchmessern oder technischen Problemen ist eine ordnungsgemäße Verfüllung und hydraulische Wiederabdichtung der Bohrlöcher oft nicht mehr möglich. Dies gilt auch für den Bau bohrungslos gerammter/gedrückter Sonden (z.B. in Folge von Bruch oder Beschädigung/Korrosion der Sondenrohre) oder den Einbau kompakter Sondenkörper (Erdwärmekörbe, Spiralsonden etc.) in grundwassererfüllte Schichten ohne technische Bauwerksabdichtung.

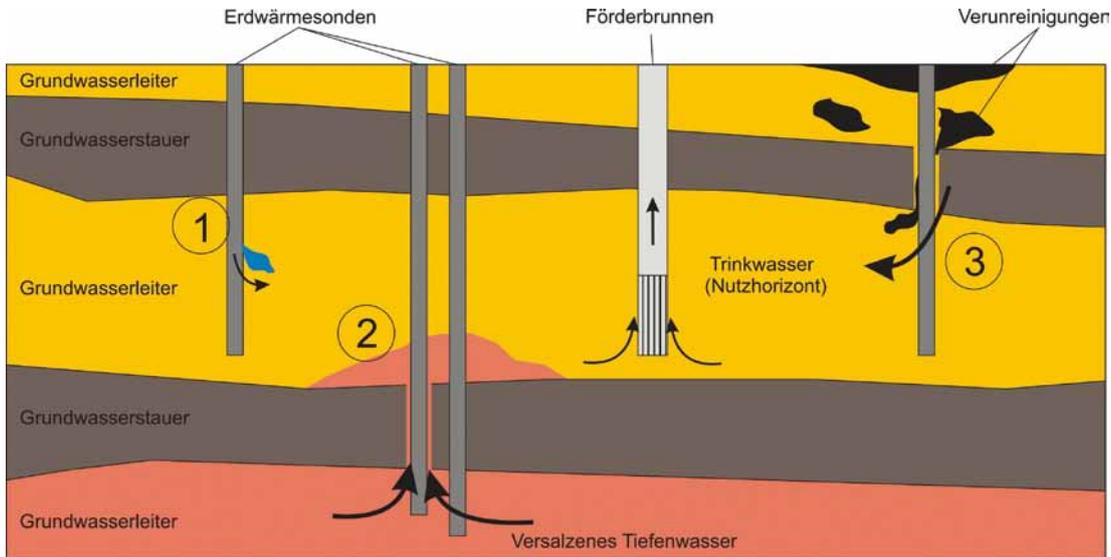


Abbildung 33: Schematischer Schnitt durch den Untergrund mit Darstellung möglicher Beeinträchtigungen des Grundwassers durch Erdwärmesonden. 1 – Austritt von Wärmeträgerflüssigkeit, 2 – Aufdringen von Salzwasser, 3 – Tiefenverlagerung von Schadstoffen

Mangelnde Bauplanung (z.B. fehlende Vorerkundung über die zu erwartende Schichtfolge und Grundwasserstände), unsachgemäße Bauausführung sowie ungeeignete Verpressmaterialien können dauerhafte Leckagen zur Folge haben (Abbildung 33). Im Betrieb können Frost-/Tauwechsel in der Erdwärmesonde in Folge zu geringer Anlagendimensionierung und zu tiefer Abkühlung die Struktur der Bohrlochhinterfüllung sowie angrenzender Schichten nach und nach zerstören und hydraulische Wegsamkeiten verursachen. Bei verminderter Festigkeit und zu geringer Umhüllendicke der Bohrlochabdichtung sind durch Gebirgsdruck und Setzungen mechanische Beschädigungen der PE-Sondenrohre und ggf. Austritte von wassergefährdenden Wärmeträgermitteln in das Grundwasser nicht auszuschließen.

Aus diesem Grund sind an die Errichtung und den Betrieb von Erdwärmesonden besondere Anforderungen zu stellen, um eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit zu verhindern. Ob und wie weit Temperaturschwankungen im Umfeld von Erdwärmesonden Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit verursachen können, ist nicht abschließend erforscht. Die geringfügige Temperaturveränderung beim Betrieb von Einzelanlagen lässt i.d.R. keine erhebliche Beeinträchtigung der Grundwasserbeschaffenheit erwarten, bei größeren Anlagen ist dies jedoch nicht auszuschließen.

Wasserrecht

Rechtliche Vorgaben zum Schutz des Grundwassers werden im Wesentlichen durch das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (**WHG**) und das Landeswassergesetz Schleswig-Holsteins (**LWG**) gemacht.

§ 49 WHG legt fest, dass alle Arbeiten, die so tief in den Boden eindringen, dass sie sich auf das Grundwasser auswirken können, einen Monat vor Beginn der Arbeiten der zuständigen Behörde anzuzeigen sind. Durch § 7 LWG wird darüber hinaus festgelegt, dass alle Erdarbeiten oder Bohrungen, die tiefer als 10 Meter in den Boden eindringen, anzuzeigen sind.

Für die geothermische Nutzung des oberflächennahen Untergrundes bedeutet dies, dass alle Erdwärmegewinnungsanlagen, die das Grundwasser erreichen, der Unteren Wasserbehörde des jeweiligen Kreises einen Monat vor Beginn der Arbeiten anzuzeigen sind.

Darüber hinaus stellen die Errichtung und der Betrieb von Erdwärmegewinnungsanlagen im Grundwasser nach § 9 WHG eine Benutzung des Grundwassers dar. Benutzungen im Sinne des WHG sind zum einen das Einbringen oder Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, zum anderen gelten als Benutzungen aber auch Maßnahmen, die geeignet sind, eine dauerhafte nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen. Während ein „Einbringen von Stoffen“ bei allen Erdwärmegewinnungsanlagen, die in das Grundwasser reichen, gegeben ist, besteht in der Regel nur bei den tief reichenden Erdwärmesonden die Besorgnis, dass eine nachteilige Veränderung

der Grundwasserbeschaffenheit eintreten könnte.

Die Benutzung eines Gewässers bedarf nach § 8 WHG grundsätzlich einer behördlichen Erlaubnis. In Bezug auf das Einbringen von Stoffen enthält das WHG in § 49 jedoch eine Ausnahme von der Erlaubnispflicht, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass sich das Einbringen nicht nachteilig auf die Grundwasserbeschaffenheit auswirken kann. Wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben wurde, weisen tief reichende Anlagen zur Erdwärmegewinnung eine Reihe von Gefährdungspotentialen für das Grundwasser auf, während Kollektoranlagen und vergleichbare flache Nutzungen nur in Ausnahmefällen als gefährdend anzusehen sind.

Hieraus ergibt sich, dass Erdwärmegewinnungsanlagen, die tiefer als 10 m in den Untergrund eindringen (Erdwärmesonden), eine wasserrechtliche Erlaubnis benötigen. Für flache Erdwärmegewinnungsanlagen (Kollektoren, Körbe, Gräben) ist dagegen eine Erlaubnis in der Regel nicht erforderlich. Die einzubringenden Materialien müssen gegen die Umgebung und die in ihnen eingesetzten Stoffe und Stoffgemische korrosionsbeständig und für den jeweiligen Einsatzzweck geeignet sein. Sie dürfen die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des Grundwassers nicht negativ beeinflussen.

Erdwärmeanlagen, in denen Grundwasser entnommen und wieder eingeleitet wird (sog. Wasser-Wasser Anlagen), erfordern in jedem Fall eine wasserrechtliche Erlaubnis.

