

ERDWÄRMENUTZUNG



Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	4
2	Einleitung	5
3	Erdwärme und ihre Nutzungsmöglichkeiten	6
3.1.	Allgemeines	6
3.2.	Komponenten einer Erdwärmeanlage	7
4	Dimensionierung	10
4.1.	Grundsätzliches und Datengrundlagen	10
4.2.	Erdwärmesonden	12
4.3.	Erdwärmekollektoren	13
5	Wasserwirtschaftliche und hydrogeologische Rahmenbedingungen	14
5.1.	Zulässigkeit von Geothermieranlagen	14
5.2.	Wasserschutzgebiete	15
5.3.	Allgemeine Abstandsregelungen zu Brunnen der Trinkwasserversorgung und Notbrunnen	15
5.4.	Tiefe Grundwasserleiter	16
5.5.	Altlasten, Kampfmittelverdacht	16
5.6.	Wärmeeintrag/-entzug	17
5.7.	Sicherheitsabstände bei Geothermieranlagen	17
6	Bauliche und technische Anforderungen bei der Erdwärmenutzung	18
6.1.	Materialanforderungen	18
6.2.	Bohrarbeiten zur Errichtung von Erdwärmesonden	19
6.3.	Einbau der Erdwärmesonden	19
6.4.	Verpresssuspensionen	20
6.5.	Einbau von Erdwärmekollektoren	21
6.6.	Wärmeträgermedien	21
6.7.	Druckprüfungen	21
6.8.	Sicherheitseinrichtungen	22

7	Genehmigungsverfahren	23
8	Betrieb der Anlage	24
8.1.	Inbetriebnahme	24
8.2.	Wartung, Verhalten bei Störungen	24
8.3.	Stilllegung / Außerbetriebnahme	25
8.4.	Dokumentation	25
8.5.	Erneute Erteilung einer Erlaubnis (Verlängerung)	26
8.6.	Spezielle Anforderungen an Anlagen über 30 KW	26
9	Sonstige rechtliche Grundlagen und technische Regelwerke	30
9.1.	Bundesberggesetz	30
9.2.	Vorschriften zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – § 62 WHG und AwSV	30
9.3.	Verordnungen über die Hamburger Wasserschutzgebiete	31
9.4.	Standortauswahlgesetz (StandAG)	32
9.5.	LAWA-Empfehlungen für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren	32
10	Anhang	33
10.1.	Checkliste	33
10.2.	Fließdiagramm Grund- und Trinkwasserschutz	35
10.3.	Abstandsregelungen für Erdwärmesonden	36
10.4.	Auskünfte aus dem Altlastenhinweiskataster	37
10.5.	Anforderungen an einen Bericht zur Überwachung von Anlagen größer 30 kW (Monitoringbericht)	37
10.6.	Mittlere Wärmeleitfähigkeitswerte für Hamburg	40
10.7.	Fördermöglichkeiten	41
11	Literaturverzeichnis	42
	Impressum	44

1 Vorwort

Liebe Hamburgerinnen, liebe Hamburger,

rund ein Viertel der gesamten Hamburger CO₂-Emissionen stammt aus der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser für alle Hamburger Gebäude. Damit wir die Ziele des Senats zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes bis 2030 erreichen können, müssen wir also auch auf dem Gebiet Heizung und Warmwasser besondere Anstrengungen unternehmen. Vor allem dort, wo Fernwärme nicht verfügbar ist, werden wir zukünftig vermehrt erneuerbare Energien einsetzen müssen, selbstverständlich ohne die Frage der Gebäudeeffizienz (Wärmedämmung) dabei zu vernachlässigen.



Die Erdwärme kann als erneuerbare Ressource einen wichtigen Beitrag, zum Beispiel bei nachhaltigen Lösungen in Wohnquartieren, leisten. Besonders effizient sind erdwärmegekoppelte Heizungsanlagen dort, wo Flächenheizungen, also vor allem Fußbodenheizungen, eingebaut werden. Gut geplante Anlagen, die zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden, benötigen in aller Regel wenig Strom. Und, sofern der Strom aus regenerativen Quellen kommt, ist eine solche Wärmeerzeugung klimaneutral. Allerdings erfüllen nur richtig dimensionierte Anlagen in Verbindung mit einer sorgfältigen Wärmeplanung der zu beheizenden bzw. zu kühlenden Gebäude ihre Aufgaben effizient und führen zu der gewünschten Umweltentlastung.

Bei der Planung von Erdwärmeanlagen ist ein weiterer Aspekt von großer Wichtigkeit: der Grundwasserschutz. Da vor allem Erdwärmesonden vergleichsweise tief in den Untergrund eingebracht und dabei grundwasserschützende Schichten durchbohrt werden, muss den Belangen des Grundwasserschutzes ganz besonders Rechnung getragen werden. Der Leitfaden enthält hierzu wichtige Vorgaben, die bei der Realisierung der Anlagen unbedingt zu beachten sind.

Um die verschiedenen Aspekte rund um das Thema „Oberflächennahe Geothermie“ zu beleuchten, legen wir hiermit einen überarbeiteten Leitfaden vor. Er enthält fachliche Hintergründe und Vorgaben und soll Ihnen die Informationen liefern, die Sie für die Planung und das notwendige wasserrechtliche Genehmigungsverfahren benötigen.

Viel Erfolg bei Ihrem Projekt wünscht Ihr

Jens Kerstan
 Senator für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
 Freie und Hansestadt Hamburg

2 Einleitung

In Hamburg existieren derzeit über 2500 erdwärmegekoppelte Heizungsanlagen, die überwiegend als oberflächennahe Erdwärmesonden bis in eine Tiefe von rd. 150 m ausgeführt wurden. Dieser Leitfaden behandelt schwerpunktmäßig die Nutzung von Erdwärme zu Heiz- und Kühlzwecken mit Hilfe von **Erdwärmesonden** und **Erdwärmekollektoren**. Im Leitfaden sind zahlreiche Basisinformationen zusammengestellt, die sich an Interessierte, Planende und Bauausführende richten. Von besonderer Bedeutung sind die im Leitfaden enthaltenen Hinweise zu den aus Sicht des Grundwasserschutzes notwendigen Anforderungen bei Planung, Bau und Betrieb, aber auch wichtige Tipps zur richtigen Dimensionierung.

Eines vorweg: Wärme aus dem Untergrund gibt es nicht zum Nulltarif. Da sind zunächst die Investitionskosten für den Bau der Anlage, aber auch die späteren laufenden Kosten für den Betrieb zu beachten. Denn schließlich benötigt die Wärmepumpe Antriebsenergie, um die Temperatur aus dem Untergrund für Heizzwecke nutzbar machen zu können. Diese Energie wird bei fast allen im Handel erhältlichen Anlagentypen über elektrischen Strom erzeugt. Um für die Umwelt einen Nutzen zu erzielen, muss eine Wärmepumpen-Heizung so effizient arbeiten, dass sie aus einer Kilowattstunde Strom deutlich mehr als 3 Kilowattstunden Heizenergie erzeugt. Denn rund 3 Kilowattstunden Primärenergie müssen in einem herkömmlichen Kraftwerk eingesetzt werden, damit beim Kunden eine Kilowattstunde Strom ankommt. Das heißt, je höher die Temperatur aus dem Untergrund und je niedriger die benötigte Vorlauftemperatur für die Heizung ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Perspektivisch sollte der Strom natürlich vollständig aus regenerativen Quellen kommen.

In der Regel sollten Wärmepumpen im Zusammenspiel mit Flächenheizungen wie Fußboden- oder Wandheizungssystemen zum Einsatz kommen, da hier niedrige Vorlauftemperaturen benötigt werden. Das heißt, bei Neubau oder Grundsanierung von Bestandsgebäuden kann die Wärmepumpe als Heizungssystem in die Überlegungen einbezogen werden. Um eine strom- und kostensparende Lösung zu finden, die damit auch gleichzeitig umweltschonend ist, empfiehlt es sich unbedingt, eine fachkundige Beratung durch unabhängige Heizungsfachleute einzuholen.

Zudem bestehen inzwischen erweiterte finanzielle Fördermöglichkeiten für den Einsatz geothermischer Anlagen in Hamburg (siehe hierzu Anhang, Ziffer 10.7).

3 Erdwärme und ihre Nutzungsmöglichkeiten

3.1. Allgemeines

Als Erdwärme wird die unterhalb der Erdoberfläche vorhandene thermische Wärmeenergie bezeichnet. Diese beruht im Wesentlichen auf der von der Sonne eingestrahlten Wärmeenergie einerseits und dem vom Erdinneren zur Erdoberfläche gerichteten so genannten terrestrischen Wärmestrom andererseits. Erstere beeinflusst die Temperaturen in den oberflächennahen Schichten bis zu einer Tiefe von etwa 10 m bis 20 m. In den tieferen Schichten ist der terrestrische Wärmestrom maßgebend.

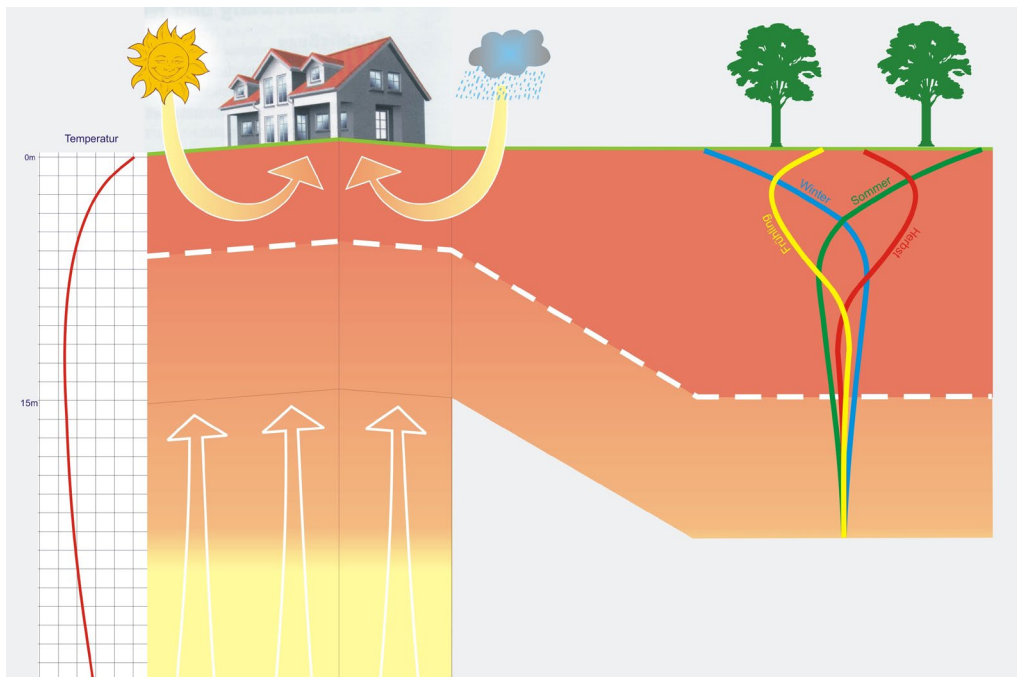


Abb. 1: Vertikaler Temperaturverlauf

(Quelle: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, abgewandelt durch Geologisches Landesamt der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft)

In den ersten Metern unter Gelände schwanken die Temperaturen in Abhängigkeit von den herrschenden Außentemperaturen sowie der Sonnenscheindauer im Jahresgang stark. Ab einer Tiefe von ca. 20 m endet der Einfluss der Sonneneinstrahlung. Auf Grund der durch den terrestrischen Wärmestrom bestimmten Prozesse nimmt die Temperatur danach kontinuierlich mit der Tiefe zu. In Deutschland steigt die Temperatur gemäß der geothermischen Tiefenstufe pro 100 m Tiefe um etwa 3° C an.

Die Temperatur ist jedoch im Untergrund nicht gleichmäßig verteilt. Durch hydrogeologische Vorgänge (Grundwasserbewegungen) wird sie stark überprägt. Hierdurch können die Temperaturen im Boden regional stark schwanken. Durch die Bildung von Wärmeinseln im innerstädtischen Bereich einer Großstadt kann es im Untergrund zu Abweichungen bei der geothermischen Tiefenstufe kommen. Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Temperaturverteilung für Hamburg in einer Tiefe von – 100 m NHN. Diese im Boden gespeicherte Wärme kann prinzipiell zur Energieversorgung genutzt werden.

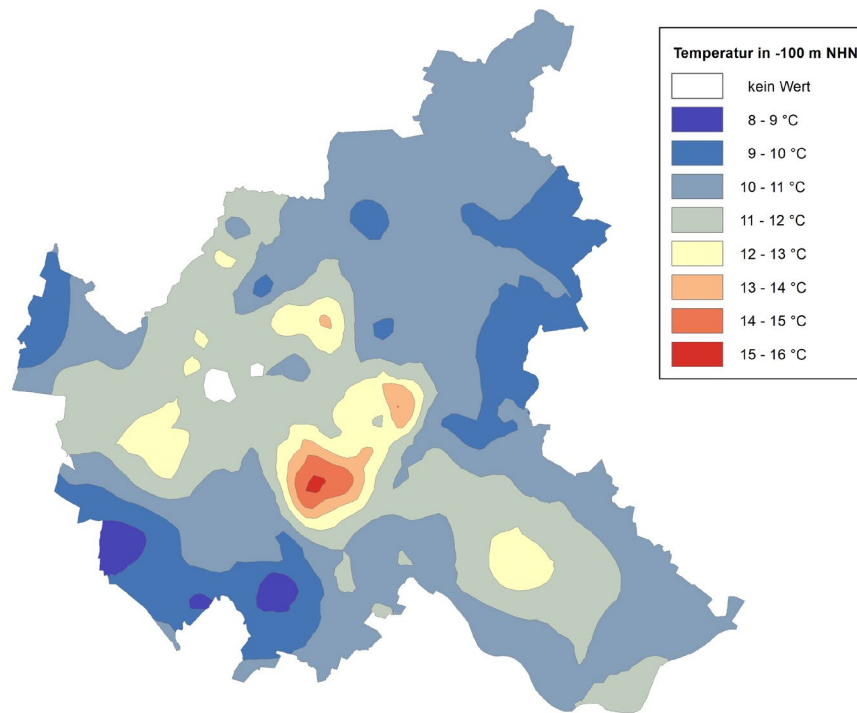


Abb. 2: Temperatur in der Tiefe von – 100 m NHN (Quelle: BUKEA)

3.2. Komponenten einer Erdwärmeanlage

Die Erdwärme kann dem Boden und Grundwasser durch Erdwärmesonden (vertikaler Einbau), durch Erdwärmekollektoren (horizontaler Einbau) oder durch Brunnen (Wasser-Wasser-Anlagen) entzogen werden. Eine Zwischenform von Kollektor und Sonde stellen Erdwärmekörbe, Spiralsonden bzw. thermisch aktivierte Gründungspfähle oder Bauteile dar. Ausführliche Informationen zu anderen Nutzungsarten der Geothermie finden sich unter anderem auch in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 [2].

Im Folgenden werden die Prinzipien der drei erstgenannten Hauptformen zur geothermischen Energiegewinnung kurz vorgestellt:

Erdwärmesonden

Erdwärmesonden werden in vertikalen Bohrungen mit Tiefen meist bis 100 m installiert. Je nach Energiebedarf werden eine oder mehrere Erdwärmesonden in den Boden eingebracht.

Die Sonden bestehen überwiegend aus paarweise gebündelten, U-förmigen Kunststoffrohren aus hochdichtem Polyethylen (z. B. PE 100, PE 100-RC, PE-X), die kurz unter der Geländeoberkante in eine Sammelleitung münden.

