

Sondes géothermiques

Sonde geotermiche

Erdwärmesonden

384/6

Referenznummer
SN 546384/6:2021 de

Gültig ab: 2021-05-01

Herausgeber
Schweizerischer Ingenieur-
und Architektenverein
Postfach, CH-8027 Zürich

In der vorliegenden Publikation gelten die männlichen Funktions- und Personenbezeichnungen sinngemäss auch für weibliche Personen.

Allfällige Korrekturen zur vorliegenden Publikation sind zu finden unter www.sia.ch/korrigenda.

Der SIA haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können.

2021-05 1. Auflage

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite		Seite
Vorwort	4	5 Ausführung	30
0 Geltungsbereich	5	5.1 Bohrung	30
0.1 Abgrenzung	5	5.2 Einbau	30
0.2 Normative Verweisungen	5	5.3 Hinterfüllung	31
0.3 Abweichungen	5	5.4 Anschluss der Erdwärmesonde	32
1 Verständigung	6	5.5 Füllen der Erdwärmesonde	32
1.1 Allgemeines	6	6 Prüfungen	33
1.2 Begriffe und Definitionen	6	6.1 Prüfung der Erdwärmesonde	33
1.3 Symbole, Begriffe und Einheiten	11	6.2 Prüfung der Zuleitungen	33
1.4 Indizes	13	6.3 Frostschutz	34
2 Strategische Planung	14	7 Dokumentation	35
2.1 Allgemeines	14	7.1 Planungsdocumentation	35
2.2 Nutzungsarten	14	7.2 Dokumentation auf der Anlage	36
2.3 Standort	14	7.3 Anforderungen an geografische Informationssysteme	36
2.4 Nutzungsvereinbarung	16	8 Betrieb und Wartung	38
2.5 Behördliche Energieplanung	16	8.1 Wartung	38
2.6 Messung thermophysikalischer Parameter	16	8.2 Abweichung des Wärmebedarfs	38
3 Projektierung	18	8.3 Monitoring	38
3.1 Anforderungen an die Auslegung von Erdwärmesonden	18	8.4 Stilllegung	38
3.2 Grundsätze der Systemoptimierung ..	19	Anhang	
3.3 Berechnung der Erdwärmesonden ...	20	A Protokolle	39
3.4 Auslegung und Hydraulikberechnung der Erdwärmesonden-Anlage	22	B Prüfungen	46
3.5 Berücksichtigung künftiger Nachbarsonden	23	C (informativ) Kennwerte	55
4 Anforderungen an Baustoffe und Konstruktion	26	D (informativ) Projektierungs- hinweise	61
4.1 Erdverlegtes Rohrmaterial	26	E (normativ) Ausrüstung der Bohrunternehmung	86
4.2 Verbindungstechnik	27	F (informativ) Ausführung	89
4.3 Abdichtung	27	G (informativ) Publikationen	98
4.4 Wärmedämmung	28	H (informativ) Verzeichnis der Begriffe	100
4.5 Wärmeträger	28		
4.6 Sicherheitseinrichtungen	28		
4.7 Anlageüberwachung	29		

VORWORT

Die vorliegende Norm ist massgebend für Planung, Ausführung und Betrieb von Erdwärmesonden (EWS), die das Wärmepotenzial des Untergrundes zu Heiz- und Kühlzwecken von Gebäuden nutzen. Ziel ist es, die Anforderungen und Qualitätskriterien an das Bauwerk und die Abgrenzung gegenüber anderen Gewerken zu regeln, um dem Bauherrn ein über die gesamte berechnete Nutzungsdauer funktionierendes Gesamtsystem übergeben zu können. Die Norm ist in erster Linie für Planer und Ausführende gedacht, enthält aber auch Hinweise für Bauherren (Kapitel 2, 5, 6 und 7).

Die erstmals im Jahr 2010 publizierte Norm SIA 384/6 hat dazu beigetragen, dass das starke quantitative Wachstum von Erdwärmesonden-Anwendungen auch qualitativ eine adäquate Umsetzung erfahren durfte. Dieses starke Wachstum führte in den letzten Jahren insbesondere in urbanen und verdichteten Wohngebieten zu örtlichen Anwendungshäufungen, die unter anderem auch die langfristige Nutzung von Erdwärmesonden gemäss diesen normativen Rahmenbedingungen tangierten. Insbesondere die Frage der adäquaten Regeneration bzw. der Auswirkung von hohen Wärmeentzugsdichten und den nachbarschaftlichen Auswirkungen ist ein zunehmend wichtiges Kriterium für die behördlichen Raumplanungsfragen im Energiebereich und die eigentliche Auslegung der Erdwärmesonden.

Mit der vorliegenden revidierten Norm wurde nebst kleineren inhaltlichen Präzisierungen und Ergänzungen aus den Erfahrungen der vergangenen knapp zehn Jahre auch die Thematik der hohen Wärmestromdichten unter Berücksichtigung einer auch parzellenübergreifenden und langfristigen Nutzung betrachtet und normativ definiert. Die Verifikation der Auslegungskennwerte zur strategischen Planung von Erdwärmesonden in Gebieten mit hohen Wärmestromdichten und unausgeglichenen Energiebilanzen wurde mit einer im April 2019 von Energie Schweiz (BFE) publizierten Studie parallel zu dieser Normenrevision unterstützt. Mit den verschiedenen Möglichkeiten, strategisch und operativ auf diese zunehmend relevanten Rahmenbedingungen zu reagieren, wurde nun gleichzeitig auch eine Grundlage geschaffen, um die langfristige Entwicklung eines klimabedingt abnehmenden Wärme- und zunehmenden Kühlbedarfs gleichermaßen zu berücksichtigen.

Kommission SIA 384/6

0 GELTUNGSBEREICH

0.1 Abgrenzung

- 0.1.1 Die vorliegende Norm gilt für alle geschlossenen Erdwärmesonden und Erdwärmesondenfelder. Die Nutzung umfasst Wärmeversorgung und Kühlen von Gebäuden, unterirdische Wärmespeicherung, Betrieb mit oder ohne Wärmepumpe, monovalenten Betrieb oder eine Kombination mit anderen Energiequellen (siehe 1.1).
- 0.1.2 Die vorliegende Norm befasst sich mit dem Primärkreis von Sole-Wasser-Wärmepumpen (Erdwärmesondenkreis), wobei der Eingang der Wärmepumpe gemäss den Figuren 30 bis 33 die Systemgrenze bildet. Als Wärmequellen werden lediglich Erdwärmesonden betrachtet.
- 0.1.3 Nicht in dieser Norm behandelt werden Nutzungsarten wie Energiepfähle, Erdregister, Grundwasser-Wärmeübertrager, Erdwärmekörbe oder tiefe Erdwärmesonden. Ebenso ist die Auslegung der Wärmepumpe und des Wärmeverteilungsnetzes nicht Bestandteil dieser Norm.

0.2 Normative Verweisungen

Im Text dieser Norm wird auf die nachfolgend aufgeführten Publikationen verwiesen, die im Sinne der Verweisungen ganz oder teilweise mitgelten. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe (bei SN EN einschliesslich aller Änderungen), bei datierten Verweisungen die entsprechende Ausgabe der betreffenden Publikation.

0.2.1 Publikationen des SIA

Norm SIA 380/1	Heizwärmebedarf
Norm SIA 384/1	Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen
Norm SIA 384/2	Heizungsanlagen in Gebäuden – Leistungsbedarf
Norm SIA 384/3	Heizungsanlagen in Gebäuden – Energiebedarf
Merkblatt SIA 2028	Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik

0.2.2 Internationale Normen

SN EN 805	Wasserversorgung – Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile ausserhalb von Gebäuden
SN EN 1048	Wärmeübertrager – Luftgekühlte Flüssigkeitskühler («Trockenkühltürme») – Prüfverfahren zur Leistungsfeststellung
SN EN ISO 9001	Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen
SN EN 10204:2004	Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen
SN EN ISO 13760	Kunststoffrohre für den Transport von Fluiden unter Druck – Minersche Regel – Berechnungsverfahren für kumulative Schädigungen
SN EN 14511-1	Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und -kühlung – Teil 1: Begriffe
ISO 15105-2	Kunststoffe – Folien und Bahnen – Bestimmung der Gasdurchlässigkeit – Teil 2: Gleichdruck-Verfahren (nur in Englisch oder Französisch erhältlich)
DIN 53380-3	Prüfung von Kunststoffen – Bestimmung der Gasdurchlässigkeit – Teil 3: Sauerstoffspezifisches Trägergas-Verfahren zur Messung an Kunststoff-Folien und Kunststoff-Formteilen

0.3 Abweichungen

Abweichungen von der vorliegenden Norm sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse dies rechtfertigen.

1 VERSTÄNDIGUNG

1.1 Allgemeines

1.1.1 Für die geothermische Energienutzung steht eine breite Palette von Technologien zur Verfügung. Deren Einsetzbarkeit richtet sich vor allem nach dem Temperaturniveau der Wärmequelle im Untergrund. Da die Temperatur mit der Tiefe generell zunimmt, erfolgt die Unterteilung der Nutzungsbereiche in untefe (oberflächennahe) Geothermie und tiefe Geothermie.

1.1.2 Die Tiefenabgrenzung wird generell bei 500 m unter Terrain angenommen.

1.1.3 Figur 1 veranschaulicht die Tiefenbereiche der verschiedenen Nutzungstechnologien und die darin vorherrschenden Temperaturbereiche. Die Figur zeigt, wo Erdwärmesonden in den technischen und geologisch-hydrogeologischen Rahmenbedingungen einzuordnen sind.

Figur 1 Übersicht Erdwärmennutzung, nach [3]

Untiefe (oberflächennahe) Geothermie (ca. 8 °C bis 25 °C)			Tiefe Geothermie (ca. 20 °C bis 200 °C)		
Grundwasserbrunnen mit Wiederversickerung meist < 50 m	Erdkollektoren (z. B. Erdregister, Erdwärmekörbe), Geostrukturen (z. B. Energiepfähle) wenige 10 m tief	Erdwärmesonden ab 10 m bis ca. 500 m	tiefe Erdwärmesonden > 500 m	Hydrothermale Systeme einige 100 m bis > 5000 m tief Hydrothermal Singlet / Dublette Thermalwassergewinnung	Enhanced Geothermal Systems (EGS) bis > 5000 m tief
← offenes System	← geschlossenes System		← offenes System		
← Nutzung durch den Einsatz von Wärmepumpen			← Nutzung mit Wärmeübertrager und direkte Warmwassernutzung		
← Kühlung			← Stromerzeugung mit ORC- oder Kalina-Anlagen Wärme- und Thermalwassernutzung		
			← direkte Nutzung des heissen Wassers Stromerzeugung und Abwärmennutzung		

1.2 Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung der vorliegenden Norm gelten die folgenden Begriffe und Definitionen. Diese Begriffe sind in Anhang H in alphabetischer Reihenfolge in drei Sprachen aufgelistet.

1.2.1 Erdwärmennutzung

- 1.2.1.1 Erdwärme Die im Gestein des Untergrundes natürlicherweise enthaltene sowie die (aktiv) gespeicherte thermische Energie.
- 1.2.1.2 Wärmequelle In der Geothermie wird unter Wärmequelle jedes System zur Nutzung der im Untergrund gespeicherten thermischen Energie verstanden (z. B. EWS).
- 1.2.1.3 Wärmeträger Medium, das im Erdwärmesondenkreis Wärme transportiert, üblicherweise ein Frostschutzgemisch oder Wasser.

1.2.1.4	Erdwärmesonde (EWS)	Doppel-U-Rohr (Duplex-EWS), Koaxialrohr oder U-Rohr (Simplex-EWS), das, hinterfüllt mit einem im Bohrloch verbleibenden Injektionsrohr, in eine bis ca. 500 m tiefe Bohrung eingeführt wird. Die Sondenrohre sind mit einem Wärmeträger gefüllt, der im geschlossenen Kreis der Sonde zirkuliert und so Energie mit dem Erdreich zum Heizen oder Kühlen austauscht.
1.2.1.5	Erdwärmesondenfeld	Erdwärmesonden-Anlage mit mehreren gleichzeitig genutzten EWS.
1.2.1.6	Geocooling	Kühlung durch direkte Abgabe der Gebäudewärme über einen Wärmeübertrager und die Erdwärmesonde ins Erdreich oder ins Grundwasser.
1.2.1.7	Geothermischer Deckungsgrad f_{geo}	Anteil geothermischer Heizsysteme in einem Quartier am Ende des Betrachtungszeitraums. Wert zwischen 0 und 1.
1.2.1.8	Geothermischer Zubauanteil f_{ZB}	Anteil geothermischer Heizsysteme in einem Quartier, der während des Betrachtungszeitraums zusätzlich gebaut wird. Wert zwischen 0 und 1.
1.2.1.9	Geothermischer Bestandsanteil f_{50m}	Anteil bereits bestehender, geothermischer Heizsysteme in einem Quartier (in einem Betrachtungsradius von 50 m). Wert zwischen 0 und 1.
1.2.1.10	Frostgrenze	Die Tiefe unter der Erdoberfläche, unter der es nicht mehr zu natürlicher Eisbildung kommt.
1.2.2	Erdwärmesonden-Anlage	
1.2.2.1	Erdwärmesondenrohr	Doppel-U-Rohr, U-Rohr oder Koaxialrohr.
1.2.2.2	Sondenfuss	Unteres Endstück einer EWS. Bei U-Rohr-Erdwärmesonden ist der Sondenfuss ein Rohrstück mit einer 180°-Umlenkung.
1.2.2.3	Sondenkopf	Oberes Ende der Erdwärmesonde.
1.2.2.4	Erdwärmesondenkreis	Besteht aus der Erdwärmesonde und deren Anbindung an die Wärmepumpe bzw. den Wärmetauscher; darin zirkuliert der Wärmeträger. Wird auch als Solekreis bezeichnet.
1.2.2.5	Sondenvorlauf	Aus der Erdwärmesonde fliessender Wärmeträger.
1.2.2.6	Sondenrücklauf	In die Erdwärmesonde zurückfliessender Wärmeträger.
1.2.2.7	Umwälzpumpe	Pumpe zur Aufrechterhaltung der Wärmeträgerzirkulation.
1.2.2.8	Expansionsgefäss	Gefäss zum Ausgleich von Volumenänderungen im Kreislauf.
1.2.2.9	Fülldruck	Druck im Erdwärmesonden-System.
1.2.2.10	Gesamtsystem	Erdwärmesondenkreis sowie Wärmepumpe und Heizverteilung einschliesslich aller Komponenten im hydraulischen Kreislauf.
1.2.2.11	Tichelmann-System	Rohrführungsart, bei der die Summe der Längen von Vorlaufleitung und Rücklaufleitung bei jedem Anschluss etwa gleich ist.
1.2.2.12	Normlänge der Erdwärmesonde $L_{BHE,N} \mid m$	Länge (Tiefe) der Erdwärmesonde bei Normbedingungen (siehe D.4.2 und D.4.3),

1.2.2.13	Bohrlochwiderstand R_b K·m/W	Thermischer Widerstand, den die Erdwärmesonde inklusive Hinterfüllung dem Energieaustausch mit dem Erdreich entgegensetzt.
1.2.2.14	Interner Bohrloch- widerstand R_a K·m/W	Thermischer Widerstand zwischen Steig- und Fallleitung der EWS.
1.2.2.15	Effektiver Bohrloch- widerstand $R_{b,eff}$ K·m/W	Scheinbarer thermischer Widerstand, inklusive Berücksichtigung des internen Bohrlochwiderstandes R_a über die Sondenlänge.
1.2.3	Geologie	
1.2.3.1	Geologische Struktur	Schichtungs- oder deformationsbedingte Struktur des Untergrundes.
1.2.3.2	Lithologie	Beschreibung der Gesteinsschichten. Vielfach wird darunter auch der vertikale Aufbau der Gesteinsschichten in einem geologischen Bohrprofil verstanden.
1.2.3.3	Grundwasser	In den Poren oder Klüften des Untergrundes gespeichertes oder zirkulierendes Wasser.
1.2.3.4	Arteser	Selbständig austretendes Wasser aus einem Bohrloch, weil die Grundwasser-Druckhöhe über der Geländeoberfläche liegt.
1.2.3.5	Geologisches Bohrprofil	Beschreibung der angetroffenen geologischen Verhältnisse (Gesteinsbeschreibungen, Zuordnung zu geologischen Einheiten). Grundlagen dafür sind die vom Bohrmeister entnommenen Proben, das Bohrprotokoll und weitere geologische Grundlagen wie Karten und Publikationen.
1.2.3.6	Geologische, anthropogene Gefahren	Künstliche Risiken für Bauten im Erdreich, z. B. belasteter Standort, Werkleitungen, Tunnel.
1.2.3.7	Geologische, geogene Gefahren	Natürliche Risiken für Bauten im Erdreich, z.B. artesisch gespanntes Grundwasser, Gasvorkommen, grundbruchgefährdete Schichten, instabile Schichten, stark zerklüftetes Gebirge, Geröll, Sedimente mit einzelnen Findlingen, Bergsturz- oder Rutschgebiete, quellende Gesteinsschichten wie Anhydrit oder Bentonit.
1.2.3.8	Grundbruch	Überschreitet der Gebirgsdruck oder der Grundwasserdruck (hydraulischer Grundbruch) die Stützkraft der Bohrlochwand, bricht das Bohrloch zusammen. Dieser Grundbruch kann sich bis zur Oberfläche fortpflanzen und zu Senkungen führen.
1.2.3.9	Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	Wärmestromdichte in einem homogenen Stoff bei einem Temperaturgefälle von einem Kelvin pro Meter unter stationären Verhältnissen.
1.2.3.10	Effektive Wärme- leitfähigkeit λ_{eff} W/(m·K)	In situ (z. B. mit TRT) ermittelte Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Länge der Erdwärmesonde. Dabei sind auch nicht erfasste Einflussfaktoren, z.B. Grundwasser, implizit berücksichtigt, solange der Wärmetransport als Wärmeleitung betrachtet werden kann.
1.2.3.11	Spezifische Wärme- kapazität c J/(kg·K), Wh/(kg·K)	Wärmeenergiemenge, welche notwendig ist, um die Temperatur von 1 kg Masse um 1 K zu erhöhen.

1.2.3.12	Geothermische Wärmestromdichte $q_{geo} \mid \text{W/m}^2$	Geothermischer Wärmefluss pro m^2 .
1.2.3.13	Thermal Response Test, TRT	Mit diesem Testverfahren wird die effektive mittlere Wärmeleitfähigkeit λ_{eff} über die gesamte Länge einer EWS ermittelt.
1.2.4	Bohrung	
1.2.4.1	Bohrprotokoll	Dokumentation über die Ausführung der Bohrung. Es wird vom Bohrmeister erstellt und enthält technische Angaben zur Ausführung der Bohrung (Ablauf, eingesetztes Material) sowie zum angetroffenen Material und Grundwasser. Es ist bei jeder Bohrung erforderlich (siehe A.1).
1.2.4.2	Bohrklein	Durch den Bohrprozess zertrümmertes Gestein, das mit der Bohrspülung zur Erdoberfläche gebracht wird.
1.2.4.3	Hinterfüllung	Material zum Auffüllen des Hohlraums zwischen Erdwärmesondenrohren und Bohrlochwand.
1.2.4.4	Bohrlochpacker	Eine in das Bohrloch eingeführte, mechanische oder hydraulische Abdichtung gegen artesisch aufstossendes Wasser oder Gas. Verbleibt der Bohrlochpacker im Bohrloch, kann über die abgesperrte Strecke keine Erdwärmesonde mehr eingebaut werden.
1.2.4.5	Erdwärmesondenpacker	Eine um eine Erdwärmesonde befestigte, mechanische oder hydraulische Abdichtung gegen artesisch aufstossendes Wasser oder Gas.
1.2.4.6	Strumpf	Eine vom Sondenfuss oder einer Dichtmanschette bis auf eine bestimmte Höhe eingeführte Vorrichtung, die das Weglaufen der Suspension in Klüfte und durchlässige Schichten verhindert.
1.2.4.7	Thixotropie	Eigenschaft von gewissen Flüssigkeiten, im Ruhezustand zähflüssiger zu sein als unter Bewegung.
1.2.5	Energie	
1.2.5.1	Bedarfsprofil $Q_{avg} \mid \text{kWh}$	Wärme-/Klimakältebedarf des Gebäudes in Funktion der Zeit.
1.2.5.2	Belastungsprofil $Q_{avg,BHE} \mid \text{kWh}$	Wärme-/Kühlbelastung der Erdwärmesonde in Funktion der Zeit.
1.2.5.3	Jahreswärmebedarf $Q_{an} \mid \text{kWh}$	Wärme, die dem System in einem Jahr zugeführt werden muss. Sie setzt sich aus Heizwärmebedarf, Warmwasserbedarf usw. zusammen.
1.2.5.4	Jahreswärmebedarf für Warmwasser $Q_W \mid \text{kWh}$ bzw. $q_W \mid \text{kWh/m}^2$	Wärme, die während eines Jahres notwendig ist, um die benötigte Menge Warmwasser auf die Solltemperatur zu erwärmen, absolut oder bezogen auf die Energiebezugsfläche.
1.2.5.5	Regenerationsrate f_{BHE}	Verhältnis von aktivem Wärmeeintrag in die Erdwärmesonden zum Wärmeentzug (bilanziert innerhalb eines Jahres).

1.2.6	Leistung	
1.2.6.1	Heizleistung Φ_c W	A) Kondensatorleistung der Wärmepumpe, Abgabeleistung des Heizgeräts. B) Leistung, die für die Beheizung des Gebäudes notwendig ist.
1.2.6.2	Heizleistung der WP im Auslegepunkt $\Phi_{HP,c}$ W	Leistung der Wärmepumpe im Auslegepunkt. Der Auslegepunkt definiert sich über die Heizungsvorlauf- und die Wärmeträgertemperatur bei der tiefsten Aussentemperatur.
1.2.6.3	Norm-Heizlast Φ_{HL} W	Wärmestrom, der für das Einhalten der festgelegten Sollbedingungen erforderlich ist.
1.2.6.4	Norm-Kühlleistung Φ_c W	Kühlleistung, die für das Einhalten der festgelegten Sollbedingungen erforderlich ist.
1.2.6.5	Kälteleistung Φ_e W	A) Verdampferleistung der Wärmepumpe. B) Leistung, die für die Gebäudekühlung notwendig ist.
1.2.6.6	Spezifische Entzugsleistung P_{BHE} W/m	Leistung, die dem Boden pro Meter Sondenlänge entzogen wird. Sie ist abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Untergrundes. Sie ergibt sich aus dem Produkt des Massenstroms, der Differenz aus Vor- und Rücklauf-temperatur und der spezifischen Wärmekapazität des Wärmeträgers.
1.2.6.7	Spezifische hydraulische Leistung $P_{hy,sp}$ W/m	Spezifische Leistung für das Transportieren eines Wärmeträgers durch eine Leitung pro Meter Sondenlänge.
1.2.7	Volllaststunden	
1.2.7.1	Volllaststunden pro Jahr t_{an} h	Verhältnis des jährlichen Wärmebedarfs (Nutzenergie plus Verlustenergie) in kWh zur Heizleistung des Wärmeerzeugers bei Volllast in kW. Analoges gilt für die Berechnung der Volllaststunden für den Kältebedarf.
1.2.7.2	Volllaststunden Heizung $t_{an,H}$ h	Volllaststunden zur Deckung des Heizwärmebedarfs (inkl. Verlustenergie) pro Jahr.
1.2.7.3	Norm-Volllaststunden Heizung $t_{an,N}$ h	Volllaststunden bei einem Wärmeerzeuger, welcher der Leistung der Norm-Heizlast entspricht.
1.2.8	Temperatur	
1.2.8.1	Mittlere Jahresaussenlufttemperatur $\theta_{e,avg}$ °C	Durchschnitt der Aussenlufttemperatur über ein Jahr.
1.2.8.2	Bodenoberflächen-temperatur $\theta_{G,s}$ °C	Temperatur an der Erdoberfläche.
1.2.8.3	Bodentemperatur θ_G °C	Temperatur im Untergrund.
1.2.8.4	Temperaturgradient $\nabla\theta_G$ K/m	Temperaturänderung pro Meter in vertikaler Richtung.
1.2.8.5	Bodentemperatur-differenz $\Delta\theta_G$ K	Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Bodentemperatur entlang der EWS und der mittleren Wärmeträgertemperatur beim Auslegepunkt.

1.2.8.6	Auslegetemperatur EWS $\theta_{BHE,50}$ °C	Tiefste Betriebstemperatur (Erdwärmesondentemperatur, 1.2.8.7) der Erdwärmesonde im Heizbetrieb bzw. höchste Betriebstemperatur im Kühlbetrieb während 50 Betriebsjahren.
1.2.8.7	Erdwärmesonden- temperatur θ_{BHE} °C	Mittelwert zwischen der EWS-Eintritts- und Austrittstemperatur.
1.2.8.8	Warmwassertemperatur θ_w °C	Bei der Trinkwarmwassererwärmung geforderte Temperatur.
1.2.8.9	Kaltwassertemperatur θ_w °C	Temperatur des Leitungswassers.

