

Michael Tholen
Nikolaos Tougiannidis
Simone Walker-Hertkorn

Arbeitshilfen Geothermie
Grundlagen für Bohr- und
Ausbauarbeiten zur Sicherstellung
eines hohen Qualitätsstandards

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-89554-247-3

Verlag:

wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft
Gas und Wasser mbH
Josef-Wirmer-Straße 3 • 53123 Bonn
Telefon: +49 228 9191-40 • Fax: +49 228 9191-499
info@wvgw.de • www.wvgw.de

Gesamtherstellung:

Siebel Druck & Grafik, Troisdorf
Ein Unternehmen der Limberg-Druck GmbH



© 2022 Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Vervielfältigung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Einführung in die oberflächennahe Geothermie	7
1.2	Wärmequellen einer Wärmepumpe	9
1.2.1	<i>Geschlossenes System – Erdreichkollektor</i>	12
1.2.2	<i>Geschlossenes System – Energiepfahl</i>	15
1.2.3	<i>Geschlossenes System – Erdwärmesonden</i>	17
1.2.4	<i>Offenes System – Geothermische Brunnenanlage</i>	19
1.2.5	<i>Sonderform – Venturi-Sonde</i>	21
1.2.6	<i>Sonderform – Koaxiale Sonde</i>	21
1.2.7	<i>Sonderform – Heat-Pipe/Wärmerohr</i>	22
1.3	Funktionsweise einer Wärmepumpe	24
1.3.1	<i>Prinzip</i>	24
1.3.2	<i>Betriebsweisen eines Wärmepumpensystems</i>	26
1.3.3	<i>Kennzahlen COP; JAZ; SCOP; EER und Bilanzräume</i>	28
2	Genehmigungsverfahren	33
2.1	Wasserrecht	33
2.1.1	<i>Bohranzeige</i>	37
2.2	Bergrecht	37
2.3	Standortauswahlgesetz	39
2.4	Geologiedatengesetz	40
2.5	Allgemeine Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (AwSV)	40
2.6	Gefahrenpotenzial aus Sicht der zuständigen Behörden	41
2.7	Bedeutung der Zertifizierung von Bohrbetrieben nach DVGW-Arbeitsblatt W 120-2	42
2.8	Kontaktdaten und länderspezifische Leitfäden	44
3	Dimensionierung einer Erdwärmesondenanlage	51
3.1	Planungsansätze	51
3.2	Die Bedeutung der Wärmeleitfähigkeit $W/(m \cdot K)$ von Gesteinen	55
3.3	Einflussfaktoren – Geometrie und Abstand der Erdwärmesonden untereinander	57
4	Bohrtechnische und geologische Risiken	61
4.1	Grundlagen	61
4.2	Gefährdungen und Risiken bei der Errichtung einer Erdwärmesonden-Bohrung	64
4.2.1	<i>Durchteufen von verschiedenen Grundwasserhorizonten</i>	66
4.2.2	<i>Anbohren von gasführenden Schichten im Untergrund</i>	70
4.2.3	<i>Schäden bedingt durch oberflächennahen Bergbau</i>	74
4.2.4	<i>Setzungsgefahr durch FlieÙsandvorkommen</i>	74

4.3	Fachspezifische Ausrüstung	75
4.3.1	<i>Schwerspat</i>	75
4.3.2	<i>Erdwärmesondenpacker</i>	75
4.3.3	<i>Sicherheitstechnische Maßnahmen bei Methanausgasungen</i>	77
5	Bohrungen für Erdwärmesonden	79
5.1	Einführung	79
5.1.1	<i>Bohrdurchmesser</i>	79
5.1.2	<i>Bohrverfahren</i>	83
5.1.3	<i>ATV DIN 18301-Bohrarbeiten</i>	85
5.2	Einrichten des Bohrplatzes	87
5.2.1	<i>Festlegung der Bohrpunkte</i>	88
5.2.2	<i>Feststellen von Bohrhindernissen</i>	89
5.2.3	<i>Baustelleneinrichtung</i>	91
5.3	Drehendes direktes Spülbohren	94
5.3.1	<i>Spülung</i>	103
5.3.2	<i>Spülung zum Beherrschen von Artesern</i>	113
5.3.3	<i>Spülsaufbereitung und -entsorgung</i>	116
5.4	Drehschlagendes direktes Spülbohren (Imlochhammerbohren)	122
5.4.1	<i>Ablauf der Bohrung</i>	123
5.4.2	<i>Arbeitsweise von Imlochhämmerern</i>	124
5.4.3	<i>Bohrparameter</i>	126
5.4.4	<i>Doppelkopfbohren</i>	128
5.4.5	<i>Spülbohren mit dem PCD-Meißel</i>	130
6	Bohrprobenentnahme und Ansprache	135
6.1	Bohrprobenentnahme	135
6.2	Probenansprache	141
6.3	Kopfblatt zum Schichtenverzeichnis	144
7	Erdwärmesonden und deren Einbau	149
7.1	Materialarten und Konstruktionen	149
7.2	Umgang mit HDPE-Rohren	153
7.3	Schweißen von HDPE-Rohren	156
7.4	Hinweise zum Sondeneinbau	160