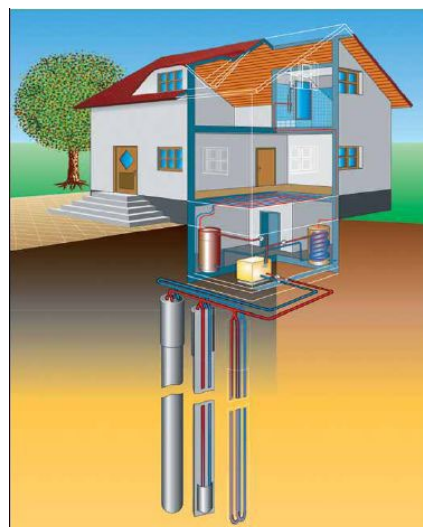


Abb. 3: Erdwärmesonde
(Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

Erdwärmekollektoren

Die Funktionsweise von Erdwärmekollektoren ähnelt der von Erdwärmesonden. Der Einbau erfolgt hier jedoch in einer Tiefe von maximal 2 m horizontal im Boden. Erdwärmekollektoren nutzen ausschließlich die von der Sonne abgegebene Wärmeenergie, die durch direkte Einstrahlung in den Boden, Wärmeübertragung aus der Luft und vor allem durch den Niederschlag in den Untergrund eindringt. Sie haben einen Platzbedarf von etwa dem Zweifachen der zu beheizenden Fläche und sollten nicht überbaut werden!

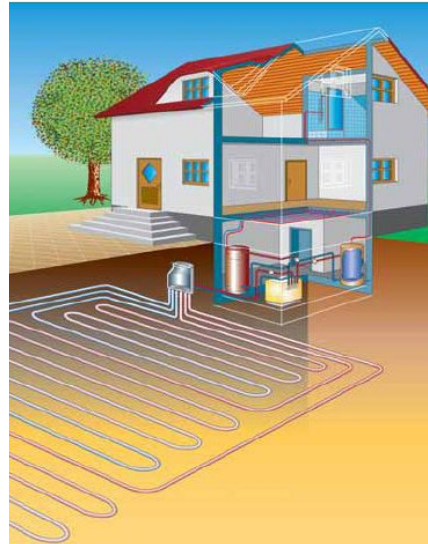


Abb. 4: Erdwärmekollektor (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

Wasser-Wasser-Anlagen

Für die Wärmenutzung aus dem Grundwasser sind ein Förder- und ein Schluckbrunnen notwendig (Abb. 5). Das dem Förderbrunnen entnommene Grundwasser wird in der Wärmepumpe um üblicherweise 3 bis 4 K abgekühlt bzw. erwärmt und über den Schluckbrunnen wieder dem Grundwasserleiter zugeführt. Die Temperatur des zurückgeleiteten Grundwassers darf aus anlagentechnischen Gründen +4° C nicht unterschreiten.

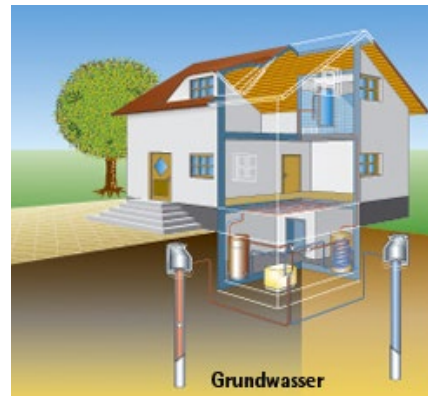


Abb. 5: Grundwasserförderung (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

Die technischen Randbedingungen für den Brunnenbau hat die BUKEA in mehreren Merkblättern [1] festgelegt. Erfahrungsgemäß können die sogenannten „Wasser-Wasser-Anlagen“ aufgrund der hydrochemischen Verhältnisse in Hamburg (geogen bedingte, hohe Eisen- und Mangangehalte) nur selten eingesetzt werden.

Der vorliegende Leitfaden beschränkt sich daher auf die Beschreibung der geothermischen Nutzung des Untergrundes durch Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden.

Wärmepumpe

Die Erdwärme wird bei allen Varianten mit Hilfe einer **Wärmepumpe** für die Beheizung und Kühlung von Gebäuden nutzbar gemacht. Das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe wird nachfolgend dargestellt:

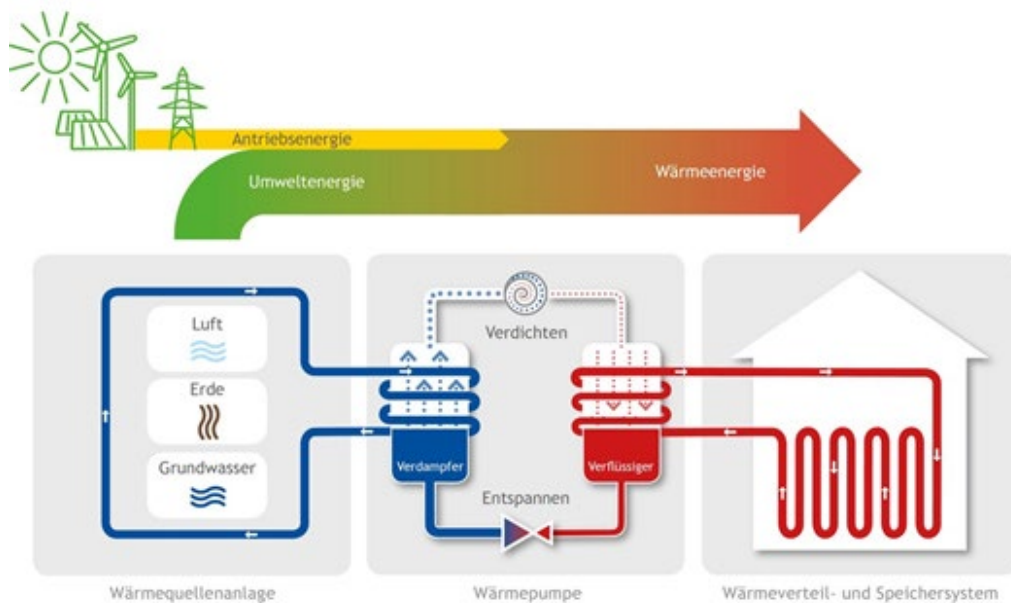


Abb. 6: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.)

Ein Wärmeträgermittel (hier: Sole), das in der Wärmequelle (Boden, Grundwasser) zirkuliert (Primärkreislauf), nimmt die dort gespeicherte Wärme auf. Im Verdampfer wird die Energie an das Kältemittel (Sekundärkreislauf) abgegeben, wodurch dieses verdampft. Der Kompressor verdichtet das dampfförmige Kältemittel, welches sich dadurch erhitzt. Im anschließenden Verflüssiger gibt das Kältemittel seine Energie an das Heizungssystem (Tertiärkreislauf) ab und kondensiert. Das warme flüssige Kältemittel wird über ein Expansionsventil entspannt, wodurch seine Temperatur und sein Druck abrupt abnehmen. Am Verdampfer beginnt der Kreislauf von vorn.

Als Wärmeträgermittel für den Primärkreislauf kann entweder Wasser oder ein Produkt mit einem Gefrierpunkt von unter 0°C eingesetzt werden. Wasserrechtlich zulässig sind nur nicht wassergefährdende Stoffe oder bestimmte Stoffe der Wassergefährdungsklasse 1 (Details siehe Kapitel 6.6).

Eine spezielle Bauweise stellen die Anlagen mit Direktverdampfung dar. Hier sind der Kollektor- (Primär-) und der Wärmepumpen- (Sekundär-)kreislauf nicht voneinander getrennt. Im Kollektor zirkuliert ein druckverflüssigtes Gas als Wärmeträgermittel. Dieses verdampft bei der Aufnahme von Wärme aus dem Erdreich. In einem Kompressor wird das Gas komprimiert, wodurch es sich wieder verflüssigt und eine höhere Temperatur bekommt. In Einkreisanlagen wird das Kältemittel jetzt direkt in die Fußbodenheizung geleitet. Da in diesen Anlagen die Wärmeverluste durch die Übertragung auf verschiedene Flüssigkeitskreisläufe entfallen, ist die Arbeitszahl (bestimmt den Wirkungsgrad einer Wärmepumpe durch das Verhältnis aus Heizenergie durch Nutzenergie (i. d. R. Strom)) meist größer als bei herkömmlichen Mehrkreisanlagen.

4 Dimensionierung

4.1. Grundsätzliches und Datengrundlagen

Entscheidend für die Planung einer Geothermieranlage sind möglichst genaue Kenntnisse über die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes, die benötigten Temperaturen im Heizkreislauf (Vorlauftemperatur) und die Volllaststunden. Nur dann kann die **Wärmeentzugsleistung** optimal berechnet und die Geothermieranlage entsprechend sorgfältig dimensioniert werden. Eine Unterdimensionierung von Anlagen kann zu Schäden an den Anlagen und zu erhöhten Betriebskosten führen. Eine Überdimensionierung verursacht erhöhte Investitionskosten beim Bau der Anlage.

Die Nutzung durch Geothermieranlagen muss so geplant werden, dass die entnommene Wärmemenge über die Wärmeleitfähigkeit des Bodens bzw. des Gesteins kontinuierlich nachgeliefert werden kann. Dieser natürliche Ausgleich im Boden wird durch die Parameter **Wärmekapazität** und **Wärmeleitfähigkeit** bestimmt, welche von der Boden- bzw. Gesteinsart und deren Wassergehalt abhängig sind. Je höher die Werte dieser Parameter sind, desto besser funktioniert der o. g. Ausgleich und desto höher ist die potentielle Wärmeentzugsleistung einer Anlage. Bei einer vorhandenen Grundwasserbewegung wird der Wert für die Wärmeentzugsleistung noch erhöht, da immer wieder unbeeinflusstes Grundwasser zur Erdwärmesonde nachgeliefert wird.

Für eine optimale Dimensionierung von Geothermieranlagen ist daher eine möglichst genaue Kenntnis des Untergrundaufbaus unerlässlich. In der folgenden Tabelle sind diese Orientierungswerte gemäß VDI 4640 Blatt 1 [2] für einige in Norddeutschland typische Boden- bzw. Gesteinsarten aufgelistet.

Tabelle 1: Wärmeleitfähigkeiten und spez. Wärmekapazitäten verschiedener Boden- und Gesteinsarten nach VDI 4640 Blatt 1 (2010) [2]

Boden- und Gesteinsarten	Mittlere Wärmeleitfähigkeit in W/m*K	Spezifische Wärmekapazität in MJ/m³*K
Sand (trocken)	0,4	1,3 – 1,6
Sand (feucht)	2,4	2,2 – 2,8
Kies (trocken)	0,4	1,4 – 1,6
Kies (feucht)	1,8	2,2 – 2,6
Ton/Schluff (trocken)	0,5	1,5 – 1,6
Ton/Schluff (feucht)	1,8	2,0 – 2,8
Mergel	2,4	1,5 – 2,5

Die erforderliche Anzahl und Länge der Erdwärmesonden für einen vorgegebenen Heizbedarf einer Geothermieranlage sind insofern stark von der geologisch/hydrogeologischen Beschaffenheit des Untergrundes und deren Parametern der spezifischen Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität abhängig.

Die **spezifischen Wärmeleitfähigkeiten** der in Hamburg am häufigsten auftretenden Bodenarten wurden im Geologischen Landesamt Hamburg (GLA) anhand von Wärmeleitfähigkeitsmessungen an wassergesättigten Kernmaterialien aus Hamburg ermittelt (Mittelwerte siehe Anhang 9.6).

Auf dieser Grundlage wurden allen im Bohrchiv vorhandenen Bohrungen, die eine Tiefe von mindestens 40 m aufwiesen, Werte der gemessenen spezifischen Wärmeleitfähigkeiten zugewiesen. Entsprechend dem Schichtenaufbau wurden aus den Informationen tiefengestaffelte Karten der Wärmeleitfähigkeit für Hamburg entwickelt. Diese wurden mit direkt an Bohrungen ermittelten Wärmeleitfähigkeitswerten (mittels Thermal Response Tests – TRT) abgeglichen.

Abbildung 7 zeigt beispielhaft die mittlere Wärmeleitfähigkeit für eine 100 m lange Erdwärmesonde.

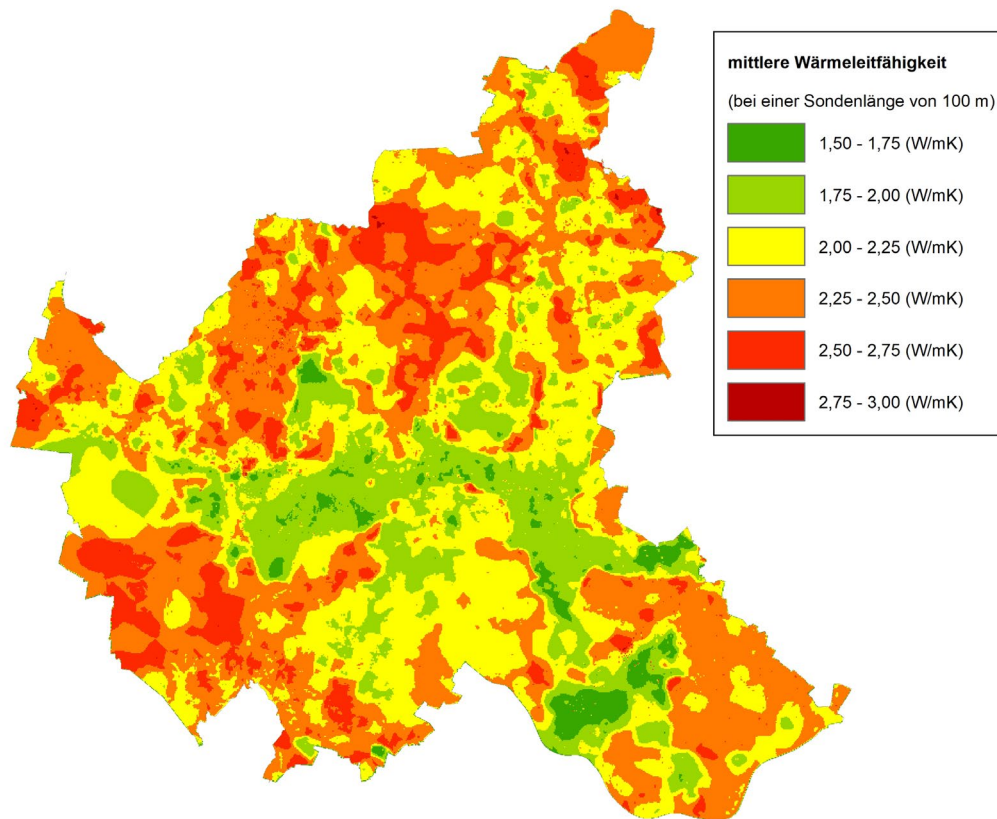


Abb. 7: Karte der mittleren Wärmeleitfähigkeit (W/mK) in Hamburg für eine 100 m lange Erdwärmesonde (Quelle: BUKEA)

Die Daten aus den interpolierten Karten sind trotz der großen Bohrdichte in Hamburg als Anhaltswerte zu verstehen, da der tatsächliche Schichtaufbau des Untergrundes am jeweiligen Standort abweichen kann. Die genaue Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit ist erst nach Abteufen einer Bohrung bzw. Durchführen eines Thermal Response Tests möglich.

Die tiefengestaffelten Karten der mittleren Wärmeleitfähigkeiten für Sonden bis 40, 60, 80 und 100 m sind über das [Hamburger Bohrdatenportal](#) abrufbar.

4.2. Erdwärmesonden

Aus den oben genannten Parametern kann für die Dimensionierung einer Erdwärmesondenanlage die sogenannte Wärmeentzugsleistung abgeleitet werden. Neben dem Gestein hat auch die Dauer des Wärmeentzuges einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die mögliche Entzugsleistung der Erdwärmesonden. Je höher die Anzahl der Jahresbetriebsstunden ist, desto geringer ist die mögliche Entzugsleistung der Erdwärmesonde.