1.3 Symbole, Begriffe und Einheiten

Symbol	Begriff	Einheit
A_E	Energiebezugsfläche	m ²
AFF	anrechenbare, nicht bebaubare Fläche	m ²
ASF	anrechenbare Strassenfläche	m ²
c	spezifische Wärmekapazität	J/(kg·K)
c_w	spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/(kg·K)
De	Aussendurchmesser	mm
E_C	Kriechmodul	N/mm ²
f_{BHE}	Regenerationsrate	–
f_{geo}	geothermischer Deckungsgrad am Ende des Betrachtungszeitraums	–
f_{ZB}	geothermischer Zubauanteil an benachbarten Erdwärmesonden	–
f_{50m}	geothermischer Bestandsanteil an Erdwärmesonden	–
GSF, GSF_{eff}	Grundstückfläche, korrigierte Grundstückfläche	m ²
h_S	Höhe des Standorts über Meer	m ü. M.
$L_{BHE}, L_{BHE,N}$	Länge der Erdwärmesonde, Normlänge der Erdwärmesonde	m
P_{BHE}	spezifische Entzugsleistung der EWS	W/m
P_{GSF}	grundstückflächenbezogener Wärmeentzug	kWh/m ²
$P_{hy,sp}$	spezifische hydraulische Leistung	W/m
p_{max}	maximaler Druck	bar
p_p	Vordruck	bar
Q_a	Jahreswärmebedarf	kWh
Q_C	Klimakältebedarf	kWh
Q_H	Heizwärmebedarf	kWh
$Q_{H,li}$	Grenzwert für Heizwärmebedarf	kWh
$Q_{avg}, Q_{avg,BHE}$	Bedarfsprofil, Belastungsprofil	kWh
Q_w	Wärmebedarf Warmwasser	kWh
$Q_{w,d}$	Warmwasserbedarf pro Tag	kg, l
q_w	Wärmebedarf Warmwasser pro m ² EBF	kWh/m ²
R_b	Bohrlochwiderstand	K·m/W
S	Sicherheitsfaktor	–
$t_{an}, t_{an,H}$	Volllaststunden, Volllaststunden Heizung	h
$t_{an,HP,tot}$	Volllaststunden für Gesamtsystem	h
$t_{an,N}$	Norm-Volllaststunden	h
T_0	Ausgangstemperatur bei einer Erwärmung	K
T_1	Endtemperatur bei einer Erwärmung von T_0 zu T_1	K

Symbol	Begriff	Einheit
V_{BHE}	Inhalt des Erdwärmesonden-Systems	l
$V_{exp,min}$	minimales Volumen des Expansionsgefässes	l
V_0	Volumen bei einer Temperatur von T_0	m ³
\dot{V}	Volumenstrom	m ³ /s
w	Geschwindigkeit (Strömung)	m/s
γ_{exp} (Gamma)	Ausdehnungskoeffizient des Volumens	1/K
$\Delta\theta_G$ (Delta)	Bodentemperaturdifferenz	K
ΔV	Volumenzunahme bei Erwärmung von T_0 zu T_1	m ³
$\Delta V/V_0$	volumetrische Ausdehnung bei Erwärmung von T_0 zu T_1	–
η_{exp} (Eta)	Nutzungsgrad des Expansionsgefässes	–
η_{Pu}	Wirkungsgrad der Umwälzpumpe	–
θ_{BHE} (Theta)	Erdwärmesondentemperatur	°C
$\theta_{BHE,ret}$	Austrittstemperatur aus der EWS	°C
$\theta_{BHE,su}$	Eintrittstemperatur in die EWS	°C
$\theta_{BHE,50}$	Auslegetemperatur der EWS	°C
$\theta_{e,avg}$	mittlere Jahresausserlufttemperatur	°C
θ_G	Bodentemperatur	°C
$\theta_{G,s}$	Bodenoberflächentemperatur	°C
$\theta_{G,s,C}$	Bodenoberflächentemperatur Kühlfall	°C
$\theta_{G,s,H}$	Bodenoberflächentemperatur Heizfall	°C
θ_W	Warmwassertemperatur	°C
θ_w	Kaltwassertemperatur	°C
λ (Lambda)	Wärmeleitfähigkeit (physikalischer Wert)	W/(m·K)
λ_{eff}	effektive mittlere Wärmeleitfähigkeit (gemessener Wert)	W/(m·K)
$\rho \cdot c$ (Rho)	volumetrische Wärmekapazität	J/(m ³ ·K)
σ (Sigma)	Materialspannung	N/mm ²
Φ_C (Phi)	Norm-Kühlleistung	W
Φ_c	Heizleistung der Wärmepumpe, Kondensatorleistung	W
Φ_{BHE}	Entzugsleistung der EWS	W
Φ_e	Verdampferleistung, Kälteleistung	W
Φ_{HL}	Norm-Heizleistung	W
$\Phi_{HP,c}$	Heizleistung der WP im Auslegepunkt	W
$\Phi_{hy,sp,BHE}$	spezifische hydraulische Leistung pro Sondenlänge	W/m
$\Phi_{Pu,el}$	elektrische Pumpenleistung	W
$\nabla\theta_G$	Temperaturgradient	K/m

1.4 Indizes

Index	deutsch	englisch	französisch
<i>an</i>	jahresbezogen	annual	annuel
<i>avg</i>	durchschnittlich, mittel	average	moyen
<i>b</i>	Bohrloch	borehole	forage
<i>BHE</i>	Erdwärmesonde	borehole heat exchanger	sonde géothermique
<i>C</i>	Kühlung	cooling	refroidissement
<i>c</i>	Kondensator	condenser	condenseur
<i>D</i>	Taupunkt	dew point	point de rosée
<i>d</i>	pro Tag	daily	par jour
<i>e</i>	aussen	external	extérieur
<i>e</i>	spezifisch	specific	spécifique
<i>e</i>	Verdampfung	evaporation	évaporation
<i>e</i>	zusätzlich	extra	complémentaire, supplémentaire
<i>eff</i>	Effektivwert, Messwert	effective value	valeur effective
<i>el</i>	elektrisch	electrical	électrique
<i>exp</i>	Expansionsgefäss	expansion vessel	vase d'expansion
<i>G</i>	Erdreich	ground	terrain
<i>GSF</i>	Grundstückfläche	plot area	surface de parcelle
<i>H</i>	Heizung	heating	chauffage
<i>HL</i>	Heizlast	heating load	charge thermique
<i>HP</i>	Wärmepumpe	heat pump	pompe à chaleur
<i>HW</i>	Heizung und Warmwasser	heating and domestic hot water	chauffage et eau chaude sanitaire
<i>hy</i>	hydraulisch	hydraulic	hydraulique
<i>i, j, k</i>	Hilfsindizes	indices	indices auxiliaires
<i>max</i>	maximal	maximum	maximum
<i>m</i>	monatlich	monthly	mensuel
<i>min</i>	minimal	minimal	minimum
<i>N</i>	Norm	standard	nominal
<i>P</i>	Druck	pressure	pression
<i>p</i>	Vordruck	primary pressure	pression d'entrée
<i>Pu</i>	Pumpe	pump	pompe
<i>ret</i>	Rücklauf	return	retour
<i>S</i>	Standort	site	site
<i>s</i>	Oberfläche	surface	surface, aire
<i>sp</i>	spezifisch	specific	spécifique
<i>su</i>	Vorlauf	supply	aller
<i>tot</i>	total	total	total
<i>W</i>	Warmwasser	domestic hot water	eau chaude sanitaire
<i>w</i>	Wasser	water	eau
Δ	Differenz	difference	différence

2 STRATEGISCHE PLANUNG

2.1 Allgemeines

- 2.1.1 Bei der Projektierung einer Erdwärmesonden-Anlage ist immer das Gesamtsystem der Wärme- und Kälteerzeugung in die Planung einzubeziehen.
- 2.1.2 Die Einsatztemperaturen und Richtwerte für Wärmepumpen gelten gemäss SIA 384/1.

2.2 Nutzungsarten

2.2.1 Allgemein

- 2.2.1.1 Erdwärmesonden-Systeme eignen sich sowohl für Heiz- als auch für Kühlzwecke. Im ersten Fall wird dem Untergrund Wärme entzogen (Wärmeentzug), im zweiten Fall wird Wärme in den Untergrund eingebracht.
- 2.2.1.2 Erdwärmesonden mit Wärmeentzug ermöglichen Nutzungen wie Raumheizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung (Vorwärmung) und Sonderanwendungen (z.B. Schwimmbad, Industrieprozesse).
- 2.2.1.3 Erdwärmesonden mit Wärmeeintrag ermöglichen Nutzungen wie Abgabe von Wärme oder Abwärme aus Raumkühlung, Lüftung, Solaranlagen, Industrieprozessen oder Luftentfeuchtung.
- 2.2.1.4 Werden der Wärmeentzug und der Wärmeeintrag kombiniert, funktioniert das Erdwärmesonden-System als Speicher.
- 2.2.1.5 Die Tiefe, die Anzahl und der Abstand der Erdwärmesonden müssen so dimensioniert werden, dass die erforderlichen Leistungen und Energiemengen für Heizen und Kühlen über die gesamte Nutzungsdauer der Erdwärmesonden-Anlage bereitgestellt werden können. Dies kann mehrere Wärmepumpengenerationen umfassen (siehe 3.2.3).

2.2.2 Bedarfsprofil

- 2.2.2.1 Grundlage für die Dimensionierung von Erdwärmesonden sind ein Energie-Bedarfsprofil des Gebäudes und die maximale Entzugs- und Einspeiseleistung in die Sonden (Kapitel 3).
- 2.2.2.2 Ein realitätsnahes Bedarfsprofil ist für die Auslegung essenziell. Für den Heizwärmebedarf kann SIA 380/1 mit den effektiv geplanten Raumtemperaturen verwendet werden. Für die Auslegung ist das Belastungsprofil unter Berücksichtigung der Verdampferleistung zu verwenden.
- 2.2.2.3 Neben der Energiebilanz der Erdwärmesonden ist für die Auslegung zusätzlich die maximale Entzugsleistung (Eintragsleistung) massgebend. Für den Heizbedarf ist in diesem Sinne die maximal auftretende Verdampferleistung massgebend, summiert über alle Wärmepumpen, die gleichzeitig in Betrieb sein können.

2.3 Standort

2.3.1 Klima

Das Klima hat als standortabhängiger Faktor einen entscheidenden Einfluss auf die mögliche Entzugs- und Eintragsleistung von Erdwärmesonden. Bei der Dimensionierung von Erdwärmesonden-Anlagen sind die Daten einer in derselben Klimaregion gelegenen Klimastation mit ähnlicher Höhenlage und topografischer Lage zu verwenden.

2.3.2 **Thermophysikalische Parameter**

- 2.3.2.1 Mit der Geologie variieren auch die physikalischen Gesteinseigenschaften und damit die spezifische Entzugsleistung an einem bestimmten Standort. Hieraus resultieren für eine definierte Entzugsleistung unterschiedliche Bohrtiefen für Erdwärmesonden. Für die Projektierung einer Erdwärmesonden-Anlage sind daher Kenntnisse über die zu erwartenden thermophysikalischen Eigenschaften des Standorts erforderlich.
- 2.3.2.2 Die massgebenden thermophysikalischen Parameter sind Wärmeleitfähigkeit und Bodentemperatur. Die sekundären Parameter sind Wärmekapazität und Gesteinsdichte.
- 2.3.2.3 Es werden unterschiedlich aufwendige Verfahren zur Bestimmung der Parameter eingesetzt, siehe 2.6. Zusätzliche Angaben zu den thermophysikalischen Parametern sind in Anhang C enthalten.
- 2.3.2.4 Für die Planung der Bohrungen ist eine Prognose der Felstiefe, der Beschaffenheit des Lockergesteins und des zu erwartenden Grundwasservorkommens (Schottergrundwasser, Felsgrundwasser, artesisch gespanntes Grundwasser usw.) erforderlich. Je nach Prognose sind entsprechende Anforderungen an die Bohrtechnik und die Ausrüstung der Bohrfirma zu stellen.

2.3.3 **Platzierung der Erdwärmesonden**

- 2.3.3.1 Die Bohrstandorte für die Erdwärmesonden hängen von den örtlichen Verhältnissen und den behördlichen Auflagen ab. Im Speziellen sind die Baulinien und Grenzabstände, Gewässerräume, unterirdische Leitungen und Bauten sowie die zulässigen maximalen Bodenbelastungen durch die Gerätschaften abzuklären.
- 2.3.3.2 Bei einer örtlichen Häufung von Erdwärmesonden-Anlagen ist die gegenseitige Beeinflussung einzurechnen oder durch geeignete Massnahmen (saisonale Regeneration) zu eliminieren. Details in 3.5.
- 2.3.3.3 Die Bohrungen sind grundsätzlich senkrecht auszuführen. Für Schrägbohrungen sind die allenfalls nötigen zusätzlichen Bewilligungen einzuholen (Nachbargrundstücke, Gemeinde, Kanton).
- 2.3.3.4 Aus bohrtechnischen Gründen ist bei vertikalen Bohrungen zwischen einzelnen Erdwärmesonden ein minimaler Abstand von 5 m einzuhalten. Kleinere Abstände bedürfen einer Risikoabwägung und einer expliziten Absprache.
- 2.3.3.5 Erdwärmesonden beeinflussen sich gegenseitig. Bei Anlagen, die vorwiegend zum Heizen oder Kühlen verwendet werden, ist der Sondenabstand zu maximieren. Benachbarte Sonden sind nach 3.1.1.5 zu berücksichtigen.
- 2.3.3.6 Bei Projekten mit einer ausgeglichenen Sommer-/Winterbilanz, d. h. bei einem Erdwärmesonden-Speicher, sind die Abstände energetisch zu optimieren. Der Einfluss des Erdwärmesonden-Abstands auf die Berechnung ist in Kapitel 3 und in D.4 erläutert.
- 2.3.3.7 Erdwärmesonden können unter der Bodenplatte platziert werden. In diesem Fall sind die Erdwärmesonden und die Anschlussleitungen mindestens bis zur Fertigstellung der Bodenplatte mit einer Druckmessung zu überwachen. Die Messung ist zu protokollieren. Zu beachten ist auch 4.1.10.

2.3.4 **Koordination mit anderen Gewerken**

- 2.3.4.1 Die Erdwärmesonden und die Sondenzuleitungen sind mit den übrigen Werkleitungen zu koordinieren. Die Koordination kann auf dem Koordinationsplan oder dem Entwässerungsplan festgehalten werden.
- 2.3.4.2 Bereits vorhandene Werkleitungen sind auf jeden Fall vorgängig in der Planung abzuklären und bei der Platzierung der Bohrstandorte zu berücksichtigen.

2.4 Nutzungsvereinbarung

Die strategische Planung erfolgt primär im Rahmen einer Nutzungsvereinbarung. Die Bauherrschaft bestimmt dabei die Auslegungsziele der Erdwärmesonden:

- Betrieb mit oder ohne Frostschutzfüllung in den Erdwärmesonden.
- Auslegungszeitraum für die Sondenauslegung: Minimalanforderung gemäss Norm 50 Jahre.
- Grundanforderung oder erhöhte Anforderung an die Sondenauslegung gemäss 3.1.1.

2.5 Behördliche Energieplanung

2.5.1 Gibt es kantonale oder kommunale Energieplanungen mit Anforderungen an die Erdwärmee-nutzung, sind diese anzuwenden.

2.5.2 Zonen, in denen mit einem erheblichen Zubau von Erdwärmesonden gerechnet werden muss, sind in der Planung zu berücksichtigen. Das Vorgehen dazu ist in 3.5 beschrieben.

2.5.3 In der strategischen Planung können die kantonalen oder kommunalen Behörden Zonen mit erhöhten Anforderungen gemäss Tabelle 2 festlegen. Die Berechnung hat gemäss den Grundsätzen von 3.3 über den Zeitraum von mindestens 50 Jahren zu erfolgen.

2.5.4 Die Zonen mit erhöhten Anforderungen sollen in den geografischen Informationssystemen des Bundes, der Kantone und der Gemeinden gemäss 7.3 für jedermann zugänglich gemacht werden.

2.6 Messung thermophysikalischer Parameter

2.6.1 TRT-Messungen

2.6.1.1 Mit einer TRT-Messung (Thermal Response Test) wird die effektive mittlere Wärmeleitfähigkeit λ_{eff} ermittelt.

2.6.1.2 Verfahren für eine TRT-Messung:

- Umwälzverfahren, bei dem der Wärmeträger extern erwärmt oder abgekühlt wird. Aufgezeichnet werden die Leistung und die Temperaturentwicklung. Dies ist das übliche Messverfahren und wird darum auch als Standard-TRT bezeichnet.
- Die Kombination des Standard-TRT mit Temperaturmessungen (siehe 2.6.2) über die EWS-Tiefe ermöglicht, mit numerischen Simulationsrechnungen das Tiefenprofil der Wärmeleitfähigkeit sowie Tiefenbereiche mit thermisch aktiven Grundwasserführungen zu bestimmen. Dieses Verfahren wird erweiterte TRT-Messung oder e-TRT genannt.
- Elektrische Aufheizung mit einem Heizdraht über die Sondentiefe (Heizdraht-TRT). Das Tiefen-temperaturprofil wird kontinuierlich oder vor und nach der Heizphase aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgt z. B. mit der Linienquellentheorie über jeden Messpunkt entlang der EWS. Der Bohrlochwiderstand kann damit nicht bestimmt werden.

Je tiefer die EWS ist, desto ungenauer sind die Verfahren.

2.6.1.3 Gebräuchliche Auswertungsverfahren:

- Kelvinsche Linienquellentheorie für Standard-TRT und Heizdraht-TRT.
- Simulationsrechnung mit numerischen Methoden für alle TRT-Verfahren.

2.6.1.4 Tiefenbereiche mit erhöhten effektiven Wärmeleitfähigkeiten aufgrund von Grundwasserführung müssen korrigiert werden, wenn nicht sichergestellt werden kann, dass der thermische Effekt aufgrund der Grundwasserführung ganzjährig gleichbleibend ist.

2.6.1.5 Minimalanforderung an TRT-Messungen im Umwälzverfahren

Bei einer zu geringen Heizleistung und/oder einem zu geringen Durchfluss sind die physikalischen Randbedingungen für die zugrundeliegenden Auswerte-Theorien nicht mehr gegeben, und die oberen Gesteinsschichten werden gegenüber den unteren Schichten zu stark gewichtet. Der TRT muss mit turbulenter Strömung durchgeführt werden (Reynolds-Zahl Re bei $5^\circ\text{C} > 3000$). Es sind alle folgenden Randbedingungen einzuhalten.

Tabelle 1 Minimalanforderung an TRT-Messungen

Sondentyp	Minimale Heizleistung	Minimaler Wasserdurchfluss pro EWS ($Re > 3000$ bei 5°C)	Maximale Temperaturspreizung Vorlauf – Rücklauf
32 mm Duplex	30 W/m	680 Liter/h	≤ 4 K
40 mm Duplex, PN 16	30 W/m	850 Liter/h	≤ 4 K
40 mm Duplex, PN 20	30 W/m	810 Liter/h	≤ 4 K
40 mm Duplex, PN 25	30 W/m	750 Liter/h	≤ 4 K
50 mm Duplex, PN 16	30 W/m	1060 Liter/h	$\leq 4,5$ K
50 mm Duplex, PN 20	30 W/m	1010 Liter/h	$\leq 4,5$ K
50 mm Duplex, PN 25	30 W/m	950 Liter/h	$\leq 4,5$ K
50 mm Duplex, PN 30	30 W/m	890 Liter/h	$\leq 4,5$ K

Die Dauer der TRT-Messung muss mindestens 48 Stunden im Heiz- oder Entzugsbetrieb betragen.

Vor der TRT-Messung muss über mindestens vier Umläufe ohne Wärmeeintrag die Temperatur angeglichen und aufgezeichnet werden. Es empfiehlt sich, nach Abschalten der TRT-Messung das vertikale Temperaturprofil nach einer Stunde für die Identifizierung von Anomalien und nach 24 Stunden für die Berechnung des Wärmeleitfähigkeitsprofils aufzunehmen. Damit sind Bereiche mit grossem Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit erkennbar, z.B. Wasserströmungen.

Wird ein TRT nach der klassischen Linienquellentheorie oder ähnlichen Verfahren, die auf einer konstanten Leistung basieren, ausgewertet, muss die Leistung während des TRT konstant sein.

Für ein TRT-Messgerät sollen vom Hersteller die Einsatzgrenzen gemäss obenstehenden Minimalanforderungen angegeben werden (Durchflussrate, Druckverlust, EWS-Länge). Die Messgenauigkeit der einzelnen Sensoren (Temperatur und Durchfluss am Sondenkopf) muss angegeben sein.

2.6.1.6 Dokumentation

Ein TRT im Umwälzverfahren ist minimal wie folgt zu dokumentieren:

- Erdwärmesonde: Typ, Länge, Standort (Koordinaten, Höhe), Bohrprofil und Bohrprotokoll.
- Einstellparameter des Messgeräts (Wärmeträger mit Wärmekapazität, Durchfluss, Leistung, Mess- und Auswertungsverfahren).
- Die Messtoleranz ist mit einer Fehlerrechnung anzugeben.
- Grafik des zeitlichen Verlaufs, Vor- und Rücklauftemperatur am Sondenkopf, Durchfluss, Leistung am Sondenkopf.
- Nachvollziehbare Auswertung und Ergebnisse.

2.6.1.7 Toleranzen

Zeigt die Fehlerrechnung eine Messtoleranz von mehr als 5 %, so ist für die EWS-Berechnung die berechnete Toleranz von der ermittelten Wärmeleitfähigkeit abzuziehen.

2.6.2 Temperaturmessungen

2.6.2.1 Mit einer Temperaturmessung in der eingebauten Sonde soll der Verlauf der unbeeinflussten Erdreichtemperatur über die Tiefe ermittelt werden. Dies ist eine unverzichtbare Voraussetzung für jede Sondenauslegung (C.2).

2.6.2.2 Um den Einfluss der Abbindewärme der Hinterfüllung zu minimieren, darf frühestens fünf Tage nach dem Einbau der Erdwärmesonde gemessen werden. Die Dauer zwischen Hinterfüllung und Messung ist anzugeben.

3 PROJEKTIERUNG

3.1 Anforderungen an die Auslegung von Erdwärmesonden

3.1.1 Einzuhaltender Grenzwert

- 3.1.1.1 Massgebend für die Auslegung ist die gemittelte Wärmeträgertemperatur beim Ein- und Austritt der Erdwärmesonde.
- 3.1.1.2 Für den Wärmeentzug gilt eine mittlere minimale Wärmeträgertemperatur von $-1,5^{\circ}\text{C}$ (z. B. Eintritt in die Erdwärmesonde -3°C , Austritt 0°C), die während des Betriebs nicht unterschritten werden darf (um Eisbildung in der Hinterfüllung und im Gebirge zu vermeiden). Die Berechnung erfolgt nach 3.3 auf 50 Jahre. Bei erhöhten Anforderungen gilt Tabelle 2. Bei geringem Bohrloch-widerstand muss der Grenzwert erhöht werden, damit die Bohrlochwand nicht gefrieren kann.
- 3.1.1.3 Bei laminarer Strömung ist durch den schlechteren Wärmeübergang eine um ca. 1,5 K tiefere Erdwärmesondentemperatur zu berücksichtigen als im vergleichbaren, turbulenten Fall mit gleichem Rohrquerschnitt.
- 3.1.1.4 Wird anstelle eines realen (stündlichen) Lastprofils mit monatlichen Durchschnittswerten ge-rechnet, so ist im Auslegungsfall mit einem Dauerbetrieb von mindestens 24 Stunden mit der maximal auftretenden Entzugs- und Einspeiseleistung zu rechnen. Im Entzugsfall ist dies in der Regel die Summe der Verdampferleistungen aller angeschlossenen Wärmepumpen, die gleich-zeitig in Betrieb sein können.
- 3.1.1.5 Bei Gebieten mit Nachbarsonden müssen die effektiven und zukünftigen Belastungen berück-sichtigt werden. Es sind alle Erdwärmesonden im Umkreis von 50 m zu berücksichtigen.
- 3.1.1.6 Zur Berücksichtigung künftiger Nachbarsonden und verbesserter Wärmepumpentechniken können im Rahmen einer Nutzungsvereinbarung erhöhte Anforderungen an die Auslegung fest-gelegt werden (R2 bis R4). Liegt keine behördliche Energieplanung vor, muss minimal die Wärmeträgertemperatur gemäss Tabelle 2 und Figur 3 in Abhängigkeit von der Regenerations-rate des eigenen Projekts festgelegt werden.

Tabelle 2 Minimale Wärmeträgertemperatur für die Auslegung beim Wärmeentzug über 50 Jahre ($\theta_{BHE,50}$)

	R1 (keine erhöhten Anforde- rungen, Regelfall)	R2 (erhöhte Anforde- rung)	R3 (stark erhöhte Anforde- rung)	R4 (Regenera- tionspflicht)
Ohne Regeneration	$-1,5^{\circ}\text{C}$	0°C	$+1,5^{\circ}\text{C}$	–
Mit Regenerationsrate $f_{BHE} \geq 20\%$	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-0,5^{\circ}\text{C}$	$+0,8^{\circ}\text{C}$	–
Mit Regenerationsrate $f_{BHE} \geq 40\%$	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-1,0^{\circ}\text{C}$	0°C	$+1,5^{\circ}\text{C}$
Mit Regenerationsrate $f_{BHE} \geq 60\%$	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-1,5^{\circ}\text{C}$	-1°C	0°C
Mit Regenerationsrate $f_{BHE} \geq 80\%$	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-1,5^{\circ}\text{C}$	$-1,5^{\circ}\text{C}$

Für die Zuordnung von R1 bis R4 muss Figur 3 verwendet werden. Ein Beispiel dazu ist in D.4.8.4 zu finden.

3.1.2 Wärmeträger

- 3.1.2.1 Der Wärmeträger muss für die gewählten Temperaturen und die eingebauten Systemkomponenten geeignet sein (siehe 4.5).
- 3.1.2.2 Die Frostschutzkonzentration soll aus gesamtenergetischen Gründen möglichst tief gewählt werden. Die Herstellervorgaben sind zu beachten.
- 3.1.2.3 Für den Wärmeeintrag gilt eine maximale Wärmeträgertemperatur in Abhängigkeit vom eingesetzten Sonden- und Hinterfüllungsmaterial sowie allfälliger behördlicher Vorschriften. Eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren muss für den Jahresverlauf der Erdwärmesondentemperatur gewährleistet sein. Die Ziffern 4.1 und C.4 sowie die BAFU-Vollzugshilfe [4] sind zu berücksichtigen.
- 3.1.2.4 Als Basis für den Wärmeträger kann Trinkwasser verwendet werden.

3.1.3 Regeneration

- 3.1.3.1 Wird gemäss geplante Regenerationskonzept die Regenerationsrate zeitverzögert realisiert, sind alle notwendigen Vorbereitungsarbeiten für eine spätere Nachrüstung so umzusetzen, dass der Einbau der Regenerationsmassnahmen ohne grösseren Umbau realisiert werden kann (Platzbedarf vorsehen, Leitungen in Erschliessungszonen vorziehen). Der EWS-Betrieb soll überwacht werden (4.7.2).
- 3.1.3.2 Im Wohnungsbau gelten die minimalen Regenerationsraten ohne weiteren Nachweis als erfüllt, wenn eine der Bedingungen in Tabelle 3 eingehalten ist. Für alle übrigen Fälle ist ein detaillierter rechnerischer Nachweis erforderlich, der die unterschiedlichen Temperaturniveaus der verschiedenen Regenerationsverfahren berücksichtigt. Im vereinfachten Nachweis gemäss Tabelle 3 sind unterschiedliche Regenerationsverfahren nicht kombinierbar.

Tabelle 3 Übliche Regenerationsverfahren im Wohnungsbau, zulässig ohne rechnerischen Nachweis

Regenerationsrate f_{BHE}	Regenerationsverfahren (sommerlicher Wärmeeintrag direkt in die Erdwärmesonden)
20 % bis 40 %	Geocooling über die Fussbodenheizung und ergänzend über die Lufterneuerung (Kühlgrenze < 21 °C über 24h gemittelt) ≥ 0,02 m ² thermisch selektiv absorbierende Sonnenkollektoren pro m ² EBF ≥ 0,04 m ² Hybridkollektoren PV / thermisch pro m ² EBF ≥ 0,25 kW Luftwärmetauscher nach SN EN 1048 pro kW Verdampferleistung der WP ¹⁾
40 % bis 60 %	≥ 0,04 m ² selektiv absorbierende Sonnenkollektoren pro m ² EBF ≥ 0,08 m ² Hybridkollektoren PV / thermisch pro m ² EBF ≥ 0,6 kW Luftwärmetauscher nach SN EN 1048 pro kW Verdampferleistung der WP ¹⁾
60 % bis 80 %	≥ 0,06 m ² selektiv absorbierende Sonnenkollektoren pro m ² EBF
über 80 %	≥ 0,08 m ² selektiv absorbierende Sonnenkollektoren pro m ² EBF

¹⁾ Es ist die Summe aller Verdampferleistungen im Auslegungsfall der maximal gleichzeitig in Betrieb stehenden Wärmepumpen einzurechnen.