Für Erdwärmeanlagen in Wasserschutzgebieten oder Einzugsgebieten der öffentlichen Wasserversorgung bestehen zusätzliche Beschränkungen. Informationen darüber erhalten Sie von der jeweils zuständigen Unteren Wasserbehörde des Kreises.

Anlagen, die nachweislich oberhalb des höchsten Grundwasserspiegels eingebaut werden sollen, unterliegen keiner Anzeigepflicht. Da eine fachliche Einschätzung für den Bauherrn oft schwierig ist, **wird empfohlen, alle Erdwärmeanlagen anzuzeigen**. Erst die Anzeige von Baumaßnahmen ermöglicht es den Wasserbehörden, eine konkrete Vorhabensbewertung vornehmen und die ggf. erforderlichen Anordnungen zum Schutz des Grundwassers treffen zu können.

Antragsstellung

Die Anzeige der Erdarbeiten bzw. der Antrag auf Erlaubnis zur Errichtung von Erdwärmesonden ist **einen Monat vor Beginn** der Arbeiten einzureichen. Der Antrag muss vollständige Angaben zu Art, Ort und Umfang der Benutzung sowie eine Beschreibung des Vorhabens enthalten. Ein Muster für einen Antrag und für eine Anzeige sind in der Anlage in dieser

Broschüre enthalten. Die jeweils zuständigen Wasserbehörden können abweichende Antragsformulare verwenden. In vielen Fällen sind entsprechende Formulare über die Internetseiten der Kreise erhältlich.

In der Regel sind **folgende Unterlagen** gemeinsam mit dem ausgefüllten Formular bei der Unteren Wasserbehörde einzureichen:

Erdwärmesonden (auch bei Einbauverfahren ohne Bohrung; Einbautiefe i.d.R. >10 Meter unter Gelände):

- Übersichtslageplan (1:5.000)
- Detallageplan (1:500 bis 1:2.000, mit Angaben zur Lage der Bohrpunkte und zum Rohrleitungsverlauf)

- Zertifizierungsnachweis des Bohr- oder Brunnenbauunternehmens nach DVGW W120, RAL-GZ 969 oder gleichwertig
- Sachkundenachweis gemäß DIN EN ISO 22475 bzw. DIN 4021
- Darstellung des erwarteten Schichtenprofils und der Grundwasserverhältnisse (Hinweis: Informationen zu den örtlichen hydrogeologischen Gegebenheiten können in der Abteilung Geologie/ Boden des LLUR eingeholt werden)
- Produktinformationen zu den eingesetzten Spülmittelzusätzen und Hinterfüllbaustoffen
- Beschreibung der Bohr- und Wiederabdichtungstechnik
- geplante Entzugsleistung der Erdwärmeanlage (zur Plausibilitätsabschätzung)
- Beschreibung der Sondenanlage (Eignungsnachweise, Zertifikate, Produktinformation des Herstellers, im System verwendete Flüssigkeiten mit den entsprechenden Unbedenklichkeitserklärungen)

Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörbe und bauähnliche Anlagen (Einbautiefe bis max. 10 Meter unter Gelände):

- Übersichtslageplan (1:5.000)
- Detallageplan (1:500 bis 1:2.000, mit Angaben zur Lage der Kollektoren und Körbe und zum Rohrleitungsverlauf)
- Darstellung des erwarteten Bodenauf-

baus und der Grundwasserverhältnisse (Hinweis: Informationen zu Bodenaufbau und Grundwasserverhältnissen können in der Abteilung Geologie/Boden des LLUR eingeholt werden)

- Beschreibung der Sonden-/Kollektoranlage (Produktinformation des Herstellers, im System verwendete Flüssigkeiten mit den entsprechenden Unbedenklichkeitserklärungen)
- Beschreibung der Einbautechnik

Der konkrete Umfang der beizufügenden Unterlagen ist den Formularen der jeweiligen Wasserbehörde zu entnehmen.

Nach der Prüfung und Beurteilung des Vorhabens und soweit keine Gründe gegen die Errichtung der Anlage sprechen, setzt die Untere Wasserbehörde die erforderlichen Auflagen zum Schutz des Grundwassers in Form von Nebenbestimmungen in einer wasserrechtlichen Erlaubnis fest oder, wenn diese nicht erforderlich ist, in Form einer wasserbehördlichen Anordnung.

Der Bauherr / Auftraggeber ist verantwortlich für die Einhaltung der Auflagen bei der Errichtung und beim Betrieb der Anlage. Eine Nichtbeachtung kann zur Einstellung der Bauarbeiten und zum Versagen des Betriebs der Anlage führen.

Erdwärmeanlagen im Bereich von Altlasten

Bei Hinweis oder Verdacht auf Bodenbelastungen dürfen Erdwärmeanlagen nur nach Prüfung des Einzelfalls errichtet werden. Informationen hierzu können bei den Unteren Bodenschutzbehörden (Boden- und Altlastenkataster) eingeholt werden. Für die Durchführung und Überwachung der Bohrarbeiten werden von der Unteren Wasserbehörde entsprechende Auflagen festgesetzt. Die Errichtung von Erdwärmeanlagen im Einzugsgebiet laufender oder geplanter Grundwasseranierungen ist in der Regel nicht zulässig.

Errichtung von Erdwärmegewinnungsanlagen in Wasserschutz- und Wassergewinnungsgebieten

Die Zulässigkeit von Erdwärmegewinnungsanlagen in Wasserschutz- und Trinkwassergewinnungsgebieten der öffentlichen Wasserversorgung orientiert sich an den Anforderungen zum Schutz des für die Trinkwasserversorgung genutzten Grundwassers. In diesen Gebieten gelten gemäß wasserrechtlichem Prüfschema in Abbildung 34 nachfolgende Einschränkungen:

1. Im Nahbereich (Umkreis von 100 Meter) von Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung sowie in der Wasserschutzgebietszone II ist die Errichtung von Erdwärmegewinnungsanlagen nicht vertretbar. Die verbleibenden Fließzeiten des Grundwassers sind hier so kurz, dass die Gefahr eines direkten Eintrages von Schadstoffen in die Fassungsanlagen besteht.
2. In einer Entfernung bis zu 1 km im Anstrom der Fassungsanlage ist die Errichtung unter Auflagen der zuständigen Behörde zulässig, wenn die Grundwasserförderung aus tiefen Stockwerken und die Erdwärmenutzung in einem höheren Grundwasserstockwerk oder einem überlagernden Geringleiter erfolgt und eine ausreichende Restmächtigkeit kompakter und flächig verbreiteter gering wasserleitender Schichten von mind. 5 Meter über dem Nutzhorizont verbleibt. Die maximale Endteufe sowie evtl. weitergehende Auflagen sind in den wasserbehördlichen Bescheid aufzunehmen. Der ordnungsgemäße Ausbau der Anlage muss der zuständigen Behörde schriftlich bestätigt werden. Aufschlussbohrungen, in denen der Nachweis hydraulisch wirksamer Trennschichten mit mind. 5 Meter Mächtigkeit nicht erbracht wurde, sind vollständig mit Ton oder Ton-Zement-Suspension wieder zu verfüllen. Übertiefe Bohrungen sind mittels Tonsperren so abzudichten, dass eine mind. 5 Meter mächtige Anbindung an die durchbohrte Trennschicht gewährleistet ist. Die vorstehend genannten Tätigkeiten sind durch ein Geologisches Büro zu begleiten.
3. Ab einer Entfernung von mehr als 1 km im Anstrom einer Fassungsanlage kann die Errichtung auch im Nutzhorizont zulässig sein, wenn dies im Hinblick auf die angestrebte Wärmeleistung zwingend erforderlich ist und alternative Ausbaumöglichkeiten nicht realisierbar sind. In diesen Fällen gelten erhöhte Anforderungen an die Überwachung der Bohr- und Ausbauarbeiten entsprechend den Auflagen der zuständigen Behörde. I.d.R. erfüllt die Überwachung und Dokumentation der Verfüllarbeiten durch ein unabhängiges Ingenieurbüro/ Geologisches Büro diese Anforderungen. Das mit der Überwachung beauftragte Büro ist der Wasserbehörde unter Beifügung entsprechender Referenzen im Voraus mitzuteilen.