Für Einzelanlagen, die eine Leistung von max. 30 kW aufweisen, können die Werte der Wärmeentzugsleistung aus den Tabellenangaben der VDI Richtlinie 4640 Blatt 2 [2] entnommen werden, wenn die nachfolgenden Randbedingungen gelten:

- die Einzelanlage dient nur dem Wärmeentzug und weist ein standardisiertes thermisches Lastprofil auf,
- die Länge der einzelnen Erdwärmesonden beträgt zwischen 50 und 200 m, und es kommen insgesamt nur max. 5 Erdwärmesonden zum Einsatz,
- der Sondenabstand zwischen zwei Erdwärmesonden beträgt mindestens 6 m, und es besteht keine deutliche Abweichung von der Linienanordnung,
- die Jahresvolllaststunden (h/a) betragen abgestuft zwischen 1200 und 2400 (im Wesentlichen in Abhängigkeit von der Warmwasserbereitung).

Anhand des Schichtenaufbaus kann die zu erwartende Entzugsleistung ermittelt werden. Das Beispiel einer Berechnung zeigt die Abbildung 8. Dabei sind abweichend von den Werten der VDI für die einzelnen Schichten mittlere Wärmeleitfähigkeitswerte von Hamburg verwendet worden. Die entsprechenden Wärmeentzugsleistungen sind aus den Tabellen der VDI 4640 Blatt 2 (für eine Sonde mit Spitzenlast $T_{wp} > -5^{\circ}\text{C}$) entnommen. Die dortigen Tabellenwerte werden mit der Schichtstärke multipliziert. Die Ergebnisse sind in den Spalten Wärmeentzugsleistung der Abb. 8 eingetragen.

		Mittlerer Wärmeleitfähigkeitswert für HH	Wärmeentzugsleistung bei 1200 Betriebsstunden	Wärmeentzugsleistung bei 2400 Betriebsstunden
0,0				
-10,0	Mittelsand-Grobsand trocken	1,6 W/mK (erdfeucht)	693 W	479 W
-20,0				
-30,0	Geschiebemergel	2,9 W/mK	909 W	695 W
-40,0				
-50,0				
-60,0	Feinsand-Mittelsand wasserführend	2,7 W/mK	1761 W	1329 W
-70,0	Ton	1,5 W/mK	448 W	306 W
-80,0				
-90,0	Mittelsand wasserführend	3,0 W/mK	1230 W	946 W
-100,0	Ton	1,5 W/mK	448 W	306 W
Summe:			5489 W	4061 W

Abb. 8: Ermittlung der Wärmeentzugsleistung für 1200 und 2400-Jahresbetriebsstunden (Quelle: BUKEA)

Wird eine Geothermieanlage von den o.g. Vorgaben abweichend geplant, wird eine numerische Simulation zur Auslegung der Geothermieanlage erforderlich.

Folgen falscher Dimensionierung

Unter der Voraussetzung einer ordnungsgemäßen Dimensionierung, beschränkt sich der thermische Einfluss der Erdwärmesonden im Untergrund in der Regel auf einen Bereich von wenigen Metern um die Anlage herum. Dies gilt in erster Linie für Anlagen mit Heizleistungen von bis zu 30 kW. Sind die Vorgaben allerdings nicht eingehalten und sowohl die Länge der Sonden als auch die Abstände zwischen den Sonden zu gering gewählt worden, kann es zu einer dauerhaften und nachhaltigen Abkühlung des Untergrundes kommen. Dies führt zu einer stetig sinkenden Energieausbeute bis hin zu einem vollständigen Ausfall der Anlage. Daneben besteht grundsätzlich die Gefahr, dass die Wärmeträgerflüssigkeit im Temperaturbereich von $< 0^{\circ}\text{C}$ gefahren wird und somit Frostschäden an der Ringraumabdichtung um die Sonden herum auftreten können. Die Folge sind unerwünschte Verbindungen zwischen natürlicherweise getrennten Grundwasserleitern und damit erhebliche Risiken für den flächendeckenden Grundwasserschutz.

4.3. Erdwärmekollektoren

Die Verlegung der Kollektoren erfolgt im frostfreien Bereich bis ca. 2 m Tiefe. Die entzogene Energiemenge wird durch die Sonneneinstrahlung und die Zufuhr von Wärme durch Sickerwasser ausgeglichen.

Wie bei den Erdwärmesonden werden die thermischen Eigenschaften des Bodens durch die Wärmeleitfähigkeit bzw. -kapazität bestimmt. Generell ist die Wärmeleitfähigkeit an Standorten, in denen der Boden gut durchfeuchtet ist, höher als in sandigen und trockenen Standorten. Analog zur Tabelle 1 können auch hier die möglichen Werte der Wärmeleitfähigkeit aus der VDI Richtlinie entnommen werden. Tabelle 2 stellt die daraus abgeleiteten Wärmeentzugsleistungen dar.

Tabelle 2: Flächenspezifische Entzugsleistung für Erdwärmekollektoren (nach: VDI 4640 Blatt 2)

Bodenart mit Angabe zur Wärmeleitfähigkeit (aus VDI 4640 Blatt 2)	Flächenspezifische Entzugsleistung für PE-Rohr 32 mm x 3,0 mm bei 1650 Betriebsstunden in der Klimazone 3	Flächenspezifische Entzugsleistung für Kapillarrohrmatten bei 1650 Betriebsstunden in der Klimazone 3
Sand (1,2 W/mK)	25 W/m ²	34 W/m ²
Lehm (1,5 W/mK)	32 W/m ²	37 W/m ²
Schluff (1,5 W/mK)	35 W/m ²	43 W/m ²
sandiger Ton (1,8 W/mK)	38 W/m ²	46 W/m ²

5 Wasserwirtschaftliche und hydrogeologische Rahmenbedingungen

Aus Gründen des vorbeugenden Grundwasserschutzes ist die Nutzung von Erdwärme in bestimmten Bereichen der Freien und Hansestadt Hamburg nicht oder nur mit Einschränkungen zulässig. Die jeweils geltenden Einschränkungen werden in den wasserrechtlichen Erlaubnissen bzw. in Wasserschutzgebieten in sogenannten Befreiungen festgeschrieben.

5.1. Zulässigkeit von Geothermieranlagen

Geothermieranlagen sind innerhalb der Schutzzonen I und II von Wasserschutzgebieten (WSG) und im Umkreis von 100 m um die Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung einschließlich der Notbrunnen generell unzulässig.

Darüber hinaus sind Erdwärmesonden grundsätzlich nicht zulässig:

1. wenn die Abstände zu den Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung sowie zu Trinkwassernotbrunnen zu gering sind (Erläuterungen siehe Kapitel 5.3),
2. in den tiefen Grundwasserleitern (siehe Kapitel 5.4),
3. im Bereich von Altlastverdachtsflächen und Flächen mit bekannten Untergrundverunreinigungen (siehe Kapitel 5.5),
4. in Gebieten mit bekannten Senkungsbereichen oberhalb von Salzstockstrukturen,
5. wenn die Entzugsleistung über den in der VDI 4640 genannten Werten liegt (siehe Kapitel 5.6),
6. wenn die Abstände zu Nachbargrundstücken nicht eingehalten werden (siehe Kapitel 5.7).

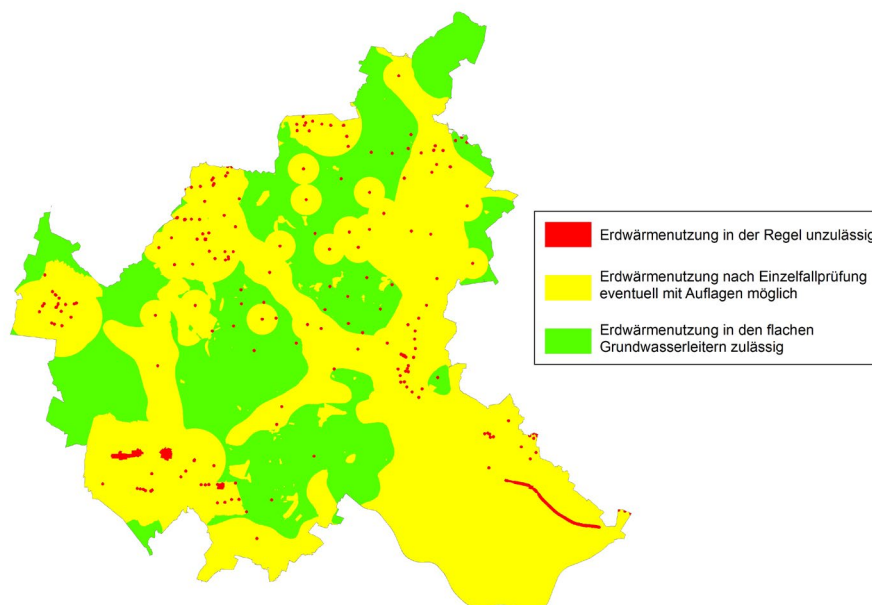


Abb. 9: Bereiche mit Einschränkungen für die Errichtung von Erdwärmesonden
(Quelle: GLA Hamburg)

Die Karte mit den Nutzungsbedingungen aus Abb. 9 ist im **Geoportal Hamburg** hinterlegt. Im Übrigen ist durch die Vorhabenträger*innen generell zu prüfen, ob Einschränkungen für die Nutzung des Grundstücks zur Erdwärmenutzung aufgrund anderer Rechtsgebiete (z. B. Denkmalschutz, Naturschutz, Bodenschutz etc.) bestehen.

5.2. Wasserschutzgebiete

In Wasserschutzgebieten ist die Erdwärmenutzung in den Schutzzonen I und II nicht zulässig, da Geothermieranlagen dem Schutzzweck dieser Zonen entgegenstehen. In den weiteren Schutzzonen III ist die Erdwärmenutzung nach den jeweiligen Wasserschutzgebietsverordnungen ebenfalls verboten. Befreiungen von diesem Verbot können aber nach § 52 Abs. 1 Satz 2 WHG erteilt werden, wenn der Schutzzweck nicht gefährdet wird. Diese sind möglich, wenn die in 5.3 genannten Abstände zu Brunnen der Trinkwasserversorgung und Notbrunnen eingehalten werden und eine Gefährdung der Grundwasserqualität am fraglichen Standort nicht zu befürchten ist. Im Grenzbereich um die Wasserschutzgebiete kann es Abweichungen zu den allgemeinen Abstandsregelungen geben, da hier das Einzugsgebiet im Rahmen der Schutzgebietsausweisung exakt ab-gegrenzt wurde. Darüber hinaus werden bereichsweise weitergehende Anforderungen an die Wärmeträgermittel gestellt.

Diese Regelungen gelten im Übrigen auch außerhalb der Wasserschutzgebiete, sind also allgemeingültig.

5.3. Allgemeine Abstandsregelungen zu Brunnen der Trinkwasserversorgung und Notbrunnen

Erdwärmesonden

Grundsätzlich ist zwischen zwei Untergrundkonstellationen zu unterscheiden:

Fall 1:

Die Erdwärmenutzung soll in dem Grundwasserleiter erfolgen, der für die Trinkwasserversorgung genutzt wird. Es gelten folgende Abstandsregelungen:

Nicht zulässig sind Erdwärmebohrungen:

- im Umkreis von 100 m um die Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung und um Trinkwassernotbrunnen,
- im Umkreis von 100 – 1.000 m um Brunnen der Trinkwasserversorgung
- im Umkreis von 100 – 500 m um Trinkwassernotbrunnen.

In folgenden Abständen dürfen Erdwärmesonden errichtet werden, wenn unbedenkliche Wärmeträgermittel¹ eingesetzt werden:

- im Umkreis von 1.000 – 2.000 m um Brunnen der Trinkwasserversorgung,
- im Umkreis von 500 – 1.000 m um Trinkwassernotbrunnen.

1 Als unbedenklich gelten derzeit ein Wasser-Glykol-Gemisch mit einem höchstens 3%igen Glykolanteil und Trinkwasser

Fall 2:

Die Erdwärmenutzung soll oberhalb einer hydraulisch wirksamen Trennschicht errichtet werden. Der Förderhorizont der Trinkwasserversorgung befindet sich unterhalb der Trennschicht. Es gelten folgende Abstandsregelungen:

Zulässig sind Erdwärmebohrungen

- in einer Entfernung größer 100 m von Brunnen der Trinkwasserversorgung und Trinkwassernotbrunnen.

Erdwärmekollektoren/Erdwärmekörbe

Die Nutzung von Erdwärme über Erdwärmekollektoren und -körbe ist ab einer Distanz von > 100 m von Brunnen der Trinkwasserversorgung und Trinkwassernotbrunnen i.d.R. zulässig.

5.4. Tiefe Grundwasserleiter

Zum Schutz und Erhalt der öffentlichen Trinkwasserversorgung dürfen Erdwärmesonden nicht in den tiefen Grundwasserleitern (L5 und L6) eingebaut werden. Gleiches gilt für die Rinnenwasserleiter L4.2, da diese im Kontakt mit den tiefen Grundwasserleitern stehen.

Die maximal zulässige Bohrtiefe in Bezug auf die geologischen Gegebenheiten (z. B. Deckschichten, Salzstockstrukturen) wird im Rahmen der notwendigen schriftlichen Stellungnahme durch das Geologische Landesamt festgelegt.

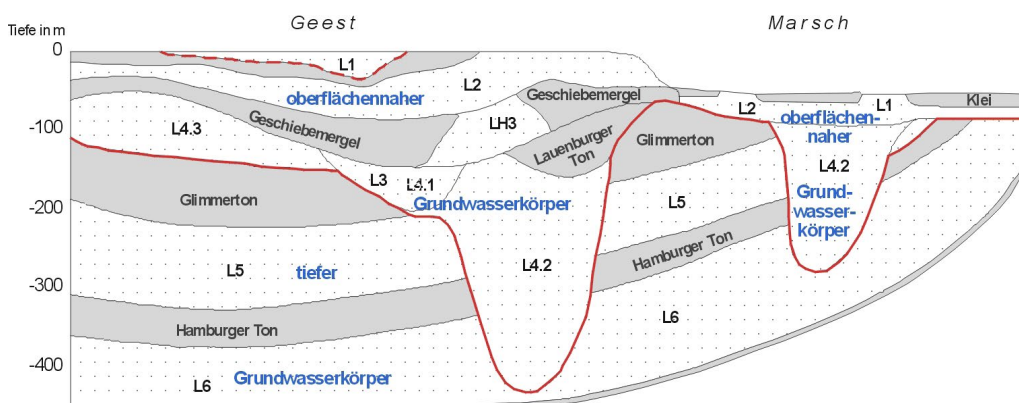


Abb. 10: Schematischer Untergrundaufbau von Hamburg (Quelle: BUKEA)

5.5. Altlasten, Kampfmittelverdacht

Standorte, die mit Schadstoffen belastet sind, können nur dann für die Errichtung von Erdwärmeanlagen zugelassen werden, wenn keine Ausbreitung oder Veränderung vorhandener Untergrund- und Grundwasserkontaminationen zu befürchten ist und die Erdwärmeanlage nicht durch die Schadstoffe geschädigt wird.

Im Bereich von Fällen, die mit einem Hinweis oder Verdacht auf Bodenbelastungen im **Altlastenhinweiskataster** eingetragen sind, dürfen Erdwärmeanlagen nur nach Prüfung des Einzelfalls errichtet werden. Es gelten besondere Anforderungen an die Art und die

Überwachung der Bohrarbeiten (externe Bauaufsicht). Informationen zu Hinweisen auf Altlasten sind bei den jeweiligen Verbraucherschutzämtern der Bezirksämter erhältlich (siehe Anhang 10.4).