3.2 Grundsätze der Systemoptimierung

3.2.1 Allgemein

Eine Erdwärmesonden-Anlage ist auf Lebenszykluskosten zu optimieren. Dabei ist zu beachten, dass die Nutzungsdauer der Erdwärmesonde um ein Vielfaches grösser ist als die Nutzungsdauer der Wärmepumpe und der übrigen Komponenten.

3.2.2 **Parameter für die Wirtschaftlichkeitsrechnung**

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung sind die Werte gemäss SIA 480 einzusetzen. In Ergänzung dazu sind die Werte in Tabelle 4 zu verwenden.

Tabelle 4 Parameter für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten in % des Anlagewertes	Nutzungsdauer Jahre
Erdwärmesonde und Zuleitungen	0	50
Wärmepumpe	2	25
Frostschutz	0,5	25
Pumpen und Armaturen	1	15

3.2.3 **Erneuerung der Wärmepumpe**

3.2.3.1 Bei der Planung einer Erdwärmesonden-Anlage ist zu berücksichtigen, dass mehrere Wärmepumpengenerationen nacheinander an der Erdwärmesonde angeschlossen werden.

3.2.3.2 Kommende Wärmepumpengenerationen werden sehr wahrscheinlich eine höhere Effizienz aufweisen. Dies bedeutet, dass bei gleicher Heizleistung eine grössere Kälteleistung zu erbringen ist und somit die Erdwärmesonde stärker belastet sein wird. Bei der Dimensionierung des Erdwärmesondenkreises sollte daher von zukünftig besseren Leistungsziffern der Wärmepumpe ausgegangen werden. Dies kann im Rahmen der Nutzungsvereinbarung (2.4) berücksichtigt werden.

3.2.3.3 Wird die Wärmepumpe ersetzt, müssen die bestehenden Erdwärmesonden auf ihre Leistungsfähigkeit überprüft werden.

3.2.4 **Regeneration**

3.2.4.1 Bei grossen Objekten mit unausgeglichener Energiebilanz (Überschuss an Heiz- oder Kühllast) verschiebt sich die Wärmeträgertemperatur entsprechend der Belastung mit der Zeit. Eine Regeneration kann diesen Effekt kompensieren.

3.2.4.2 Die Regeneration kann z.B. mit Abwärme, Wärme aus Sonnenkollektoren oder Luftwärmetauschern erfolgen.

3.2.4.3 Die Regeneration kann bei Kleinanlagen eine Überlastung der Erdwärmesonden nicht kompensieren.

3.3 **Berechnung der Erdwärmesonden**

3.3.1 **Allgemein**

3.3.1.1 Einer Erdwärmesonde oder einem Erdwärmesondenfeld kann nicht direkt eine Leistung zugeordnet werden. Die Momentanleistung ist abhängig vom Bohrlochwiderstand und von der Temperatur um das Bohrloch. Diese Temperatur ist eine Funktion der bereits umgesetzten Energie, der Zeit, der Wärmeleitfähigkeit und -kapazität und eventueller Grundwasserströmungen. Aufgrund dieser Komplexität werden Erdwärmesonden vorwiegend mit numerischen Modellen ausgelegt.

- 3.3.1.2 Für die Dimensionierung der Erdwärmesonden sind generell folgende Grundlagen notwendig:
- behördliche Vorgaben,
 - Erdwärmesonden in der Nähe,
 - Bedarfsprofil des Gebäudes und des daraus resultierenden Belastungsprofils,
 - Entzugs- bzw. Einspeiseleistung aufgrund des gewählten Betriebskonzepts mit der gewählten Wärmepumpe und allfälligen weiteren Anlagekomponenten,
 - Temperaturlimiten der Erdwärmesonden aufgrund des gewählten Systemkonzepts (siehe 2.2 und 3.1.2),
 - thermophysikalische Bedingungen am Standort (siehe 2.3.2),
 - Platzangebot (siehe 2.3.3).

3.3.2 **Belastungsprofil**

Das Belastungsprofil muss die Extremwerte abbilden. Durchschnittliche Belastungen sind nicht zulässig. Es sind verschiedene Ansätze für Belastungsprofile möglich:

- Effektives Lastprofil der Wärmepumpe bzw. Kühlung (nicht des Gebäudes) in Stundenwerten. Bei Wärmepumpen mit variabler Leistung (z.B. Inverter-Wärmepumpen) ist die maximale Kälteleistung, die sich im Betrieb ergeben kann, einzusetzen.
- Bei Inverter-Wärmepumpen ist die maximal eingestellte Verdampferleistung massgebend.
- Volllaststundenansatz bei einfachen Anlagen gemäss D.4.5.
- Monatsmittelwerte mit mindestens 24 Stunden Spitzenlast der Wärmepumpe bzw. Kühlung pro Jahr im Monat mit der höchsten Belastung.
- 49 Jahre Mittelwert und saisonale Belastungskompensation und Spitzenlast der Wärmepumpe bzw. Kühlung im letzten Betriebsjahr gemäss D.5.

3.3.3 **Vorgehen bei einfachen Erdwärmesonden-Anlagen**

3.3.3.1 Einfache Anlagen sind monovalente Anlagen zur Wärmeerzeugung (Raumheizung, Trinkwassererwärmung), d.h. ohne Zusatzheizung mit einem zweiten Wärmeerzeugungssystem, im Wohnungsbau mit maximal vier Erdwärmesonden. Dazu können vereinfachte Berechnungsverfahren für die Wärmeerzeugung angewendet werden. Bei der Berechnung wird Geocooling nicht berücksichtigt.

3.3.3.2 Bei der vereinfachten Dimensionierung wird das Bedarfsprofil mit der Norm-Heizlast des Gebäudes nach SIA 384/2 sowie dem Jahreswärmebedarf der Warmwasseranlage oder nach dem effektiven Verbrauch erstellt. Diesem Energiebedarf entsprechend wird eine geeignete Wärmepumpe mit ausreichender Leistung bestimmt und ihre Laufzeit definiert. Sperrzeiten für die elektrische Energiezufuhr müssen berücksichtigt werden. Die standortabhängige Leistung der Erdwärmesonde wird durch die Höhenlage, die lokale Bodentemperatur sowie die lokale geologische Struktur bzw. die thermischen Gesteinseigenschaften bestimmt.

3.3.3.3 Die Bodenkennwerte sind in C.3 beschrieben.

3.3.3.4 Mögliche Verfahren sind in D.4 und D.5 beschrieben. Mit den darin enthaltenen Diagrammen, unter Verwendung der oben beschriebenen Daten, können Anzahl, Abstand und Länge der Erdwärmesonden für Anlagen bis maximal vier Erdwärmesonden bestimmt werden.

3.3.4 **Vorgehen bei komplexen Erdwärmesonden-Anlagen**

3.3.4.1 Komplexe Anlagen sind alle Anlagen, die nicht als einfache Anlagen gemäss 3.3.3.1 gelten.

3.3.4.2 Bei komplexen Erdwärmesonden-Anlagen kann das vereinfachte Berechnungsverfahren nach D.4 und D.5 nicht angewendet werden.

3.4 Auslegung und Hydraulikberechnung der Erdwärmesonden-Anlage

3.4.1 Allgemein

In der Erdwärmesonden-Anlage zirkuliert ein Wärmeträger (siehe 4.5). Diese Flüssigkeit übernimmt den Energietransfer zwischen der Erdwärmesonde und dem Energienutzer. Der Wärmeträger hat einen Einfluss auf den Wärmeübergang zum Erdwärmesondenrohr und damit auf die Wärmeträgertemperatur bzw. die Leistung einer Erdwärmesonde.

3.4.2 Aufbau der Erdwärmesonden-Anlage

3.4.2.1 Damit die Erdwärmesonden-Anlage ihre Funktion langfristig erfüllen kann, muss sie aus Sicherheitsgründen und zur Erleichterung von Servicearbeiten Absperrorgane, eine separate Füll- und Spüleinrichtung, Entlüftungen, ein Überdruckventil, einen Druckwächter, ein Expansionsgefäss und eine Umwälzpumpe aufweisen.

3.4.2.2 Jede Erdwärmesonde der Erdwärmesonden-Anlage muss mit Absperrorganen am Vor- und Rücklauf unterbrochen werden können.

3.4.2.3 Jede Erdwärmesonde muss zur Vermeidung von Lufteinschlüssen separat gefüllt und gespült werden können. Verdampfer und weitere Aggregate müssen ebenfalls separat gefüllt werden können.

3.4.2.4 Die vollständige Entlüftung der Anlage und der einzelnen Erdwärmesondenkreise muss sichergestellt sein. Werden die Erdwärmesonde und deren Zuleitungen gemäss 5.5 gespült und gefüllt, dürfen die Sondenköpfe höher liegen als der Verteiler (5.4.2). Entlüftungsautomaten müssen manuell abgesperrt werden können.

3.4.2.5 Die Dichtheit des Erdwärmesondenkreises ist durch einen Druckwächter kontinuierlich zu kontrollieren. Spricht er an, schalten die Soleumwälzpumpe und die Wärmepumpe ab.

3.4.2.6 Die Ausdehnung des Wärmeträgers wird mithilfe eines Expansionsgefässes kompensiert. Das Volumen des Expansionsgefässes wird mit einem dreifachen Sicherheitszuschlag der berechneten Ausdehnung von 0°C auf 20°C bzw. bis zur maximal möglichen Temperatur des Wärmeträgers bemessen (siehe C.4, Tabelle 14). Es muss eine Grösse von mindestens 18 Litern haben.

3.4.2.7 Der Vordruck des Expansionsgefässes ist kleiner oder gleich dem Minimaldruck der Anlage einzustellen, üblicherweise zwischen 0,7 und 1,0 bar. Der Auslösedruck der Lecküberwachung ist kleiner als der Vordruck einzustellen.

3.4.2.8 Der Querschnitt muss genügend gross bemessen werden, damit keine Strömungsgeräusche entstehen (3.4.2.10).

3.4.2.9 Der jährliche Stromverbrauch der Umwälzpumpe in der Erdwärmesonden-Anlage sollte weniger als 8 % der Wärmepumpe betragen.

3.4.2.10 Bei den Zuleitungen ab den Erdwärmesonden bis zum Verteiler und im Verteiler sollte die Strömungsgeschwindigkeit maximal 1 m/s betragen. Der Druckverlust der Verteiler (Vor- und Rücklauf inkl. allfälliger Abgleichorgane) darf zusammen maximal 15 kPa betragen. In der Solekreisleitung ab Verteiler bis zur Wärmepumpe sollen 1,5 m/s nicht überschritten werden.

3.4.2.11 Bei speziellen Anwendungen sollte ein Frostschutzwächter zur Überwachung der minimalen Wärmeträgertemperatur oder bei Wasser als Wärmeträger ein Strömungswächter zur Kontrolle des Durchflusses eingesetzt werden.

3.4.3 **Anschluss der Erdwärmesonde**

- 3.4.3.1 Die Erdwärmesondenrohre werden sternförmig an einen Verteiler angeschlossen. Jeder Anschluss am Verteiler muss einzeln und dicht abgesperrt werden können. Bei den üblicherweise eingesetzten Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden können die beiden Kreise auch mit Y-Formstücken zu je einem Vor- und Rücklauf in einer nächstgrösseren Rohrdimension zusammengefasst werden.
- 3.4.3.2 Bei einer einzelnen Erdwärmesonde mit Y-Formstücken kann die Wärmepumpe direkt an die Erdwärmesonde angeschlossen werden.
- 3.4.3.3 Werden Erdwärmesonden in Serie zu einer Einheit zusammengeschlossen, müssen die einzelnen Kreise bis zum Verteiler geführt werden und dürfen erst dort zusammengeschlossen werden, damit ein kontrolliertes Spülen und Entlüften sichergestellt ist.

3.4.4 **Berechnung des Druckverlusts der Erdwärmesonden-Anlage**

- 3.4.4.1 Die Anzahl und die Tiefe der Erdwärmesonden beeinflussen das hydraulische Verhalten des Wärmeträgers im Erdwärmesondenkreis. Die Auslegung des Erdwärmesondenkreises hat einen grossen Einfluss auf die Energieeffizienz und die Investitionskosten.
- 3.4.4.2 Die Strömung in den Erdwärmesondenrohren sollte im Auslegungspunkt (maximale Entzugs- und Einspeiseleistung in die Erdwärmesonden) turbulent sein, damit ein guter Wärmeübergang zwischen Wärmeträger und Sondenmaterial ermöglicht wird. Im Teillastbereich kann die Strömung laminar werden.
- 3.4.4.3 Der Druckabfall im Erdwärmesondenkreis ist mithilfe eines geeigneten Verfahrens zu berechnen (z.B. [24]). Für die Bestimmung des Druckabfalls in den Sonden stehen in D.7 Diagramme für gebräuchliche Dimensionen von Duplex-Erdwärmesonden mit Korrekturfaktoren für unterschiedliche Viskositäten zur Verfügung.
- 3.4.4.4 Der Volumenstrom des Erdwärmesondenkreises wird am Verteiler aufgeteilt. Die Zuleitungen zu den einzelnen Erdwärmesondenrohren sind in der Regel unterschiedlich lang. Dadurch entstehen unterschiedliche Volumenströme in den einzelnen Zuleitungen. Ein unterschiedlicher Durchfluss von bis zu –15 % pro Erdwärmesonde zum nominalen Durchfluss ist mit vernachlässigbaren Leistungseinbussen zulässig. Bei grösseren Abweichungen soll die Leistungseinbüsse berücksichtigt werden.
- 3.4.4.5 Die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt am Verdampfer der Wärmepumpe soll 5 K nicht überschreiten. Als Richtwert gelten 3 K bis 4 K.
- 3.4.4.6 Die Umwälzpumpe muss für den verwendeten Wärmeträger und die zu erwartenden Wärmeträgertemperaturen geeignet sein (Vermeidung von Kondenswasser in der Pumpenelektronik bei Taupunktunterschreitungen).

3.5 **Berücksichtigung künftiger Nachbarsonden**

3.5.1 **Zielsetzung**

Die nachfolgenden Ausführungen sollen es ermöglichen, den Einfluss künftiger Erdwärmesonden in einem Quartier im Rahmen der geplanten Erdwärmesonden-Anlage abzuschätzen und mit entsprechenden Massnahmen zu verhindern, dass die Sonden durch Überlastung Schaden nehmen.

3.5.2 Umsetzung

3.5.2.1 Für die Umsetzung wird davon ausgegangen, dass die künftigen Nachbarprojekte sich ähnlich verhalten wie das aktuell vorliegende Projekt und der gleichen Gebäudekategorie angehören sowie dass das aktuelle Projekt typisch ist für die vorliegende Bauzone. Als Basis wird der grundstückflächenbezogene Wärmeentzug P_{GSF} der Erdwärmesonden genommen, der aus der Energiebezugsfläche A_E des aktuellen Projekts, dem Grenzwert $Q_{H,li} + Q_W$ gemäss SIA 380/1, dem zu erwartenden Zubauanteil f_{ZB} an gleichartigen Erdwärmesonden-Projekten und einer angenommenen mittleren Leistungszahl (COP) von 4 einer monovalenten Wärmepumpe ermittelt wird:

$$P_{GSF} = (Q_{H,li} + Q_W) \cdot \frac{A_E}{GSF_{eff}} \cdot \frac{COP - 1}{COP} \cdot f_{ZB} \quad \text{in kWh/m}^2 \quad (1)$$

3.5.2.2 Zur Bestimmung des Grenzwerts $Q_{H,li}$ gemäss SIA 380/1 soll die Gebäudehüllzahl A_{th}/A_E gemäss Tabelle 5 eingesetzt werden.

Tabelle 5 Einzusetzende Gebäudehüllzahl A_{th}/A_E zur Bestimmung von $Q_{H,li}$

Gebäudekategorie	Rechenwert A_{th}/A_E	Gebäudekategorie	Rechenwert A_{th}/A_E
I Wohnen MFH	1,25	VII Versammlungslokal	1,5
II Wohnen EFH	2	VIII Spital	1,5
III Verwaltung	1,5	IX Industrie	2
IV Schulen	1,5	X Lager	2
V Verkauf	2	XI Sportbaute	1,5
VI Restaurant	1,5	XII Hallenbad	1,5

3.5.2.3 Bei der Deckung des Heizwärmebedarfs $Q_{H,li}$ der künftigen Nachbarprojekte kann mit einem Neubauanteil und einem Sanierungsanteil von je 50 % gerechnet werden.

3.5.2.4 Der Betrachtungszeitraum zur Berücksichtigung künftiger Nachbarsonden soll 50 Jahre betragen. Für die Auslegung wird von der gleichzeitigen Inbetriebsetzung ausgegangen. Bei den Nachbargebäuden kann, ohne weitere Abklärungen, von einem geothermischen Deckungsgrad f_{geo} im Quartier von 40 % in 50 Jahren ausgegangen werden. Sind im Quartier z.B. leitungsgebundene Energieträger (Fernwärmenetze, Anergienetze, Erdgas) vorhanden, so kann von einem reduzierten geothermischen Deckungsgrad f_{geo} von 20 % ausgegangen werden. Der prognostizierte Zubauanteil f_{ZB} an Erdwärmesonden über die nächsten 50 Jahre ergibt sich dann gemäss Gleichung 2:

$$f_{ZB} = f_{geo} - f_{50m} \quad (2)$$

f_{ZB} Zubauanteil an Erdwärmesonden-Heizungen im Quartier über die nächsten 50 Jahre (Anteil an neuen Erdwärmesonden-Anlagen, bezogen auf alle Heizungen im Quartier)

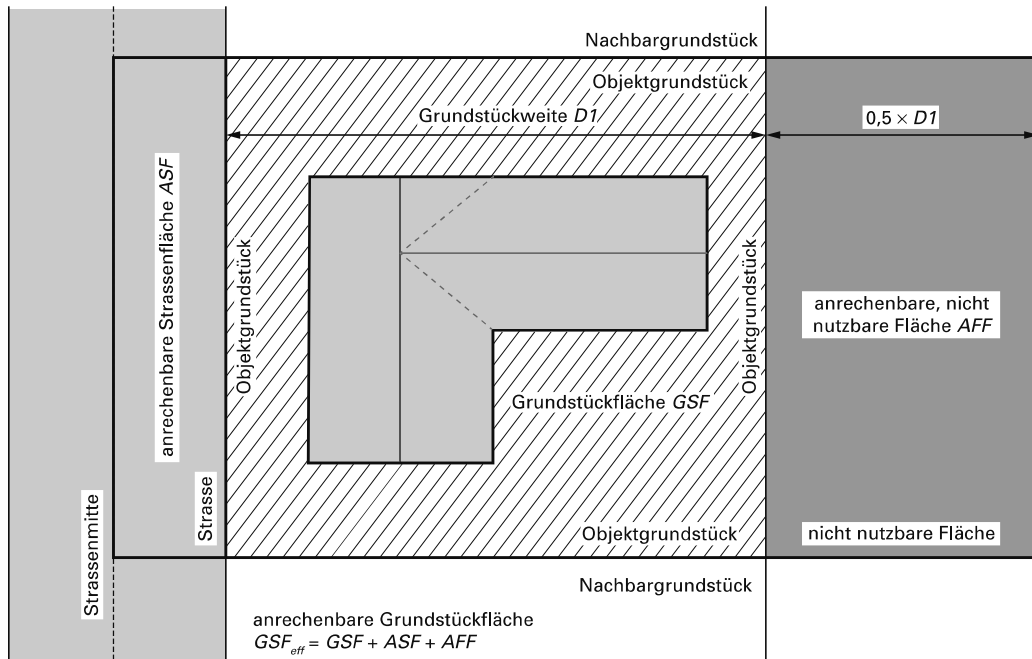
f_{geo} geothermischer Deckungsgrad an Erdwärmesonden-Heizungen (bezogen auf den Wärmebedarf der Gebäude im Quartier) in 50 Jahren

f_{50m} geothermischer Bestandsanteil an Erdwärmesonden-Heizungen (bezogen auf den Wärmebedarf der Gebäude im Quartier) mit einem Betrachtungsradius von 50 m um das bestehende Projekt; der Wert kann flächengemittelt abgeschätzt werden

3.5.2.5 Zur anrechenbaren Grundstückfläche GSF_{eff} können neben der reinen Grundstückfläche GSF auch 50 % von angrenzenden Strassenflächen ASF und angrenzenden, nicht bebaubaren Flächen AFF (z.B. Waldflächen oder Freihaltezoneflächen) bis zu einem Abstand der halben Grundstückweite gerechnet werden:

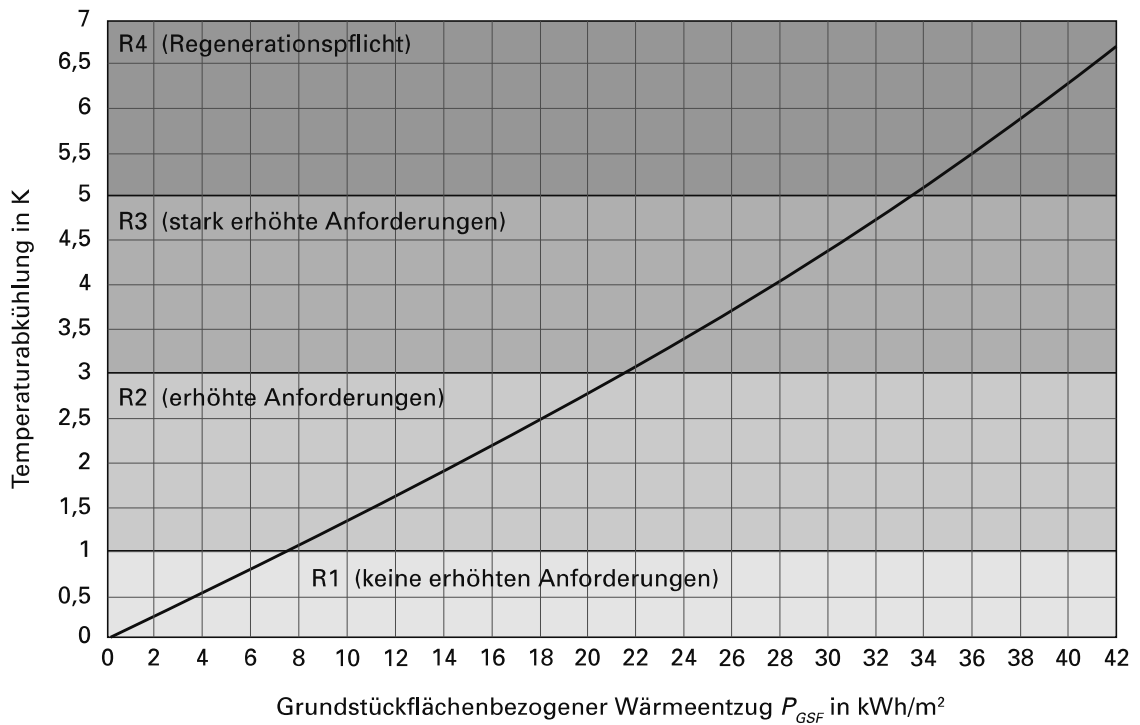
$$GSF_{eff} = GSF + ASF + AFF \quad (3)$$

Figur 2 Definition der anrechenbaren Grundstückfläche GSF_{eff}



3.5.2.6 Unter der Annahme einer mittleren Bohrtiefe von 200 m kann, in Abhängigkeit vom grundstückflächenbezogenen Wärmeentzug P_{GSF} mit einer zusätzlichen Temperaturabkühlung durch künftige Nachbarsonden gemäss Figur 3 gerechnet werden.

Figur 3 Zu erwartende Temperaturabkühlung durch künftige Nachbarsonden nach 50 Jahren [13]



Ein Beispiel zur Berechnung ist unter D.4.8.4 enthalten.