8	Verfüllarbeiten von Erdwärmesonden	165
8.1	Grundlagen	165
8.2	Verpress- bzw. Verfüllbaustoffe	165
8.3	Misch- und Verpresseinrichtungen	170
8.4	Verfüllarbeiten	173
	8.4.1 Ringraumhinterfüllung in Bohrungen mit Verlusten	177
8.5	Kontrolle und Dokumentation der Verfüllarbeiten	177
8.6	Füllstandskontrollmessung respektive automatische Abdichtungskontrollmessung	180
9	Horizontale Anschlussarbeiten	181
9.1	Verlegehinweise zur horizontalen Anbindung	181
9.2	Grab- und Verlegearbeiten	185
9.3	Erdwärmesonden-Sammler	187
9.4	Befüllen und Spülen der Erdwärmesonde	189
	9.4.1 Wärmeträgerfluid – Wasser-Frostschutz-Mischung	190
	9.4.2 Wärmeträgerfluid – Wasser	193
10	Durchfluss und Druckprüfung/Druckabfallprüfung	197
10.1	Vorgehensweise und Ablauf der Prüfung	197
10.2	Ablauf der Druckprüfung	200
11	Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlagen	201
11.1	Einleitung	201
11.2	Voruntersuchung/Erkundungsphase	202
11.3	Wasserprobenentnahme	203
11.4	Förderbrunnen respektive Entnahmebrunnen	204
11.5	Schluckbrunnen	212
11.6	Dichtheit der Anlage	213
11.7	Brunnenabschluss	213
11.8	Betrieb	215
11.9	Projektakte Brunnenanlage	217
11.10	Grundwasserchemismus	219
11.11	Unterirdische Enteisung	220
12	Dokumentation	223
12.1	Schichtenverzeichnis nach DIN EN 22475	224
12.2	Kopfblatt/Bohrablaufprotokoll gemäß DIN EN 22475-1	225
12.3	Bohrprofil und Ausbauzeichnung gemäß DIN 4943 (zeichnerische Darstellung)	226
12.4	Erdwärmesondenprotokoll entsprechend VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2 (2019)	228
12.5	Füllstandskontrollmessung	231

12.6	Druckprüfung für Rohrleitungen aus PE 80, PE 100, PE-X und PVC (Kontraktionsverfahren)	233
12.7	Lageplan mit Lage der Bohrungen und Leitungsführung bzw. Einmessskizze	236
12.8	Durchführungsplan (zumindest ab drei Bohrungen)	237
12.9	Spülungsprotokoll bei Umsetzung einer Spülbohrung	238
12.10	Bilddokumentation	239
13	Kriterien und Inhalte des Qualitätsmanagements für Erdwärmesondenbohrungen	241
13.1	Verfahrensablauf – Einbau und Verfüllung einer Erdwärmesonde	242
14	Geophysikalische Messverfahren	247
14.1	Grundlagen	247
14.2	Thermal Response Test (TRT)	247
	14.2.1 Theoretischer Hintergrund (Kelvinsche Linienquelle)	248
14.3	Temperatur-Tiefen-Profile (TTP)	253
14.4	Kurz-Thermal Response Test (k-TRT)	255
14.5	Sonstige Messungen (EGRT Enhanced Geothermal Response Test)	257
15	Rückbau und Stilllegung von Erdwärmesondenanlagen	261
	Literaturverzeichnis: Normen, Regelwerke und Gesetze	263

1 Einleitung

1.1 Einführung in die oberflächennahe Geothermie

Die VDI-Richtlinie 4640 „Thermische Nutzung des Untergrundes“ definiert den Begriff „Geothermische Energie“ als Energie, die in Form von Wärme unterhalb der Oberfläche der festen Erde gespeichert ist. Als Synonym für Geothermie steht der Begriff Erdwärme. Dabei können oberflächennahe geothermische Anlagen zum Heizen, Kühlen und Speichern von thermischer Energie eingesetzt werden.