Entsprechend der **Kampfmittelverordnung** besteht bei Eingriffen in den Baugrund eine Sondierungspflicht des Grundstückseigentümers. Daher ist vor Baubeginn die Klärung des Kampfmittelverdachts notwendig. Informationen darüber, ob es sich bei Ihrem Grundstück um eine Verdachtsfläche im Sinne der Kampfmittelverordnung handelt, sind im Rahmen einer kostenpflichtigen Anfrage beim **Kampfmittelräumdienst** erhältlich. Ohne Anfrage beim Kampfmittelräumdienst ist es immer erforderlich, eine Kampfmittelfirma mit der punktuellen Freigabe der Bohrstelle zu beauftragen.

5.6. Wärmeeintrag/-entzug

Bei der Bemessung der Sondenanlagen sind bestimmte Temperaturlimits des Wärmeträgermittels zu beachten, die in der Richtlinie VDI 4640 festgelegt wurden. Die Eintrittstemperatur des Wärmeträgermediums soll während des Heizbetriebes im Monatsmittel 0° C nicht unterschreiten, bei Spitzenlast darf die Temperatur nicht unter -5° C fallen. Gemäß Richtlinie VDI 4640 Blatt 1 darf die Eintrittstemperatur des Wärmeträgermediums im Kühlbetrieb im Monatsmittel 20° C nicht überschreiten, bei Spitzenlast beträgt dieser Wert max. 25° C. Gleichzeitig darf die Veränderung der Untergrundtemperatur an der Grundstücksgrenze nicht mehr als 1 K betragen.

5.7. Sicherheitsabstände bei Geothermieanlagen

Aus Sicherheitsgründen und um gegenseitige thermische Einflüsse auszuschließen, müssen bei Geothermieanlagen folgende Abstände eingehalten werden:

- zwischen Erdwärmesonde und Grundstücksgrenze 5 m ^[2],
- zwischen Schrägsonde (gesamte Länge) und Grundstücksgrenze 5 m ^[2],
- zwischen Erdwärmekollektor und Grundstücksgrenze 1 m,
- zu Fernwärmeleitungen 3 m,
- zu Anlagen zur Lagerung wassergefährdender Stoffe 3 m,
- zwischen zwei Erdwärmesonden mindestens 5 m bzw. 6 m (bei Sondenlängen >50 m),
- zwischen Erdwärmesonden und bestehenden Gebäuden 2 m.

Ausnahmen: Zwischen Erdwärmesonden und öffentlich genutzten Flächen (z. B. Straßen, Grünanlagen) werden im Einzelfall spezielle Abstandsregelungen festgelegt. Dies gilt auch bei Tunnel- und anderen unterirdischen Bauwerken.

Bei Anlagen über 30 kW gelten darüber hinaus besondere Regelungen (siehe Kapitel 8.6).

2 Von den genannten Abständen kann nur mit ausdrücklicher schriftlicher Zustimmung des benachbarten Grundstückseigentümers abgewichen werden.

6 Bauliche und technische Anforderungen bei der Erdwärmennutzung

Um dauerhaft einen flächendeckenden Grundwasser- und Bodenschutz zu gewährleisten, müssen an die Errichtung und den Betrieb von Anlagen, die das Grundwasser oder den Boden nutzen, besondere Anforderungen gestellt werden. Nachfolgend aufgeführte technische Anforderungen an Bauausführung, Dokumentation und Betrieb von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren gehören zum Stand der Technik und müssen von den Fachfirmen bei sämtlichen Bohr- und Ausbauarbeiten eingehalten werden.

- Bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb einer Erdwärmeanlage sind die VDI-Richtlinie 4640 [2] und die DIN 8901 [3] zu beachten.
- Die Errichtung von Erdwärmesonden (Bohrung, Sondeneinbau, Verfüllung) ist nur von Bohrfirmen durchzuführen, welche die Qualifikationsanforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 120-2 [5] erfüllen (z. B. durch Nachweis mittels Zertifikat einer akkreditierten Zertifizierungsstelle).
- Der Bohrgeräteführer muss darüber hinaus nach DIN EN ISO 22475 [7] qualifiziert sein

6.1. Materialanforderungen

Die verwendeten Materialien müssen der chemischen, thermischen und mechanischen Beanspruchung standhalten, dauerhaft dicht und beständig sein. Bei der Materialauswahl sind der ggf. erforderliche Rückbau bei einer späteren Stilllegung und die Entsorgung zu berücksichtigen.

Erdwärmesonden:

Das System Erdwärmesonde umfasst die Sondenrohre nebst Bohrloch und der anschließenden Bohrlochverfüllung. Als Erdwärmesondenmaterial wird in der Regel hochdichtes Polyethylen (z. B. PE 100, PE 100-RC, PE-X) eingesetzt. Erdwärmesonden bestehen aus einem Sondenfuß und endlosen, vertikalen Sondenrohren. Der Sondenfuß und der Anschluss (z. B. Verschweißen) des Sondenfußes an die Sondenrohre sind werkseitig herzustellen. Die ordnungsgemäße Ausführung ist der Wasserbehörde mit einem entsprechenden Zertifikat des Herstellers (werkseitiges Prüfprotokoll) auf besondere Anforderung nachzuweisen.

Die Herstellung von vertikalen Verbindungen auf der Baustelle ist nur nach Einzelfallprüfung durch ausgebildete Kunststoffschweißer unter Einhaltung der Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS) zulässig. Die Rahmenbedingungen dazu werden in der wasserrechtlichen Erlaubnis festgelegt.

Sollten z. B. bei geramnten Erdwärmesonden Stahlrohre verwendet werden, so ist auf ausreichende Wandstärke und Stahlqualität zu achten. Bei Metallwerkstoffen sind die für den Baustoff aktuellen DIN-/EN-Normen zum unlösbaren Verbinden, sowie zusätzlich zum Schutz vor Korrosion zu beachten. Außerdem ist die chemische Zusammensetzung des Grundwassers zu berücksichtigen. Bei geramnten Sonden dürfen schützende Deckschichten wegen der fehlenden Ringraumabdichtungen nicht durchteuft werden.

Erdwärmekollektoren:

Als Material für Erdwärmekollektoren werden ebenfalls PE-Materialien, wie z. B. PE-RC oder PE-X eingesetzt. Bei Direktverdampferanlagen sind HDPE-beschichtete Kupferrohre mit einer Wandstärke von mind. 0,5 mm zu verwenden.

6.2. Bohrarbeiten zur Errichtung von Erdwärmesonden

Bei den Bohrarbeiten ist Folgendes zu beachten:

Von Bohrgeräten, Bohrspülungen und Zubehör dürfen keine Schadstoffe in den Untergrund und in die Gewässer eingetragen werden.

Zur Sicherstellung einer durchgängigen Verpressung sämtlicher Hohlräume ist der Bohrdurchmesser so zu wählen, dass er größer als der Durchmesser des Sondenbündels + 80 mm ist.

Das Geologische Landesamt Hamburg (GLA) ist gemäß Geologiedatengesetz [8] mindestens zwei Wochen vor Beginn der Bohrarbeiten zu benachrichtigen. Die Bohranzeige ist digital über <https://nibis.lbeg.de/bohranzeige/> (Norddeutsche Bohranzeige Online) einzureichen.

Während der Bohrung sind Gesteinsproben im Abstand von max. 5 m und außerdem bei Schichtwechsel zu entnehmen und beim GLA unter Beifügung eines Lageplans und vollständig ausgefüllter Schichtenverzeichnisse gemäß DIN EN ISO 14688 Teil 1 [9] einzureichen.

6.3. Einbau der Erdwärmesonden

Nach Herstellung des Bohrlochs sind die zumeist als Doppel-U-Sonde gefertigten Sondenrohre in das Bohrloch einzubringen. Anschließend ist das Bohrloch vollständig mit einer Tonmehl-Zement-Suspension zu verpressen. Dabei gilt: nur bei einem zentrierten Einbau der Erdwärmesonde in das Bohrloch ist eine vollständige Umhüllung der Sonde durch die Verpresssuspension gewährleistet. Zwischen den einzelnen Sondensträngen sind daher in ausreichenden Abständen (siehe Herstellerangaben) Innenzentrierungen einzubauen.

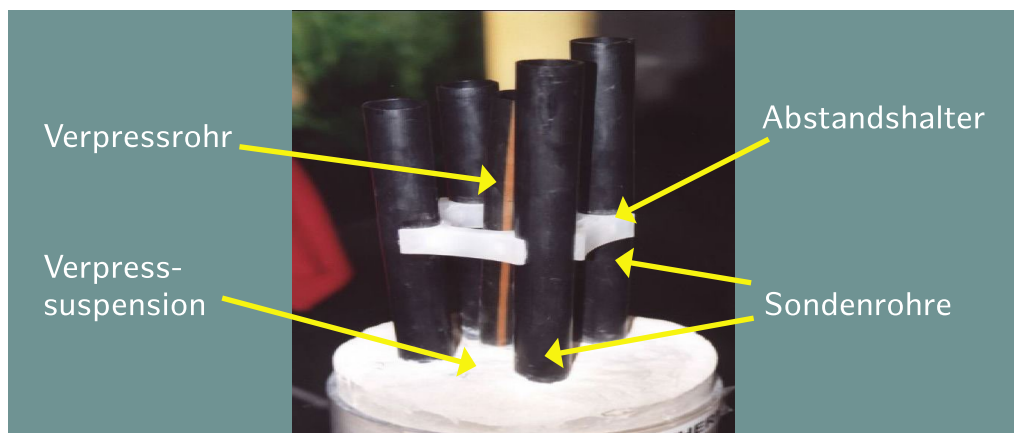


Abb. 11: Erdwärmesondenrohre mit Abstandshalter. Das innere Rohr dient zur Verpressung der Bohrung. (Quelle: LLUR Schleswig-Holstein)

Das Sondenpaket ist mit Hilfe eines Gewichts am Sondenfuß zentriert in das Bohrloch einzubauen. Dabei sind möglichst alle 5 Meter Außenzentrierungen vorzusehen. Der Einbau über ein Schubgestänge ist wegen der Gefahr von Beschädigungen des Sondenmaterials nicht zu empfehlen.

Nach Einbau der Erdwärmesonden, aber noch vor Verfüllung des Ringraumes, ist eine Druckprüfung der mit Wasser gefüllten Sonden durchzuführen (Prüfbedingungen siehe Punkt 6.7).

Sämtliche Hohlräume im Bohrloch müssen nach Einbringung der Erdwärmesonde vom Sondenfuß bis zur Oberfläche vollständig und lückenlos mit einer geeigneten Suspension im Kontraktorverfahren verpresst werden. Dazu ist bereits beim Einsetzen der Erdwärmesonde ein Verfüllrohr bis 1 m über Endteufe einzubauen, durch das die Verfüllsuspension eingepresst werden kann. Das Verfüllrohr muss im Bohrloch verbleiben. In Sonderfällen (tiefere Sonden) kann der Einbau eines zweiten Verfüllrohres notwendig werden.

Die Ringraumverpressung verhindert zum einen den Eintrag von Schadstoffen und trennt eventuell durchteufte Grundwasserleiter voneinander ab, zum anderen sichert sie den Wärmetransport vom Gestein an das Wärmeträgermedium.

Die Verfüllsuspension muss nach Aushärtung eine dichte und dauerhaft physikalisch und chemisch stabile Einbindung der Erdwärmesonde in das umgebende Gestein gewährleisten. Lufteinschlüsse und Hohlräume sind unter allen Umständen zu vermeiden. Insbesondere ist auf Frostsicherheit des Verpressmaterials zu achten.

Bei Misserfolg einer Bohrung ist das Bohrloch bis zur Geländeoberkante ebenfalls mit einer oben beschriebenen Suspension zu verpressen.

Zur Dokumentation der Verpressung sind die **Formblätter der BUKEA** auszufüllen und an die Wasserbehörde zu senden.

6.4. Verpresssuspensionen

Für die Ringraumabdichtung sind spezielle, werkseitig hergestellte Tonmehl-Zement-Suspensionen zu verwenden. Eine möglichst hohe Wärmeleitfähigkeit der Materialien verbessert dabei die Wärmeübertragung zwischen Erdwärmesonde und den umgebenden Bodenschichten. Die Hersteller haben deshalb teilweise Spezialsuspensionen mit höheren Wärmeleitfähigkeiten für die Geothermie entwickelt.

Soll die Rücklauftemperatur der Erdwärmesonde unterhalb von 0 Grad Celsius liegen, sind nur Verpresssuspensionen zulässig, die bei einer Frost-Tau-Beanspruchung keine Gefügeschäden erleiden. Jedes einzubauende Material, welches während des Wärmepumpenbetriebs Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt sein wird, muss also die Eignung der ausreichenden Frost-Tau-Widerstandsfähigkeit nachweisen. Informationen zum Prüfverfahren, zu den Untersuchungsstellen und den als geeignet erachteten Verpresssuspensionen (Produktliste A) erhalten Sie im **Internet** auf der Seite www.hamburg.de/erdwaermenutzung.

Im Übrigen kann in hydrogeologisch besonders sensiblen Gebieten der Einsatz von magnetisch dotierten Verpressmaterialien sinnvoll sein. Bei der Verwendung dieser Produkte ist eine Kontrolle der Verpressung mittels geophysikalischer Messungen möglich.

Die vorgenannten Kriterien bezüglich des Widerstandes bei Frost-Tau-Wechseln gelten allerdings auch für diese Produkte.

6.5. Einbau von Erdwärmekollektoren

Zur Vermeidung von Beschädigungen sind die Kollektoreinheiten im Sandbett zu verlegen und ggf. mit einem darüber eingelegten Warnband für später erfolgende Leitungsarbeiten / Bodenaushübe zu versehen. Die Fläche oberhalb der Kollektoren sollte nicht überbaut (beschattet und betoniert) und nicht mit tief wurzelnden Bäumen und Sträuchern bepflanzt werden.

Hinweis:

Die gezielte Versickerung von Niederschlagswasser oberhalb der Erdwärmekollektoren erhöht die Leistungsfähigkeit der Anlage.

Nach Einbau der Erdwärmekollektoren, aber noch vor der Verfüllung des Arbeitsraumes, ist eine Druckprüfung der mit Wasser gefüllten Kollektoren durchzuführen (Prüfbedingungen siehe Punkt 6.7).

Beim Einbau der Erdwärmekollektoren sind Grundwasser schützende Deckschichten (z. B. Klei) zu erhalten.

6.6. Wärmeträgermedien

Wegen der potenziellen Grundwasser- und Bodengefährdung dürfen Wärmeträgermittel nur nicht wassergefährdende Stoffe oder wässrige Lösungen der Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1) auf der Grundlage der Stoffe Ethylenglykol (Ethandiol) oder Propylenglykol (1,2-Propandiol) enthalten. Über die Zulässigkeit anderer Stoffe entscheidet die Wasserbehörde im Einzelfall.

Zusätzlich darf das Wärmeträgermedium nur geringe Anteile (max. 5 %) an Zusätzen, wie z. B. Korrosionsschutzmitteln enthalten. Der Hersteller des Wärmeträgermittels hat die Einhaltung dieser Anforderungen zu bescheinigen (Sicherheitsdatenblatt nach RL91/155/EWG).

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat dazu eine Positivliste mit Stoffen erstellt, die diese Voraussetzungen erfüllen. Die Verwendung eines Wärmeträgermediums von dieser Liste ist daher unbedenklich, wenn die Anlage nicht in einem wasserwirtschaftlich sensiblen Bereich (z. B. Wasserschutzgebiete) errichtet werden soll.