4 ANFORDERUNGEN AN BAUSTOFFE UND KONSTRUKTION

4.1 Erdverlegtes Rohrmaterial

- 4.1.1 Die erdverlegten Rohre und deren Verbindungselemente sind dauerhaft und korrosionssicher auszuführen. Es muss eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren erreicht werden. Üblicherweise kommen hier Kunststoffrohre zum Einsatz. Es müssen neue Kunststoffgranulate eingesetzt werden (bei Injektionsrohren kann auch Recyclingmaterial eingesetzt werden). Der erdseitige Anlageteil muss den auftretenden Drücken und Temperaturen standhalten (siehe F.3.8). Rohre mit Metalleinlagen sind gegen Beschädigung und Korrosion bei Einbau und Betrieb zu schützen.
- 4.1.2 Eine Durchfluss- und Dichtheitsprüfung (Kontraktionsverfahren in Anlehnung an SN EN 805) ist für jede Erdwärmesonde nach dem Einbau durchzuführen (siehe B.1 und B.2). Dabei ist der Maximaldruck, d. h. die Differenz zwischen Innen- und Aussendruck, der sich je nach Tiefe der Erdwärmesonde ergibt, gemäss 5.2.2 einzuhalten. Die Prüfergebnisse sind in den Protokollen A.2 und A.3 zu dokumentieren.
- 4.1.3 Die Erdwärmesonde besteht aus den Erdwärmesondenrohren, dem Sondenfuss, gegebenenfalls den vertikalen Übergangsröhren, den Injektionsrohren und der Hinterfüllung. Sondenrohre sind in der vollen Länge ohne Unterbruch herzustellen und mit dem Sondenfuss und allfälligen Übergangsröhren (maximale Länge 25 m) werkseitig zu verschweissen und auf Dichtheit zu prüfen. Dabei ist die allfällige Verbindungsstelle im Übergangsbereich so auszubilden, dass innen ein glatter Übergang entsteht (kein Absatz und kein Wulst). Materialüberdeckungen zu Verstärkungsschichten müssen in der Verbindungsstelle mindestens gleich dick sein wie im Sondenrohr. Das Übergangsrohr wird dem Sondenrohr zugerechnet und muss bei der Prüfung (B.2) berücksichtigt werden. Das Schweisspersonal muss einen gültigen Schweisserpass des Verbandes Kunststoff-Rohre und -Rohrleitungsteile VKR [8] oder äquivalent haben. Die Schweissungen müssen nach der Richtlinie DVS 2207-1 [5] erfolgen.
- 4.1.4 Der Hersteller von Erdwärmesondenrohren stellt eine kontinuierliche Prüfung der Oberflächenqualität, der Wanddicke und des Durchmessers während der Produktion sicher. Es dürfen nur Rohre eingebaut werden, die diese Bedingungen vollumfänglich erfüllen.
- 4.1.5 Die Produktions- und Schweissparameter sind so zu dokumentieren, dass anhand eines Werkzeugnisses der komplette Produktionsprozess vom Rohstoff bis zum Endprodukt im Detail nachvollzogen werden kann. Es ist sicherzustellen, dass fehlerhafte Produkte nicht zur Auslieferung gelangen können.
- 4.1.6 Das QM-System des Herstellers muss nach ISO 9001 zertifiziert sein. Der Produktionsablauf der Herstellung der Erdwärmesondenrohre und -füsse muss darin beschrieben sein. Eine Fremdüberwachung nach der Richtlinie SKZ HR 3.26 [6] für die gesamte Erdwärmesondenproduktion (Rohr, Fuss, Schweissung) hat durch eine akkreditierte Prüfstelle halbjährlich zu erfolgen.
- 4.1.7 Der Hersteller stellt die lückenlose Rückverfolgbarkeit auf Materialien und Prozessparameter durch ein geeignetes Werkzeugnis nach SN EN 10204 sicher. Die Erdwärmesonden sind je Meter dauerhaft zu beschriften mit Herstellerbezeichnung, Dimension, Wanddicke, Materialbezeichnung, Herstellungsdatum und Daten zur Rückverfolgbarkeit. Die Länge der Erdwärmesondenrohre ist als Länge bis zum Sondenfuss und zum oberen Ende der Sonde einmal pro Meter anzugeben oder sie muss berechenbar sein.
- 4.1.8 Erdwärmesondenrohre aus Polyethylen sind aus PE 100 oder besser herzustellen. Sie müssen so verwendet werden, dass die Grenzwerte nach B.2.1.2 und F.3.8 nicht überschritten werden. Die maximale Einbaulänge, der zulässige Betriebsdruck und die Druckverhältnisse bei Einbau und Hinterfüllung müssen berücksichtigt werden.
- 4.1.9 Gibt es Hinweise darauf, dass das Gebirge und darin enthaltenes Wasser oder die Hinterfüllung keinen genügenden Gegendruck aufbauen können, muss die Erdwärmesonde für den maximal möglichen Differenzdruck ausgelegt sein (5.2.2, F.3.5). Der maximale Differenzdruck ergibt sich aus dem Innendruck im Sondenfuss zum wirkenden Wasserdruck in dieser Tiefe im Gebirge.

4.1.10 In einigen Gebieten muss für Erdwärmesonden mit Erdgas oder anderen Gasen gerechnet werden. Dabei sind speziell E.4, F.2.3 und F.2.5 zu beachten. In geologischen Zonen mit wahrscheinlichem Gasvorkommen sind diffusionsdichte Erdwärmesonden einzusetzen oder eine Entgasungsanlage einzubauen, die ins Freie geführt wird. Wird keine Entgasungsanlage eingebaut, sind die fluiddurchströmten Bauteile diffusionsdicht auszuführen und es ist vom Hersteller ein Dichtheitsnachweis zu erbringen. Der Nachweis der Erdwärmesonde erfolgt nach DIN 53380-3 oder ISO 15105-2. Als diffusionsdicht wird ein gewichteter Wert über den Sondenfuss mit 20 m Sondenrohren sowie zusätzlich der anteilmässigen Länge an den allfälligen Übergangsrohren mit $< 0,50 \text{ cm}^3 / (1 \text{ m}^2 \cdot d \cdot 1,0 \text{ bar})$ angesehen ($d = \text{Tag}$).

4.1.11 Erdwärmesonden, die zum Kühlen verwendet werden oder durch eine solare Einspeisung regeneriert werden, müssen nach der Maximaltemperatur des Fluids ausgelegt werden. Das mehrheitlich eingesetzte Polyethylen 100 darf bis maximal 40°C belastet werden. Für höhere Temperaturen stehen Polybuten (PB-1), vernetztes Polyethylen (PE-X) oder temperaturbeständiges Polyethylen (PE-RT) zur Verfügung. Jedes Material hat seine Einsatzgrenzen bezüglich Druck und Temperatur. Die Berechnung der Belastungsgrenzen erfolgt über Einsatztemperatur und -zeit durch den Einsatz der Schadensakkumulierungsregel (Minersche Regel) gemäss SN EN ISO 13760.

4.2 Verbindungstechnik

4.2.1 Verbindungstechnik im Erdreich

Alle erdverlegten Verbindungen, auch die Anbindung an die Verteilleitungen, sind korrosions- und frostsicher auszuführen. Die Verbindung zwischen der horizontalen Anbindungsleitung und den Erdwärmesondenrohren wird mit Elektroschweissmuffen durch zertifiziertes Personal mit gültigem Schweisserpass (VKR [8] oder äquivalent) hergestellt. Die Schweissungen müssen nach der Richtlinie DVS 2207-1 [5] erfolgen. Die Richtlinie SKZ HR 3.26 [6] ist einzuhalten. Zulässig sind auch Systeme, bei denen eine unlösbare Verbindung über geschützte Dichtflächen erfolgt. Die Verbindung ist so auszuführen, dass eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren erreicht wird.

4.2.2 Verbindungstechnik ausserhalb des Erdreichs

Alle Verbindungen ausserhalb des Erdreichs sind frost- und korrosionssicher auszuführen. Die eingesetzten Materialien dürfen nicht mit dem Wärmeträgermedium reagieren oder durch Kondenswasser angegriffen werden. Zum Beispiel dürfen bei Glykollgemischen keine verzinkten Stahlleitungen eingesetzt werden.

4.3 Abdichtung

4.3.1 Abdichtung der Bohrung

4.3.1.1 Die Abdichtung des Bohrlochs muss folgende Bedingungen erfüllen:

- vertikale Abdichtung von unterschiedlichen Grundwasser- oder Kluftwasserhorizonten,
- thermische Anbindung der Erdwärmesonde an den Untergrund,
- Einbettung und Schutz der Erdwärmesonde.

4.3.1.2 Das Bohrloch ist bei gesetzter Verrohrung ohne Verzug nach Einsetzen der Erdwärmesonde vom Bohrlochfuss her mit einer aushärtenden Suspension («Hinterfüllung») bis zur Oberfläche vollständig und lückenlos abzudichten. Die Hinterfüllung ist über ein beim Sondenfuss befestigtes, im Bohrloch verbleibendes zusätzliches Rohr vorzunehmen. Für eine zweckmässige Hinterfüllung gelten die Angaben nach 5.3.

4.3.1.3 In besonderen Fällen müssen technische Hilfsmittel angewendet werden, z. B. bei Wasserzufluss, artesisch gespanntem Grundwasser, Gaszutritt, Schotterlagen und Klüften. Übliche Mittel sind speziell angepasste Suspensionsmischungen, Erdwärmesondenpacker zum Abtrennen und Abdichten oder andere Methoden, damit die Hinterfüllung nicht wegfließt und eine dichte Anbindung ans Gebirge gewährleistet ist.

4.3.2 **Einführung der Leitungen ins Gebäude**

Die Leitungen ab den Erdwärmesonden müssen so ins Gebäude eingeführt werden, dass weder Gase noch Flüssigkeiten eindringen können. Geringfügige Geländesetzungen dürfen nicht zu Beschädigungen an den Leitungen führen.

4.4 **Wärmedämmung**

4.4.1 Werden die Erdwärmesonden wärmegeklämt, müssen Dämmstoffe verwendet werden, die bei den herrschenden chemischen und physikalischen Bedingungen im Untergrund formstabil, beständig und nicht hygroskopisch sind. Bei Verbindungselementen ist sicherzustellen, dass keine Feuchtigkeit in den Dämmstoff eintreten kann.

4.4.2 Werden Verbindungsleitungen unter der Bodenplatte verlegt, ist darauf zu achten, dass keine Feuchtigkeit auf der Bodenplatte kondensiert (Perimeter- oder Rohrisolation). Dies ist auch zu empfehlen, wenn die Leitungen nicht unter der Frostgrenze verlegt werden können.

4.4.3 Die Leitungen des Erdwärmesondenkreises im Gebäude sowie alle Armaturen sind gegen Kondensatbildung zu dämmen oder das Tropfwasser ist abzuleiten. Bei Geocooling soll die Hochhaltung gemäss Figur 33 möglichst auf der Solesseite der Systemtrennung erfolgen, um Kondensation im Sekundärkreis zu verhindern.

4.5 **Wärmeträger**

4.5.1 Als Wärmeträger in Erdwärmesondenrohren kann unbehandeltes Trinkwasser oder eine Frostschutzlösung verwendet werden (siehe C.4). Der Wärmeträger muss folgenden Anforderungen genügen:

- keine Eisbildung im Verdampfer (bei Wasser ist dazu eine entsprechend hohe Auslegetemperatur der Erdwärmesonden notwendig),
- keine Korrosion an den im Erdwärmesondenkreis eingesetzten Materialien.

4.5.2 Die kantonalen Bestimmungen sind zu beachten.

4.5.3 Der Wärmeträger muss als homogenes Gemisch pro Erdwärmesonde eingefüllt werden. Die Wasserqualität für die Mischung muss den Bedingungen des Frostschutzlieferanten genügen, damit der Korrosionsschutz gewährleistet wird.

4.5.4 Im Sinne der Energieeffizienz soll Wasser oder eine möglichst tiefe Frostschutzkonzentration (geringe Viskosität) eingesetzt werden, um einen besseren Wärmeübergang sowie eine kleinere Pumpenleistung zu erhalten.

4.6 **Sicherheitseinrichtungen**

4.6.1 Der Erdwärmesondenkreis ist durch eine selbsttätige Leckage-Überwachungseinrichtung (Druckwächter) zu sichern. Im Falle einer Leckage werden die Umwälzpumpe und die Wärmepumpe sofort abgeschaltet. Der Betreiber der Anlage hat regelmässig den Anlagedruck zu prüfen.

4.6.2 Zum Schutz der Erdwärmesonden und des Bauwerks über den Zuleitungen soll die Soletemperatur im Betrieb überwacht werden. Wird die Minimaltemperatur nach 3.1.1.2 unterschritten, soll entweder die Leistung der Wärmepumpe reduziert oder die Wärmepumpe abgeschaltet werden.

4.7 Anlageüberwachung

- 4.7.1 Es soll ein Messkonzept realisiert werden, um das thermische Verhalten der Erdwärmesonde über die Zeit beobachten zu können. Dies dient der Optimierung und der Überwachung der EWS-Anlage.
- 4.7.2 Um die Qualität und die Leistungsfähigkeit der Anlage über die Zeit beurteilen zu können, sind mindestens folgende jährliche Messgrößen nötig:
- Betriebsstunden und Betriebsanläufe der Wärmepumpe,
 - minimale und maximale Vor- und Rücklauftemperatur der Erdwärmesonde im Betrieb.
- Eine zusätzliche Messung des Anlagestromverbrauchs erweitert die Beurteilungsmöglichkeiten und wird empfohlen.
- 4.7.3 Die erforderlichen Messgrößen werden üblicherweise von der Wärmepumpensteuerung oder von einem übergeordneten Leitsystem erfasst. Zusätzliche Messgrößen können über vorgängig eingebaute Messstutzen (z. B. Twinlock) bei Bedarf zusätzlich erfasst werden.
- 4.7.4 Zeigt die Auswertung der Messung, dass der Normgrenzwert für die mittlere Wärmeträgertemperatur von $-1,5^{\circ}\text{C}$ nach 3.1.1.2 unterschritten ist oder voraussichtlich nicht mehr eingehalten werden kann, sind entsprechende Massnahmen (3.1.3) einzuleiten, um ein Gefrieren der Hinterfüllung zu verhindern.

5 AUSFÜHRUNG

5.1 Bohrung

5.1.1 In Anhang E sind die Anforderungen an die Bohrausrüstungen und die Empfehlungen für die erfolgreiche Durchführung der üblichen Bohrarbeiten sowie für die Störfallintervention enthalten. Für den Gewässerschutz relevante Anforderungen sind in der Vollzugshilfe des BAFU [4] enthalten.

5.1.2 Die Bohrarbeiten sind zu dokumentieren und es ist pro Bohrung ein Bohrprotokoll (Muster siehe A.1) zu führen. Die Wasserzutritte werden darin gemäss Tabelle 6 klassifiziert.

Tabelle 6 Klassierung der Wasserzutritte im Bohrprotokoll (A.1)

Wenig	Mittel	Viel
< 30 Liter/Min.	30–120 Liter/Min.	> 120 Liter/Min.

5.1.3 Es müssen Bohrgeräte und -verfahren eingesetzt werden, die für den anstehenden Baugrund geeignet sind. Grundsätzlich ist sicherzustellen, dass Bohrgerät und -personal den speziellen Anforderungen gewachsen und für nicht vorhersehbare, geogene Situationen ausgerüstet sind (Anhang E). Für solche Situationen sind Universalbohrgeräte gut geeignet, die sowohl für das Imlochhammer-Bohrverfahren (Spülmedium Druckluft) als auch für das Rotationsspülverfahren (Spülmedium Wasser, bei Erfordernis mit Spülmittelzusätzen) ausgerüstet sind. Die Bohrequipe muss entsprechend geschult sein. Aussergewöhnliche Vorkommnisse (Arteser, Gas, Öl, starker Grundwasseranfall, grosse Klüfte usw.) sind den Behörden zu melden.

5.1.4 Bei der ersten Bohrung sind immer und nach Anweisung des Geologen bei jedem Nachsetzen des Gestänges Proben des Bohrkleins zu nehmen und je nach Auflage dauerhaft mit Objekt- und Tiefenangabe zu beschriften und abzupacken.

5.1.5 Das Bohrklein ist an der Erdoberfläche vollständig zu fassen, mit Wasser gegen Staubbildung zu binden und in eine Schuttmulde abzuleiten.

5.2 Einbau

5.2.1 Um eine Erdwärmesonde sicher einbauen zu können, sind ausreichend grosse Durchmesser zu bohren (F.2.4).

5.2.2 Es ist sicherzustellen, dass bei den Einbauarbeiten der Erdwärmesondenrohre die zulässigen Druckbereiche nicht überschritten werden (F.3.3). Bei speziellen Erdwärmesonden-Konstruktionen sind die Angaben des Herstellers zu beachten. Die Differenzdrücke während des Einbaus und des Betriebs dürfen maximal so hoch sein, dass eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren erreicht wird.

5.2.3 Vor dem Einbau der Erdwärmesondenrohre ist das Rohrmaterial visuell auf Verletzungen der Wandung zu prüfen. Bei PE-100-Material ist eine maximale Verletzungstiefe von 10% der Wanddicke zulässig. Zusätzlich empfiehlt es sich, die Sonde vor dem Einbau mit Luft (max. 5 bar) abzupressen.

5.2.4 Die Erdwärmesonde muss ab Haspel kontrolliert ins Bohrloch eingebaut werden. Ab einem Wasserpegel im Bohrloch, der tiefer liegt als 150 m, muss der Haspel zusätzlich gebremst werden können. Beim Einbau ist darauf zu achten, dass die Rohre nicht verletzt oder deformiert werden.

5.2.5 Die Erdwärmesonden sind vertikal in das Bohrloch einzuführen. Dies kann durch eine Umlenkrolle mit genügend grossem Radius am Bohrkopf oder durch einen geeignet neben dem Bohrturm platzierten Haspel erreicht werden.

5.3 Hinterfüllung

- 5.3.1 Der Zweck der Hinterfüllung ist in 4.3.1 beschrieben. Technische Details zur Ausführung sind in F.4 enthalten.
- 5.3.2 Die Hinterfüllung von Erdwärmesonden muss folgenden Anforderungen genügen:
- Die Mischungsvorgaben des Herstellers sind einzuhalten.
 - Stabilität der Mischung: Die Mischung soll genügend thixotrop sein und Sedimentation und Entmischung unterbinden. Absetzmass: max. 2 % der Bohrtiefe bzw. max. 5 m.
 - Schwindmass längenbezogen (Volumenverringerung beim Trocknen): max. 10 %.
Die trockene Probe soll dabei einen Gewichtsanteil Wasser von noch max. 20 % des Anmachwassers haben.
 - Mindestdichte der angemachten Hinterfüllung: 1,20 kg/Liter.
 - Maximaler Durchlässigkeitsbeiwert: $K_f \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s.
 - Druckfestigkeit: nach 3 Tagen $\geq 0,3$ N/mm², nach 7 Tagen $\geq 1,0$ N/mm², nach 28 Tagen $\geq 1,5$ N/mm².
 - Dauerhaftigkeit: Die Sulfatbeständigkeit muss in Gebieten mit sulfathaltigem Gestein bzw. Vorkommen von gips- und anhydrithaltigen Schichten garantiert sein.
- 5.3.3 Die entsprechenden Kennwerte, Eigenschaften und eingesetzten Mengen der Hinterfüllung sind im Prüfprotokoll A.2 zu deklarieren:
- Bei Standardmischung Wasser/Zement/Bentonit in kg.
 - Bei Fertigmischung Wasser-Feststoff-Wert W/F.
 - Deklaration der Wärmeleitfähigkeit.
 - Dichte gemäss Herstellerangabe.
 - Gemessene Dichte der fertigen Suspension.
 - Berechnetes und eingefülltes Volumen.
 - Angabe über Datenerfassung.
- 5.3.4 Bei Hinterfüllungen mit höherem spezifischem Gewicht als die Standardhinterfüllung (F.3 und F.4) ist speziell 5.2.2 zu beachten. Durch die schwere Hinterfüllung steigt der Aussendruck auf die Rohre an und es erhöht sich somit das Risiko, dass diese gequetscht werden.
- 5.3.5 Während des Hinterfüllungsvorgangs müssen die Erdwärmesondenrohre bereits vollständig mit Wasser gefüllt und oben druckdicht abgeschlossen sein, damit sie nicht zusammengedrückt werden (siehe F.4.3). Bei Erdwärmesonden ab etwa 300 m soll die Füllung in Abhängigkeit von der Suspensionsdichte schrittweise über mindestens zwei Hinterfüllungsrohre erfolgen (Stufenzementation, siehe F.4.5). Dabei ist sicherzustellen, dass die Prinzipien des Kontraktionsverfahrens eingehalten werden.
- 5.3.6 Die Hinterfüllung muss über die Injektionsstrecke eine homogene Mischung aufweisen. Bei jeder Erdwärmesonde ist aus der eingebrachten Hinterfüllung zu Beginn eine Probe zu nehmen (Abgangshahn am Injektionsrohr) und auf der Baustelle das spezifische Gewicht der Probe zu messen. Die Probe ist im Bohrprotokoll A.1 und die Dichte im Prüfprotokoll A.2 zu dokumentieren.
- 5.3.7 Die Menge des verpressten Hinterfüllungsmaterials ist im Prüfprotokoll A.2 zu dokumentieren. Übersteigt der Bedarf an Suspension das Zweifache des Bohrlochvolumens, so ist der Hinterfüllungsvorgang zu unterbrechen und die Bauleitung zu informieren.
- 5.3.8 Der Hinterfüllungsvorgang kann zusätzlich zu den Angaben in 5.3.7 elektronisch erfasst werden. Dabei sollen mindestens das Volumen und der Einpressdruck aufgezeichnet werden. Wird zusätzlich die Dichte erfasst, kann die Qualität der Hinterfüllung über die gesamte EWS-Tiefe bestimmt werden. In diesem Fall kann auf die Anforderungen gemäss 5.3.9 verzichtet werden.
- 5.3.9 Bei Erdwärmesonden ab einer Bohrtiefe von 250 m muss vom Bohrunternehmer zusätzlich pro Anlage eine Hinterfüllungsprobe (ab Hahn Injektionsrohr) abgegeben werden, sofern keine elektronische Datenerfassung gemäss 5.3.8 erfolgt. Diese ist in ein dicht verschliessbares Gefäss abzufüllen und der Bauleitung, zusammen mit dem vollständig ausgefüllten Bohrprotokoll, abzugeben.

- 5.3.10 Die Hinterfüllung ist vollständig, wenn die Suspension am Bohrloch austritt. Beim Ziehen der Verrohrung kann die absinkende Hinterfüllung von oben nachgefüllt werden, damit immer bis Terrain verfüllt ist.
- 5.3.11 Zum Reinigen der Mischpumpe und der Hinterfüllungsschläuche muss das Spülwasser abgeführt und darf keinesfalls ins Bohrloch gepumpt werden.

5.4 Anschluss der Erdwärmesonde

- 5.4.1 Der Anschluss der Erdwärmesonde ist nach 3.4.3 und 4.1 bis 4.4 auszuführen. Es ist sicherzustellen, dass jede Erdwärmesonde einzeln abgesperrt und entlüftet werden kann. Werden kurze Erdwärmesonden in Serie zu einer Einheit zusammengeschaltet, gilt 3.4.3.3. Unter Berücksichtigung von 5.5 kann auf eine Entlüftung zwischen den Erdwärmesonden verzichtet werden.
- 5.4.2 Es muss kein Gefälle vom Verteiler zum Sondenkopf eingehalten werden, wenn die grösste Überhöhung weniger als 50 % des Differenzdrucks auf dem Verteiler der EWS im Auslegefall beträgt. 5.5 ist zu beachten.
- 5.4.3 Im Erdwärmesondenkreis sollen keine automatischen Entlüfter mit Entlüftung in den Raum eingesetzt werden. Bei Gasverdacht ist im Erdwärmesondenkreis eine fachgerechte Entgasung ins Freie zu führen.
- 5.4.4 Die Zuleitungsrohre sind unter der Frosttiefe zu verlegen. Wo dies nicht möglich ist, sind sie mit einer formstabilen und beständigen Isolation zu dämmen.
- 5.4.5 Zuleitungen unter der Bodenplatte sind mit Sand oder Leitungskies zu umhüllen (siehe F.5). Im Bereich von wasserführenden Schichten muss Leitungskies verwendet werden. Zuleitungen unter Dilatationsfugen oder durch Fundamentriegel sind so zu verlegen, dass die Dilatation und die Erdbewegung aufgefangen werden können (z. B. geschlossenzellige PE-Schaumisolation). Bis zur Fertigstellung der Bodenplatte sind die Zuleitungen unter Druck zu halten und mit Manometern zu überwachen. Es ist eine Risikoabwägung vorzunehmen, ob bei den Zuleitungen unter der Bodenplatte auf das Zusammenfassen von Sondenrohren mit Y-Formstücken verzichtet werden soll und die Sondenrohre einzeln auf den Verteiler geführt werden.
- 5.4.6 Die Einführung in das Haus ist gas- und wasserdicht auszuführen.
- 5.4.7 Vor dem Einsanden sind die Leitungen und die Verbindungen (E-Muffen) abzupressen (siehe 6.2).

5.5 Füllen der Erdwärmesonde

- 5.5.1 Bevor Erdwärmesonden mit dem Wärmeträger gefüllt werden, sind sie mit Wasser zu spülen und vollständig zu entlüften.
- 5.5.2 Damit Erdwärmesonden und Verlängerungen vollständig entlüftet werden können, sind sie zuerst von einer Seite her so lange zu füllen, bis die Luft der anderen Seite vollständig entwichen ist. Anschliessend ist die Spülrichtung umzukehren, um die andere Seite vollständig zu entlüften. Die Spülzeit muss genügend lang bemessen sein, damit die eingeschlossene Luft entweicht. Die Füllhahnen sollen nur einseitig geschlossen werden, um durch allfällig eingeschlossene Luft keinen Überdruck zu erzeugen.
- 5.5.3 Jede Erdwärmesonde muss einzeln mit einem Wärmeträger gefüllt werden, der über die ganze Füllung eine homogene Mischung aufweist.
- 5.5.4 Die berechnete Menge an Wärmeträgergemisch und die effektiv eingefüllte Menge pro Erdwärmesonde ist zusammen mit dem Fabrikat und der Konzentration des Gemisches zu protokollieren (A.3.2).

6 PRÜFUNGEN

6.1 Prüfung der Erdwärmesonde

- 6.1.1 Die Erdwärmesonden werden von der Bohrfirma im Anschluss an das Versetzen – vor dem Verbinden zur Wärmepumpe – geprüft.
- 6.1.2 Die Abnahmeprüfung erfolgt in drei Schritten:
- 6.1.2.1 Spülen
Die Erdwärmesonde wird Kreis für Kreis ab Bauwasseranschluss, Hydrant oder Spüleinheit mit Filter durchgespült, um allfällige Schmutzpartikel auszuspülen. Der Spülvorgang ist so festzulegen, dass Schmutzpartikel sicher ausgespült werden. Details siehe F.6.3.
- 6.1.2.2 Durchflussprüfung
Mit der Durchflussprüfung wird sichergestellt, dass kein erhöhter hydraulischer Widerstand vorhanden ist. Bei konstanter Durchflussrate wird die Druckdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf gemessen und mit dem theoretischen Wert aus B.1 verglichen. Die Durchflussprüfung muss elektronisch gemessen und aufgezeichnet werden. Die Messung ist mit der Berechnung des Planers zu vergleichen. Es sind maximale Abweichungen von $\pm 15\%$ zulässig (B.1.1 Erdwärmesonde auf den Differenzdruck bezogen; B.1.2 Erdwärmesonde mit Verbindungsleitung auf den Durchfluss bezogen).
- 6.1.2.3 Dichtheitsprüfung
Die Erdwärmesonde muss nach dem Einbringen der Hinterfüllung, solange die Hinterfüllung noch plastisch ist, mit einem Kontraktionsverfahren in Anlehnung an SN EN 805 auf Dichtheit geprüft werden. Das Verfahren ist in B.2 beschrieben. Die Dichtheitsprüfung muss elektronisch gemessen und aufgezeichnet werden. Ist eine Prüfung gemäss B.2 nicht möglich, soll gemäss B.3 ein Langzeit-Dichtheitstest über mindestens 100 h Dauer oder eine gleichwertige Prüfung nach Vorgabe des Herstellers durchgeführt werden.
- 6.1.3 Die Toleranz der Messgeräte darf 5 % nicht überschreiten.
- 6.1.4 Nach den Prüfungen ist die Erdwärmesonde dicht zu verschliessen, um Verschmutzungen in den Rohren zu verhindern. Empfohlen werden aufgeschweisste Kappen, eingepresste Verschlussstopfen oder Ähnliches.
- 6.1.5 Dem Abnahmeprotokoll (A.5) sind die Prüfprotokolle (A.2 und A.3) beizulegen. Diese enthalten neben den Messwerten auch genaue Angaben zur Menge und zur Zusammensetzung der eingebrachten Hinterfüllung. Zusätzlich ist ein grafischer Ausdruck der Druckprüfung beizulegen.