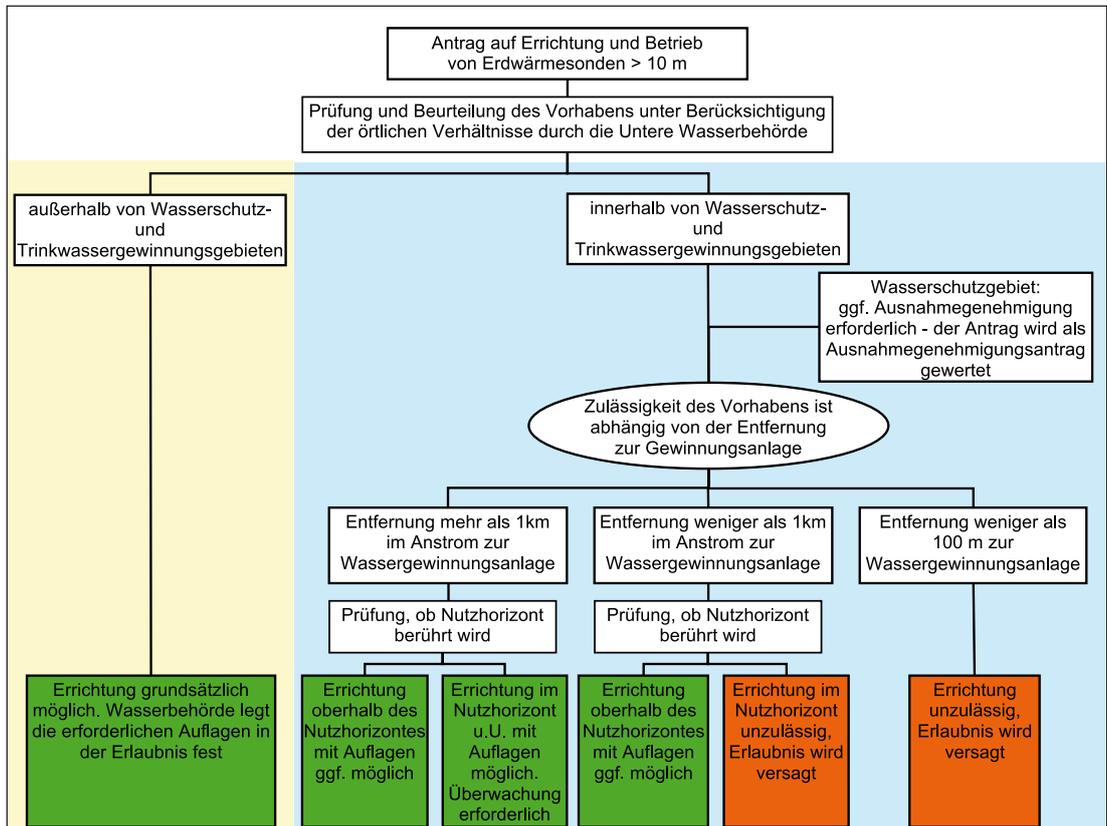


Abbildung 34 : Wasserrechtliches Prüfschema zur Berücksichtigung der Belange des Grund- und Trinkwasserschutzes bei der Errichtung von Erdwärmesonden

Da in den Wasserschutzgebietsverordnungen in Schleswig-Holstein unterschiedliche Regelungen zur Errichtung von Erdwärmeanlagen enthalten sind, sollten Sie sich bei der Planung von entsprechenden Anlagen rechtzeitig mit der zuständigen Unteren Wasserbehörde in Verbindung setzen. Diese kann Ihnen die rechtlichen Rahmenbedingungen im Detail erläutern.

Die räumliche Abgrenzung von Grundwasserteinzugsgebieten ist in Abbildung 35 näher erläutert. Weitergehende Informationen zur Lage von Wasserschutz- und Grundwasserteinzugsgebieten sowie zu den (hydro-)geologischen Gegebenheiten können bei den zuständigen Wasserbehörden sowie beim LLUR erfragt werden. Karten und WEB-basierte Darstellungen zu diesem Thema sind in Bearbeitung: www.umweltatlas.schleswig-holstein.de

Wasserrechtliche Anforderungen zum Schutz des Grundwassers

Sofern erforderlich, erteilen die zuständigen Wasserbehörden im Rahmen der Prüfung der Bauvorhaben-Anzeige wasserbehördliche Anordnungen bzw. bei Erlaubnis-Anträgen Nebenbestimmungen zum Schutz des Grundwassers.

Als generelle wasserrechtliche Anforderungen für den Bau und Betrieb von **Erdwärmesonden** sind zu beachten:

1. Mit der Baudurchführung dürfen nur Unternehmen beauftragt werden, die nach DVGW W 120 in den Gruppen G1 und/oder G2, RAL-GZ 969 oder gleichwertig zertifiziert sind. Für die Bohrungen gelten die Anforderungen des DVGW-Regelwerkes. Insbesondere sind bei der Erstellung der Bohrung die DVGW-Arbeitsblätter W 115 und W 116 zu beachten. Schichtenverzeichnisse sind nach DIN EN ISO 14688 (Nachfolger von DIN 4022) zu führen.
2. Eine Versickerung des Bohrspülwassers ohne Spülmittelzusätze oder mit Zusätzen nicht wassergefährdender Stoffe ist nur über den bewachsenen Boden und entsprechend der Bestimmungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (außerhalb von Altlasten, altlastverdächtigen Flächen, Flächen mit schädlicher Bodenveränderung und Verdachtsflächen) zulässig. Bohrspülwasser, das nicht diesen Anforderungen entspricht, ist fachgerecht zu entsorgen.
3. Bohrgeräte und andere eingesetzte Maschinen sind gegen Tropfverluste von wassergefährdenden Stoffen (Kraftstoffe, Öle) zu sichern. Eingesetzte Schmierfette müssen umweltverträglich und biologisch abbaubar sein.