6.7. Druckprüfungen

Zur Überprüfung der Dichtheit der Anlage sind Druckprüfungen in Anlehnung an DIN 4279-7 [10] durchzuführen. Informationen zur Durchführung der Druckprüfung entnehmen Sie bitte dem Schlussbericht **„Anpassen der Druckprüfung nach DIN V 4279-7 für Erdwärmesonden aus Polyethylen“** [10]. Die Druckprüfung berücksichtigt im Gegensatz zur einfachen Druckprüfung nach DIN 4240 die Ausdehnung des Sondenmaterials und ist daher besser zur Überprüfung der Dichtheit der Erdwärmesonden geeignet. Folgende Bauteile sind zu prüfen:

- Der werkseitig hergestellte Sondenfuß einschließlich seiner Verbindungen (Druckprüfung mit dem 1,5fachen Nenndruck des Rohrmaterials). Der Nachweis darüber ist von der Herstellerfirma zu erbringen.
- Die einzelnen Erdwärmesonden bzw. Erdwärmekollektoren nach Einbau und vor dem Abbinden des Verfüllbaustoffs (Abbindezeit gemäß Herstellerangaben).
- Die Gesamtanlage vor Inbetriebnahme (Prüfdruck: 1,5facher Betriebsdruck).

Die Ergebnisse der Druckprüfungen sind in einem Prüfprotokoll zu dokumentieren (**Formblatt im Internet**). Die Anlage darf nur in Betrieb genommen werden, wenn alle Druckprüfungen erfolgreich waren.

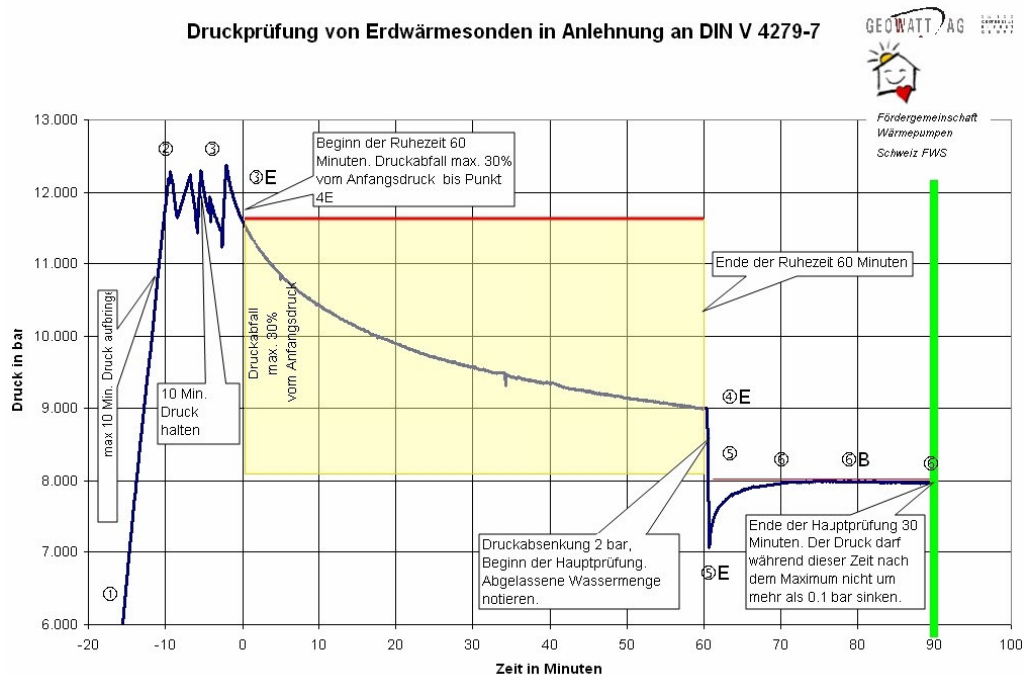


Abb. 12: Darstellung des Ergebnisses einer Druckprüfung nach DIN 4279-7
(Quelle: Geowatt AG)

6.8. Sicherheitseinrichtungen

Bei der Verwendung von Wärmeträgerstoffen mit einem Gefrierpunkt von unter 0°C ist ein Thermowächter im Zulauf der Erdwärmesonden einzubauen, der bei einer Temperatur des Wärmeträgerstoffes unter 0°C die Umwälzpumpe abschaltet.

Hierdurch wird verhindert, dass die Ringraumabdichtungen der Sonden durch negative Temperaturen des Wärmeträgerstoffes dauerhaft geschädigt werden. Bei Verwendung nachweislich frostsicherer Verpresssuspensionen kann auf den Einbau des Thermowächters verzichtet werden.

Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren müssen bei der 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. Die Sonden bzw. die Kollektoren müssen im Vor- und Rücklauf vom Gesamtsystem absperrbar sein.

7 Genehmigungungsverfahren

Die Errichtung und Nutzung von Erdwärmesonden und -kollektoren unterliegen nach dem Wasserrecht grundsätzlich der Erlaubnispflicht. Diese Erlaubnispflicht ergibt sich aus § 8 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) [12]. Danach bedarf die Benutzung des Grundwassers einer Erlaubnis. Zu den Benutzungen gehören u. a. „Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen“.

Die Errichtung und der Betrieb einer Erdwärmesondenanlage können die Grundwasserbeschaffenheit verändern durch:

- das Einbringen von Spülungszusätzen zur Stabilisierung der Bohrung,
- die Verbindung natürlicherweise durch hydraulisch wirksame Trennschichten voneinander getrennter Grundwasserleiter,
- die dauerhafte Temperaturveränderung des Grundwassers durch ständigen Wärmeentzug bzw. Wärmeeintrag,
- Betriebsstörungen, bei denen wassergefährdende Wärmeträgermittel austreten können.

Der Antrag auf eine wasserrechtliche Erlaubnis ist bei der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Referat Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers, W 12, zu stellen. Zum Schutz des Grundwassers enthalten die wasserrechtlichen Erlaubnisse Vorgaben und Regeln, die bei Planung, Bau und Betrieb der Anlagen eingehalten werden müssen. Antragsformular, Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen sowie Ansprechpartner für Rückfragen finden Sie unter: <https://www.hamburg.de/erdwaermenutzung/>.

Um den Baubeginn nicht zu verzögern, sind die Anträge mindestens 4 Wochen vor Baubeginn zu stellen. Erdwärmekollektoren, die sich mehr als einen Meter oberhalb des höchsten gemessenen Grundwasserspiegels befinden, stellen keine erlaubnispflichtige Grundwasserbenutzung dar. Für den Einsatz von wassergefährdenden Stoffen in Geothermieanlagen im Bereich der gewerblichen Wirtschaft und im Bereich öffentlicher Einrichtungen ist eine Anzeige gemäß § 28 Abs. 1 HWaG vorzunehmen; in Wasserschutzgebieten ist für den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen zudem eine Befreiung nach der jeweiligen Schutzgebietsverordnung notwendig. Die Beantragung mit dem üblichen Antragsformular für Erdwärmenutzungen beinhaltet gleichzeitig auch die o.g. Anzeige und den Antrag auf Befreiung.

Wasserrechtliche Erlaubnisse für Erdwärmenutzungen sind grundsätzlich befristet. Bei weiterem Anlagenbetrieb ist rechtzeitig vor Ablauf der Erlaubnis eine Verlängerung zu beantragen. Diesem Antrag sind Informationen über den Anlagenbetrieb beizufügen (siehe auch Kapitel 8.5).

8 Betrieb der Anlage

8.1. Inbetriebnahme

Die Erdwärmeanlage darf erst in Betrieb genommen werden, wenn die Verpressuspension der Erdwärmesonden vollständig ausgehärtet ist. Dies ist in der Regel 28 Tage nach der Verpressung der Fall. Wird die Anlage früher in Betrieb genommen, besteht die Gefahr der Zerstörung des Verpressmaterials und infolgedessen der Leistungsmin- derung der Anlage.

Vor der Inbetriebnahme der Erdwärmeanlage ist durch den beauftragten Fachbetrieb:

1. das Gesamtsystem einer Druckprobe zu unterziehen (siehe Kapitel 6.7) und die betreffende Prüfbescheinigung dem Betreiber auszuhändigen,
2. die Funktion aller Bauteile zu überprüfen,
3. der Betreiber der Anlage in die Bedienung, die Wartung und das Verhalten im Störfall einzuweisen.

8.2. Wartung, Verhalten bei Störungen

Wartung/Betriebstagebuch

Alle Erdwärmeanlagen bedürfen nach ihrer erstmaligen Inbetriebnahme einer regelmä- ßigen Wartung. Deshalb wird empfohlen, eine geeignete Fachfirma mit der jährlichen Kontrolle im Rahmen eines Wartungsvertrages zu beauftragen. Hierbei ist eine visuelle und technische Funktionskontrolle der baulichen Anlagen, der technischen Geräte und der Sicherheitseinrichtungen, insbesondere der Anlagenkomponenten, wie Wärme- tauscher, Druckausdehnungsgefäß, Sicherheitsdruckwächter, Manometer, Ventile und Verplombung vorzunehmen. Eine entsprechende Kontrolle ist auch nach dem Austausch von Anlagenteilen oder des Wärmeträgermediums vorzunehmen.

Der Betreiber ist in jedem Fall verpflichtet, ein Betriebstagebuch zu führen. Darin sind sämtliche Betriebsvorgänge und Wartungsarbeiten, vor allem aber auch außergewöhnliche Betriebszustände, wie z. B. Undichtigkeiten, Austritt der Wärmeträgerflüssigkeit o. ä. zu dokumentieren (siehe hierzu auch Verhalten bei Störungen). Das Betriebstagebuch ist auf Anforderung der Wasserbehörde auszuhändigen.

Die Wasserbehörde ist darüber hinaus unverzüglich zu informieren bei:

- Auffälligkeiten, die erwarten lassen, dass wassergefährdende Stoffe in das Grund- wasser oder den Boden gelangt sein können,
- jeder Änderung bzw. jedem Wechsel des Wärmeträgermediums.

Verhalten bei Störungen

Sofern die Wärmepumpe oder Sicherheitseinrichtungen eine Störung anzeigen, ist zu prüfen, ob aus der Anlage Wärmeträgermittel austritt bzw. ausgetreten ist. In diesem Fall ist die Anlage unverzüglich außer Betrieb zu nehmen und das Wärmeträgermedium

zu entfernen. Anschließend sind die Absperrventile zu schließen und die Wasserbehörde unverzüglich zu informieren. Sofern Kältemittel der Wärmepumpe entweicht, ist die Anlage ebenfalls unverzüglich außer Betrieb zu nehmen und das Kältemittel ordnungsgemäß zu entsorgen.

8.3. Stilllegung / Außerbetriebnahme

Sofern der unterirdische Teil der Erdwärmeanlage vorübergehend oder dauerhaft nicht mehr genutzt wird, muss das Wärmeträgermittel von einer Fachfirma ausgespült und fachgerecht entsorgt werden. Die Sonden sind anschließend mit Trinkwasser zu befüllen und dicht zu verschließen.

Zur dauerhaften Außerbetriebnahme der Anlage ist darüber hinaus ein fachgerechter Rückbau erforderlich. Der Rückbau der Sonden bzw. Kollektoren ist im Einzelfall rechtzeitig vorher mit der Wasserbehörde abzustimmen. Eine Gefährdung durch Wegigkeiten entlang der ggfs. durchteuften Deckschichten ist dabei auszuschließen. Die Behörde behält sich im Einzelfall weitergehende Messungen und Sanierungsmaßnahmen (z. B. Nachdichtung des Ringraumes) entsprechend dem Stand der Technik ausdrücklich vor. Siehe hierzu auch VDI 4640 Blatt 2 (13.3.1-13.3.3).

8.4. Dokumentation

Die bei der Bohrung angetroffene Schichtenfolge ist durch eine geologische Aufnahme nach DIN EN ISO 22475 Teil 1 [7], DIN EN ISO 14688 Teil 1 [9] sowie DIN 4023 [13] zu dokumentieren. Die Gesteinsproben sind im Abstand von mindestens 5 m und bei Schichtwechsel zu entnehmen.

Die beschrifteten Bodenproben (Entnahmetiefe und Lage des Grundstücks) mit den vollständig ausgefüllten Schichtenverzeichnissen sowie einem Lageplan sind bis spätestens 3 Monate nach Abschluss der Bohrarbeiten beim Geologischen Landesamt einzureichen.

Alle notwendigen Angaben bezüglich der Bohrung und der Ringraumabdichtung sind von der ausführenden Bohrfirma **im Formblatt „Bau und Überwachung“** zu erfassen.

Der Genehmigungsbehörde sind spätestens 1 Monat nach Erstellen der Erdwärmesonden einzureichen:

- Bodenschichtenverzeichnisse (Prüfungsvermerk des Geologischen Landesamtes muss zeitnah nachgereicht werden),
- Formblätter „Bau und Überwachung“,
- Zeichnungen über die tatsächliche Ausführung der Erdwärmeanlage (Bohrprofil / Ausbauplan),
- Lageplan M 1:500 oder größer mit dem Standort der Erdwärmeanlagen, sowie der horizontalen Leitungen,
- Protokoll der Dichtheitsprüfungen entsprechend DIN V 4279-7 (siehe Formblatt im **Internet**),
- Fotodokumentation und Protokolle der externen Überwachung, sofern sie in der wasserrechtlichen Erlaubnis gefordert werden.

Im Einzelfall kann die Wasserbehörde den Umfang der notwendigen Baudokumentation erweitern. Bei Kollektoren sind lediglich ein Lageplan und das Protokoll der Dichtheitsprüfung einzureichen.

8.5. Erneute Erteilung einer Erlaubnis (Verlängerung)

Die wasserrechtliche Erlaubnis/Befreiung zur Nutzung von Erdwärme wird grundsätzlich befristet erteilt. Sofern ein Weiterbetrieb vorgesehen ist, muss rechtzeitig vor Ablauf der Befristung die erneute Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis bzw. in Wasserschutzgebieten eine Befreiung bei der Wasserbehörde **beantragt** werden. Sprechen keine wasserwirtschaftlichen Erwägungen gegen eine fortgesetzte Nutzung, so kann eine erneute wasserrechtliche Erlaubnis erteilt werden. Die zuständige Behörde behält sich unter der Berücksichtigung geänderter wasserwirtschaftlicher Rahmenbedingungen einen, gegenüber dem Ausgangsbescheid erweiterten Umfang der Nebenbestimmungen vor, wie z. B. die Änderung des Wärmeträger- oder Kältemittels, eine erneute Druckprüfung etc.

8.6. Spezielle Anforderungen an Anlagen über 30 kW

Wegen des höheren Schadenspotenzials der größeren Anlagen mit einer Heizleistung von mehr als 30 kW werden seitens der Genehmigungsbehörde zusätzliche Anforderungen an Planung, Errichtung und Betrieb solcher Anlagen gestellt. Wird die Errichtung der o.g. Anlagen nicht fachgerecht ausgeführt, kann sich dies in erheblichem Ausmaß nachteilig auf die Grundwasserbeschaffenheit auswirken. Im Genehmigungsverfahren wird zwischen den mittleren (bis 50 kW) und größeren Anlagen (> 50 kW) unterschieden. Für diese Unterscheidung ist die gesamte Heizleistung der Wärmepumpen auf der betreffenden Projektfläche maßgebend.

Das geothermische Versorgungskonzept für mittlere und größere Erdwärmeanlagen setzt standortspezifische Erkenntnisse bezüglich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund voraus, um eine fachgerechte Dimensionierung zu ermöglichen. Hierfür sind, über die Tabellenwerte der VDI 4640 hinausgehend, genaue Informationen über die thermophysikalischen Untergrundparameter zwingend erforderlich.