Im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern besitzt die Geothermie einen bedeutenden Vorteil: Sie steht unabhängig von Tages- und Jahreszeit oder den herrschenden Klimabedingungen zur Verfügung. Da sie direkt vor Ort zu erschließen ist, sind keine länderübergreifenden Transportsysteme erforderlich. Durch Vermeidung eines konventionellen Verbrennungsprozesses wird am Standort selbst keine CO₂-Emission erzeugt.

Die Energiequellen der Erdwärme sind Sonneneinstrahlung, Niederschläge und geothermischer Wärmefluss aus dem Erdinneren. Die Wärmezufuhr im oberflächennahen Bereich wird hauptsächlich durch Sonneneinstrahlung, Niederschlags- und Sickerwasser, bewegtes Grundwasser und die Leitfähigkeit der Gesteine und nur untergeordnet vom geothermischen Wärmefluss bestimmt. Der Wärmestrom aus dem Erdinneren ist mit 0,05 – 0,12 W/m² relativ gering, im Vergleich dazu werden durch die Sonneneinstrahlung etwa um den Faktor 10.000 ein Wärmefluss von etwa 1.000 W/m² erreicht.

Der zur Erdoberfläche tendierende geothermische Wärmestrom ist bis in Tiefen von über 20 m von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen beeinflusst und nimmt darunter mit der Tiefe hin je nach geothermischen Gradienten zu (vergleiche Abbildung 1.1).

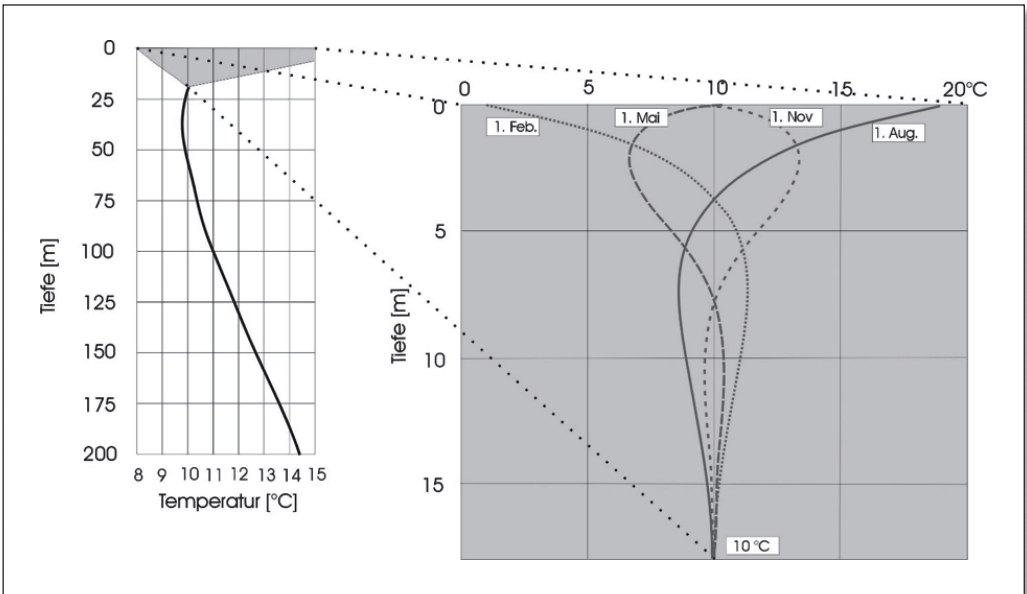


Abb. 1.1 Typischer Temperatur-Tiefen-Verlauf im oberflächennahen Bereich

Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen bilden sich zeit- und phasenverzögert auch im Untergrund ab. In 2 m Tiefe schwanken die Untergrundtemperaturen bei einer mittleren Jahrestemperatur von 9°C zwischen 5 und 16°C, in 6 m Tiefe schwanken die Temperaturen zwischen 8 und 11°C. Mit zunehmender Tiefe wird diese Schwankungsbreite geringer, und unterhalb der sogenannten neutralen Zone liegt ein konstantes Temperaturniveau unabhängig von jahreszeitlichen Schwankungen vor. Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur, diese Temperaturzunahme wird durch den geothermischen Gradienten ausgedrückt. Im Mittel kann ein geothermischer Gradient von etwa 3°/100 m in Deutschland angenommen werden.