4. Zur Gewährleistung einer schützenden Ummantelung der unterirdischen Bauteile mit Verpressmaterial ist ein allseitiger Mindest-Abstand zwischen der Bohrlochwand und den äußeren Sondenbauteilen von 40 mm vorzusehen.
5. Auf Grund des möglicherweise unkalkulierbaren Aufquellverhaltens, möglicher Spülungsverluste und ggf. Abdichtungsprobleme sind Bohrungen in Gips- und Anhydrit führende Gesteine strikt zu vermeiden.
6. Auf der Baustelle ist die Vorhaltung von Beschwerungs-Zusätzen für die Bohrspülung als Sofortmaßnahme bei Auftreten von ggf. vorher nicht abschätzbaren artesischen Grundwasser-Verhältnissen grundsätzlich erforderlich. Nicht sicher beherrschbare Arteser sind ohne Zeitverzug der zuständigen Wasserbehörde zu melden. Ggf. sind im Bohrloch die grundwasserführenden Schichtabschnitte mit artesischen Druckverhältnissen mittels geeigneter Baustoffe partiell abzudichten.
7. Die Bohrungen sind generell so abzudichten, dass jegliche Verunreinigungen des Bodens oder des Grundwassers ausgeschlossen sind. Der Bohrlochringraum ist vollständig von unten nach oben mit einer für die örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse geeigneten Ton-Zement-Suspension unter genauer Einhaltung der Herstellerangaben zu verpressen.
8. Solange keine anerkannte Prüfmethode zur Frost-Tauwechselbeständigkeit von Verpressmaterial besteht, ist aus Sicht des Grundwasserschutzes sowohl zu vermeiden, dass in größerer Tiefe als 120 cm durch betriebsbedingte Frost-/Tauwechsel Veränderungen der Struktur der geologischen Schichtfolge als auch des Verfüllmaterials eintreten können. Ein entsprechender Anlagenbetrieb ist durch geeignete Temperaturwächter sicherzustellen.
9. Bohranzeigen, Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne der Bohrungen sind an die Untere Wasserbehörde und das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) zu übermitteln.
10. Die Verbindung zwischen Sondenfuß und Sondenrohren ist werksseitig herzustellen und durch Zertifikat nachzuweisen. Lösbare Verbindungen im Vertikalstrang (z.B. Stecksysteme) sind nicht zulässig. Schweißungen an den Sondenrohren dürfen nur im oberen Anschlussbereich (Sammelbalken, Hausdurchleitung etc.) vorgenommen werden. Die Vorgaben der einschlägigen Schweißrichtlinien sind einzuhalten. Eine normgerechte Schweißausrüstung und die Qualifikation des Schweißenden müssen vorhanden sein. Schweißstellen, welche später vom Erdreich bedeckt sind, sind zu dokumentieren.
11. Nach Fertigstellung des Sondereinbaus ist deren Dichtigkeit entsprechend VDI 4640 zu überprüfen und durch ein Protokoll zu dokumentieren. Das Protokoll ist der Wasserbehörde unverzüglich nach Abschluss der Baumaßnahme vorzulegen.
12. Einwandige Anlagen oder Anlagenteile im Boden oder Grundwasser dürfen als Wärmeträgermittel nur nicht wassergefährdende Stoffe oder wassergefährdende Stoffe der WGK 1 enthalten.
13. Die Anlagen und Anlagenteile müssen bei Verwendung von Wärmeträgermitteln der WGK 1 durch selbsttätige Leckageüberwachungseinrichtungen (baumustergeprüfte Druckwächter) so gesichert sein, dass im Fall einer Leckage der Erdwärmesonden oder -kollektoren die Umwälzpumpe sofort abgeschaltet und ein Störungssignal abgegeben wird. Der Betreiber hat den Sondenkreislauf und die Leckage-Erkennungseinrichtung regelmäßig zu kontrollieren. Prüfungen durch einen Sachverständigen gemäß § 23 VAWs (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe) sind in der Regel nicht erforderlich.
14. Bei Undichtigkeiten der unterirdischen Anlage ist die Wärmeträgerflüssigkeit unverzüglich auszuspülen und ordnungsgemäß zu entsorgen. Die Leckage ist der Unteren Wasserbehörde anzuzeigen.

Hinweis: Um zu verhindern, dass sich die Auswirkungen mehrerer Anlagen aufsummieren und damit zu schädlichen Auswirkungen führen können, ist ein Abstand der einzelnen Sonden von mindestens fünf Metern zu empfehlen. Dies gilt auch für den Abstand zur Grundstücksgrenze, damit sich benachbarte Anlagen unterschiedlicher Betreiber nicht gegenseitig beeinflussen (siehe auch Abschnitt 3.2. Einbau und Abstände).

15. Nach Außerbetriebnahme bzw. Stilllegung der Anlage ist die Wärmeträgerflüssigkeit aus dem Sondenkreislauf zu entfernen und ordnungsgemäß zu entsorgen. Die Sonden sind vollständig mit dauerhaft abdichtendem Material zu verpressen. Die ordnungsgemäße Stilllegung ist der Unteren Wasserbehörde vorab anzuzeigen. Eine Bescheinigung über die Stilllegung ist der Unteren Wasserbehörde vorzulegen.
16. Bei notwendigen Abweichungen vom Bohrprogramm, wesentlichen Abweichungen von den zu erwartenden und im Antrag angegebenen Schichtenfolgen und Grundwasserverhältnissen sowie Problemen bei der Errichtung der Erdwärmeanlage ist die Untere Wasserbehörde unverzüglich zu benachrichtigen.

Mögliche zusätzliche Anforderungen in Wasserschutz- und Wassergewinnungsgebieten:

- Für die Bohrungen dürfen als Spülungszusätze nur nicht wassergefährdende Stoffe eingesetzt werden. Der Einsatz anderer Stoffe ist nur zulässig, wenn dies aus technischen Gründen unbedingt erforderlich ist.
- Über die Ergebnisse der Kontrollen des Sondenkreislaufes und der Druckwächter hat der Betreiber ein Betriebsbuch zu führen und dieses auf Verlangen der unteren Wasserbehörde vorzulegen.

In mehr als 1 km Entfernung von der Gewinnungsanlage, im Nutzhorizont:

- Der sachgemäße Ausbau der Erdwärmesonde im Nutzhorizont ist von einem unabhängigen Ingenieurbüro / geologischen Büro verantwortlich zu überwachen. Das mit der Überwachung beauftragte Büro ist unter Beifügung entsprechender Referenzen der Wasserbehörde im Voraus mitzuteilen.

In weniger als 1 km Entfernung zur Gewinnungsanlage, oberhalb des Nutzhorizontes:

- Der über dem für die Trinkwasserversorgung genutzten Grundwasserstockwerk liegende Stauer darf nicht durchteuft werden. Die Bohrtiefe ist auf maximal (x)* m unter GOK begrenzt.

*ist von der Wasserbehörde festzulegen

Sonstige Anlagen zur Erdwärmenutzung

Für Erdwärmekollektoren, Wärmekörbe, Spiralsonden, gerammte/gedrückte/eingeschlammte Sonden ohne Bohrung oder bauverwandte Erdwärmeanlagen besteht eine Anzeigepflicht, wenn ein Kontakt zum Grundwasser besteht. Innerhalb von Grundwassereinzugsgebieten (siehe Prinzipskizze Abbildung 34) gilt für Anlagen, die ganz oder teilweise im Grundwasser liegen:

1. In einer Entfernung von weniger als 100 Meter zum nächsten Förderbrunnen bzw. in einer ausgewiesenen WSG-Schutzzone II ist die Einrichtung vorgenannter Anlagen verboten.
2. In einer Entfernung von 100 bis 1.000 Meter ist nachzuweisen, dass unterhalb der Anlage und oberhalb des für die Wasserversorgung genutzten Wasserleitersystems eine natürliche bindige Deckschicht von mind. 2 Meter Mächtigkeit mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f < 10^{-8}$ m/s („sehr schwach durchlässig“) ausgebildet ist. Durch Baumaßnahmen beschädigte Deckschichten sind vollständig in ihrer ursprünglichen Funktion wieder herzustellen. Auf die Dichtschicht kann verzichtet werden, wenn die Anlage mit Wasser oder als Direktverdampfersystem mit nicht wassergefährdenden Arbeitsmitteln betrieben wird.
3. In einer Entfernung von 100 bis 1.000 Meter dürfen gerammte/gedrückte/eingeschlammte Sonden ohne Bohrung nur so tief eingebaut werden, dass mind. 2 Meter natürliche bindige Deckschichten mit vorstehend definierten Durchlässigkeiten über dem Trinkwasser-Nutzhorizont verbleiben. Ihre Einrichtung ist bei artesischen Grundwasserverhältnissen nicht zulässig.