Die Antragsunterlagen müssen deshalb zusätzlich die nachfolgend aufgelisteten Aspekte behandeln:

Erstellen einer Testsonde

Das Erstellen einer Testsonde zur Durchführung eines Thermal Response Tests bedarf einer wasserrechtlichen Erlaubnis der Genehmigungsbehörde. Die Testsonde ist mit Hilfe des **Antragsformulars** im Internet rechtzeitig, mind. 4 Wochen vor Baubeginn zu beantragen.

Sofern die Testsonde im Spülbohrverfahren erstellt wird, ist die Entnahme von ungestörten Bodenproben mit weitgehend erhaltenem Bodengefüge nur eingeschränkt möglich. Zur Verifikation der geologischen Erkundung ist deshalb die Durchführung einer Gamma Ray Messung (GR) im offenen Bohrloch erforderlich. Durch die Messung der natürlichen Radioaktivität der Gesteine können sandige und tonhaltige Sedimente

und somit die Lage der Wasserstauer (Deckschichten) und der Grundwasserleiter erfasst werden.

Die Testsonde sollte in das geplante Sondenfeld integriert werden. Falls die Baumaßnahme nicht weiter verfolgt werden sollte, ist die Testsonde ordnungsgemäß zu verfüllen (siehe Kap. 8.3).

Messergebnisse eines Thermal Response Tests (TRT)

Ein Thermal Response Test ist ein in situ Test zur Bestimmung der thermodynamischen Parameter des Untergrundes. Der TRT wird in einer genehmigten Testsonde direkt auf dem betreffenden Grundstück durch die Eintragung einer konstanten Wärmemenge in den Untergrund über einen Zeitraum von meist 72 Stunden durchgeführt. Der Untergrund wird zu einer Temperaturantwort („response“), die spezifisch für die anstehenden Bodenschichten ist, angeregt. Während des Tests wird die Vor- und Rücklauftemperatur des in der Sonde befindlichen Wärmeträgermittels (reines Wasser) gemessen. Bei dem o.g. Test werden exakte Erkenntnisse über die thermophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes, gemittelt über die gesamte Erdwärmesondenlänge, gewonnen. Im Zuge der Auswertung der erhaltenen Messergebnisse werden folgende Parameter bestimmt:

- ungestörte Untergrundtemperatur,
- lokale effektive Wärmeleitfähigkeit,
- effektiver thermischer Bohrlochwiderstand.

Das Verfahren und die Anforderungen an die Messapparatur sind der Richtlinie VDI 4640 Blatt 5 [2] zu entnehmen.

Anforderungen an die Auslegungsberechnung

Die Erdwärmeanlage soll unter Berücksichtigung der aus dem Thermal Response Test gewonnenen Parameter sowie der durch einen Planer definierten Bedarfsdaten durch eine Simulationsrechnung (z. B. mit Softwareprodukten wie EED, EWS, GeoSim o.ä.) genau ausgelegt und den Standortbedingungen angepasst werden. Die Anwendung der Simulationsrechnung erlaubt es, auch bestimmte Nutzungskonzepte zu vergleichen und die geplante Anlage im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit zu optimieren. Darüber hinaus wird durch eine auf die Standortverhältnisse angepasste Konfiguration des Sondenfeldes eine Über- und Unterdimensionierung vermieden und somit die Einwirkung der Sonden auf den Untergrund (Betrachtungszeitraum 25 Jahre) minimiert. Bei der Bemessung der Sondenanlagen sind die Temperaturlimits gemäß Kapitel 5.6 zu beachten.

Die Anlagen sind grundsätzlich so zu betreiben, dass ein ausgeglichener Temperaturhaushalt im Untergrund gewährleistet werden kann. Der Nachweis kann über eine thermohydrodynamische Simulation erbracht werden.

Thermohydrodynamische Simulation auf der Grundlage eines 3D-Modells

(numerische Modelle z. B. FEFLOW, MODFLOW u. ä.)

Die numerische Simulation wird seitens der Genehmigungsbehörde für alle Erdwärmeanlagen > 50 kW gefordert. Für Anlagen zwischen 30 kW und 50 kW, die sich in

sensiblen Lagen aufgrund der baulichen Situation am Standort (kleine Grundstücke, enge Bebauung, benachbarte Geothermieranlagen), der regionalen Grundwasserströmung bzw. Grundwasserfließgeschwindigkeit o. ä. befinden, ist ebenfalls eine Simulationsrechnung erforderlich.

Die thermohydrodynamische Simulation für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren ermöglicht Aussagen über die zu erwartende Temperaturentwicklung im Untergrund sowie Prognosen über thermische Auswirkungen der geplanten Anlage auf die Umgebung unter der Berücksichtigung der tatsächlichen Grundwasserfließbewegungen. Da die Güte der Grundwassermodelle insbesondere von den verfügbaren geologischen und hydrogeologischen Eingangsdaten abhängt, ist hier eine fundierte geologische Expertise erforderlich. Der Aufbau des numerischen Grundwassermodells, die hydraulischen Randbedingungen, sowie die Modelldiskretisierung sind rechtzeitig mit dem Geologischen Landesamt Hamburg abzustimmen.

Die Erdwärmeanlagen dürfen keine Beeinträchtigung der benachbarten Grundstücke hervorrufen, d.h. die Temperaturunterschiede an den Grundstücksgrenzen dürfen max. 1 K zur ungestörten Temperatur betragen. Es gelten die in der Simulation ermittelten Werte in den verschiedenen Modellschichten (observation points). Die Messpunkte werden in die Schichten gelegt, bei denen die größte prognostizierte Abkühlung/Erwärmung erwartet wird. Es werden keine Temperaturmittelwerte verwendet.

Anforderungen an die Anlagenüberwachung (Monitoring)

■ Messstellen

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie für Heiz- und Kühlzwecke führt lokal zu Änderungen im unterirdischen Temperaturhaushalt. Um den prognostizierten Einflussbereich der Erdwärmeanlage zu kontrollieren, sowie die Auswirkung thermischer Veränderungen infolge der Erdwärmennutzung zu erfassen, sollen bei mittleren und größeren Anlagen im Anstrom und im Abstrom des Hauptgrundwasserleiters in der Nähe der Grundstücksgrenzen mindestens jeweils 1 Messstelle erstellt werden. Die Lage der Messstellen wird anhand der Simulationsergebnisse bzw. der geologischen Erkenntnisse bestimmt. Die Tiefe der Messstellen entspricht grundsätzlich der max. Ausbautiefe der Erdwärmesonden. Durch die Überwachung der Wärmenutzung wird langfristig verhindert, dass die unterstromig liegenden Bereiche durch übermäßiges Aufheizen oder Abkühlen des Untergrundes nachteilig beeinflusst werden.

Zum Einsatz kommen hier spezielle Temperaturmessstellen, bestehend aus einem mit Wasser befüllten Vollrohr ohne Filter. Die Anordnung der Temperatursensoren an den Messketten ist von den angetroffenen Untergrundverhältnissen abhängig und wird im Genehmigungsverfahren festgelegt. Grundsätzlich werden mind. 3 Sensoren pro Schicht im Abstand von 2 m – 3 m als ausreichend angesehen. Die Temperaturmessungen erfolgen kontinuierlich in einem festgelegten Rhythmus (üblicherweise jede Stunde) durch Aufzeichnungen mit einem Datenlogger. In Einzelfällen können auch herkömmliche Grundwassermessstellen zur Temperaturüberwachung angeordnet werden. Die diesbezüglichen Qualitätsanforderungen an den Bau und die Bauüberwachung von Grundwassermessstellen sind dem Merkblatt Nr. 3 zur Qualitätssicherung der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft zu entnehmen (<https://www.hamburg.de/merkblaetter-boden-grundwasser/>).

■ Bericht zur Anlagenüberwachung (Monitoringbericht)

Die Auswertung und Interpretation der Daten erfolgt in der Regel einmal jährlich und ist in einem geeigneten Monitoringbericht darzulegen. Bei einer unerwarteten, nachteiligen Beeinflussung der Umgebung, die sich durch den Vergleich der tatsächlichen Benutzung des Grundwassers mit der Prognose sowie durch die Überprüfung der Energiebilanzen ergibt, kann die Wasserbehörde entsprechende Empfehlungen bzw. Verbote für den weiteren Betrieb der Anlage aussprechen. Die genauen Anforderungen an den Monitoringbericht sind dem Anhang 10.5 zu entnehmen.

Bei gewerblich genutzten Anlagen sind die Vorgaben der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) [15] an Geothermieranlagen zu beachten (Einzelheiten siehe Kap. 9.2).

9 Sonstige rechtliche Grundlagen und technische Regelwerke

9.1. Bundesberggesetz

Grundsätzlich gilt Erdwärme, wenn sie ohne Hilfe einer Wärmepumpe genutzt wird, nach § 3 Abs. 3 Satz 2 Nr. 2 b des Bundesberggesetzes (BBergG) [14] als „bergfreier Bodenschatz“. Für die Nutzung bergfreier Bodenschätze ist eine Bewilligung der zuständigen Bergbehörde erforderlich. Eine Erlaubnis oder Bewilligung gemäß BBergG ist nicht erforderlich, wenn:

- die Erdwärme innerhalb eines Grundstückes zur Erwärmung der darauf befindlichen Bebauung genutzt wird,
- die Erdwärmennutzung ohne Beeinflussung von Nachbargrundstücken erfolgt,
- die Sonden bzw. Leitungen einen Mindestabstand von 5 m zur Grundstücksgrenze haben.

In den meisten Fällen wird die Erdwärme jedoch mittels einer Wärmepumpe nutzbar gemacht, so dass sie nicht als bergfreier Bodenschatz gilt und damit bergrechtlich erlaubnisfrei ist. Alle weiteren Erlaubnisverfahren erfolgen auf der Grundlage des Wasserhaushaltsgesetzes.

Unabhängig davon sind Bohrungen, die in eine Tiefe von mehr als 100 m eindringen sollen, nach § 127 BBergG immer bei der zuständigen Bergbehörde (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover) anzuzeigen. Aufgrund dieser Bohranzeige entscheidet die Bergbehörde, ob für die Bohrung ein Betriebsplan nach § 51 ff erforderlich ist. Die Anzeigen können über folgenden Link erfolgen: <http://nibis.lbeg.de/bohranzeige/>

9.2. Vorschriften zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – § 62 WHG und AwSV

In Erdwärmeanlagen können wassergefährdende Stoffe in unterschiedlichem Umfang und mit unterschiedlicher Beschaffenheit eingesetzt werden.

Bei der Nutzung dieser Stoffe zum Betrieb von Erdwärmeanlagen handelt es sich nach der Begrifflichkeit des § 62 Abs. 1 WHG um ein „Verwenden“ der Stoffe. Hiernach gelten die speziellen Vorschriften über den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nur für Anlagen zum Verwenden wassergefährdender Stoffe im Bereich der gewerblichen Wirtschaft und im Bereich öffentlicher Einrichtungen, nicht aber, soweit die Verwendung in privaten Haushalten erfolgt.

Der Umgang mit solchen Anlagen im Bereich der gewerblichen Wirtschaft und öffentlicher Einrichtungen nach § 62 Abs. 1 in Verbindung mit § 23 Abs. 1 WHG ist konkretisiert in der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV). Unterirdische Anlagen, die der AwSV unterliegen, müssen grundsätzlich doppelwandig ausgeführt werden. Für die üblichen einwandigen Bauweisen von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren sind daher in § 35 Abs. 2 AwSV besondere Tatbestände formuliert, unter denen eine Einwandigkeit zulässig ist. Die Anlagen dürfen als unterirdische

Anlagen gemäß § 45 Abs. 1 Nr. 1 AwSV nur von Fachbetrieben nach § 62 AwSV³ errichtet werden. Außerdem sind diese Anlagen nach § 46 in Verbindung mit Anlage 5 oder 6 AwSV vor Inbetriebnahme sowie nach einer wesentlichen Änderung, ansonsten wiederkehrend alle 5 Jahre (in Schutz- und Überschwemmungsgebieten alle 30 Monate) und bei Stilllegung durch einen Sachverständigen nach § 2 Abs. 33 AwSV zu prüfen. Die Prüfungen umfassen die Ordnungsprüfung und die Technische Prüfung. Bei der Ordnungsprüfung ist die Dokumentation der Errichtung einschließlich der Druckprüfung durchzuführen. Im Rahmen der wiederkehrenden Prüfung ist zusätzlich die Dichtheit des Gesamtsystems zu prüfen.

Für Erdwärmeanlagen mit wassergefährdenden Stoffen im privaten Bereich kann im Einzelfall eine Prüfpflicht durch die zuständige Wasserbehörde als Nebenbestimmung in einem wasserrechtlichen Bescheid festgelegt oder gemäß § 100 Abs. 1 Satz 2 WHG angeordnet werden.

In Schutzgebieten gelten besondere Anforderungen an Erdwärmeanlagen. In den Schutz-zonen I und II gilt ein generelles Verbot solcher Anlagen gemäß § 49 Abs. 1 AwSV. In der Schutzzone III dürfen der AwSV unterliegende Anlagen mit Erdwärmesonden nur im Rahmen einer Befreiung errichtet oder erweitert werden, wenn das Wohl der Allgemeinheit dies erfordert oder das Verbot zu einer unzumutbaren Härte führen würde und der Schutzzweck des Schutzgebietes nicht beeinträchtigt wird. Erdwärmekollektoren sind nach § 49 AwSV in Schutzzone III möglich, bedürfen allerdings auch einer Befreiung von den Verboten der Schutzgebietsverordnung.

Die dargestellten Vorschriften von WHG und AwSV zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen werden durch Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren ergänzt (LAWA 2019) [6], siehe auch Kap. 9.5

9.3. Verordnungen über die Hamburger Wasserschutzgebiete

Innerhalb der in Hamburg ausgewiesenen Wasserschutzgebiete gelten für das Herstellen von Bohrungen, den Bau von Brunnen und die Anwendung wassergefährdender Stoffe besondere Vorschriften. Bei der Erdwärmenutzung betrifft dies sowohl die Wärmeträgermittel innerhalb der Sonden, als auch das Kältemittel in der Wärmepumpe. In den Paragraphen 3 bis 5 der jeweiligen Schutzgebietsverordnung [16] bis [21] wird aufgelistet, was in der weiteren Schutzzone III verboten ist. Zusammengefasst sind dies:

- das Einbringen wassergefährdender Stoffe in den Untergrund und deren Verwendung,
- das Betreiben, Errichten und Erweitern von Rohrleitungsanlagen zum Befördern wassergefährdender Stoffe,
- der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen,
- Brunnen zum Aufsuchen und Nutzen von Grundwasser, sofern nicht eine wasserrechtliche Erlaubnis oder Befreiung erteilt ist,
- Bohrungen zum Aufsuchen und Gewinnen von Bodenschätzen (hier auch Erdwärme), Erdgas oder Mineralwasser.

3 Betriebe, die eine Zertifizierung nach DVGW W120-2 aufweisen, können für den Bau geothermischer Anlagen als gleichgeordnet zu Fachbetrieben der AwSV angesehen werden.

Befreiungen von diesen Verboten kann die zuständige Behörde (Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Referat W 12) im Einzelfall erteilen. Voraussetzung hierfür ist, dass eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften wegen besonderer Schutzvorkehrungen nicht zu besorgen sind. Einzelheiten dazu sind in Kapitel 5.2 näher erläutert.

9.4. Standortauswahlgesetz (StandAG)

Gemäß § 21 Standortauswahlgesetz [22] sind Gebiete, die als bestmöglich sicherer Standort für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen in Betracht kommen, vor Veränderungen zu schützen, die ihre Eignung als Endlagerstandort beeinträchtigen können. Nach der am 1.1.2021 in Kraft getretenen Änderung des StandAG und der Veröffentlichung des „Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG“ vom 28.9.2020 der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) sind nur noch Vorhaben mit einer Bohrtiefe von mehr als 100 m einer besonderen Prüfung zu unterziehen, wenn sie

- innerhalb identifizierter Gebiete gemäß § 13 Abs. 1 Satz 2 oder
- innerhalb von Gebieten im Sinne des § 13 Abs. 2 Satz 4, Halbsatz 2, die aufgrund nicht hinreichender geologischer Daten nicht eingeordnet werden können,

liegen.