Das relativ niedrige Temperaturniveau kann zur Luftvorerwärmung oder passiven Kühlung direkt genutzt werden. Auch sind direkte thermische Nutzungen im Bereich der Kühlung oder über Grund- und Oberflächenwasser möglich. Ansonsten ist dieses Temperaturniveau nicht ausreichend und muss indirekt durch den Einsatz einer Wärmepumpenanlage thermisch nutzbar gemacht werden. Ab Temperaturen von etwa 60–90°C sind dann wieder eine direkte wärmetechnische Nutzung vorstellbar, wenn das über Tiefbrunnen geförderte „Thermalwasser“ in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist werden kann. Ab mehreren Kilometern Tiefe wäre in Deutschland bei Temperaturen ab etwa 90°C auch eine primärenergetische Nutzung (Stromerzeugung) möglich, wobei dies erst ab noch höheren Temperaturen als energetisch effizient angesehen werden kann.

1.2 Wärmequellen einer Wärmepumpe

Um nun das auf niedrigem Temperaturniveau anfallende Wärmepotenzial – vorzugsweise zur Raum- bzw. Brauchwassertemperierung – nutzbar machen zu können, ist der Einsatz einer Wärmepumpenanlage nötig. Die Wärmepumpe transferiert dabei die aus der Umgebung gewonnene Wärme auf ein höheres Temperaturniveau (vergleiche Abbildung 1.2).

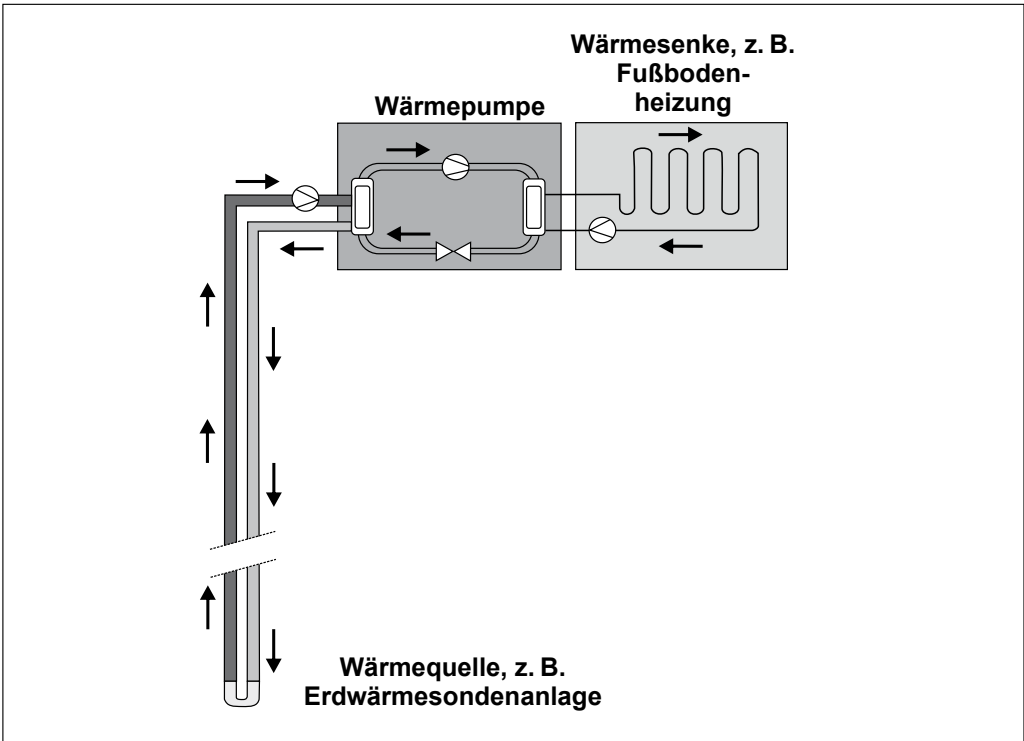


Abb.1.2 Erdgekoppelte Wärmepumpe mit Wärmequellenanlage, Wärmepumpe und Wärmenutzanlage am Beispiel einer Wärmeversorgung über eine Fußbodenheizung

Die Wärmepumpe transferiert dabei mit hoher Effizienz die Energie aus der Wärmequelle und überträgt sie auf einen Sekundärkreislauf, z. B. eine Fußbodenheizung. Drei voneinander abhängige Kreisläufe sind dabei zu unterscheiden:

- die **Wärmequelle** aus den Bereichen Luft – Wasser – Erde (siehe Tabelle 1.1) wird im klassischen Sinne auch als „Kalte Seite“, „Verdampfer Seite“ oder als „Primärkreislauf“ bezeichnet. Dabei wird von einer erdgekoppelten Wärmepumpenanlage gesprochen, wenn dieser Kreislauf in Form einer Erdwärmesonde, eines Erdreichkollektors (hohe Diversität an Formen) oder einer geothermischen Brunnenanlage vorliegt.