In Abbildung 35 beispielhaft dargestellt ist die typische Form eines Grundwassereinzugsgebietes (EG) als Aufsicht sowie in 2-D Schnittdarstellung. Die „Ampelfarben“ verdeutlichen, wo die Einrichtung von Erdwärmeanlagen unter dem Aspekt des Grundwasserschutzes mit allgemeinen Auflagen zulässig (grün) oder mit Sonderauflagen möglich (gelb) ist. In hellrot ist der Bereich dargestellt, in dem die Errichtung im Nutzhorizont des Wasserwerks nicht zulässig ist. Möglich ist dies nur in hangenden Schichten mit hydraulischer Trennung zum Nutzhorizont. Die Wasserbehörde legt die erforderlichen Auflagen in der Erlaubnis fest. Im Nahbereich des Brunnens ist die Nutzung von Erdwärme nicht zulässig (dunkelrot).

Prinzipskizze Möglichkeiten für die Einrichtung von Erdwärmeanlagen im Umfeld von Wasserwerken

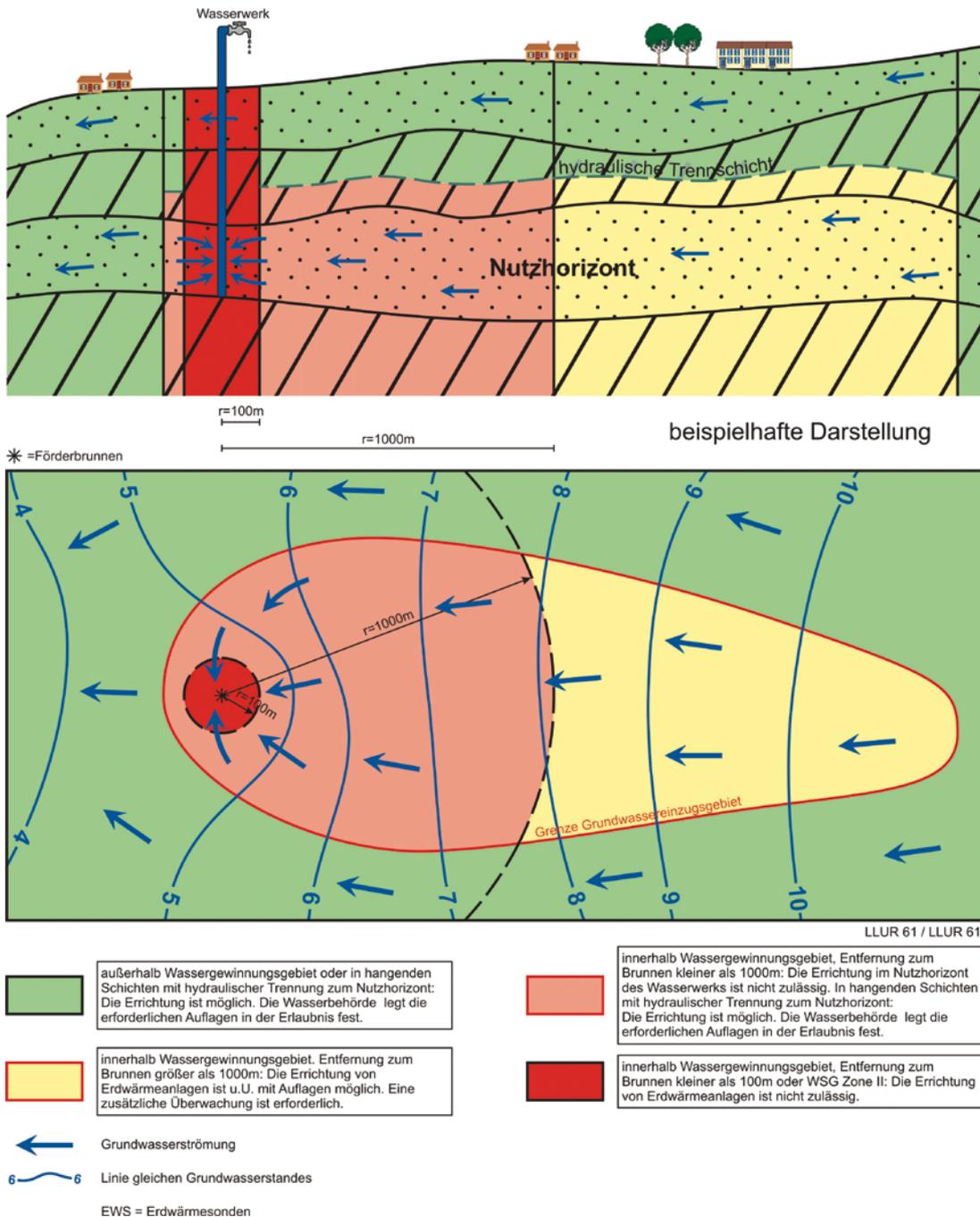


Abbildung 35: Prinzipskizze: Erläuterung im Text

Grundwassereinzugsgebiete definieren den vom Nutzhorizont an die Erdoberfläche projizierten Zustrombereich des Grundwassers zu Brunnen, sie besitzen in der Regel eine asymmetrische, in Anstromrichtung des Grundwassers gestreckte Form. Schadstoffe, die innerhalb des Grundwassereinzugsgebietes in den Nutzhorizont gelangen, werden – je nach Entfernung innerhalb von Tagen bis Jahren – die Fördereinrichtungen erreichen. Aus diesem Grund sind für brunnennahe Erdwärmesonden stärkere Restriktionen als für brunnenerne Erdwärmeanlagen vorzusehen (Abstufung bis

100 Meter bzw. wenn ausgewiesene WSG-Zone II / 100 bis 1.000 Meter [nur innerhalb EG] / 1.000 Meter bis Grenze EG).

Ebenfalls zu berücksichtigen ist, ob die EWS im Nutzhorizont des Wasserwerkes oder in hydraulisch abgetrennten Schichten oberhalb des Nutzhorizontes eingerichtet werden soll. Außerhalb des Grundwassereinzugsgebietes – dies kann bereits in einer Entfernung ab 100 Meter im unterstromigen oder stromseitlichen Bereich des EGs der Fall sein – gelten die erhöhten Schutzanforderungen nicht.