Die Prüfung auf diese Belange hin erfolgt von Amts wegen durch die Wasserbehörde auf der Grundlage einer gesonderten Stellungnahme des Geologischen Landesamtes. Die Wasserbehörde legt dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) die notwendigen Unterlagen zur Herstellung des Einverständnisses vor. Für die Antragsteller ergeben sich über die im üblichen Antragsverfahren notwendigen Angaben und Unterlagen hinaus keine weitergehenden Pflichten.

9.5. LAWA-Empfehlungen für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren

Auf der 157. Vollversammlung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) am 3./4.4.2019 wurden die Empfehlungen für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren beschlossen [6]. Dieses Papier soll dazu beitragen, die Belange des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei der Nutzung der ressourcen- und klimaschonenden Erdwärme in angemessener Weise und mit der erforderlichen Sorgfalt zu berücksichtigen. Die Empfehlungen gelten auch als Leitlinie für einen möglichst einheitlichen Vollzug in Deutschland.

10 Anhang

10.1. Checkliste

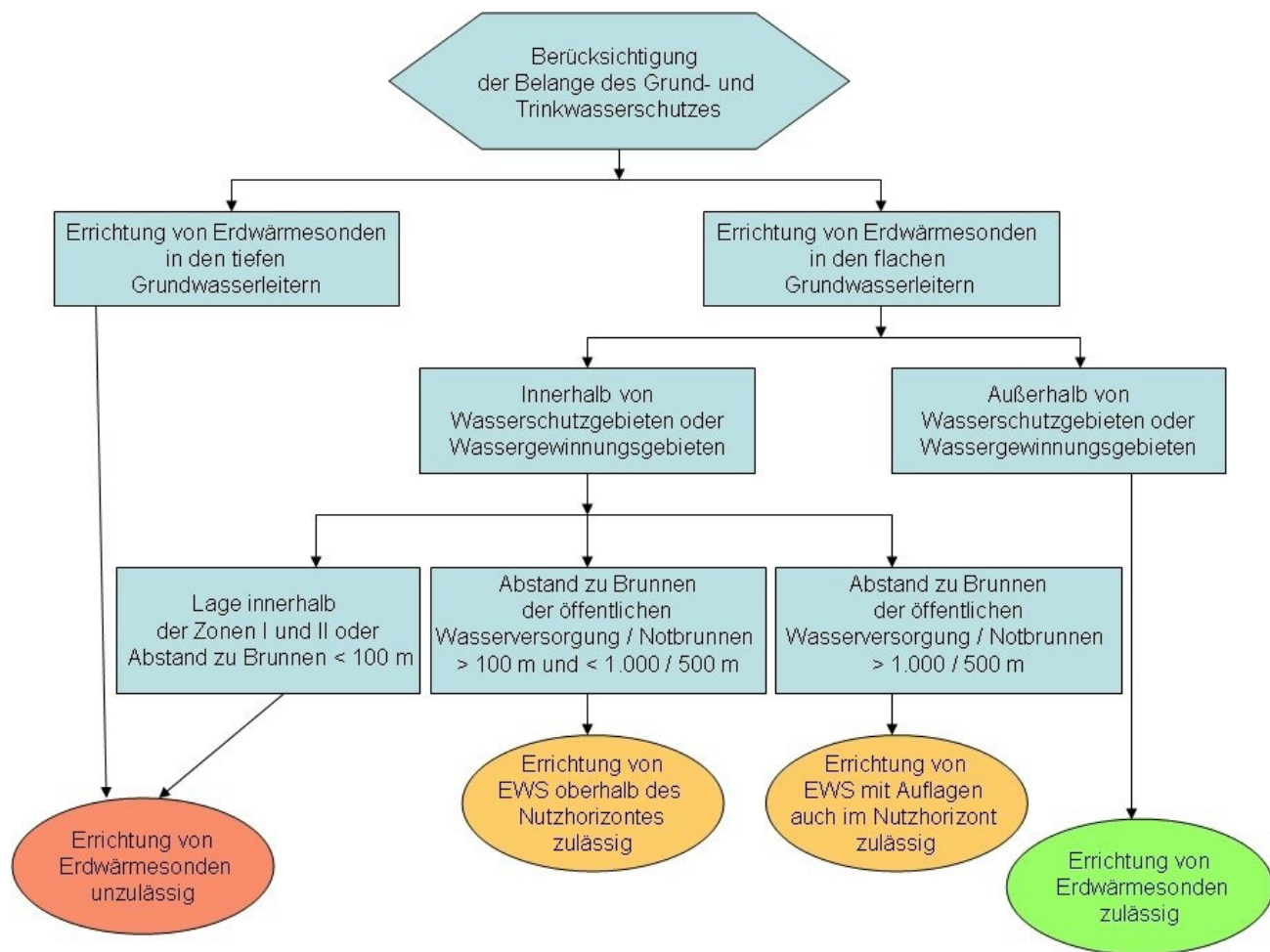
Teil 1: Planung und Erlaubnisverfahren

Frage	Informationen bei:	Was ist zu tun?
Befindet sich mein Grundstück in einem Wasserschutzgebiet (WSG) oder im Wassergewinnungsgebiet?	BUKEA, W 12 Tel.: 4 28 40-33 44 Tel.: 4 28 40-53 20 Tel.: 4 28 40-53 38 www.hamburg.de/wasserschutzgebiete	Wenn ja: Geothermie grundsätzlich nicht zulässig, Befreiungen in Einzelfällen möglich, siehe Kap. 5.2
Liegt mein Grundstück auf oder im Einflussbereich von Altlasten oder Grundwasserunreinigungen?	Verbraucherschutzamt des jeweils zuständigen Bezirksamtes Siehe Kapitel 5.5	Wenn ja: Geothermie grundsätzlich nicht zulässig, evtl. nach Einzelfallprüfung durch Wasserbehörde zulässig
Wurde das Grundstück vom Kampfmittelräumdienst ausgewertet?	Kampfmittelräumdienst (Behörde für Inneres, Feuerwehr, Referat Gefahrenerkundung Kampfmittelverdacht (GEKV), Tel.: 4 28 51-41 15) Siehe Kapitel 5.5	Wenn die Kampfmittelfreiheit des Grundstücks nicht bestätigt ist: Beauftragung eines geeigneten Unternehmens zur Sondierung der Bohrstelle
Wie groß ist die erforderliche Heizleistung?	Fachunternehmen oder Ingenieurbüro Ihrer Wahl Branchenbuch, Internetrecherche, Industrie- und Handelskammer, Ingenieur- und Architektenkammer	Erstellung einer Wärmebedarfsberechnung durch Fachfirma oder Fachbüro.
Wie ist der geologische Untergrund beschaffen? Mit welcher Wärmeleitfähigkeit ist auf meinem Grundstück zu rechnen?	BUKEA, Geologisches Landesamt (GLA) Tel.: 4 28 40-52 60, Tel.: 4 28 40-52 59, gla@bukea.hamburg.de siehe Kapitel 4	Schriftliche Stellungnahme einholen. Darüber hinaus kann mit Zustimmung der BUKEA eine Aufschlussbohrung und/oder ein Thermal Response Test durchgeführt werden.
Wie kann die Erdwärmeanlage optimal dimensioniert werden?	Sanitär- und Heizungsfirma, Fachunternehmen oder Ingenieurbüro Ihrer Wahl, Branchenbuch, Internetrecherche, Industrie- und Handwerkskammer, Ingenieur- und Architektenkammer	Infos aus Kapitel 4 berücksichtigen
Wer baut mir eine Erdwärmesonde? Was kostet das?	Branchenbuch, Internetrecherche, Handwerkskammer	Angebote von Brunnenbaubetrieben einholen. Zertifikat W 120 notwendig.
Wie und wo muss der Bau der Erdwärmeanlage beantragt werden?	BUKEA, W 12 Tel.: 4 28 40-33 44 (innerhalb WSG) Tel.: 4 28 40-53 20/53 38 (außerhalb WSG) Kapitel 7	Ausfüllen des Vordruckes , Beifügen der erforderlichen Unterlagen,

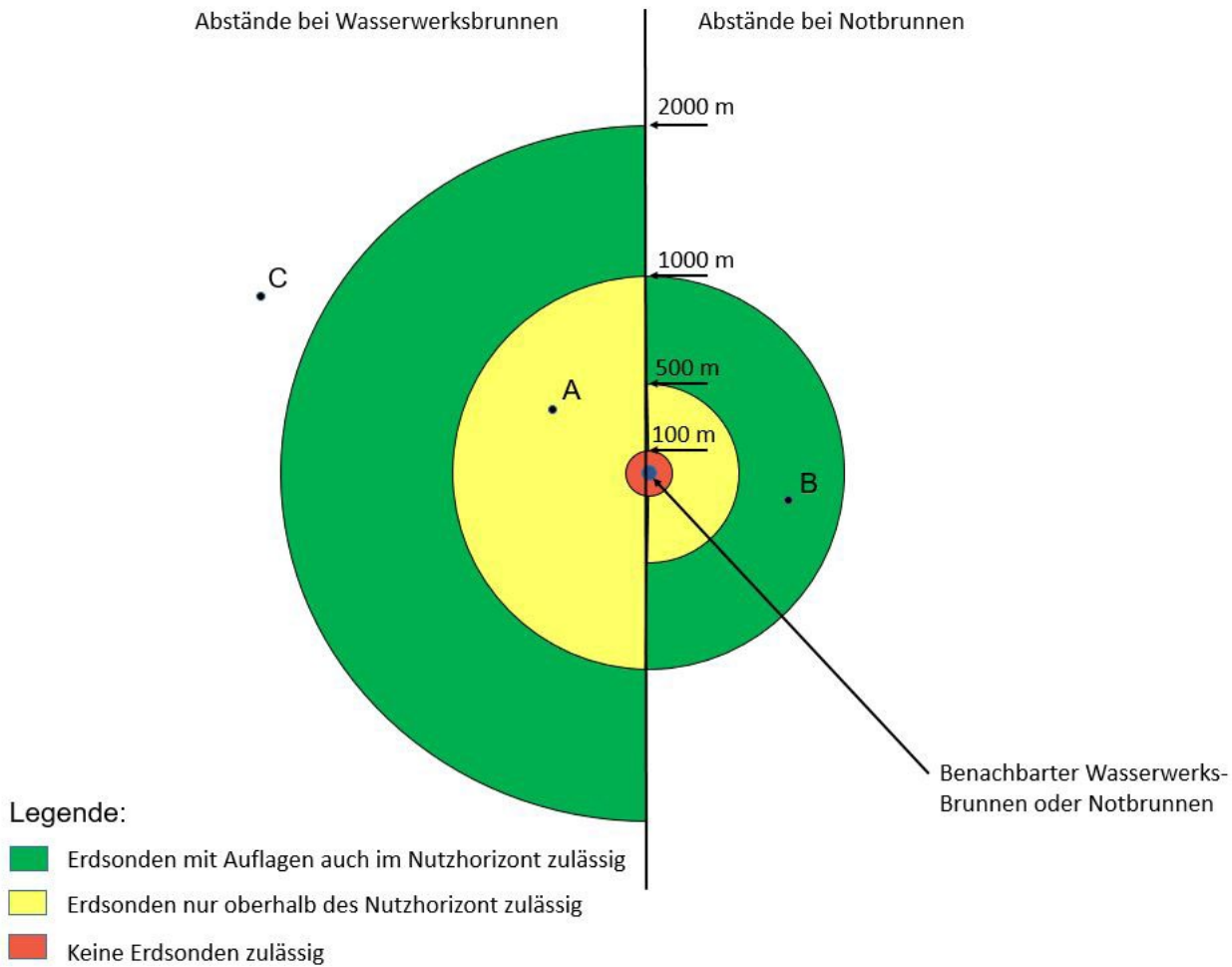
Teil 2: Errichtung der Anlage und Dokumentation

Wann	Worauf ist zu achten?	Wo steht das?
14 Tage vor Beginn der Bauarbeiten	Anzeige aller Bohrungen über das Onlinetool des niedersächsischen Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) http://nibis.lbeg.de/bohranzeige/	Kapitel 6.2
Während der Bohrarbeiten	Entnahme von Bodenproben im Abstand von 5 m oder bei Schichtwechsel, Einsendung der Bodenproben beim GLA unter Beifügung eines Lageplans und vollständig ausgefüllter Schichtenverzeichnisse , Erlaubte Bohrtiefe einhalten!	Kapitel 6.2
Einbau der Erdwärmesonden	Verwendung von Abstandshaltern, Verpressung der Bohrung, Druckprüfung durchführen	Kapitel 6.3 Kapitel 6.4 Kapitel 6.7
Vor Inbetriebnahme der Anlage	Inbetriebnahme der Gesamtanlage frühestens 28 Tage nach Verpressung der Sonden, Druckprüfung des Gesamtsystems durchführen, Funktion aller Bauteile prüfen, Einweisung des Betreibers in die Anlagenbedienung	Kapitel 8.1
Spätestens 4 Wochen nach Fertigstellung der Anlage	Dokumentation der Anlage an BUKEA senden	Wasserrechtliche Erlaubnis und Kapitel 8.4
Spätestens 3 Monate nach Fertigstellung der Anlage	Einsenden des vom GLA testierten Schichtenverzeichnisses an die BUKEA/W12	Wasserrechtliche Erlaubnis
Bei Störungen der Anlage	Absperren der defekten Sonde/n, Information einer Heizungsfachfirma, Meldung eventueller Leckagen bei BUKEA	Wasserrechtliche Erlaubnis

10.2. Fließdiagramm Grund- und Trinkwasserschutz



10.3. Abstandsregelungen für Erdwärmesonden



Beispiele:

- A: Geplanter Sondenstandort ca. 600 m vom Wasserwerksbrunnen entfernt, Farbe gelb
→ Errichtung der Erdwärmesonde ist nur oberhalb des vom Wasserwerksbrunnen genutzten Wasserleiters zulässig
- B: Geplanter Sondenstandort ca. 750 m vom Trinkwassernotbrunnen entfernt, Farbe grün
→ Errichtung der Erdwärmesonde ist mit Auflagen zur Wärmeträgerflüssigkeit auch im vom Trinkwassernotbrunnen genutzten Wasserleiter zulässig
- C: Keine Brunnen im Einflussbereich
→ Errichtung der Erdwärmesonde ist ohne Auflagen in den flachen Wasserleitern zulässig

10.4. Auskünfte aus dem Altlastenhinweiskataster

Informationen darüber, ob sich Ihr Grundstück im Umfeld einer Altlast (z. B. ehemalige Mülldeponie) oder einer bekannten Grundwasserverunreinigung befindet, erhalten Sie als Grundstückseigentümerin/Grundstückseigentümer auf Anfrage unter den hier aufgeführten Mailadressen beim Verbraucherschutzamt Ihres zuständigen Bezirksamtes.

Für telefonische Fragen zum Verfahren steht Ihnen die **Behördennummer 115** zur Verfügung.