6.2 Prüfung der Zuleitungen

- 6.2.1 Sämtliche Schweissverbindungen sind gemäss den Vorgaben des Verbandes Kunststoff-Rohre und -Rohrleitungsteile VKR [8] visuell zu überprüfen und zu protokollieren.
- 6.2.2 Die Zuleitungen sind mit 3 bar abzupressen. Empfohlen ist das gleichzeitige Abpressen von Vor- und Rücklauf mit Luft. Sämtliche Schweiss- und Verbindungsteile (z. B. Verteilerhahnen) sind mit Lecksuchspray zu überprüfen. Die Resultate sind zu protokollieren (A.3.1). Der Druck muss gemäss 5.4.5 für Anschlüsse unter der Bodenplatte bis zum Abschluss der Arbeiten bestehen bleiben.
- 6.2.3 Bei jeder Zuleitung ist vor dem Überdecken zu überprüfen, ob Durchfluss vorhanden ist (Durchflusscheck, A.3.2).
- 6.2.4 Hauptleitungen über DN 50 dürfen aus Sicherheitsgründen nur mit 1 bar Luftdruck geprüft werden. Für eine Festigkeitsprüfung ist Flüssigkeit zu verwenden. Der Druck darf dann 5 bar nicht überschreiten, um die EWS nicht zu überlasten.

6.2.5 Sämtliche Checks sowie die Durchfluss- und Dichtheitsprüfung sind in einem Protokoll festzuhalten. Ein Musterprotokoll mit den minimalen Angaben ist in A.3 enthalten.

6.3 Frostschutz

Die Füllung ist gemäss A.3 zu protokollieren. Zur Kontrolle ist die Mischung mit einem Refraktometer zu messen und zu protokollieren.

7 DOKUMENTATION

7.1 Planungsdokumentation

- 7.1.1 Der Planer erstellt einen Erdwärmesondenplan. Eine Kombination des Erdwärmesondenplans mit dem Kanalisationsplan ist sinnvoll und erleichtert die Koordination. Im Erdwärmesondenplan ist jede Erdwärmesonde mit eindeutiger Bezeichnung (Nummerierung) und mit der Einbautiefe zu versehen. Die Bohrstandorte sind zu bemessen oder alternativ mit den Landeskoordinaten LV95 zu definieren. Auf dem Erdwärmesondenplan sind auch die Sondenzuleitungen, die Sondenverteiler und die Entlüftungsstellen gemäss dem Entlüftungskonzept einzuzeichnen. Die Rohrmaterialien und die Rohrdimensionen sind auf dem Erdwärmesondenplan festzulegen.
- 7.1.2 Bei Anlagen mit Rohrdimensionen grösser als 63 mm Aussendurchmesser ist zwingend ein Entlüftungskonzept zu erstellen und zu dokumentieren; in allen übrigen Fällen reicht es, die Entlüftungsstellen auf dem Erdwärmesondenplan einzuzeichnen.
- 7.1.3 Die Auslegung der Erdwärmesonde ist in jedem Fall zu dokumentieren. Die Dokumentation umfasst bei Kleinanlagen bis 4 EWS nach Anhang D.4 mindestens die folgenden Punkte:
- Wärmebedarf (z. B. Heiz- und Warmwasserbedarf).
 - Angabe der Wärmepumpe (Typ) mit der maximal möglichen Verdampferleistung, die im Auslegungsfall den Erdwärmesonden entzogen werden kann.
 - Volllaststunden der Wärmepumpe.
 - Regenerationsrate (z. B. Raumkühlung).
 - Annahmen zur Geologie und zu den geothermischen Gesteinseigenschaften (Temperatur und Wärmeleitfähigkeit).
 - Anzahl, Typ und Einbautiefe der Erdwärmesonden.
 - Minimale Sondentemperatur nach 50 Betriebsjahren (Auslegetemperatur).
 - Typ des Wärmeträgers, Durchsatz und Druckabfall im Auslegungsfall in den Erdwärmesonden.
 - Berechnung des Druckabfalls im ganzen Sondenkreis im Auslegungsfall.
- 7.1.4 Bei Anlagen mit mehr als vier Erdwärmesonden sind mindestens folgende zusätzliche Angaben zu dokumentieren:
- Dauer der Spitzen-Entzugsleistung im Auslegungs-Heizfall oder Jahresenergieprofil auf Stundenbasis.
 - Dauer der Spitzen-Eintragsleistung im Auslegungs-Kühlfall oder Jahresenergieprofil auf Stundenbasis.
 - Angabe aller Wärmepumpen (Typ) mit der maximal möglichen Verdampferleistung, die im Auslegungsfall den Erdwärmesonden entzogen werden kann.
 - Angabe aller Kältemaschinen (Typ) mit maximal möglicher Kondensationsleistung, die im Auslegungsfall an die Erdwärmesonden abgegeben werden soll.
 - Jährliche Entzugsenergie, die aus den Erdwärmesonden entzogen wird.
 - Jährlicher Wärmeeintrag, der in die Erdwärmesonden eingebracht wird.
 - Minimale und maximale Sonden-Eintrittstemperatur über 50 Betriebsjahre.
- 7.1.5 Ohne anderslautende Abmachungen ist der Erdwärmesonden-Planer für die Koordination mit den übrigen Werkleitungen und den Nachbar-Erdwärmesonden verantwortlich. Diese sind vor der Festlegung der Bohrstandorte abzuklären.
- 7.1.6 Bei Anlagen mit mehr als 300 m Bohrtiefe oder mehr als sechs Erdwärmesonden ist zusätzlich ein Qualitätssicherungsplan (QS) zu erstellen. Der QS-Plan umfasst die folgenden Punkte:
- Bohrtechnische Prognose (Felstiefe, bekannte Wassereinbrüche, Vorgaben zum Bohrverfahren, Prognose zur Hilfsverrohrung, zu erwartende Gesteinsarten).
 - Vorgaben zum Bohrgerät (Grösse, Gewicht, Einbringung am Bohrort, mögliche Bohrverfahren).
 - Hinterfüllungskonzept (Einbringung der Hinterfüllung, Stufenzementation, Schwindmass der Hinterfüllung bei trockenen Bohrstandorten).
 - Qualitätssicherung der Hinterfüllung auf der Baustelle, inkl. Dokumentation.
 - Konzept zur Druck- und Durchflussprüfung und Dokumentation der Prüfungen der Sonden und der Zuleitungen.

- Entlüftungskonzept.
- Dokumentation der erreichten Bohrtiefe und Einbautiefe.
- Konzept zum mechanischen Schutz der Sondenzuleitungen (Einsanden, minimale Verlegetiefe).
- Dokumentation der Sondenzuleitung auf der Baustelle (Beschriftung, Fotodokumentation).
- Zwischenabnahmen auf der Baustelle (Standorte, Einbautiefe, Hinterfüllung, Druckprüfungen).
- Werkabnahme.

7.1.7 Ohne anderslautende Abmachungen ist der Erdwärmesonden-Planer für die rechtzeitige Einholung der Bohrbewilligung verantwortlich.

7.1.8 Spätestens bei der Werkabnahme sind der Erdwärmesondenplan, die Auslegungsberechnung der Erdwärmesonden und die Protokolle der durchgeführten Prüfungen sowie die Dokumentation der Sondenzuleitungen der Bauherrschaft zu übergeben.

7.2 Dokumentation auf der Anlage

7.2.1 Auf der Anlage sind folgende Daten zu dokumentieren:

- Baujahr der Anlage.
- Bohrunternehmen.
- Anzahl, Tiefe und Art der Erdwärmesonden.
- Berücksichtigte Nachbar-Erdwärmesonden.
- Eindeutige Nummerierung der Sonden.
- Zuleitungslängen und Rohrdimension.
- Fabrikat und Produktbezeichnung des Wärmeträgers, Art, Konzentration, eingefüllte Menge.
- Fördermenge und -höhe der Umwälzpumpe.
- Wärmepumpe mit Heiz- und Kälteleistung im Auslegepunkt.
- Maximal eingestellte Leistung bei Inverter-Wärmepumpen.

7.2.2 Weiter müssen in den Unterlagen mindestens folgende Angaben dokumentiert sein:

- Bohrprotokoll A.1 und Bohrprofil der Referenzbohrung(en) und, falls vorhanden, geologisches Gutachten und Bohrprofile.
- Prüfprotokoll A.2.
- Protokoll über Sondenanschluss und -füllung A.3.
- Situationsplan mit eingemessenen Erdwärmesonden, Zuleitungen und Verteilern (Schächte), eindeutig zuordenbar nummeriert.
- Berechnete Auslegeleistung der Erdwärmesonden.
- Fabrikat und Seriennummer jeder Erdwärmesonde.
- Information zu ggf. verbauten Erdwärmesondenpackern (Typ, Tiefe, Länge).
- Information zu ggf. verbautem Strumpf (Typ, Länge).
- Abnahmeprotokoll A.5.

7.2.3 Die Anlagen selbst sind mindestens wie folgt zu beschriften:

- Eindeutig zuordenbare Nummerierung der Erdwärmesonden auf dem Sondenverteiler gemäss 7.3.2.
- Berechnete und eingestellte Durchflussmenge bei Auslegung pro Sondenkreis auf dem Sondenverteiler.
- Art und Konzentration des Wärmeträgers in den Erdwärmesonden.

7.3 Anforderungen an geografische Informationssysteme

7.3.1 Für die Förderung und die Planung von Erdwärmesonden-Anlagen ist die öffentliche Bereitstellung der planungsrelevanten Randbedingungen und Informationen wichtig. Die Informationen werden im Rahmen des Bewilligungsverfahrens gesammelt und sollen mithilfe der geografischen Informationssysteme (GIS) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Dabei ist, wo anwendbar und sinnvoll, das Datenmodell Bohrdaten von swisstopo zu berücksichtigen [15].

- 7.3.2 Als Grundlage für die Erteilung einer Bohrbewilligung sind mindestens die folgenden Angaben erforderlich:
- Plan mit eindeutig beschrifteten und nummerierten Sondenstandorten und Verteilern (Schächte).
 - Standort jeder einzelnen Erdwärmesonde, metergenau, in Landeskoordinaten LV95.
 - Bohrtiefe, Einbautiefe und Typ jeder Erdwärmesonde.
 - Art und Konzentration des Wärmeträgers in den Erdwärmesonden.
 - Art und Produktbezeichnung der Hinterfüllung bzw. der Stufenzementation, falls geplant.
 - Geplante jährliche Wärmeentzugsenergie und Wärmeeintragsenergie pro Erdwärmesonde.
 - Geplante spezifische Entzugsleistung und Eintragsleistung pro Erdwärmesonde.
- 7.3.3 Der Abschluss der Bohrarbeiten ist den Behörden durch den begleitenden Geologen oder die Bohrfirma zu melden. Die Vollzugsmeldung beinhaltet mindestens die folgenden Informationen und kann z. B. durch Einreichung der Bohrprotokolle (A.1) und Prüfprotokolle (A.2) dokumentiert werden:
- Bohrstandorte jeder Erdwärmesonde, metergenau, sofern abweichend vom Bohrgesuch.
 - Einbautiefe jeder Erdwärmesonde, sofern abweichend vom Bohrgesuch.
 - Angewendetes Bohrverfahren (Typ).
 - Besondere Vorkommnisse (Erdgasindikation, artesisches Grundwasser, aufgetretene EWS-Schäden usw.).
 - Defekte Erdwärmesonden und Art des Defekts.
 - Eingebrachte Hinterfüllung (Volumen, Feststoff oder Dichte, Typ, Stufenzementation).
 - Bohrtiefe beim Erreichen des Felsens.
 - Bohrtiefe von Wassereintritten, klassiert nach Menge und Druck.
 - Bohrungen, die im Festgestein trocken waren.
 - Durchgeführte Abdichtungsmassnahmen (z. B. Bohrlochpacker oder Erdwärmesondenpacker), sofern erforderlich.
- Um den administrativen Aufwand gering zu halten, wird die Verwendung eines automatisierbaren Datenaustauschs gemäss A.4 empfohlen.
- 7.3.4 Sofern gefordert, sind zusätzlich die folgenden Angaben zu ergänzen:
- Geologisches Bohrprofil (ohne Angaben, die dem Persönlichkeitsschutz unterliegen).
 - Messungen der Temperatur und der thermophysikalischen Stoffdaten, sofern vorhanden.
- 7.3.5 Der Planer muss auf Verlangen der Behörden, insbesondere im Baulinienbereich, zur Koordination mit den übrigen Werkleitungen Angaben zu den Sondenzuleitungen und den Verteilschächten zur Verfügung stellen.
- 7.3.6 Geografische Informationssysteme (GIS) bilden die Grundlage jeder nachhaltigen Planung von Erdwärmesonden. Auf dem GIS soll sichtbar sein, wo Bohrungen bewilligungsfähig sind und wo Bohrungen nur unter Einschränkungen bewilligungsfähig sind. Zu den Einschränkungen gehören auch Bohrtiefenbeschränkungen, Anhydrit-Gipsproblematik, Arteser, Erdgas und erhöhte Anforderungen an die minimale Auslegetemperatur und Regenerationspflicht gemäss 3.1.1, die im Rahmen einer behördlichen Energieplanung gemäss 2.5 festgelegt wurden.
- 7.3.7 Für jede einzelne Erdwärmesonde ist mindestens die folgende Information auszuweisen:
- Standort der Erdwärmesonde, metergenau, in Landeskoordinaten LV95.
 - Einbautiefe jeder Einzelsonde.
 - Geplante jährliche Wärmeentzugsenergie und Wärmeeintragsenergie pro Erdwärmesonde.
 - Besondere Vorkommnisse (Erdgasindikation, artesisches Grundwasser, aufgetretene EWS-Schäden usw.).
- 7.3.8 Das GIS soll einen automatischen Datenexport für alle Erdwärmesonden ermöglichen, die sich in einem Radius bis zu 100 m um einen frei wählbaren Projektstandort befinden. Die exportierten Daten sollen als Grundlageninformation für Erdwärmesonden-Berechnungen unter Berücksichtigung von Nachbarsonden dienen. In einem zweiten Schritt können die Daten dann in entsprechende geeignete Programme eingelesen werden. Der Datenaustausch soll mittels Textdatei mit fixen Trennzeichen gemäss Vorgaben in Anhang A.4 erfolgen.

8 BETRIEB UND WARTUNG

8.1 Wartung

- 8.1.1 Eine Erdwärmesonde ist wartungsfrei. Der Fülldruck des Wärmeträgers ist jährlich zu überprüfen. Die Nachfüllungen (Menge, Anfangs- und Enddruck) sind auf der Anlage zu protokollieren.
- 8.1.2 Alle 10 Jahre soll geprüft werden, ob der Frost- und Korrosionsschutz des Wärmeträgers noch genügend ist oder ergänzt werden muss.

8.2 Abweichung des Wärmebedarfs

- 8.2.1 Ist der Wärmebedarf grösser als der für die Dimensionierung verwendete Normwärmebedarf, ergeben sich längere Laufzeiten der Wärmepumpe. Dies führt in der Regel zu einer massiven Auskühlung in der Umgebung der Erdwärmesonden und kann irreversible Schäden an der Erdwärmesonden-Anlage bewirken. Die Funktionssicherheit der Anlage ist in hohem Mass beeinträchtigt; die Anlage muss analysiert und geeignete Massnahmen müssen ergriffen werden.
- 8.2.2 Die Bauheizung darf grundsätzlich nicht über die Erdwärmesonden-Anlage erfolgen. Für die Bauheizung muss ein separates System eingesetzt werden. Die Anlage darf nur dann als Bauheizung verwendet werden, wenn die dafür entzogene Energiemenge der Auslegung für diesen Zeitraum entspricht. Dies ist mit einer Berechnung nachzuweisen.
- 8.2.3 Je nach Bauweise (z. B. hochgedämmter Massivbau) wird für die Bauaustrocknung während der ersten Betriebsjahre ein erheblicher Mehrverbrauch an Wärme benötigt. Dieser Mehrverbrauch ist bei der Dimensionierung der Erdwärmesonden einzubeziehen oder steuerungstechnisch abzufangen. Dies kann z. B. durch Entlastung des Erdwärmesondenkreises geschehen, indem während der Bauaustrocknungsphase eine zweite Wärmequelle auf der Verbraucherseite zugeschaltet wird.

8.3 Monitoring

- 8.3.1 Bei komplexen Erdwärmesonden-Anlagen gemäss 3.3.4.1 müssen die Sonden-Vorlauftemperatur und -Rücklauftemperatur im Betrieb überwacht und aufgezeichnet werden.
- 8.3.2 Unterschreitet der Mittelwert zwischen Sonden-Vorlauftemperatur und -Rücklauftemperatur an mehr als drei Tagen in Folge den Wert von $-2,5^{\circ}\text{C}$, sind Sanierungsmassnahmen zu ergreifen, z. B. Reduktion der spezifischen Sondenbelastung. Bei mehreren Erdwärmesonden kann abgeklärt werden, ob eine Sondenregeneration genügt (3.2.4).

8.4 Stilllegung

- 8.4.1 Die definitive Stilllegung einer Erdwärmesonde ist der Bewilligungsbehörde zu melden. Sämtliche Erdwärmesondenrohre sind mit Wasser zu spülen und mit einer Suspension gemäss F.4 zu verpressen.
- 8.4.2 Der ausgespülte Wärmeträger ist umweltgerecht zu entsorgen.

A.2 Prüfprotokoll für Erdwärmesonden (normativ)

Die Durchflussprüfung ist detailliert in B.1 beschrieben und die Dichtheitsprüfung in B.2. Die Sollwerte sind gemäss B.2 bei speziellen Verhältnissen anzupassen. Die Durchfluss- und die Dichtheitsprüfung werden durch die elektronische Protokollierung erfasst (6.1.2).

Bohrfirma:		Prüfprotokoll für Erdwärmesonden (SIA 384/6:2021, Ziffer 6.1)						
Objekt:		Auftrags-Nr.:						
Erdwärmesonden	Nr.							
Hersteller / Typ		/		/		/		
Fabrik-Identifikationsnummer	ID:							
Rollenpaar-Nummer (z. B. 0040)	Nr.							
Lieferlänge / Einbaulänge	m	/		/		/		
Durchmesser aussen / Wanddicke	mm	/		/		/		
Hinterfüllung	Standard: 100 kg Bentonit, 200 kg Zement, 900 l Wasser	Datum						
(gemäss 5.3)			Bentonit	Zement	Wasser	Bentonit	Zement	Wasser
– Menge in kg Bentonit, Zement, Wasser	kg							
– Fertigmischung: Fabrikat, WF (Liter Wasser/100 kg)								
Bemerkung zu Hinterfüllung / Wärmeleitfähigkeit	W/(m·k)							
Berechnetes / eingefülltes Hinterfüllungsvolumen	Liter	/		/		/		
elektronische Protokollierung (ja/nein, Datum)		/		/		/		
Spez. Gewicht Suspension: Soll / Messung	kg / Liter	/		/		/		
Bis UKT verfüllt ja, bei nein bis Meter UKT		ja / nein	Meter UK Terrain	ja / nein	Meter UK Terrain	ja / nein	Meter UK Terrain	
Durchflussprüfung	Prüfdatum							
		Kr 1 (& Kr 2)	Kr 2	Kr 1 (& Kr 2)	Kr 2	Kr 1 (& Kr 2)	Kr 2	
Wasser-Durchflussmenge	Liter / min							
Messung Differenzdruck	bar							
Berechneter Differenzdruck	bar							
Bedingung erfüllt (+/-15%):	ja / nein							
Dichtheitsprüfung	Prüfdatum							
Dichtheitsprüfung nach B.2 durchführbar	ja / nein							
Ablesegenauigkeit 0,01 bar		Messwert		Messwert		Messwert		
		Kr 1 (& Kr 2)	Kr 2	Kr 1 (& Kr 2)	Kr 2	Kr 1 (& Kr 2)	Kr 2	
Ablauf in Minuten	Prüfdruckverfahren für: (abhängig von EWS-Länge und Dichte, B.2 Tabelle 9)	bar						
	Sonde mit Wasser verfüllen							
	Prüfdruck aufbringen	bar						
10	Druck Ende Druckhaltung	bar						
70	Ende stat. Druckabfall (zul. Druckabfall gemäss Hersteller)	bar						
	Druck nach Druckabsenkung (Absenkung 10% vom Prüfdruck, min. 1 bar)	bar						
	Menge abgelassenes Wasser (B.2 Tabelle 10)	Liter						
75	Druckablesung	bar						
85	Druckablesung	bar						
100	Druck Ende Hauptprüfung	bar						
Bedingung erfüllt:	ja / nein							
Beilagen:								
Ort und Datum:				Geräteführer:				

A.3 Protokolle zum Anschluss der Erdwärmesonden, zur Druckprüfung und zur Füllung (normativ)

A.3.1 Anschluss der Erdwärmesonden, Druckprüfung

Protokoll A.3.1: Anschluss der Erdwärmesonden, Druckprüfung					
Firma					
Objekt					
Auftrags-Nr.					
Monteur					
Anschluss und Prüfungen					
EWS	Nr.				
Tiefe	m				
Dimension, Bezeichnung (z. B. Ø 40 mm Duplex PN 16)	–				
Zuleitung (Weg)	m				
Dimension, Bezeichnung (z. B. Ø 50 mm SDR 11)					
Anschluss mit Y-Formstück	ja /nein				
Bei Anschluss mit Y-Formstück, Check ob korrekt	ja /nein				
Etappierung des Anschlusses	ja /nein				
Bei Etappierung pro Etappierung ein Protokollblatt oder je eine Spalte ausfüllen	Nummer				
E-Muffen-Schweissung protokolliert (separate Protokolle)	ja /nein				
E-Muffen kontrolliert (VKR)	ja /nein				
Druckprüfung Pressluft / Lecksuchspray	i.o.				
Anschluss-Check	ja /nein				
Druckaufbau (VL&RL gleichzeitig)	bar				
Datum / Zeit	dd.mm,jj hh:mm				
Visum	–				
Zwischendruckkontrolle (optional)	bar				
Datum / Zeit	dd.mm,jj hh:mm				
Visum	–				
Endruckkontrolle / Ende der Etappe	bar				
Datum / Zeit	dd.mm,jj hh:mm				
Visum	–				

Pro Etappe ist ein Formular oder eine Spalte von A.3.1 auszufüllen. Jede Etappe ist zu prüfen.

A.3.2 **Durchfluss- und Differenzdruckprüfung, Füllung**

Die Sondenfüllung hat gemäss 5.5 zu erfolgen und ist zu protokollieren.

Protokoll A.3.2: Durchfluss- und Differenzdruckprüfung, Füllung					
Firma					
Objekt					
Auftrags-Nr.					
Monteur					
Durchfluss- und Differenzdruckprüfung					
Anlage gespült und entlüftet	ja /nein				
Medium					
Konzentration zu Wasser	%				
Drucksensoren separater Anschluss auf Verteiler	ja /nein				
Höhendifferenz Austritt – Eintritt	m				
Durchfluss	l/h				
Eintritt (Auflösung ≤ 0,01 bar)	bar				
Austritt (Auflösung ≤ 0,01 bar)	bar				
Eintrittstemperatur	°C				
Austrittstemperatur	°C				
Druckdifferenz gemessen (Höhendifferenz bereinigt)	bar				
berechneter Durchfluss mit gemessenem Differenzdruck	l/h				
Abweichung (max. ±15%)	%				
Füllprotokoll pro EWS & Zuleitung					
Inhalt EWS & Zuleitung berechnet	Liter				
Produkt					
Medium					
Konzentration zu Wasser	%				
Fertigmischung	ja /nein				
Mischstation	ja /nein				
Wasser (gemessene Menge bei Mischstation)	Liter				
Frostschutz (gemessene Menge bei Mischstation)	Liter				
Füllvolumen (total gemessene Menge pro Anschluss)	Liter				
Abweichung zu berechneter Menge	%				
gemessene Konzentration	% / °C				
Datum / Zeit	dd.mm.jj hh:mm				
Visum	–				
Befüllung der Anlage	Bemerkungen				
<input type="checkbox"/> EWS					
<input type="checkbox"/> Zuleitung und Verteiler					
<input type="checkbox"/> bis Technikraum					
<input type="checkbox"/> Technikraum					
Gesamte Füllmenge	Liter				
Expansionsgefäss Grösse	Liter				
Vordruck	bar				
Fülldruck der Anlage	bar				
Datum / Zeit	dd.mm.jj hh:mm				
Visum	–				

A.4 Schnittstelle für den EDV-Datenaustausch (informativ)

Datenschnittstelle EWS

Schnittstelle für den Datenaustausch von Informationen zu Sondenbohrungen

Datenstruktur:

Als Datenstruktur sollen CSV-Text-Dateien verwendet werden (mit Zeichensatz CP-1252)

Die Schnittstelle besteht aus drei Kolonnen:

- Erste Kolonne: Nummerierung Zeilennummer (Zahl als Integer)
- Zweite Kolonne: Wert (Zahl oder Text)
- Dritte Kolonne: Variablen-Name / Beschreibung Inhalt (Text)

Es werden die folgenden Datenformate verwendet:

- Text: Zeichensatz CP-1252, ohne Spezialzeichen oder in Anführungs- und Schlusszeichen
- Char: Zeichensatz CP-1252, ohne Spezialzeichen oder in Anführungs- und Schlusszeichen
- Integer: Zahl ohne Dezimalstelle
- Real: Zahl mit Dezimalpunkt (kein Dezimalkomma)
- Datum: Datumformat in der Form TT.MM.JJJJ

Inhalt des Headers:

Zeilennummer	Form	Inhalt
1	Text	Kopfzeile (dient der Lesbarkeit, wird nicht eingelesen), Bezeichnung der Kolonnen
2	Integer	Anlagen-ID (dient der Zuordnung der Sonden zur Anlage, wird automatisch erzeugt)
3	Datum	Erstellungsdatum der Meldung
4	Text	Ersteller: Firma
5	Text	Ersteller: Adresse
6	Text	Ersteller: Name / Vorname
7	Text	Ersteller: E-Mail
8	Text	Ersteller: Telefonnummer
9	Datum	Ergänzungsdatum 1
10	Datum	Ergänzungsdatum 2
11	Text	leer
12	Text	leer
13	Text	Art der Meldung (B: Bohrgesch; A: Ausführungsmeldung; G: GIS-Abfrage; I: GIS-Auskunft)
14	Text	Sondenabfrage GIS, Ost-West Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
15	Text	Sondenabfrage GIS, Nord-Süd Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
16	Text	leer
17	Text	Beschrieb Anlage Nr. 1, freier Text
18	Text	Beschrieb Anlage Nr. 2, freier Text
19	Text	Beschrieb Anlage Nr. 3, freier Text
20	Text	Beschrieb Anlage Nr. 4, freier Text
21	Text	leer
22	Text	Gemeinde des Grundstücks
23	Text	Kataster-Nr. des Grundstücks
24	Text	Adresse des Grundstücks
25	Text	Bewilligungsnummer
26	Datum	Bewilligungsdatum
27	Text	leer
28	Real	Sondenvertiefler 1, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
29	Real	Sondenvertiefler 1, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
30	Real	Sondenvertiefler 2, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
31	Real	Sondenvertiefler 2, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
32	Real	Sondenvertiefler 3, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
33	Real	Sondenvertiefler 3, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
34	Real	Sondenvertiefler 4, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
35	Real	Sondenvertiefler 4, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
36	Real	Sondenvertiefler 5, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
37	Real	Sondenvertiefler 5, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
38	Real	Sondenvertiefler 6, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
39	Real	Sondenvertiefler 6, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
40	Real	Technizentrale, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
41	Real	Technizentrale, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
42	Text	leer
43	Text	Bezeichnung Wärmepumpe 1
44	Real	Heizleistung Wärmepumpe 1 im Auslegungsfall
45	Real	Verdampferleistung Wärmepumpe 1 im Auslegungsfall
46	Real	jährliche Entzugsenergie Wärmepumpe 1
47	Text	Bezeichnung Wärmepumpe 2
48	Real	Heizleistung Wärmepumpe 2 im Auslegungsfall
49	Real	Verdampferleistung Wärmepumpe 2 im Auslegungsfall
50	Real	jährliche Entzugsenergie Wärmepumpe 2
51	Text	Bezeichnung Wärmepumpe 3
52	Real	Heizleistung Wärmepumpe 3 im Auslegungsfall
53	Real	Verdampferleistung Wärmepumpe 3 im Auslegungsfall
54	Real	jährliche Entzugsenergie Wärmepumpe 3
55	Text	Bezeichnung Kälteanlage 1
56	Real	Rückkühlleistung Kälteanlage 1 im Auslegungsfall
57	Real	jährlicher Wärmeintrag von Kälteanlage 1
58	Text	Bezeichnung Kälteanlage 2
59	Real	Rückkühlleistung Kälteanlage 2 im Auslegungsfall
60	Real	jährlicher Wärmeintrag von Kälteanlage 2
61	Text	Bezeichnung Kälteanlage 3
62	Real	Rückkühlleistung Kälteanlage 3 im Auslegungsfall
63	Real	jährlicher Wärmeintrag von Kälteanlage 3
64	Char	Bohrgesch vorhanden (0: Nein, 1: Ja)
65	Text	Hyperlink zu Bohrgesch
66	Char	Plan Sondenstandorte vorhanden (0: Nein, 1: Ja)
67	Text	Hyperlink zu Plan Sondenstandorte
68	Char	Geologischer Bericht Vorabklärungen vorhanden (0: Nein, 1: Ja)
69	Text	Hyperlink zu Bericht geologische Vorabklärungen
70	Char	Bericht mit behördlichen Auflagen vorhanden (0: Nein, 1: Ja)
71	Text	Hyperlink zu Bericht mit behördlichen Auflagen
...	Text	leer
500	Text	leer

Inhalt der Bohrdaten-Meldung (n = Bohrungsnummer)

Zeilennummer	Form	Inhalt
501 + (n-1)*500	Text	** (Trennzeichen der Bohrungs-Datensätze)
502 + (n-1)*500	Integer	Bohrungsnummer n (Pro Anlage, immer beginnend mit 1, fortlaufende Nummerierung)
503 + (n-1)*500	Text	Interne Projektidentifikation der Bohrung, festgelegt durch Planer oder Unternehmer
504 + (n-1)*500	Text	Sondenart
505 + (n-1)*500	Real	Sondenstandort, Ost-West-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
506 + (n-1)*500	Real	Sondenstandort, Nord-Süd-Koordinate, max. 1 Dezimalstelle, in Landeskoordinaten LV95
507 + (n-1)*500	Real	Ansatzpunkt der Bohrung, m ü. M., max. 1 Dezimalstelle
508 + (n-1)*500	Real	OK Terrain der Bohrung, m ü. M., max. 1 Dezimalstelle, leer falls unbekannt
509 + (n-1)*500	Text	Typ der Bohrung (E: Erdwärmesonde, S: Sondierbohrung, G: Brunnenbohrung, P: Energiepfahl, D: Diverses)
510 + (n-1)*500	Text	Art der Bohrung (H: Hammerbohrung, S: Spülbohrung, HS: Kombination von H & S, K: Kernbohrung, D: Diverses)

Inhalt der Bohrdaten-Meldung (n = Bohrungsnummer)

Zeilennummer	Form	Inhalt
511 + (n-1)*500	Real	geplante Bohrtiefe, max. 1 Dezimalstelle
512 + (n-1)*500	Real	ausgeführte Bohrtiefe, max. 1 Dezimalstelle
513 + (n-1)*500	Text	Bohrmeister & Bohrfirma
514 + (n-1)*500	Text	Geologe
515 + (n-1)*500	Text	Bohrgerät
516 + (n-1)*500	Real	Verrohrungsdurchmesser 1 [cm]
517 + (n-1)*500	Real	Verrohrung 1 bis in Tiefe (Meter unter Ansatzpunkt)
518 + (n-1)*500	Real	Verrohrungsdurchmesser 2 [cm]
519 + (n-1)*500	Real	Verrohrung 2 bis in Tiefe (Meter unter Ansatzpunkt)
520 + (n-1)*500	Char	Typ Bohrmeissel 1 (S: Stufenmeissel, R: Rollenmeissel, I: Imlochhammer, E: Exzenter)
521 + (n-1)*500	Real	Durchmesser Bohrmeissel 1 [cm]
522 + (n-1)*500	Char	Typ Bohrmeissel 2 (S: Stufenmeissel, R: Rollenmeissel, I: Imlochhammer, E: Exzenter)
523 + (n-1)*500	Real	Durchmesser Bohrmeissel 2 [cm]
524 + (n-1)*500	Real	Tiefe Arteser [m]
525 + (n-1)*500	Real	gespannt bis [m] (positiver Wert, wenn subartesisch; negativer Wert, wenn artesisch)
526 + (n-1)*500	Real	Wassermenge des Artesers [Liter/Min]
527 + (n-1)*500	Text	Ursprung der Angaben zum Arteser (Messung / Schätzung / Geologe)
528 + (n-1)*500	Char	Typ Packer (G: Gewebepacker / S: Strumpf)
529 + (n-1)*500	Real	Gewebepacker oder Bohrgewebe gesetzt von Tiefe [m]
530 + (n-1)*500	Real	Gewebepacker oder Bohrgewebe gesetzt bis Tiefe [m]
531 + (n-1)*500	Datum	Beginn Bohrung
532 + (n-1)*500	Datum	Ende Bohrung
533 + (n-1)*500	Integer	Beprobung (alle ... Meter)
534 + (n-1)*500	Text	Sondenfluid (0: unbekannt, W: Wasser, E: Ethylenglykol, A: Alkohol)
535 + (n-1)*500	Real	Anteil Frostschutzfüllung
536 + (n-1)*500	Text	Druckprobe durchgeführt durch
537 + (n-1)*500	Datum	Druckprobe erstellt am
538 + (n-1)*500	Text	Hyperlink zu Bericht Druckprobe
539 + (n-1)*500	Real	Felstiefe (Meter unter Ansatzpunkt)
540 + (n-1)*500	Text	Hinterfüllung: Materialbezeichnung
541 + (n-1)*500	Text	Mischart der Hinterfüllung
542 + (n-1)*500	Integer	Anzahl Stufen bei Einbringung der Hinterfüllung
543 + (n-1)*500	Real	Wassermenge der Hinterfüllung [kg]
544 + (n-1)*500	Real	Liter Wasser pro 100 kg (Angabe bei Fertigmischung)
545 + (n-1)*500	Real	Menge Bentonit oder Fertigmischung [kg]
546 + (n-1)*500	Real	Menge Zement [kg]
547 + (n-1)*500	Real	Berechnete Hinterfüllungsmenge [kg]
548 + (n-1)*500	Real	effektiv eingefüllte Hinterfüllungsmenge [kg]
549 + (n-1)*500	Real	Hinterfüllung: Suspensionsdichte, Sollwert [kg/Liter]
550 + (n-1)*500	Real	Hinterfüllung: Suspensionsdichte, Messwert [kg/Liter]
551 + (n-1)*500	Text	Bemerkung zur Hinterfüllung
552 + (n-1)*500	Text	Abgabe Bohrproben an
553 + (n-1)*500	Text	Abgabe Hinterfüllungsprobe an
554 + (n-1)*500	Text	Hyperlink zu Hinterfüllungskonzept / Hinterfüllungsprotokoll
555 + (n-1)*500	Real	spezifische Entzugsleistung geplant [W/m], Wert im Auslegungsfall
556 + (n-1)*500	Real	spezifische Eintragsleistung geplant [W/m], Wert im Auslegungsfall
557 + (n-1)*500	Real	spezifische Entzugsenergie geplant [kWh/m], Jahreswert im Auslegungsfall
558 + (n-1)*500	Real	spezifische Eintragsenergie geplant [kWh/m], Jahreswert im Auslegungsfall
559 + (n-1)*500	Char	geologische Bohrprofilaufnahme vorhanden (0: Nein / 1: Ja)
560 + (n-1)*500	Text	geologische Bohrprofilaufnahme durchgeführt durch:
561 + (n-1)*500	Text	Hyperlink zu geologischem Bohrprofil
562 + (n-1)*500	Text	geologischer Bericht vorhanden (0: Nein / 1: Ja)
563 + (n-1)*500	Text	geologischer Bericht erstellt durch:
564 + (n-1)*500	Text	Hyperlink zu geologischem Bericht
565 + (n-1)*500	Char	Messung 1 im Bohrloch (T: Temperatur, R: Responsetest, V: Verlauf, A: Andere Messung)
566 + (n-1)*500	Text	Aufnahme Messung 1 im Bohrloch durchgeführt durch:
567 + (n-1)*500	Text	Hyperlink für Messung 1
568 + (n-1)*500	Char	Messung 2 im Bohrloch (T: Temperatur, R: Responsetest, V: Verlauf, A: Andere Messung)
569 + (n-1)*500	Text	Aufnahme Messung 2 im Bohrloch durchgeführt durch:
570 + (n-1)*500	Text	Hyperlink für Messung 2
571 + (n-1)*500	Real	Stauertiefe (Meter unter Ansatzpunkt)
572 + (n-1)*500	Real	Menge Bohrgut [m³]
573 + (n-1)*500	Text	Entsorgungsfirma Bohrgut
574 + (n-1)*500	Text	leer
575 + (n-1)*500	Text	Geologische Beschreibung Schicht Nr. 1
576 + (n-1)*500	Text	bis Tiefe Schicht Nr. 1
577 + (n-1)*500	Text	Beschreibung Bohrgut Schicht Nr. 1 (Art, Eigenschaft, Farbe)
578 + (n-1)*500	Char	Wassergehalt Schicht Nr. 1 (T: trocken, F: feucht, N: nass, leer: unbestimmt)
579 + (n-1)*500	Char	Art der Bohrung Schicht Nr. 1 (S: Spülbohr, H: Hammerbohr, K: Kernbohr, A: andere Bohrtechnik)
580 + (n-1)*500	Char	Spülmedium Schicht Nr. 1 (L: Luft, T: Ton, A: anderes Spülmedium)
581 + (n-1)*500	Char	Spülzusatz Schicht Nr. 1 (W: Wasser, S: Schaum, Z: Zellulose, A: anderer Zusatz)
582 + (n-1)*500	Text	Beobachtung Bohrmeister Schicht Nr. 1
583 + (n-1)*500	Char	Vorkommnis in Schicht Nr. 1 (W: wenig Wasserzutritt; M: mittlerer Wasserzutritt; V: viel Wasserzutritt; S: Spülverluste; I: Injektionsverluste, K: Kavernen; G: Gaszutritt)
584 + (n-1)*500	Real	Genauere Tiefe des Vorkommnisses in Schicht Nr. 1
...
740 + (n-1)*500	Text	Geologische Beschreibung Schicht Nr. 16
741 + (n-1)*500	Real	bis Tiefe Schicht Nr. 16
742 + (n-1)*500	Text	Beschreibung Bohrgut Schicht Nr. 16 (Art, Eigenschaft, Farbe)
743 + (n-1)*500	Char	Wassergehalt Schicht Nr. 16 (T: trocken, F: feucht, N: nass, leer: unbestimmt)
744 + (n-1)*500	Char	Art der Bohrung Schicht Nr. 16 (S: Spülbohr, H: Hammerbohr, K: Kernbohr, A: andere Bohrtechnik)
745 + (n-1)*500	Char	Spülmedium Schicht Nr. 16 (L: Luft, T: Ton, A: anderes Spülmedium)
746 + (n-1)*500	Char	Spülzusatz Schicht Nr. 16 (W: Wasser, S: Schaum, Z: Zellulose, A: anderer Zusatz)
747 + (n-1)*500	Text	Beobachtung Bohrmeister Schicht Nr. 16
748 + (n-1)*500	Text	Vorkommnis in Schicht Nr. 16 (W: wenig Wasserzutritt; M: mittlerer Wasserzutritt; V: viel Wasserzutritt; S: Spülverluste; I: Injektionsverluste, K: Kavernen; G: Gaszutritt)
749 + (n-1)*500	Real	Genauere Tiefe des Vorkommnisses in Schicht Nr. 16

A.5 Abnahmeprotokoll (informativ)

Abnahmeprotokoll Erdwärmesonden nach SIA 384/6:2021

Objekt und Beteiligte

Objekt: _____ Adresse: _____

Kataster: _____ Gemeinde: _____

Bewilligungs-Nr.: _____ vom: _____ Auftrags-Nr.: _____

Auftraggeber: _____

Bohrfirma: _____ E-Mail: _____

Geräteführer: _____ Tel.: _____ E-Mail: _____

Geologe: _____ E-Mail: _____

EWS-Planer: _____ E-Mail: _____

Fachbauleitung: _____ E-Mail: _____

Abnahme:	Gegenstand:	Nur Erdwärmesonden:	<input type="checkbox"/>	(Zutreffendes ankreuzen)
		Anzahl Bohrungen:	_____	
		Sondenkreislauf:	<input type="checkbox"/>	(Zutreffendes ankreuzen)
	Mängel:	keine Mängel	<input type="checkbox"/>	(Zutreffendes ankreuzen)
		unwesentliche Mängel	<input type="checkbox"/>	(Zutreffendes ankreuzen)
	wesentliche Mängel	<input type="checkbox"/>	(Zutreffendes ankreuzen)	
	Festgestellte Mängel:	_____		
	Frist Mängelbehebung:	_____		
	Bemerkungen:	_____		
Abnahme:	Werk wird abgenommen	<input type="checkbox"/>	(Zutreffendes ankreuzen)	
	Abnahme zurückgestellt	<input type="checkbox"/>	(Zutreffendes ankreuzen)	
Abnahmetermin:	_____			
Beginn Garantiefrist:	_____ (nur falls von Abnahme abweichend)			

Ort, Datum: _____

Unternehmer:	Bauleitung:	Bauherrschaft / Vertretung:
_____	_____	_____

A.6 Checkliste zur Anlagedokumentation (informativ)

Checkliste Anlagedokumentation nach SIA 384/6:2021

Dokumentation und Revisionsunterlagen

Revisionspläne: OK: unvollständig:
 vermasste Sondenpläne mit Bohrtiefe und Sondennummerierung
 Sondenzuleitungen mit Schächten und Verteilern
 Anlageschema, hydraulische Einbindung Erdwärmesonden
 Geologisches Bohrprofil des Geologen

Plan-Nr. (inkl. Rev.)	Datum	Ersteller
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Protokolle der Bohrfirma und der Sondenfüllung:

Bohrprotokolle (Protokoll A.1) OK: unvollständig:

Bohrdurchmesser 1
 Bohrdurchmesser 2
 Nicht bis Bohrtiefe eingebaute Sonden:

Minimalwert gemäss SIA 384/6	ausgeführt	Bohrart
mm	mm	_____
mm	mm	_____
Sonden-Nr.	Bohrtiefe	Einbau Sonden
_____	m	m
_____	m	m
_____	m	m
m ³	Entsorgungsfirma:	_____

Bohrgutentsorgung: _____ Menge: _____
 Besondere Vorkommnisse bei Bohrung _____

Durchflussprüfung (Protokoll A.2) OK: unvollständig:
Dichtigkeitsprüfung (Protokoll A.2) OK: unvollständig:
Hinterfüllungsprotokoll (Protokoll A.2) OK: unvollständig:

Ablage Hinterfüllungsproben _____

Protokoll Sondenfüllung (Protokoll A.3.2) OK: unvollständig:

Frostschutzmittel _____
 Beschriftung auf Anlage mit Inhalt und Konzentration _____

Sollwert	gemessen	gemessen durch
_____	_____	_____
_____	_____	_____
Konzentration Soll	gemessen	gemessen durch
%	%	_____
_____	_____	_____

Verteiler und Sondenzuleitungen / Druckprüfung:

Protokoll Anschluss EWS (Protokoll A.3.1) OK: unvollständig:

Beschriftung und Einstellung Verteiler
 Rohrtyp / Dämmung / Tropfwasserableitung / Expansion:
 Soledurchsatz
 Sondenkreispumpe: _____ Einstellung: _____

Druckabfall:
 Erdwärmesonden:
 Sondenkreislauf total:

gemäss Planung	gemessen / Abweichung	geprüft durch
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
berechnet	gemessen	gemessen durch
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Instrumentierung:

Sicherheitsventil: fehlt: vorhanden:
 Absperrung pro Sonde: fehlt: vorhanden:
 Entlüftungsstellen: fehlt: korrekt:

Druckwächter / Strömungswächter: vorhanden:
 Einstellorgane / Setter: vorhanden: korrekt:
 Thermometer / Manometer: vorhanden:

Beilagen / Bemerkungen: _____

Anhang B Prüfungen

B.1 Durchflussprüfung (normativ)

B.1.1 Durchflussprüfung pro Erdwärmesonde

B.1.1.1 Die Durchflussprüfung pro Erdwärmesonde kann pro Einzelkreis oder mit beiden Kreisen gemeinsam durchgeführt werden. Die Abweichung von der berechneten Druckdifferenz zur Messung darf $\pm 15\%$ nicht überschreiten. Die Berechnung erfolgt z.B. nach Colebrook-Nikuradse, Blasius oder dem Moody-Diagramm. Dabei sind die Durchflussrate, die kinematische Viskosität und die Dichte des Mediums sowie die Rohrgeometrie zu berücksichtigen.

B.1.1.2 Die Durchflussprüfung muss mit einem elektronisch registrierenden Messgerät durchgeführt werden. Dabei sind gleichzeitig die Durchflussrate, der Ein- und Austrittsdruck sowie mindestens die Austrittstemperatur im Sekundentakt aufzuzeichnen. Die Auswertung erfolgt über einen während mindestens 30 Sekunden stabilen Messbereich (Standardabweichung Durchfluss $< 5\%$, Eintrittsdruck $< 5\%$, Austrittstemperatur $< 1\text{ K}$). Die Messung und die Berechnung können in das Formular A.2 übertragen oder als Protokollblatt dem Formular A.2 beigelegt werden.

B.1.1.3 Für die Kontrolle auf der Baustelle können Figur 4 oder Herstellerangaben verwendet werden. Bei Verwendung von Figur 4 ist die Druckdifferenz pro Meter EWS in Abhängigkeit von der eingebauten EWS und dem Durchfluss pro Kreis mit der Tiefe der EWS zu multiplizieren (siehe Beispiel B.1.1.4).

Figur 4 Druckverlust pro Meter EWS-Kreis (1 m EWS-Kreis \rightarrow 1 m Vorlauf und 1 m Rücklauf einer Simplex-Sonde) bei Wasser von 15°C (kinematische Viskosität $1,16\text{ mm}^2/\text{s}$) nach Colebrook-Nikuradse

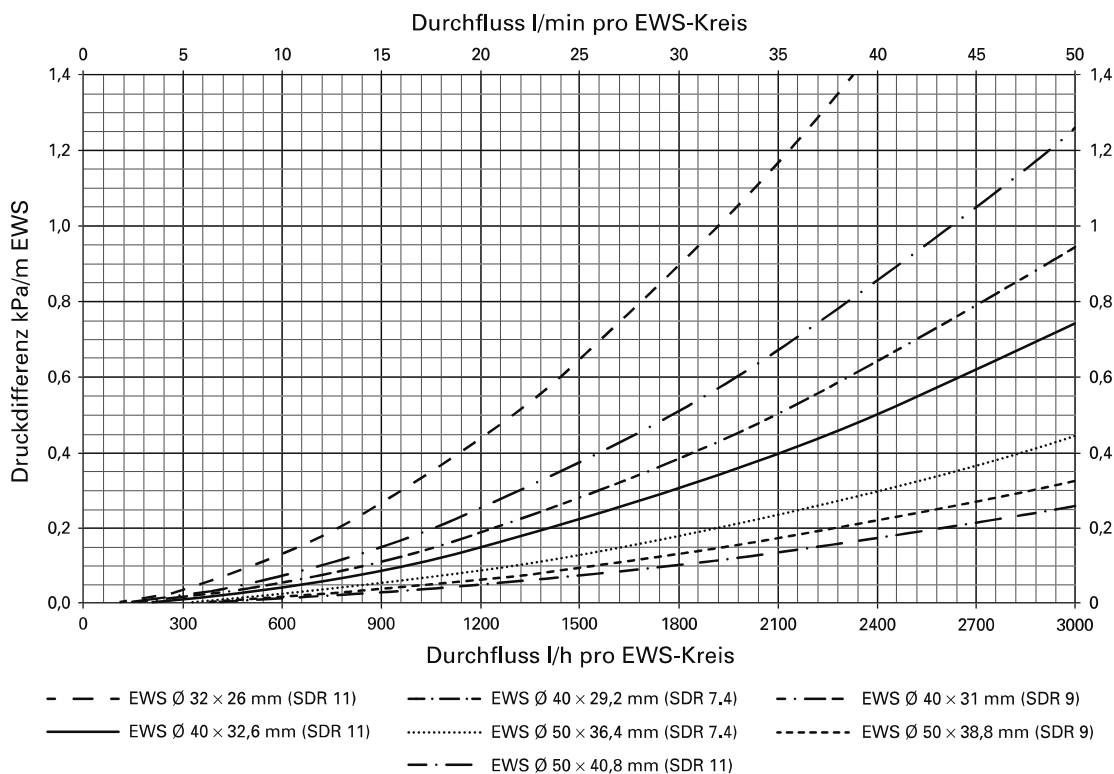


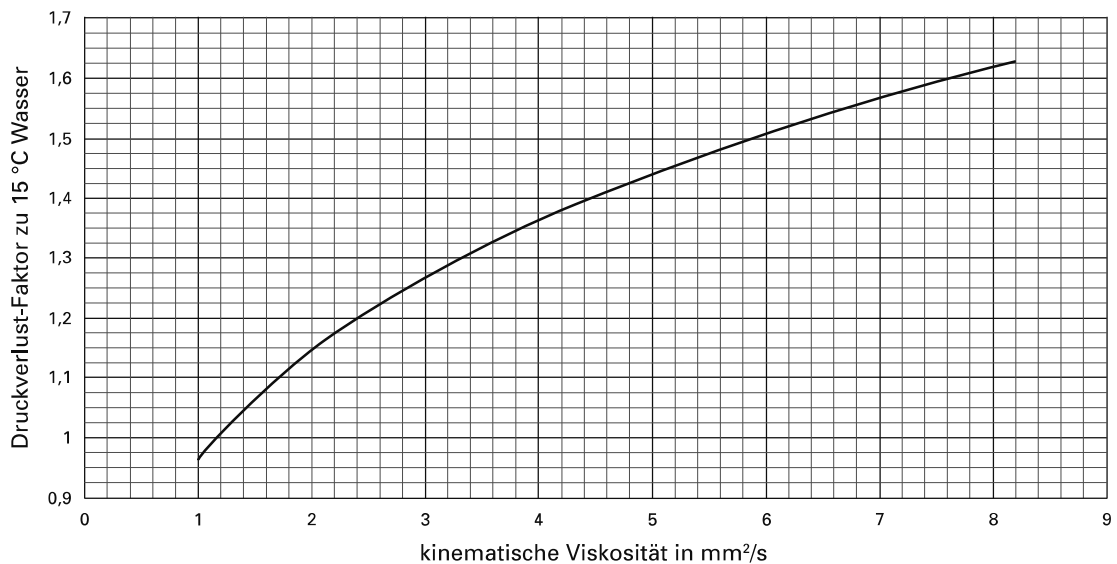
Tabelle 7 Beispiele von Füllmedien für Erdwärmesonden mit kinematischer Viskosität bei spezifischen Temperaturen

20°C	Wasser	1,0 mm ² /s
15°C	Wasser	1,16 mm ² /s
10°C	Wasser	1,32 mm ² /s
5°C	Wasser	1,50 mm ² /s
0°C	EG 20%	3,49 mm ² /s
0°C	EG 25%	4,05 mm ² /s
0°C	EG 30%	4,72 mm ² /s
0°C	PG 25%	5,97 mm ² /s
0°C	PG 35%	9,65 mm ² /s
0°C	ET 20%	4,64 mm ² /s

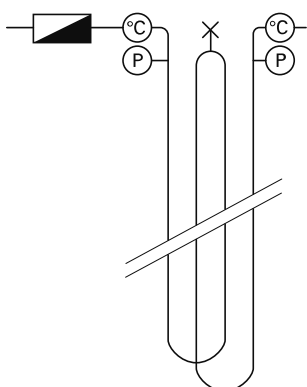
Für die Druckdifferenzberechnung bei abweichender kinematischer Viskosität des Mediums können in Annäherung die Werte aus Figur 4 mit dem Faktor aus Figur 5 entsprechend der kinematischen Viskosität des eingefüllten Mediums multipliziert werden (turbulente Strömung vorausgesetzt).