8. Anschriften der zuständigen Behörden in Schleswig-Holstein

Geologischer Dienst Schleswig-Holstein:

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

Abteilung 6 Geologie und Boden
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek
☎ 0 43 47 / 704-0

Ansprechpartner:

Dr. Thomas Liebsch-Dörschner
Thomas.Liebsch-Doerschner@llur.landsh.de

Claudia Thomsen
Claudia.Thomsen@llur.landsh.de

Dr. Reinhard Kirsch
Reinhard.Kirsch@llur.landsh.de

Dr. Broder Nommensen
Broder.Nommensen@llur.landsh.de

Landesbergamt für Schleswig-Holstein:

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

An der Marktkirche 9
38678 Clausthal-Zellerfeld
☎ 0 53 23 / 72 32 00

Untere Wasserbehörden der Kreise und kreisfreien Städte

Flensburg

Stadt Flensburg
Untere Wasserbehörde
24931 Flensburg
☎ 04 61 / 85-0

Kiel

Landeshauptstadt Kiel
Umweltschutzamt
Untere Wasserbehörde
Postfach 1152
24099 Kiel
☎ 04 31 / 901-0

Lübeck

Hansestadt Lübeck
Untere Wasserbehörde
Postfach 2132
23539 Lübeck
☎ 04 51 / 122-0

Pinneberg

Kreis Pinneberg
Fachdienst Umwelt
Untere Wasserbehörde
Moltkestr. 10
25421 Pinneberg
☎ 0 41 01 / 212-0

Plön

Kreis Plön
Amt für Umwelt
Untere Wasserbehörde
Postfach 7
24301 Plön
☎ 0 45 22 / 743-0

Rendsburg-Eckernförde

Kreis Rendsburg-Eckernförde
Umweltamt
Untere Wasserbehörde
Postfach 905
24758 Rendsburg
☎ 0 43 31 / 202-0

Neumünster

Stadt Neumünster
Fachdienst Natur und Umwelt
Untere Wasserbehörde
Postfach 2640
24531 Neumünster
☎ 0 43 21 / 942-0

Dithmarschen

Kreis Dithmarschen
Amt für Umweltschutz
Untere Wasserbehörde
Stettiner Str. 30
25746 Heide
☎ 04 81 / 97-0

Herzogtum Lauenburg

Kreis Herzogtum Lauenburg
Fachbereich Regionalentwicklung, Umwelt und
Bauen
Untere Wasserbehörde
Barlachstr. 2
23909 Ratzeburg
☎ 0 45 41 / 888-0

Nordfriesland

Kreis Nordfriesland
Bau- und Umweltamt
Untere Wasserbehörde
Postfach 1140
25801 Husum
☎ 0 48 41 / 67-0

Ostholstein

Kreis Ostholstein
Amt für Natur und Umwelt
Untere Wasserbehörde
Lübecker Str. 41
23701 Eutin
☎ 0 45 21 / 788-0

Schleswig-Flensburg

Kreis Schleswig-Flensburg
Untere Wasserbehörde
Flensburger Str. 7
24837 Schleswig
☎ 0 46 21 / 87-0

Segeberg

Kreis Segeberg
Untere Wasserbehörde
Postfach 1322
23792 Bad Segeberg
☎ 0 45 51 / 951-0

Steinburg

Kreis Steinburg
Amt für Umweltschutz
Untere Wasserbehörde
Postfach 1632
25506 Itzehoe
☎ 0 48 21 / 69-0

Stormarn

Kreis Stormarn
Untere Wasserbehörde
Mommсенstr. 13
23840 Bad Oldesloe
☎ 0 45 31 / 160-0

9. Weiterführende Informationen

Fragen zur Förderung von oberflächennahen Geothermieranlagen:

KfW-Info-Center

erreichbar: Mo. - Fr. von 7.30-18.30 Uhr
unter der Telefonnummer: 0 18 01 / 33 55 77
(bundesweit zum Ortstarif),
Fax: 069 / 74 31 - 64 355,
Postanschrift: Postfach 11 11 41,
60046 Frankfurt am Main,
Mail: infocenter@kfw.de
Internet: <http://www.kfw-foerderbank.de>

Nutzerinformationen zum Thema oberflächennahe Geothermieranlagen:

Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein e.V.

Verbraucherzentrale Schleswig-Holstein e.V.
Andreas-Gayk-Straße 15
D - 24103 Kiel
Telefon: 0431 - 590 99-0
Telefax: 0431 - 590 99 77
E-Mail: info@verbraucherzentrale-sh.de

Weitere Informationsmöglichkeiten:

- **Baugewerbeverband Schleswig-Holstein:** www.bau-sh.de
- **Informationssystem Bauen und Nutzen:** www.bauen-sh.de
- **Innovationsstiftung Schleswig-Holstein:** www.i-sh.de
- **Fachverband Sanitär-Heizung-Klima Schleswig-Holstein:** www.installateur-sh.de
- **Investitionsbank Schleswig-Holstein:** www.ib-sh.de
- **Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, Schleswig Holstein:** www.arge-sh.de
- **Förderrechner Wärmepumpe und Info-pakete zum Thema Wärmepumpe** sind unter www.waerme-plus.de zu finden
- **„Tipps für Häuslebauer“ – Broschüre** mit wichtigen Hinweisen zu Installation, Wahl des Fachbetriebes und Vergleich zwischen Gas, Öl und Erdwärme sowie „Angebotscheck“ für Ihre Erdwärmeheizung beim Bundesverband Geothermie unter www.geothermie.de
- **Bohrfirmen, Fachhandwerker und Sachverständige** in Ihrer Nähe, Informationen zum Gütesiegel für Wärmepumpen sowie alles rund ums Thema Wärmepumpe finden Sie beim Bundesverband Wärmepumpe e.V. unter www.waermepumpe.de
- **Zur Berechnung der Jahresarbeitszahl** steht Ihnen unter <http://www.waermepumpe.de/fachpartner/jaz-rechner.html> der JAZ-Rechner zur Verfügung
- Das IZW-Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik e.V. bietet unter www.izw-online.de Informationsmaterial zum Thema **Heizen und Wärmepumpen**
- **Energiesparratgeber** für Alt- bzw. Neubau, Heizungsmodernisierung, Vollkostenrechner usw. unter <https://ratgeber.co2online.de>
- **„Heizung und Warmwasser“-Ratgeber**, sowie **„Gebäude modernisieren – Energie sparen“-Ratgeber** (kostenpflichtig) können unter www.vzbv.de/ratgeber bezogen werden.
- Einen umfassenden Überblick über **Energie-Förderprogramme** gibt das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit unter www.bmwi.de
- Private Bauherren können **Förderinformationen** für einzelne Bauvorhaben auch unter www.energiefoerderung.info abrufen.

10. Literatur

Normen:

DIN 4021: Baugrund, Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) 1990 – **ungültig!**

DIN 4022: Baugrund und Grundwasser – Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) – **ungültig!**

DIN EN ISO 14688-1: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden
Teil 1: Benennung und Beschreibung ISO 14688-1: 2002 Teilw. Ersatz für DIN 4022-1: 1987-09

DIN EN ISO 14688-2: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden
Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierung

DIN EN ISO 22475-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung
Mit DIN EN ISO 14688-1 und 14689-1 als Ersatz für DIN 4021 und 4022 Teil 1-3

DIN 4124: Baugruben und Gräben; Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 4023: Baugrund und Wasserbohrungen; Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 8074: Rohre aus Polyethylen (PE) – Maße; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 8075: Rohre aus Polyethylen (PE) – Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 8901: Kälteanlagen und Wärmepumpe – Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen und Prüfung; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN V 4279-1: Innendruckprüfung von Druckrohrleitungen für Wasser – Druckrohre aus Polyethylen geringer Dichte PE-LD, Druckrohre aus Polyethylen hoher Dichte PE-HD (PE 80 und PE 100), Druckrohre aus vernetztem Polyethylen PE-X, Druckrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid PVC-U; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 805: Wasserversorgung – Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN EN 12831: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

ATV DIN 18299: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art

ATV DIN 18302: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Bohrarbeiten

ATV DIN 18302: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Arbeiten zum Ausbau von Bohrungen