Kontaktadressen der Verbraucherschutzämter:

Bezirksamt HH-Mitte:	UmweltschutzMitte@hamburg-mitte.hamburg.de
Bezirksamt Altona:	Umweltschutz@altona.hamburg.de
Bezirksamt Eimsbüttel:	Umweltschutz@eimsbuettel.hamburg.de
Bezirksamt HH-Nord:	Umweltschutz@hamburg-nord.hamburg.de
Bezirksamt Wandsbek:	Umweltschutzabteilung@wandsbek.hamburg.de
Bezirksamt Bergedorf:	Verbraucherschutz@bergedorf.hamburg.de
Bezirksamt Harburg:	Technischer-Umweltschutz@harburg.hamburg.de

10.5. Anforderungen an einen Bericht zur Überwachung von Anlagen größer 30 kW (Monitoringbericht) ⁴

Der Monitoringbericht gibt einen Überblick über die Betriebsweise der Erdwärmeanlage im Verlauf des vergangenen Jahres bzw. der vergangenen Jahre. Er dient dem Nachweis über das Betriebsverhalten und den Einfluss der Anlage auf den Grundwasserhaushalt. Generell ist davon auszugehen, dass eine Einregulierung der Erdwärmeanlage innerhalb eines Zeitraumes von mindestens einem Jahr nach Fertigstellung erforderlich ist. Innerhalb dieses Zeitraumes wird die Anlage auf individuelle Benutzeranforderungen eingestellt. Das Betriebsverhalten und die Auswirkungen auf den Untergrund können sich dadurch erheblich verändern. Die laufend gewonnenen Überwachungsdaten müssen das tatsächliche mittel- bis langfristige Betriebsverhalten der Anlage abbilden, so dass Monitoringberichte im jährlichen Abstand erstellt und vorgelegt werden müssen.

Der Monitoringbericht sollte folgende Informationen und Angaben enthalten:

1. Allgemeines

- Nummer und Titel des Berichts
- Name und Anschrift des Autors/der Autoren
- Inhaber und Datum der wasserrechtlichen Erlaubnis
- Für die Betriebsüberwachung verantwortliche Person(en)
- Berichtszeitraum und Datum der Berichtsverfassung
- Sofern vorhanden: Auflistung von Nummer, Titel, Autor(en) und Datum sämtlicher früherer Monitoringberichte

⁴ In Anlehnung an den niedersächsischen Leitfaden zur Erdwärmenutzung [24]

2. Kurzbeschreibung der Anlage

- Die Kurzbeschreibung der Erdwärmeanlage dient sowohl der Darstellung baulicher als auch betriebsbedingter Charakteristika. Darzustellen sind die Informationen zur tatsächlich realisierten Erdwärmeanlage und deren konkreter Nutzung. Abweichende Nutzungs- und Anlagenparameter sind zu erläutern.
- Chronologie der Erdwärmeanlage: Anlagenerrichtung, Betriebsbeginn, Anlagenerweiterungen, ggf. Betriebsunterbrechungen und Gründe hierfür,
- Anzahl und Länge/Fläche der errichteten/betriebenen Erdwärmesonden/-kollektoren, bzw. Förderbrunnen sowie ggf. Anzahl und Tiefe vorhandener Messstellen,
- Übersichtsplan mit Lage der errichteten/betriebenen Erdwärmesonden/-kollektoren oder Förderbrunnen sowie etwaiger Messstellen,
- Methodik der Messwertaufnahme (wie, wo und unter Zuhilfenahme welcher Messtechnik wurden die beschriebenen Daten gewonnen),
- Betriebsweise der Erdwärmeanlage
 1. Heizbetrieb, Kühlbetrieb oder beides,
 2. mono-/bivalent, monoenergetisch, etc.,
 3. geothermischer Deckungsgrad der Gesamtanlage,
- Änderungen zur genehmigten Nutzung (z. B. zusätzliche Wärmeversorgung eines Erweiterungsbaus, Veränderung Heizwärme-/Kühlbedarf).

3. Darstellung der Rohdaten

Zur Überprüfung des ordnungsgemäßen Betriebs der Anlage ist die Aufnahme, Darstellung und Auswertung spezifischer Betriebsdaten erforderlich. Zur Nachvollziehbarkeit einzelner Prozesse müssen Messwerte in entsprechender Menge und Qualität erhoben werden. Hierzu gehören:

- Stromverbrauch der Erdwärmeanlage in Form von Monatswerten [MWh/a],
- In den Heizkreislauf abgegebene Wärmemenge (Heizwärme) in Form von Monatswerten [MWh/a],
- Vor- und Rücklauftemperaturen der Gesamtanlage bzw. der Förder- und Schluckbrunnen in Form von Stundenwerten [$^{\circ}\text{C}$],
- Temperaturdaten aus Temperatur-/Grundwassermessstellen in Form von Tageswerten [$^{\circ}\text{C}$] und Stichtagsmessdaten jeweils zum Ende der Heiz- und der Kühlperiode (z. B. April und September) als Temperaturprofil über die gesamte Sondentiefe,
- Wärmemenge, die dem Untergrund entnommen wurde, in Form von Monats- und Jahreswerten [MWh/a] (Heizbetrieb),
- Wärmemenge, die in den Untergrund verbracht wurde, in Form von Monats- und Jahreswerten [MWh/a] (Kühlbetrieb).

Die Daten sind auf besondere Anforderung der Wasserbehörde in digitaler Form zu übersenden. Optional sind weitere aufgenommene Parameter (z. B. Ein- und Ausschaltzeiten der Verdichter oder Primärkreispumpe), die die Identifikation und Nachvollziehbarkeit von Fehlern und Problemen ermöglichen, anzugeben.

4. Auswertung und Interpretation der Messdaten

Zur Auswertung und Interpretation sind die gewonnenen Daten des Berichtszeitraumes mit der in der Planungsphase der Anlage prognostizierten Temperaturentwicklung im Untergrund und – sofern vorhanden – mit den Daten vorheriger Betriebsjahre zu vergleichen. Es ist zu prüfen und darzustellen, ob die im Erlaubnisbescheid festgesetzten Temperaturgrenzen eingehalten wurden.

Hierzu sind im Bericht folgende Diagramme zu erstellen:

- Jahresgang der Vor-/Rücklauftemperaturen der Erdwärmeanlage (Gesamtfeld) bzw. der Förder- und Schluckbrunnen- und der Außentemperatur,
- Jahresgang der Erdreich-/Grundwassertemperaturen (Messstellen),
- Darstellung der Temperaturprofile aus den Stichtagsmessungen,
- Gegenüberstellung der geplanten und tatsächlich dem Untergrund entnommenen und in den Untergrund eingebrachten Wärmemengen (Summe monatsweise),
- Vergleich der aktuellen Messwerte mit den Daten der Vorjahre.

In der Betriebsphase einer Erdwärmeanlage kann es zu Abweichungen der tatsächlichen von der prognostizierten Temperaturentwicklung (z. B. durch geändertes Nutzungsverhalten) und zu extremen kurzzeitigen Temperaturverläufen (z. B. durch einen besonders kalten Winter oder durch Ausfall von Systemkomponenten) kommen. Im Rahmen der Interpretation sind insbesondere folgende Aspekte zu behandeln:

- Einstufung und Bewertung der Temperaturmesswerte,
- Erläuterung der Ursachen für etwaige Unterschiede zwischen prognostiziertem und gemessenem Temperaturverlauf,
- Erläuterung und Diskussion der Ursachen für etwaige Extremwerte,
- Prognose der mittel- bis langfristigen Temperaturentwicklung im Untergrund/Grundwasser,
- Empfehlungen zum zukünftigen Betrieb der Anlage und ggf. geplante Maßnahmen zur Korrektur festgestellter ungünstiger Betriebszustände.

10.6. Mittlere Wärmeleitfähigkeitswerte für Hamburg

Aufgrund einer Vielzahl von Wärmeleitfähigkeitsmessungen an ungestörten Bodenproben konnte den verschiedenen Lithologien in Hamburg ein statistisch abgesicherter Wert für die mittlere Wärmeleitfähigkeit zugeordnet werden. Die in der nachfolgenden Tabelle markierten Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeiten wurden für die Darstellung tiefengestaffelter Karten der mittleren Wärmeleitfähigkeit für Sonden bis 40, 60, 80 und 100 m verwendet.

Tabelle 3: Auswertung der Wärmeleitfähigkeitsmessungen für Hamburg (BUKEA, Stand: Juni 2018)

Sand					
		gesamt	Feinsand	Mittelsand	Grobsand-Feinkies
Anzahl		107	36	56	15
Lokationen		57	19	33	5
Mittelwert	W/mK	2,78	2,71	3,02	2,04
Stdabw.		0,54	0,40	0,35	0,72
Min	W/mK	0,57	1,41	1,17	0,57
Max	W/mK	3,63	3,15	3,63	3,18
Median	W/mK	2,91	2,88	2,98	2,21

Geschiebemergel		
		gesamt
Anzahl		30
Lokationen		11
Mittelwert	W/mK	2,87
Stdabw.		0,40
Min	W/mK	1,91
Max	W/mK	3,63
Median	W/mK	2,84

Beckenschluff		
		gesamt
Anzahl		19
Lokationen		9
Mittelwert	W/mK	1,83
Stdabw.		0,37
Min	W/mK	1,31
Max	W/mK	2,82
Median	W/mK	1,73

Ton				
		gesamt	Glimmerton	Lauenburger Ton
Anzahl		47	9	38
Lokationen		6	3	3
Mittelwert	W/mK	1,52	1,64	1,50
Stdabw.		0,25	0,26	0,26
Min	W/mK	1,10	1,40	1,10
Max	W/mK	2,15	2,14	2,15
Median	W/mK	1,47	1,54	1,45

Mudde, Torf					
		gesamt	Mudde	Torf	Torf (eemzeitlich)
Anzahl		34	18	12	4
Lokationen		14	6	7	1
Mittelwert	W/mK	0,80	0,69	0,68	1,69
Stdabw.		0,34	0,14	0,10	0,14
Min	W/mK	0,51	0,53	0,51	1,51
Max	W/mK	1,89	1,16	0,85	1,89
Median	W/mK	0,69	0,69	0,67	1,67

Klei		
		gesamt
Anzahl		22
Lokationen		7
Mittelwert	W/mK	1,17
Stdabw.		0,30
Min	W/mK	0,73
Max	W/mK	1,73
Median	W/mK	1,08

10.7. Fördermöglichkeiten

Zur Erhöhung des Einsatzes erneuerbarer Energien für die Wärmebereitstellung bestehen in Hamburg bzw. durch den Bund einige finanzielle Fördermöglichkeiten. Informationen über die Möglichkeiten der Bezuschussung bzw. der Gewährung zinsgünstiger Kredite sind bei den jeweiligen Institutionen direkt abrufbar. Im Einzelnen sind dies:

- Hamburgische Investitions- und Förderbank (IFB), Förderprogramm „Erneuerbare Wärme“: <https://www.ifbhh.de/foerderprogramm/erneuerbare-waerme> ,
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Anlagen zur Erdwärmenutzung und Wärmepumpen durch zinsgünstige Kredite (Förderprodukt Erneuerbare Energien – Standard): [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-\(270\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/) ,
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Förderung von Anlagen zur Wärmezeugung: https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html .

11 Literaturverzeichnis

- [1] **Merkblätter zur Qualitätssicherung**, Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, 2013–2016
- [2] VDI-Richtlinie 4640, Blatt 1 (2010), Blatt 2 (2019) und Blatt 5 (2020): Thermische Nutzung des Untergrunds, VDI-Handbuch Energietechnik
- [3] DIN 8901: Kälteanlagen und Wärmepumpe – Schutz von Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen und Prüfung; Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2002
- [4] DVGW W 120-1: Qualitätsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau, -regenerierung, -sanierung und -rückbau; Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW), 2012
- [5] DVGW W 120-2: Qualitätsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik und oberflächennahe Geothermie (Erdwärmesonden); Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW), 2013
- [6] **Empfehlungen der LAWA für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren** vom 12.10.2018, beschlossen auf der 157. LAWA-Vollversammlung am 3./4.4.2019 in Gotha
- [7] DIN EN ISO 22475: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung; Teil 2: Qualitätskriterien für Unternehmen und Personal, 2007
- [8] Gesetz zur staatlichen geologischen Landesaufnahme sowie zur Übermittlung, Sicherung und öffentlichen Bereitstellung geologischer Daten und zur Zurverfügungstellung geologischer Daten zur Erfüllung öffentlicher Aufgaben (**Geologiedatengesetz – GeolDG**) vom 19.06.2020 (BGBl. I, S. 1387)
- [9] DIN EN ISO 14688-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung, 2018; Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen, 2017
- [10] DIN V 4279-7: Innendruckprüfung von Druckrohrleitungen für Wasser; Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) – Teil 7, 1994
- [11] **Anpassen der Druckprüfung nach DIN 4279-7 für vertikale Erdwärmesonden aus Polyethylen, Schlussbericht, Ernst Rohner, Geowatt AG, 2005**
- [12] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (**Wasserhaushaltsgesetz WHG**) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I, 2009 Seite 2585ff), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1408)
- [13] DIN 4023: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen; Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2006
- [14] **Bundesberggesetz (BBergG)** vom 13. August 1980 (BGBl. I), zuletzt geändert durch Artikel 237 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I 1980, S. 1310, und 2020, S. 1328)

- [15] **Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)** vom 18. April 2017, zuletzt geändert durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I 2017, S. 905 und 2020, S. 1328)
- [16] **Verordnung über das Wasserschutzgebiet Boursberg** vom 13. Februar 1990, zuletzt geändert durch Artikel §1 Absatz 3 Satz 3 vom 19.06.2020 (HmbGVBl. 1993, S. 228, und 2020, S. 528)
- [17] **Verordnung über das Wasserschutzgebiet Süderelbmarsch/Harburger Berge** vom 17. August 1993, zuletzt geändert durch Artikel §1 Absatz 3 Satz 3 vom 19.06.2020 (HmbGVBl. 1993, S. 228, und 2020, S. 528)
- [18] **Verordnung über das Wasserschutzgebiet Curslack/Altengamme** vom 10. Juni 1997, zuletzt geändert durch Artikel 2 § 3 der Verordnung vom 25.06.2019 (HmbGVBl. 1997, S. 236, und 2019, S. 209)
- [19] **Verordnung über das Wasserschutzgebiet Langenhorn/Glashütte** vom 18. Januar 2000, zuletzt geändert durch Artikel §1 Absatz 3 Satz 3 vom 19.06.2020 (HmbGVBl. 1993, S. 228, und 2020, S.528)
- [20] **Verordnung über das Wasserschutzgebiet Billstedt** vom 19. Dezember 2000, zuletzt geändert durch Artikel §1 Absatz 3 Satz 3 vom 19.06.2020 (HmbGVBl. 1993, S. 228, und 2020, S.528)
- [21] **Verordnung über das Wasserschutzgebiet Eidelstedt/Stellingen** vom 2. Juli 2019, zuletzt geändert durch Artikel §1 Absatz 3 Satz 3 vom 19.06.2020 (HmbGVBl. 2019, S. 212, und 2020, S. 528)
- [22] Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (**Standortauswahlgesetz – StandAG**) vom 5. Mai 2017 (BGBl. I 2017, Nr.26, S. 1074), zuletzt geändert durch Artikel 274 des Gesetzes vom 19. Juni 2020 (BGBl. I 2020, Nr. 60, S. 1328)
- [23] DVS 2207-1, Ausgabe: 2015-08, Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen
– Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE.
- [24] Leitfaden Erdwärmenutzung in Niedersachsen – Rechtliche und technische Grundlagen für erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, GeoBerichte 24, Landesamt für Bergbau Energie und Geologie

Impressum

Herausgeber



Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
Neuenfelder Straße 19, 21109 Hamburg

www.hamburg.de/bukea

V.i.S.d.P.: Jan Dube
Konzept & Text: BUKEA/W12
Gestaltung: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung
Bildnachweis S. 4: F. Besser
Veröffentlichung im Internet unter www.hamburg.de/erdwaermenutzung
Stand: 5. Auflage, 2021
Kontakt: Hartmut Dittrich, Hartmut.Dittrich@BUKEA.hamburg.de