EG Ethylenglykol
 PG Propylenglykol
 ET Ethanol

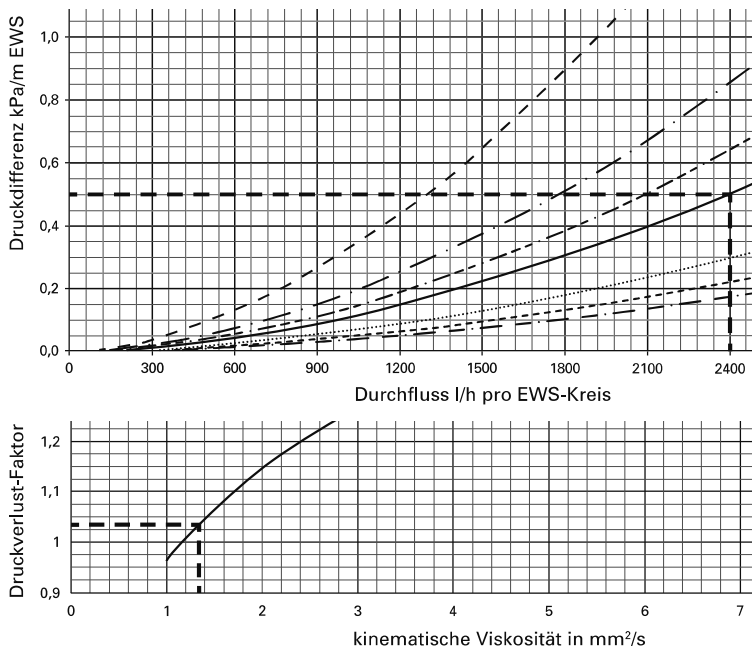
Figur 5 Druckverlust-Faktor bei turbulenter Strömung gegenüber Wasser von 15°C (kinematische Viskosität 1,16 mm²/s) in Abhängigkeit von der kinematischen Viskosität



- B.1.1.4 Beispiel: EWS-Länge 200 m, \varnothing 40 mm SDR 11, Füllung Wasser, gemessener Durchfluss 2400 l/h, beide Kreise in Serie zusammengeschlossen. Eintrittstemperatur 8°C, Austrittstemperatur 12°C, Eintrittsdruck 250 kPa, Austrittsdruck 30 kPa. Kontrolle der gemessenen Werte mit den Figuren 4 und 5.



EWS-Länge 200 m,
 \varnothing 40 mm SDR 11



Lösung: In Figur 4 den Druckverlust pro Meter EWS-Kreis ablesen \rightarrow 2400 l/h \rightarrow 0,5 kPa/m. Mit der EWS-Länge und der Anzahl gemessener Kreise (U-Rohre) multiplizieren: 0,5 kPa/m \cdot 200 m \cdot 2 = 200 kPa.

Mittlere Temperatur zwischen Vor- und Rücklauf bestimmen: $(8 + 12)/2 = 10^\circ\text{C}$. Kinematische Viskosität nach Tabelle 7 für 10°C Wasser: $1,32 \text{ mm}^2/\text{s}$, Korrekturfaktor der Viskosität aus Figur 5 bestimmen: 1,034. Mit dem Druckverlust bei 15°C Wasser multiplizieren: $200 \cdot 1,034 = 207 \text{ kPa}$.

Vergleich mit der Messung: Differenzdruck: $250 \text{ kPa} - 30 \text{ kPa} = 220 \text{ kPa}$. Abweichung der gemessenen von der gerechneten Druckdifferenz: $220 \text{ kPa} - 207 \text{ kPa} = 13 \text{ kPa}$. In %: $13/207 = 6,3\%$. Die Abweichung liegt innerhalb der Toleranz.

B.1.2 Durchflussprüfung pro Erdwärmesonde mit Zuleitung ab Verteiler

- B.1.2.1 Die fertig angeschlossene Erdwärmesonde wird am Ende des Spülens oder des Füllens mit einer Durchfluss- und Differenzdruckprüfung kontrolliert. Die Abweichung vom berechneten Durchfluss zur Messung darf $\pm 15\%$ nicht überschreiten. Ein verminderter Durchfluss ergibt eine Leistungseinbusse.
- B.1.2.2 Die Berechnung erfolgt z.B. nach Colebrook-Nikuradse, Blasius oder dem Moody-Diagramm. Dabei sind die Durchflussrate, die kinematische Viskosität und die Dichte des Mediums sowie die Rohrgeometrie zu berücksichtigen. Diagramme für die Differenzdruckberechnung sind in D.7 enthalten.
- B.1.2.3 Die Durchflussprüfung kann mit einem elektronisch registrierenden Messgerät durchgeführt werden. Dabei sind gleichzeitig die Durchflussrate, der Ein- und Austrittsdruck (gemessen direkt auf dem Verteiler) sowie die Ein- und Austrittstemperatur im Sekundentakt aufzuzeichnen. Die Auswertung erfolgt über einen mindestens während 30 Sekunden stabilen Messbereich (Standardabweichung Durchfluss $< 5\%$, Eintrittsdruck $< 5\%$, Austrittstemperatur $< 1 \text{ K}$). Die Messung und die Berechnung können in das Formular A.3 übertragen oder als Protokollblatt dem Formular A.3 beigelegt werden.

B.2 Dichtheitsprüfung in Anlehnung an SN EN 805 (normativ)

B.2.1 Für die Prüfung einzuhaltende Bedingungen

B.2.1.1 Horizontale Verbindungsleitungen:

Meistens werden die horizontalen Verbindungsleitungen gemäss 6.2 mit Luft mit 3 bar abgepresst. Dies lässt aber nur die Dichtheitsprüfung mit Lecksuchspray zu, was genügend ist. Soll die Messung nach SN EN 805 beurteilt werden, sind folgende Randbedingungen einzuhalten:

- Vollständige Füllung mit Wasser (luftfrei gespült).
- Gleichbleibende Temperatur der Rohrwand über die Prüfdauer.
- Keine direkte Sonneneinstrahlung auf die Rohre.
- Prüfdruck 5 bar.

B.2.1.2 Erdwärmesonden:

- Vollständige Füllung mit Wasser (luftfrei gespült).
- Lückenlose Hinterfüllung mit einer plastischen oder fließfähigen Suspension, die für die Prüfung noch nicht abgebunden sein darf.
- In Klüftzonen und in permeablen Bereichen, wo in Absprache mit den zuständigen Behörden die Hinterfüllung nicht komplett ausgeführt wurde, muss die Dichtheitsprüfung den Gegebenheiten angepasst werden, um eine Schädigung der Erdwärmesondenrohre zu verhindern. Dies gilt auch bei speziellen Typen von Erdwärmesonden.
- Keine direkte Sonneneinstrahlung auf die Rohre.
- Der Prüfdruck ist so gewählt, dass der Überdruck in den Rohren am Erdwärmesondenfuss während der ganzen Prüfung (Figur 6) mindestens 0,5 bar ist. Unabhängig davon ist der minimale Prüfdruck 7,5 bar.
- Der notwendige Prüfdruck ist in Tabelle 9 in Abhängigkeit von der Tiefe und der Dichte der Hinterfüllung aufgelistet.
- Während des Tests darf das Rohrmaterial nicht überlastet werden. Es sind die Grenzen entsprechend den eingesetzten Rohrdimension(en) gemäss Tabelle 8 oder Herstellerangabe, Differenzdruck 60 Stunden, einzuhalten. Ist der Differenzdruck grösser, so besteht die Gefahr der Ausbeulung (Innendruck ist grösser als Aussendruck). Wird die untere Grenze unterschritten (Aussendruck grösser als Innendruck), so besteht die Gefahr, die Rohre zusammenzudrücken (Einbeulung).
- Besondere Beachtung ist Erdwärmesondenrohren mit variabler Wanddicke zu schenken, damit in keinem Bereich der EWS eine Überlastung stattfindet.
- Kann dies nicht gewährleistet werden, so kann eine Langzeitprüfung gemäss B.3 über mindestens 100 Stunden Dauer durchgeführt werden.

Tabelle 8 Auswahl des zulässigen minimalen und maximalen Differenzdrucks, berechnet aus Innendruck minus Aussendruck während der Prüfung (Spalten 60 Stunden) und für den Betrieb (Spalten 50 Jahre)

Druckstufe	Vollwand-PE-Rohr PE 100	Differenzdruck 60 Stunden (Prüfung)			Differenzdruck 50 Jahre (Betrieb)	
		Aussendruck > Innendruck 20°C (EWS-Fuss)	Innendruck > Aussendruck 20°C (Standard)	Innendruck > Aussendruck 27°C (Sommer)	Aussendruck > Innendruck 20°C nach VKR RL 03 $E_{R,lang,S=2}$	Innendruck > Aussendruck 20°C
PN 16	SDR 11	-8,2 bar	22,8 bar	21,0 bar	-1,8 bar	16,0 bar
PN 20	SDR 9	-12,5 bar	28,5 bar	26,2 bar	-3,5 bar	20,0 bar
PN 25	SDR 7.4	-18,4 bar	35,6 bar	32,8 bar	-6,8 bar	25,0 bar
PN 32	SDR 5.6	-31,3 bar	45,6 bar	41,9 bar	-18,3 bar	32,0 bar
PN 40	SDR 5	-38,9 bar	57,0 bar	52,4 bar	-27,9 bar	40,0 bar

Tabelle 9 Minimal notwendiger Prüfdruck für Erdwärmesonden in Abhängigkeit von der Hinterfüllung und Erdwärmesondenlänge sowie einer Annahme von 40 % Druckreduktion während der Ruhephase ohne Berücksichtigung von innerer Reibung der Hinterfüllung; Schattierung entsprechend den Druckstufen nach Tabelle 8

Länge EWS	Dichte der Hinterfüllung					
	1200 kg/m ³	1400 kg/m ³	1500 kg/m ³	1600 kg/m ³	1800 kg/m ³	2000 kg/m ³
40 m	8 bar	8 bar	8 bar	8 bar	8 bar	9 bar
60 m	8 bar	8 bar	8 bar	8 bar	10 bar	13 bar
80 m	8 bar	8 bar	9 bar	10 bar	14 bar	17 bar
100 m	8 bar	9 bar	11 bar	13 bar	17 bar	21 bar
120 m	8 bar	10 bar	13 bar	15 bar	20 bar	25 bar
140 m	8 bar	12 bar	15 bar	17 bar	23 bar	28 bar
160 m	8 bar	14 bar	17 bar	20 bar	26 bar	32 bar
180 m	8 bar	15 bar	19 bar	22 bar	29 bar	36 bar
200 m	9 bar	17 bar	21 bar	25 bar	32 bar	40 bar
220 m	10 bar	18 bar	23 bar	27 bar	36 bar	44 bar
240 m	10 bar	20 bar	25 bar	29 bar	39 bar	48 bar
260 m	11 bar	21 bar	27 bar	32 bar	42 bar	52 bar
280 m	12 bar	23 bar	28 bar	34 bar	45 bar	56 bar
300 m	13 bar	25 bar	30 bar	36 bar	48 bar	1)
320 m	14 bar	26 bar	32 bar	39 bar	51 bar	1)
340 m	14 bar	28 bar	34 bar	41 bar	54 bar	1)
360 m	15 bar	29 bar	36 bar	43 bar	1)	1)
380 m	16 bar	31 bar	38 bar	46 bar	1)	1)
400 m	17 bar	32 bar	40 bar	48 bar	1)	1)

1) Bereich ausserhalb der Einsatzgrenze der Druckstufen nach Tabelle 8

Wird für die Prüfung bei schwerer Hinterfüllung ein geringerer Prüfdruck als nach Tabelle 9 gewählt, ist ein Überdruck über die ganze EWS-Länge für die ganze Testphase nicht gewährleistet.

B.2.2 Dichtheitsprüfung mit elektronisch protokollierendem Prüfgerät, Aufzeichnung des Drucks alle 10 Sekunden

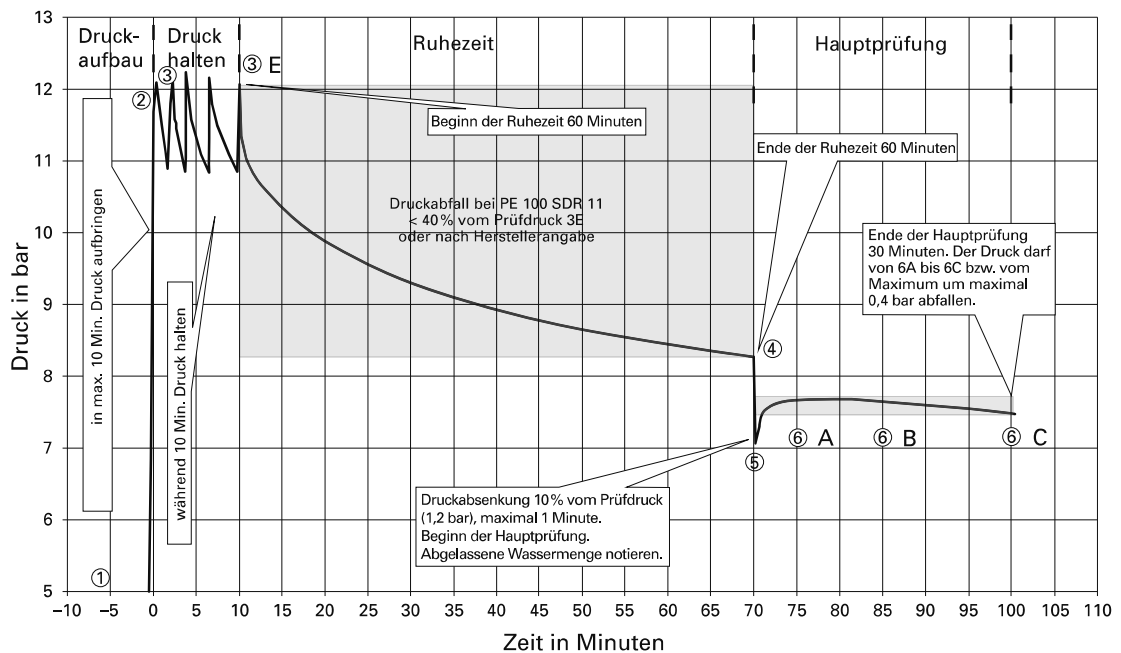
- a) 1 h Entspannungszeit der zu messenden Rohre in nicht belastetem Zustand ①
- b) Aufbauen des Prüfdrucks bei U-Rohr-EWS nach Tabelle 9 oder bis zum maximal zulässigen Prüfdruck nach Herstellerangaben ② (max. 10 Minuten)
- c) 10 Min. Aufrechterhalten des Prüfdrucks ③ bis ③E
- d) 1 h Wartezeit. Während dieser Zeit kann das Rohr vollständig expandieren ③E bis ④
- e) Messung des verbleibenden Drucks ④. Die Abnahme, verursacht durch die Rohr-expansion, soll nicht grösser als 40 % oder wie vom Sondenhersteller angegeben sein. Grössere Abweichungen sind auf den Sondereinbau, die Hinterfüllung, Luft-einschlüsse oder Leckagen zurückzuführen. Die Prüfung ist bei Punkt a) wieder zu beginnen.
- f) Rasche Druckentlastung (max. 1 Min.) um 10 % des Prüfdrucks, minimal 1 bar, durch Ablassen von Wasser. Die abgelassene Wassermenge und der neue Druckwert sind zu messen ⑤. Kontrolle der Wassermenge nach Tabelle 10, multipliziert mit der Erd-wärmesondenlänge. Eine grössere Ablassmenge ist auf Luft-einschlüsse zurück-zuführen. Die Prüfung ist bei Punkt a) wieder zu beginnen.
- g) 5 Min. 1. Druckmessung ⑥A (5 Minuten nach Start der Hauptprüfung)
- h) 10 Min. 2. Druckmessung ⑥B (15 Minuten nach Start der Hauptprüfung)
- i) 15 Min. 3. und letzte Druckmessung ⑥C (30 Minuten nach Start der Hauptprüfung)

Die Dichtheitsprüfung ist bei kontinuierlichen Messungen bestanden, wenn der maximale Druckabfall vom Maximalwert (gemessen ab ⑤ bis zum Wert bei ⑥C) weniger oder gleich 0,4 bar beträgt. Werden zur Kontrolle die Werte zusätzlich von Hand abgelesen, sind die Werte bei ⑥A bis ⑥C abzulesen.

Material: elektronisch registrierendes Prüfgerät mit Manometer mit einer Auflösung besser 0,01 bar; Druckbereich entsprechend der Prüfung; 2 Schieber; Entlüftung; Druckpumpe; Messbecher oder Zähler.

Die Resultate sind in das Protokoll A.2 einzutragen oder als Diagramm gemäss untenstehendem Beispiel auszudrucken.

Figur 6 Dichtheitsprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an SN EN 805, Beispiel einer Messung: Prüfdruck 12 bar, Druckabfall während der Ruhephase 31 %; Druckabfall bei der Hauptprüfung: Maximalwert zu Druck bei 100 Minuten: 0,22 bar



Wird die Hauptprüfung nicht erfüllt, muss die Prüfung zeitnah wiederholt werden. Dabei ist der Prüfdruck nach B.2.1.2 so zu wählen, dass nach der Druckentlastung noch ein Überdruck am Erdwärmesondenfuss (Figur 6, ⑤) von mindestens 0,5 bar vorhanden ist. Empfehlung: vor Wiederholung Anschlussgeräten überprüfen.

Tabelle 10 Zulässige abgelassene Wassermenge pro Meter Erdwärmesonde (Duplex) aus PE 100 nach SN EN 805, die für die Druckabsenkung nicht überschritten werden darf

Ø aussen	32 mm	40 mm	40 mm	40 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Ø innen	26 mm	32,6 mm	31 mm	29,2 mm	40,8 mm	38,8 mm	36,4 mm	32 mm
Wanddicke	3 mm	3,7 mm	4,5 mm	5,5 mm	4,6 mm	5,6 mm	6,9 mm	7,2 mm
Nenndruck	PN 16	PN 16	PN 20	PN 25	PN 16	PN 20	PN 25	PN 32
rasche Druckabsenkung in bar	maximal zulässige abgelassene Wassermenge in Milliliter pro Meter Erdwärmesonde							
1,0	1,97	3,14	2,26	1,58	4,95	3,56	2,44	1,82
1,1	2,16	3,45	2,48	1,74	5,44	3,91	2,69	2,00
1,2	2,36	3,77	2,71	1,90	5,94	4,27	2,93	2,18
1,3	2,56	4,08	2,94	2,05	6,43	4,62	3,17	2,36
1,4	2,75	4,40	3,16	2,21	6,93	4,98	3,42	2,54
1,5	2,95	4,71	3,39	2,37	7,42	5,34	3,66	2,73
1,6	3,15	5,02	3,61	2,53	7,92	5,69	3,91	2,91
1,7	3,34	5,34	3,84	2,69	8,41	6,05	4,15	3,09
1,8	3,54	5,65	4,07	2,85	8,91	6,40	4,40	3,27
1,9	3,74	5,96	4,29	3,00	9,40	6,76	4,64	3,45
2,0	3,93	6,28	4,52	3,16	9,90	7,11	4,88	3,63
2,1	4,13	6,59	4,74	3,32	10,39	7,47	5,13	3,82
2,2	4,33	6,91	4,97	3,48	10,89	7,83	5,37	4,00
2,3	4,52	7,22	5,19	3,64	11,38	8,18	5,62	4,18
2,4	4,72	7,53	5,42	3,79	11,88	8,54	5,86	4,36
2,5	4,92	7,85	5,65	3,95	12,37	8,89	6,11	4,54
2,6	5,11	8,16	5,87	4,11	12,86	9,25	6,35	4,72
2,7	5,31	8,48	6,10	4,27	13,36	9,60	6,59	4,91
2,8	5,51	8,79	6,32	4,43	13,85	9,96	6,84	5,09
2,9	5,70	9,10	6,55	4,58	14,35	10,31	7,08	5,27
3,0	5,90	9,42	6,78	4,74	14,84	10,67	7,33	5,45
3,1	6,10	9,73	7,00	4,90	15,34	11,03	7,57	5,63
3,2	6,29	10,05	7,23	5,06	15,83	11,38	7,82	5,81
3,3	6,49	10,36	7,45	5,22	16,33	11,74	8,06	6,00
3,4	6,69	10,67	7,68	5,37	16,82	12,09	8,30	6,18
3,5	6,88	10,99	7,90	5,53	17,32	12,45	8,55	6,36
3,6	7,08	11,30	8,13	5,69	17,81	12,80	8,79	6,54
3,7	7,28	11,62	8,36	5,85	18,31	13,16	9,04	6,72
3,8	7,47	11,93	8,58	6,01	18,80	13,52	9,28	6,90
3,9	7,67	12,24	8,81	6,16	19,30	13,87	9,52	7,09
4,0	7,87	12,56	9,03	6,32	19,79	14,23	9,77	7,27

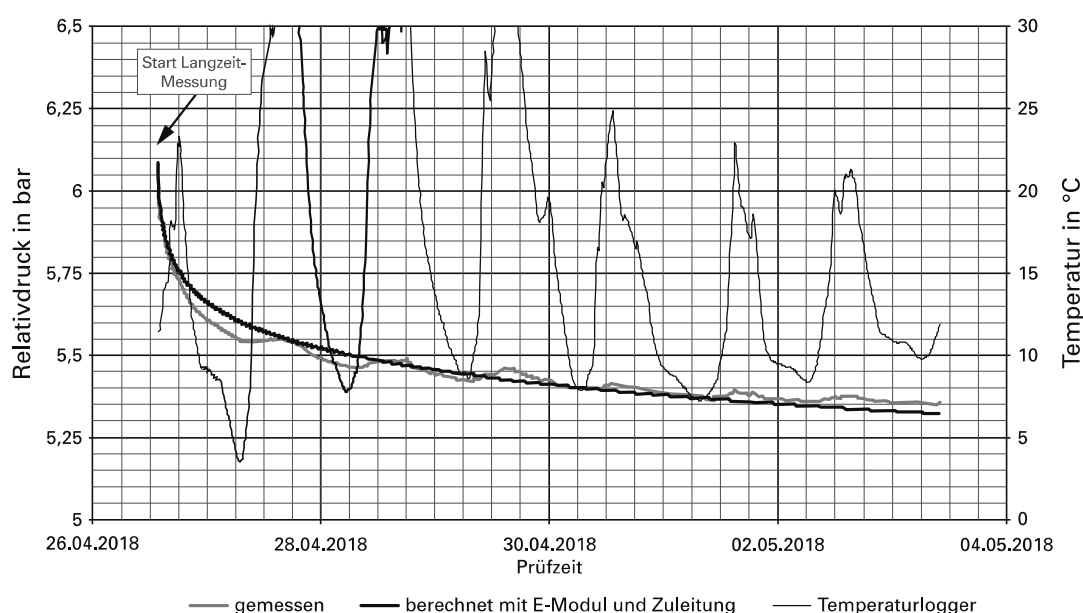
Für abweichende Erdwärmesondentypen können die Werte der Hersteller verwendet werden.

B.3 Langzeitprüfung (informativ)

B.3.1 Ist keine Dichtheitsprüfung der Einzelsonden nach B.2 möglich, so kann eine Langzeitprüfung über mindestens 100 h durchgeführt werden. Die Langzeitprüfung wird an Sonden in ausgehärteter Hinterfüllung durchgeführt.

B.3.2 Grundlagen für die Langzeitprüfung: Polyethylen hat viskoelastische Eigenschaften. Diese Eigenschaft wird durch den Kriechmodul $E_C = f(t, \theta, \sigma)$ beschrieben. Der Kriechmodul ist von der Zeit, der Temperatur und der Spannung abhängig. Wird eine EWS aus PE unter Druck gesetzt, baut sich der Druck mit der Zeit ab. Diese Relaxation (Druckabbau) einer Erdwärmesonde kann berechnet werden. Wird die Messung mit der Berechnung verglichen, kann die integrale auf die Sonde wirkende Spannung bestimmt werden. Mit dem Vergleich kann bestimmt werden, ob die EWS dicht ist. Die bestimmte integrale Spannung (Differenzdruck zwischen Gebirge und Wärmeträger) dient zusätzlich nach der Minerschen Regel gemäss SN EN ISO 13760 zur Lebensdauerbestimmung.

Figur 7 Beispiel einer Langzeitprüfung mit Messung und Berechnung (scheinbarer Porenwasserdruck 16 m)



B.3.3 Messverfahren für einzelne Erdwärmesondenkreise aus PE-Material, andere EWS-Typen nach Herstellerangabe:

- Pro vollständig gefüllten EWS-Kreis werden mit Pressluft 10 Liter Wasser ausgepresst.
- Auf den beiden Enden jedes U-Rohr-Paars wird gleichzeitig 5 bar Druck aufgebaut.
- Für jeden Kreis einzeln wird der Druck während mindestens 100 Stunden mit einem Druck-Datenlogger aufgenommen. Übliche Intervall-Länge 10 Minuten. Als Hilfsgrösse soll auch die Temperatur registriert werden, um Druckschwankungen interpretieren zu können.
- Die gemessenen Werte werden mit den berechneten Werten über den Zusammenhang $E_C = f(t, \theta, \sigma)$ und dem als Variable eingesetzten Gebirgsdruck (scheinbarer Porenwasserdruck) verglichen. Ergibt sich eine Übereinstimmung der Berechnung mit der Messung, ist die EWS dicht. Der berechnete integrale Gegendruck kann für die Lebensdauerbestimmung nach der Minerschen Regel nach SN EN ISO 13760 verwendet werden.

- B.3.4 Messverfahren für Erdwärmesondenverteiler, die noch nicht gefüllt sind:
- Die einzelnen Kreise und der Verteiler müssen vorgängig auf Dichtheit geprüft sein, damit die Prüfung mit Druckluft kein Sicherheitsrisiko darstellt.
 - Die Gesamtlänge der nicht mit Wasser gefüllten Zuleitungen muss bekannt sein.
 - Auf beiden Verteilerbalken wird gleichzeitig 5 bar Druck aufgebaut.
 - Für den gesamten Verteiler wird der Druck während mindestens 100 Stunden mit einem Druck-Datenlogger aufgenommen. Übliche Intervall-Länge 10 Minuten. Als Hilfsgrösse soll auch die Temperatur registriert werden, um Druckschwankungen interpretieren zu können.
 - Gemäss B.3.3 wird eine Vergleichsberechnung durchgeführt.
 - Unter Druck werden sämtliche Kreise des Verteilers geschlossen. Der Druck wird protokolliert. Nach 24 h wird der Druck in jedem Kreis gemessen und protokolliert. Die Abweichung vom Höchstwert darf bei den einzelnen EWS 10 % nicht überschreiten. Fällt eine EWS stärker ab, kann die EWS leck sein.
- B.3.5 Messverfahren für Erdwärmesondenverteiler, die gefüllt sind: Anstatt mit Pressluft Druck aufzubauen, muss ein Expansionsgefäss (für höheren Druck, z. B. 10 bar) gleichzeitig am Vor- und Rücklaufverteiler angeschlossen werden. Pro 1000 Liter Inhalt soll das Expansionsgefäss eine Grösse von mindestens 4 Litern haben. Der Vordruck ist auf 1 bar einzustellen. Der Druck wird auf 5 bar aufgebaut. Die restliche Messung entspricht B.3.4.

Anhang C (informativ)

Kennwerte

c.1 Allgemeines

Je nach Grösse eines Projekts (d. h. Anzahl EWS) können unterschiedlich aufwendige Verfahren zur Bestimmung der thermophysikalischen Parameter eingesetzt werden. Für die Dimensionierung der EWS werden die am Standort der EWS gemessenen oder geschätzten thermischen Gesteinseigenschaften (C.3) bestimmt.

c.2 Bodentemperatur und Bodenoberflächentemperatur

C.2.1 Allgemeines

C.2.1.1 Die Bodentemperatur ist eine Funktion der Bodenoberflächentemperatur, des Temperaturgradienten, der Wärmeleitfähigkeit des Bodens, des Wärmeflusses und weiterer, lokaler Einflüsse wie Grundwasserströmungen. Die Bodenoberflächentemperatur wird durch mehrere Faktoren beeinflusst:

- Höhe,
- Lage (z. B. Nord/Süd-Exposition; Stadt/Land),
- Beschattung,
- Grundwasserfluss,
- lokaler geothermischer Wärmefluss.