Richtlinien:

DVGW W 115: Bohrungen zur Erkundung, Gewinnung und Beobachtung von Grundwasser; Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)

DVGW W 116: Verwendung von Spülungszusätzen in Bohrspülungen bei Bohrarbeiten im Grundwasser; Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)

DVGW W 120: Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau und Brunnenregenerierung; Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)

DVGW W 400-2: Technische Regeln Wasser-verteilsanlagen (TRWW), Teil 2: Bau und Prüfung; DVGW, Bonn

VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1: Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte; VDI-Handbuch Energietechnik

VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1: Thermische Nutzung des Untergrundes – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte; Entwurf

VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen; VDI-Handbuch Energietechnik

VDI-Richtlinie 4650, Blatt 1: Berechnung von Wärmepumpen – Kurzverfahren zur Berechnung von Jahresaufwandszahlen von Wärmepumpenanlagen und Elektro-Wärmepumpen zur Raumheizung; VDI-Handbuch Energietechnik

RAL-GZ 969, Geothermische Anlagen; Teil 1: Erdwärmesonden; Gütesicherung RALGZ 969

Weiterführende Literatur:

BASSETTI, S. & ROHNER, E. (2005): Projekt Handbuch Erdwärmekörbe – Dokumentation, Auslegung und Anwendungsbeispiele; Geowatt AG, Schweiz, 26 S.

HÄHNLEIN, S. (2009): Rechtliche Rahmenbedingungen bei der thermischen Grundwasserbewirtschaftung; Fachmagazin für Brunnen- und Rohrleitungsbau – bbr-Sonderheft Bonn, S. 14-20

HUBER, H. (2010): Auswirkungen von Flachkollektoren auf Bodenvegetation und Kleinlebewesen -10. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, otti-Verlag Regensburg, S. 178-185

KALTSCHMITT, M., HUENGES, E. & WOLFF, H. (Hrsg.) (1999): Energie aus Erdwärme. -Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart, 265 S.

KRONE, U. (2009): Kühlen mit der Wärmepumpe – IKZ-Haustechnik 1/2/2009: S. 28-30.

LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (2004): Geothermie in Schleswig-Holstein – Ein Baustein für den Klimaschutz, 110 S.

LOOSE, P. (2009): Erdwärmennutzung – Versorgungstechnische Planung und Berechnung – 3. überarbeitete Auflage, C.F. Müller-Verlag, Heidelberg, 115 S.

MÜLLER, L. (2008): Qualitätsanforderungen an die Hinterfüllbaustoffe für Erdwärmesonden; Geothermische Vereinigung-Bundesverband Geothermie e.V. – Tagungsband, S. 457-463.

RAMMING, K. (2007): Bewertung und Optimierung oberflächennaher Erdwärmekollektoren für verschiedene Lastfälle; Dissertation, TU Dresden, 149 S.

RAUGEO Systemtechnik zur Erdwärmennutzung, technische Informationen 827600, Mai 2007 http://www.rehau.de/files/Technische_Information_Geothermie_RAUGEO_15_05_2007.pdf

THOLEN, M. & WALKER-HERTKORN, S. (2008): Arbeitshilfen Geothermie – Grundlagen für oberflächennahe Erdwärmesondenbohrungen; wvgw Wirtschafts – und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, 228 S.

URBAN, D. (2010): Druckprüfungen von Erdwärmesonden (Teil 1), bbr 02/2010: S. 50-57

URBAN, D. (2010): Druckprüfungen von Erdwärmesonden (Teil 2), bbr 03/2010: S. 48-51

Anlageninstallationsprotokoll

Zutreffendes bitte ankreuzen oder ausfüllen

Durchgeführte Arbeiten, eingesetzte Werkstoffe				Kontrolle, Bemerkung	
1	Bohransatzpunkt, Festlegung				
	Hinweise auf Hindernisse, Vorschachtung				
2	Bohrarbeiten	Bohr Ø (mm):	Endtiefe (m):		
		Schichtenverzeichnis/Bohrprofil <input type="checkbox"/> siehe Anlage	Entnahme von Bohrproben <input type="checkbox"/> siehe Anlage		
3	Sonden	Hersteller:	Sondenlänge (m):		
		Anzahl:	Bauart:		
		Durchmesser (mm):	Volumeninhalt (l):		
		Werkseitige Druckprüfung Protokoll: <input type="checkbox"/> siehe Anlage			
		Sondenfuß	Marke:		
4	Sondeneinbau	Von Haspel:	<input type="checkbox"/>		
		Auslegen und einlassen:	<input type="checkbox"/>		
		Stahlrohr am Sondenanfang:	<input type="checkbox"/>		
		Mit Verpressgestänge:	<input type="checkbox"/>		
		Druckprüfung vor Einbau gemäß VDI 4640 (empfohlen)	<input type="checkbox"/>		
5	Verpressarbeiten Misch- und Verpressanlage	Über gezogenes Gestänge:	<input type="checkbox"/>		
		Über verbleibendes PE-Rohr:	<input type="checkbox"/>		
		Verpressgarnitur verbleibt im Bohrloch	<input type="checkbox"/>		
		Typ:			
5	Suspension	Dichte zu Beginn am Mischer (kg/l):	Dichte zum Ende des Auslaufs (kg/l):		
		Typ/Hersteller des Dämmmaterials:			
		Verpressbereich Von [m]: bis [m]:			
		Rückstellprobe	Ja: <input type="checkbox"/>		Nein: <input type="checkbox"/>
		Verpressmenge Schüttverlust (l): Sollmenge (l):			
		Verpressdauer Von: bis:	Verpressdruck (bar):		
		Protokoll: <input type="checkbox"/> siehe Anlage			
6	Druckprüfung nach der Verpressung	Protokoll: <input type="checkbox"/> siehe Anlage			
7	Druckprüfung des Gesamtsystems	Protokoll: <input type="checkbox"/> siehe Anlage			
8	Wärmeträger	Sonde einzeln bis zur totalen Luftfreiheit über einem offenen Gefäß gespült	Ja: <input type="checkbox"/>	Nein: <input type="checkbox"/>	
		Befüllt am:			
		Befüllt durch:			
		Frostsicherheit bis (°C):			
		Verwendeter Wärmeträger:			

Ausführende Firma (Stempel):	Unterschrift:
------------------------------	---------------

Auftraggeber: _____
Plz., Wohnort: _____ Straße: _____
Tel.: _____

Kreis
Untere Wasserbehörde

Behördenangaben

Gem.Kennz.:
G.-K. Koord.:
rechts: 35____hoch : 59____

**Antrag auf Errichtung einer Anlage zur Gewinnung von Erdwärme durch Erdwärmesonden
und Anzeige nach § 7 Landeswassergesetz (LWG) zur Durchführung von Erdaufschlüssen**

1. Allgemeine Angaben

Gemeinde: _____ Gemarkung: _____

Flur: _____ Flurstück: _____

Straße, Nr.: _____ Bebauungsplan-Nr.: _____

Übersichtskarte 1:5.000, Nr.: _____ mit Lage des Grundstücks

Lageplan 1:500 bis 1:2.000, Nr.: _____ mit genauer Lage des Erdaufschlusses
(besonders zu Gebäuden, Grundstücksgrenzen und Gewässern)

sofern bekannt: Lage im/ in Wasserschutzgebiet alllastverdächtiger Fläche geschützter Biotopfläche

Bohrunternehmen: _____

Plz., Ort, Straße:

Telefon und email- Adresse: _____

Anlagenplaner: _____

Plz., Ort, Straße:

Telefon und email- Adresse: _____

Angaben zur Nutzung: privat gewerblich öffentliche Einrichtung

Änderungen sind der Wasserbehörde kurzfristig mitzuteilen!

2. technische Angaben zum Erdaufschluss:

voraussichtliche Tiefe: _____ m Bohrdurchmesser : _____ mm

Bohrverfahren: _____

zu erwartende Grundwasserverhältnisse: _____

Bohrspülmittel: _____ Wassergefährdungsklasse (WGK): _____

Entsorgung des Spülmittels: _____

Verpressmittel: _____

Geplanter Durchführungszeitraum: _____

3. Angaben zur Erdwärmesonde

Anzahl der Sonden: _____ Sondendurchmesser: _____ mm

Durchmesser des Sondenpakets: _____ mm

Sondenmaterial: _____ Nennbetriebsdruck : _____

Abstand der Sonden: _____ m

Sondenart: U-Sonde Doppel-U-Sonde _____

Füllmenge Sole je Schleife in l: _____

Gesamtfüllmenge der Sonden in l (mit Zulauf zum Verteiler und zur Wärmepumpe: _____

Sole- und Kältemittel: _____ WGK: _____

Beizufügende Unterlagen:

Übersichtslageplan (1:5.000)

Detaillageplan (1:500 bis 1:2.000)

Zertifizierung nach DVGW W 120 oder RAL-GZ 969 oder entsprechende Eignung

Darstellung des erwarteten Schichtenprofils

Herstellerinformation zum Abdichtungsmaterial

Produktinformation zu den eingesetzten Spülmittelzusätzen

Sicherheitsdatenblatt des Wärmeträgermediums

Zertifikate / Herstellerinformation der Sonde

geplante Entzugsleistung der Erdwärmeanlage (zur Plausibilitätsabschätzung)

Die Herstellung der Erdwärmesondenanlage wird entsprechend der aktuellen VDI –Richtlinie 4640 bzw. gemäß den Ausführungen des aktuellen Leitfadens zur oberflächennahen Geothermie durchgeführt.

Datum/Stempel und Unterschrift
der ausführenden Firma

Datum und Unterschrift
des Auftraggebers

Auftraggeber: _____
Plz., Wohnort: _____ Straße: _____
Tel.: _____

Kreis
Untere Wasserbehörde

Behördenangaben Gem.Kennz.: G.-K. Koord.: rechts: 35__, __hoch : 59__, __

Anzeige § 7 Landeswassergesetz (LWG)
Erdaufschlüsse zur Errichtung von Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörpern etc.

1. Allgemeine Angaben

Gemeinde: _____ Gemarkung: _____
Flur: _____ Flurstück: _____
Straße, Nr.: _____ Bebauungsplan-Nr.: _____
Übersichtskarte 1:5.000, Nr.: _____ mit Lage des Grundstücks
Lageplan 1:500 bis 1:2.000, Nr.: _____ mit genauer Lage des Erdaufschlusses
(besonders zu Gebäuden, Grundstücksgrenzen und Gewässern)
sofern bekannt: Lage im/ in Wasserschutzgebiet alllastverdächtiger Fläche geschützter Biotopfläche
Bohrunternehmen: _____
Plz., Ort, Straße: _____
Telefon und email- Adresse: _____
Anlagenplaner: _____
Plz., Ort, Straße: _____

Telefon und email- Adresse: _____

Änderungen sind der Wasserbehörde kurzfristig mitzuteilen!

2. technische Angaben zum Erdaufschluss:

voraussichtliche Tiefe: _____ m ; Verlegeabstand: _____ m
Einbauverfahren: _____
zu erwartende Grundwasserverhältnisse: _____
Mindestabstand zur Grundstücksgrenze: _____ m
Geplanter Durchführungszeitraum: _____

3. Angaben zum Sondenmaterial

Material der Leitungen: _____ ; Nenndruck: _____

Rohrdurchmesser: _____
Kollektorfläche: _____
Anzahl der Teilstränge: _____
Anzahl der Erdwärmekörbe, Spiralsonden: _____
Gesamtleitungslänge: _____
Volumeninhalt der Sonden in l: _____
Sole- und Kältemittel: _____ WGK: _____
Gesamtfüllmenge (mit Zulauf zum Verteiler und zur Wärmepumpe): _____

Beizufügende Unterlagen:

Übersichtslageplan (1:5.000)
Detaillageplan (1:500 bis 1:2.000)
Darstellung des erwarteten Schichten- bzw. Bodenprofils
Sicherheitsdatenblatt des Wärmeträgermediums
Herstellerinformation der Sonde
Beschreibung der Einbautechnik

Die Herstellung der Erdwärmekollektoranlage wird entsprechend der aktuellen VDI –Richtlinie 4640 bzw. gemäß den Ausführungen des aktuellen Leitfadens zur oberflächennahen Geothermie durchgeführt.

Datum/Stempel und Unterschrift
der ausführenden Firma

Datum und Unterschrift
des Auftraggebers

Absender:

Straße

PLZ, Ort

Tel.:

Fax:

Bohrungsname

(wird vom LLUR ausgefüllt)

Fax-Nr.: **04347 / 704 – 502**

Seitenzahl:

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume
des Landes Schleswig-Holstein
Abteilung Geologie und Boden
Hamburger Chaussee 25
24220 Flintbek

Anzeige von Bohrung(en)

Gemäß Lagerstättengesetz (Gesetz über die Durchforschung des Reichsgebietes nach nutzbaren Lagerstätten, zuletzt geändert durch Neuntes Euro-Einführungsgesetz vom 10. November 2001, BGBl. I S. 2992, 2999) muss die Bohrinformation jeder abgeteufte Bohrung dem zuständigen Geologischen Dienst zur Verfügung gestellt werden. In Schleswig-Holstein ist das LLUR der zuständige Geologische Dienst.

1. Anzahl der Bohrung(en):	vorgesehene Endteufe:			
voraussichtlicher Bohrbeginn:				
2. Lage der Bohrung(en) (bei mehreren bitte entsprechende Liste beifügen):				
Rechtswert:	Hochwert:			
<input type="checkbox"/> aus Karte abgegriffen	<input type="checkbox"/> aus Umweltatlas ermittelt	<input type="checkbox"/> eingemessen		
oder Gemeinde, Ort:				
Gemarkung/Ortsteil:				
Straße, Hausnummer	oder Flur/Flurstück:			
oder <input type="checkbox"/> siehe Eintragung in beigefügter Karte	(z.B. topografische Karte mit nachvollziehbaren Orientierungspunkten)			
3. Ausführende/Ansprechpartner:				
Bohrfirma:	ggf. Planer:			
Straße:	Straße:			
PLZ, Ort:	PLZ, Ort:			
Tel.:	Fax:	Tel.:	Fax:	
4. Auftraggeber:	Firma/Name:			
	Straße:			
	PLZ, Ort:			
	Tel.:			Fax:
5. Bohrzweck:	<input type="checkbox"/> Erdwärmesonde(n)	<input type="checkbox"/> sonstiger:		
6. Bohrverfahren:	<input type="checkbox"/> Kernbohrung	<input type="checkbox"/> Trockenbohrung	<input type="checkbox"/> Spülbohrung	
	<input type="checkbox"/> sonstige/ ergänzende Angaben			
7. Aufbewahrungsort der Proben:				