C.2.1.2 Die Bodenoberflächentemperatur am Standort kann in erster Annäherung aufgrund der Höhe über Meer bestimmt werden. Etwas genauer kann sie aus der mittleren Jahrestemperatur, die lokale Verhältnisse mitberücksichtigt, berechnet werden. Genaue Daten können durch die Messung eines Temperaturprofils entlang einer EWS erhalten werden.

C.2.1.3 Gebräuchliche Messverfahren:

- Umlaufmessung: Messung der mittleren Erdreichtemperatur durch Anschluss einer Umwälzpumpe und Messung der Vorlauftemperatur ohne Wärmeeintrag. Auswertung nach minimal vier Umläufen.
- Kabelmessung: Messung des Temperaturverlaufs in der eingebauten und wassergefüllten Erdwärmesonde mithilfe einer kabelgeführten Temperatursonde.
- Diver-Verfahren: Messung des Temperaturverlaufs in der eingebauten und wassergefüllten Erdwärmesonde mithilfe einer kabellosen Druck- und Temperatursonde, die selbständig absinkt und dabei die Messwerte aufzeichnet.
- Faseroptische Messung: Messung des Temperaturverlaufs in der eingebauten Erdwärmesonde mithilfe eines faseroptischen Lichtwellenleiters. Er wird entweder eingeführt oder vor dem Einbau an der Erdwärmesonde befestigt.

C.2.1.4 Die Reaktionsgeschwindigkeit der Messung muss so sein, dass Wärmeträger und Sensor beim Absinken des Divers oder Kabelfühlers im quasi thermischen Gleichgewicht sind.

C.2.2 Bestimmung der Bodenoberflächentemperatur am Standort aus der Höhe über Meer

C.2.2.1 Da ein Zusammenhang zwischen Höhenlage und Bodenoberflächentemperatur besteht, kann die Bodenoberflächentemperatur in erster Näherung direkt aus der Standorthöhe bestimmt werden. Lokale Verhältnisse sind dabei nicht berücksichtigt, entsprechend gross sind die Toleranzwerte zu bemessen. Ohne weitere Abklärungen ist im Heizfall zum Resultat aus den Gleichungen 4 und 5 ein Toleranzabzug von 1,5 K vorzunehmen, im Kühlfall ein Toleranzzuschlag von 1,5 K zu addieren.

C.2.2.2 Figur 8 stellt die Bodenoberflächentemperatur für verschiedene Meereshöhen der Alpennordseite und der Alpensüdseite dar (berechnet anhand der Gleichungen 4 und 5). Diese Gleichungen gelten für einen Höhenbereich von 200 m bis 1800 m ü. M.

Alpennordseite:

Bodenoberflächentemperatur (ausgezogene Kurve in Figur 8):

$$\theta_{G,s} = 1,373 \cdot 10^{-6} \cdot h_s^2 - 6,88 \cdot 10^{-3} \cdot h_s + 14,2 \quad (4)$$

Alpensüdseite:

Bodenoberflächentemperatur (gestrichelte Kurve in Figur 8):

$$\theta_{G,s} = 2,277 \cdot 10^{-6} \cdot h_s^2 - 8,38 \cdot 10^{-3} \cdot h_s + 15,4 \quad (5)$$

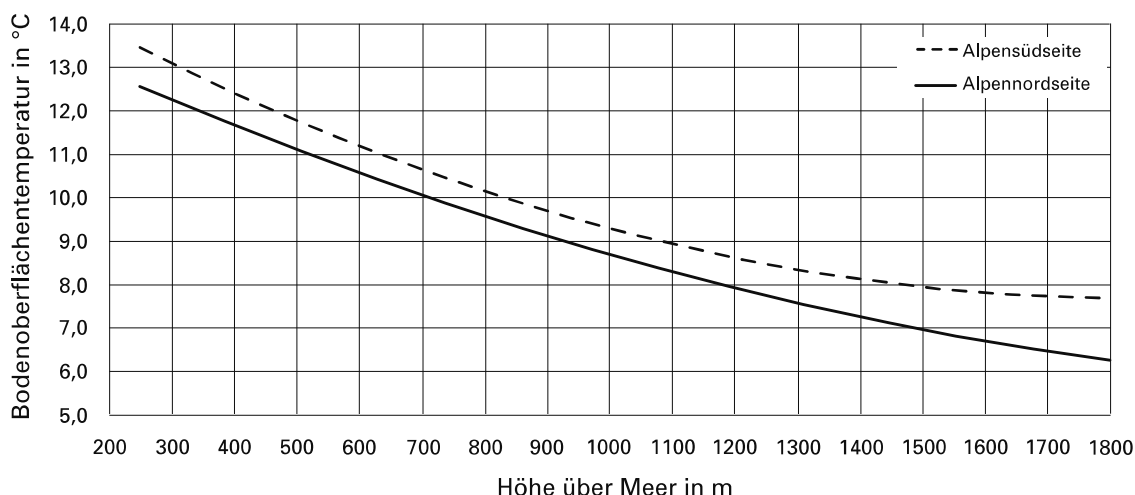
Bodenoberflächentemperatur, mit Toleranzwert für den Heizfall:

$$\theta_{G,s,H} = \theta_{G,s} - 1,5 \text{ K} \quad (6)$$

Bodenoberflächentemperatur, mit Toleranzwert für den Kühlfall:

$$\theta_{G,s,C} = \theta_{G,s} + 1,5 \text{ K} \quad (7)$$

Figur 8 Bodenoberflächentemperaturen, abgeschätzt mit den Gleichungen 4 und 5, wenn die Jahresmitteltemperatur am Standort nicht bekannt ist, für einen Höhenbereich von 200 m bis 1800 m ü. M.



C.2.3 Bestimmung der Bodenoberflächentemperatur bei bekannter Jahresmitteltemperatur

C.2.3.1 Ist die Jahresmitteltemperatur am Standort bekannt (z. B. berechnet mit der Software Meteo-norm [21]), kann die Bodenoberflächentemperatur aus der Standorthöhe nach folgenden Gleichungen berechnet werden [11].

Bodenoberflächentemperatur für Standorthöhe < 1000 m ü. M.

$$\theta_{G,s} = \theta_{e,avg} + 1,55 \quad (8)$$

Bodenoberflächentemperatur für Standorthöhe > 1000 m ü. M.

$$\theta_{G,s} = \theta_{e,avg} + 1,55 + \frac{h_s - 1000}{800} \cdot 2,45 \quad (9)$$

- $\theta_{G,s}$ Bodenoberflächentemperatur, in °C
- $\theta_{e,avg}$ mittlere Jahresausenlufttemperatur, in °C
- h_s Höhe Standort über Meer, m ü. M.

C.2.3.2 Wegen lokaler Unsicherheiten (z.B. Einfluss der Exposition) wird für die Dimensionierung ein Toleranzwert von 1 K für Heizzwecke (Gleichung 10) subtrahiert und für Kühlzwecke (Gleichung 11) addiert.

Bodenoberflächentemperatur, mit Toleranzwert für den Heizfall:

$$\theta_{G,s,H} = \theta_{G,s} - 1 \quad (10)$$

Bodenoberflächentemperatur, mit Toleranzwert für den Kühlfall:

$$\theta_{G,s,C} = \theta_{G,s} + 1 \quad (11)$$

c.3 Boden- und Stoffkennwerte

Tabelle 11 Bodenkennwerte. Der Wertebereich basiert auf Literaturdaten. Ohne weitere Kenntnisse sind die für die Schweiz empfohlenen Rechenwerte zu verwenden. In begründeten Fällen kann davon abgewichen werden. Werte teilweise aus Wärmeleitfähigkeiten im Schweizerischen Molassegestein [16]

	Gesteinstyp	Wärmeleitfähigkeit		Volumetrische Wärmekapazität		Dichte ρ 10 ³ kg/m ³
		λ W/(m·K)	empfohlener Rechenwert	$\rho \cdot c$ MJ/(m ³ ·K)	empfohlener Rechenwert	
Locker- gesteine und Torf	Ton trocken	0,4–1,0	0,6	1,5–1,6	1,5	1,8–2,0
	Ton wassergesättigt	0,9–2,3	1,4	2,0–2,8	2,3	2,0–2,2
	Sand trocken	0,3–0,8	0,5	1,3–1,6	1,4	1,8–2,2
	Sand wassergesättigt	1,5–4,0	2,3	2,2–2,8	2,4	1,9–2,3
	Kies/Steine, trocken	0,4–0,5	0,4	1,3–1,6	1,4	1,8–2,2
	Kies/Steine, wassergesättigt	1,6–2,0	1,7	2,2–2,6	2,3	1,9–2,3
	Moräne fest gelagert	1,7–2,4	1,8	1,5–2,5	2,0	1,9–2,5
	Torf	0,2–0,7	0,4	0,5–3,8	1,6	0,5–0,8
Sedimentäre Festgesteine	Schweizer Molasse- gestein (Mittelland)	siehe Tabelle 12		1,8–2,6	2,1	2,4–2,7
	Elsässer Molasse	1,6–2,3	1,9	2,1–2,4	2,2	2,2–2,8
	Septarienton	1,6–2,3	1,9	2,1–2,4	2,2	2,2–2,8
	Tonstein	1,1–3,5	1,9	2,1–2,4	2,2	2,4–2,6
	Sandstein		2,3	1,8–2,6	2,1	2,2–2,7
	Konglomerat (Nagelfluh) / Brekzie	1,3–5,1	2,6	1,8–2,6	2,1	2,2–2,7
	Mergelstein	1,5–3,5	2,1	2,2–2,3	2,2	2,3–2,6
	Kalkstein	2,5–4,0	2,8	2,1–2,4	2,2	2,4–2,7
	Sulfatgestein (Gips)	1,3–2,8	1,6		2,0	
Magma- tische Fest- gesteine	Granit	2,1–4,1	2,8	2,1–3,0	2,4	2,4–3,0
	Diorit	2,0–2,9	2,3		2,7	2,9–3,0
	Gabbro	1,7–2,5	2,0		2,6	2,8–3,1
Metamorphe Festgesteine	Tonschiefer	1,5–2,6	1,9	2,2–2,5	2,3	2,4–2,7
	Marmor	1,3–3,1	1,9		2,0	2,5–2,8
	Quarzit	5,0–6,0	5,3		2,1	2,5–2,8
	Glimmerschiefer	1,5–3,1	2,0	2,2–2,4	2,3	2,4–2,7
	Gneis	1,9–4,0	2,6	1,8–2,4	2,0	2,4–2,7
	Amphibolit	2,1–3,6	2,6	2,0–2,3	2,1	2,6–2,9

Tabelle 11 Bodenkennwerte (Fortsetzung)

	Gesteinstyp	Wärmeleitfähigkeit		Volumetrische Wärmekapazität		Dichte ρ 10 ³ kg/m ³
		Werte- bereich	empfohlener Rechenwert	Werte- bereich	empfohlener Rechenwert	
Diverse Stoffe	Bentonit-Zement- Gemisch (Hinter- füllung ausgehärtet)		0,8		3,0	1,2
	Beton	0,9–2,0	1,4		1,8	2,0–2,42
	Eis (–10 °C)		2,32		1,87	0,91
	Polyethylen (PE 100)		0,4		1,63	0,96
	Luft (0 °C–20 °C)		0,02		0,0012	0,00124
	Stahl		60,0		3,12	7,8
	Wasser (10 °C)		0,6		4,15	0,99

Tabelle 12 Wärmeleitfähigkeiten im Schweizerischen Molassegestein [16]. Der Wertebereich basiert auf Messdaten im Schweizer Mittelland. Ohne weitere Kenntnisse sind die für die Schweiz empfohlenen Rechenwerte zu verwenden. In begründeten Fällen kann davon abgewichen werden.

Molasse	Gesteinstyp	Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	
		Wertebereich	empfohlener Rechenwert
Obere Süsswasser- molasse	Tonstein – Siltstein	2,3–2,4	2,3
	Siltstein	2,3–2,4	2,3
	Feinsandstein	2,3–2,6	2,3
	Mittelsandstein	2,5–2,8	2,6
	Grobsandstein und Konglomerat	2,5–2,8	2,6
Obere Meeresmolasse	Tonstein – Siltstein	2,6–2,9	2,7
	Siltstein	2,6–2,9	2,7
	Feinsandstein	2,7–3,3	2,9
	Mittelsandstein	2,7–3,2	2,8
	Grobsandstein und Konglomerat	2,6–3,0	2,7
Untere Süsswasser- molasse	Tonstein – Siltstein	2,2–2,7	2,3
	Siltstein	2,3–2,8	2,4
	Feinsandstein	2,4–2,8	2,5
	Mittelsandstein	2,7–3,2	2,9
	Grobsandstein und Konglomerat	2,2–3,1	2,4

Die Wärmeleitfähigkeit der Hinterfüllung hängt stark vom Feuchtegehalt ab. Die Herstellerangaben gelten in der Regel nur für den frisch abgedundenen Zustand, bei dem der Wassergehalt im Mischverhältnis den Herstellerangaben entspricht. In trockener Bohrumgebung muss mit einer teilweisen Austrocknung der Hinterfüllung gerechnet werden. Bei trockener oder nicht bekannter Bohrumgebung muss deshalb für die Berechnung mit einem um 20 % reduzierten Wert für die Wärmeleitfähigkeit der Hinterfüllung gerechnet werden.

C.4 Wärmeträger

C.4.1 Die zulässigen Wärmeträger werden von den kantonalen Gewässerschutzstellen bestimmt. Hilfe dazu bietet [7].

C.4.2 Zulässige Wärmeträger, inklusive Inhibitoren, gehören zur Klasse B gemäss [7] oder sind unbehandeltes Wasser. Von den in [4] aufgeführten Wärmeträgern erfüllen die folgenden diese Anforderung.

Tabelle 13 Zulässige Wärmeträger

Wärmeträger	Verwendung	Bemerkung
Propylenglykol	oft	Unproblematisch, hat hohe Viskosität
Ethylenglykol	üblich	Unproblematisch, hat mittlere Viskosität
Ethylalkohol (Ethanol)	oft	Unproblematisch, soll inhibiert sein, hat mittlere Viskosität, grosser Ausdehnungskoeffizient
Calciumchlorid	selten	Früher verwendet, korrosiv
Kaliumsalze	unbekannt	
Natriumchlorid	selten	Korrosiv
Wasser	oft	Trinkwasser kann unbehandelt, ohne Entsalzung verwendet werden. Dem Korrosions- und Frostschutz muss Beachtung geschenkt werden.

Die kantonalen Gewässerschutzstellen können diese Liste einschränken oder ergänzen.

In Wärmeträgern dürfen als Zusatzstoffe (z. B. als Korrosionsinhibitor) keine biologisch schwer abbaubaren Stoffe, keine chlorierten Verbindungen und keine Schwermetallsalze verwendet werden.

C.4.3 Eigenschaften von Wärmeträgern

Die Eigenschaften der Wärmeträger, insbesondere die Viskosität, sind von der Temperatur abhängig.

Tabelle 14 Eigenschaften der hauptsächlich eingesetzten Wärmeträger

Träger (Mischung %v/v)	Dichte bei 0°C kg/m ³	Viskosität bei 0°C mm ² /s	Frostschutz °C	Volumetrische Ausdehnung $\Delta V/V_0$ von 0°C bis 20°C
Ethylenglykol 20%	1037	3,49	-10,6	0,0045
Ethylenglykol 25%	1046	4,05	-13,6	0,0051
Ethylenglykol 30%	1056	4,72	-16,9	0,0058
Propylenglykol 25%	1032	5,97	-10,1	0,0076
Propylenglykol 30%	1038	7,58	-13,5	0,0083
Propylenglykol 35%	1044	9,65	-18,5	0,0090
Wasser 5°C	1000	1,50	0,0	0,0016
Ethanol 20%	978	4,64	-7,8	0,0070
Ethanol 25%	976	5,57	-10,7	0,0113
Ethanol 30%	975	5,59	-14,3	0,0167

Quellen: Ethylenglykol, Propylenglykol: Clariant AG, Muttenz; Ethanol: Hubbuch/Melinder, ZHAW, Wädenswil

C.4.4 Auslegung von Expansionsgefässen

Die volumetrische Ausdehnung von 0°C auf 20°C kann für die Berechnung des Expansionsgefässes für den Erdwärmesondenkreis verwendet werden (3.4.2.6), solange keine grösseren Kältelasten abgeführt werden (Anlagetemperaturen > 20°C).

Beispiel:

Anlageninhalt 1000 Liter

Frostschutz 20% Ethylenglykol

Sicherheitsfaktor $s = 3$ (nach 3.4.2.6)

Gesucht ist die Grösse des Expansionsgefässes.

Nutzungsgrad des Expansionsgefässes bei 1 bar Vordruck und einem maximalen Druck von 3 bar:

$$\eta_{exp} = \frac{p_{max} - p_p}{p_{max} + 1} = \frac{3 - 1}{3 + 1} = 0,5 \quad (12)$$

η_{exp} Nutzungsgrad des Expansionsgefässes

p_{max} maximaler Druck, in bar

p_p Vordruck, in bar

Minimales Volumen des Expansionsgefässes

$$V_{exp,min} = \frac{\Delta V/V_0 \cdot V_{BHE} \cdot s}{\eta_{exp}} = \frac{0,0045 \cdot 1000 \cdot 3}{0,5} = 27 \text{ Liter} \quad (13)$$

$V_{exp,min}$ minimales Volumen des Expansionsgefässes, in Liter

$\Delta V/V_0$ volumetrische Ausdehnung bei Erwärmung von 0°C auf 20°C

V_{BHE} Inhalt Erdwärmesonden und Erdwärmesondenkreis, in Liter

s Sicherheitsfaktor nach Ziffer 3.4.2.6 = 3

Anhang D (informativ) Projektierungshinweise

D.1 Bewilligung

- D.1.1 Um die gesetzlichen Anforderungen bezüglich des Gewässerschutzes einzuhalten, sind die Anforderungen und Vorschriften in der BAFU-Vollzugshilfe [4] zu erfüllen. Die kantonalen Gewässerschutzbehörden geben Auskunft darüber, ob eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung für den vorgesehenen Standort möglich ist.
- D.1.2 Die für die Betriebsbewilligung notwendigen Anlagedokumentationen und -beschreibungen sind zuhanden der Bewilligungsbehörden vollständig abzugeben.
- D.1.3 Die Festlegung von Grenzabständen von Erdwärmesonden zu Nachbargrundstücken ist Sache der Bewilligungsbehörden.

D.2 Geologie

Geologische Erkenntnisse, die aus relevanten Untersuchungen des Untergrundes in der Umgebung stammen oder bei benachbarten Bauprojekten (Bohrungen, Strassen, Baugruben usw.) gemacht wurden, sollten bei der Projektierung berücksichtigt werden. Wichtige Informationsquellen stehen in den GIS einiger Kantone bereit.

D.3 Einflussfaktoren auf die Berechnung

Die für einen bestimmten Energiebedarf erforderliche Anzahl, die Tiefe und der Abstand von Erdwärmesonden werden durch eine Vielzahl von Parametern bestimmt. Dabei ist zu beachten, dass verschiedene Faktoren gegenläufige Auswirkungen haben können. Die Berechnung der wichtigsten Faktoren ist in Tabelle 15 aufgelistet.

Tabelle 15 Einflussfaktoren für die Dimensionierung der Erdwärmesonden

Parameter	Einfluss auf die Dimensionierung	Gewichtung
Grösserer Energiebedarf	grössere Erdwärmesondenlänge	gross
Höhere Entzugsleistung	grössere Erdwärmesondenlänge	gross
Unausgeglichene Energiebilanz der Erdwärmesonden (geringere Regenerationsrate)	grössere Erdwärmesondenlänge	gross
Höhere Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	kleinere Erdwärmesondenlänge	gross
Höhere Temperatur des Untergrundes	weniger Erdwärmesonden bei Entzug; mehr Erdwärmesonden bei Einspeisung	gross
Grösserer Abstand der Erdwärmesonden bei nicht ausgeglichener Energiebilanz	kleinere Erdwärmesondenlänge	gross
Grösserer Durchmesser der Erdwärmesonde	kleinere Erdwärmesondenlänge	mittel
Höhere Wärmeleitfähigkeit der Hinterfüllung ¹⁾	kleinere Erdwärmesondenlänge	mittel
Besserer Wärmeübergang des Wärmeträgers (laminar / turbulent) ¹⁾	kleinere Erdwärmesondenlänge	mittel
Tiefere Erdwärmesonden	weniger Erdwärmesonden bei Entzug; mehr Erdwärmesonden bei Einspeisung	mittel
Höhere Wärmekapazität und Dichte des Untergrundes	kleinere Erdwärmesondenlänge	klein

¹⁾ Durch den besseren Wärmeübergang zwischen Wärmeträger und Gebirge kühlt sich das Gebirge gegenüber dem Wärmeträger stärker ab. Dies muss gemäss 3.1.1.2 berücksichtigt werden.

D.4 Vereinfachtes Berechnungsverfahren für einfache Anlagen

D.4.1 Allgemeines

In 3.3.3 und 3.3.4 werden einfache und komplexe Anlagen definiert. Die Figuren 9 bis 21 für die Berechnung von einfachen Anlagen wurden mit g -Funktionen [12] berechnet.

D.4.1.1 Für die Berechnung einer einfachen Erdwärmesonden-Anlage sind folgende Daten notwendig:

- Standort (Geologie und Bodenoberflächentemperatur: siehe C.2 und C.3),
- Wärmebedarf,
- eingesetzte Wärmepumpe,
- Anordnung der Erdwärmesonden und Zuleitungslängen,
- Dimension der Zuleitungen.

D.4.1.2 Wenn bei einer Erdwärmesonde eine Leistung angegeben wird, bezieht sich diese immer auf gewisse Randbedingungen. Da jede Anlage unterschiedliche Randbedingungen aufweist, müssen die Leistungswerte mit verschiedenen Korrekturfaktoren versehen werden, um die Erdwärmesonde auf die Kälteleistung der Wärmepumpe auslegen zu können. In den folgenden Diagrammen können die verschiedenen Korrekturfaktoren herausgelesen werden.

D.4.1.3 Die Kälteleistung der Wärmepumpe wird durch die Erdwärmesonden-Austrittstemperatur und die maximale Auslegetemperatur des Wärmeabgabesystems (Kondensationstemperatur) bestimmt. Üblicherweise wird der Auslegepunkt B0W35 der Wärmepumpe gemäss SN EN 14511-1 verwendet. Bei tieferen Auslegetemperaturen ist der entsprechende Auslegepunkt (z. B. B0W30) zu verwenden.

D.4.2 Spezifische Leistung der Duplex-Erdwärmesonde mit Durchmesser 32 mm

Die Wärmeleitfähigkeit steht in einem engen Verhältnis zur Leistungsfähigkeit einer Erdwärmesonde. Die Wärmekapazität spielt eine untergeordnete Rolle. Figur 9 stellt die Normleistung einer Duplex-Erdwärmesonde mit Durchmesser 32 mm bei verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten des Erdreichs für folgende Randbedingungen dar:

- eine allein stehende EWS à 100 m Länge,
- mittlere Bodentemperatur von 10 °C,
- Bohrlochhinterfüllung mit Wärmeleitfähigkeit 0,85 W/(m·K),
- 1850 Volllaststunden pro Jahr,
- turbulente Strömung,
- gemittelte Soletemperatur (Vorlauf und Rücklauf EWS gemittelt) von –1,5 °C, z. B. Wärmeträger-Eintritt in EWS –3 °C, Austritt aus EWS 0 °C.

Auf der Y-Achse kann die Leistung nur für diese Normbedingungen direkt abgelesen werden. Mit der Normleistung kann die Normlänge der Erdwärmesonde bestimmt werden. Für die Auslegung der Erdwärmesonde ist die Kälteleistung der Wärmepumpe massgebend. Somit gilt:

$$L_{BHE,N} = \frac{\Phi_e}{P_{BHE}} \quad (14)$$

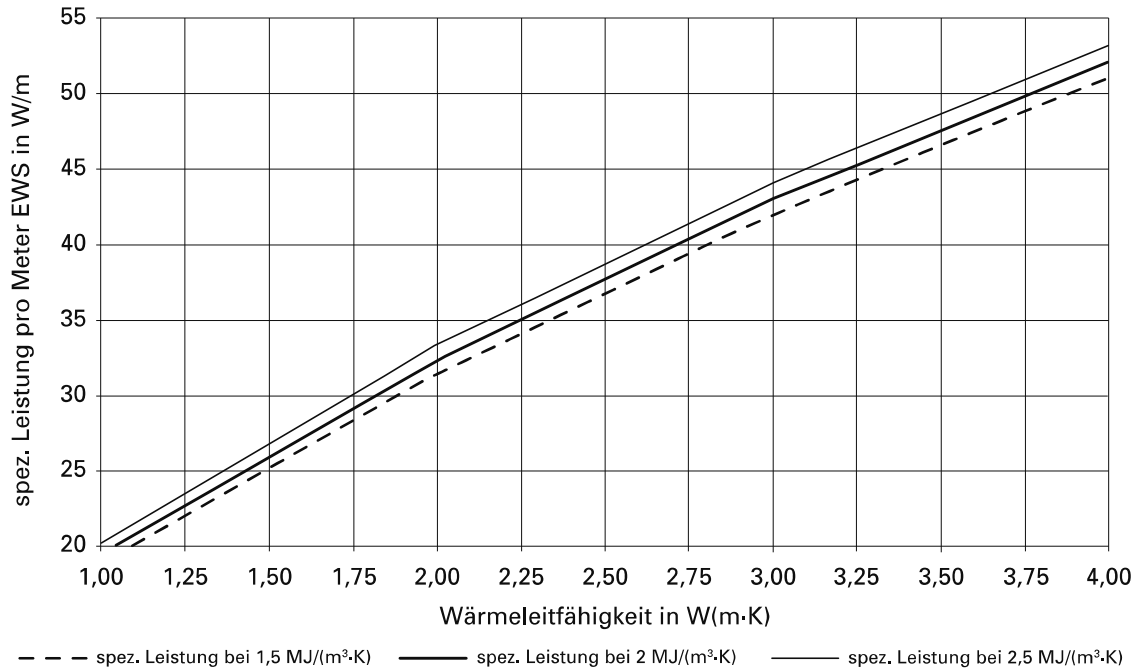
$L_{BHE,N}$ Normlänge der Erdwärmesonde bei Normbedingungen, in m

Φ_e Kälteleistung der WP im Auslegepunkt, in W

P_{BHE} spezifische Entzugsleistung der Erdwärmesonde bei Normbedingungen (Figur 9), in W/m

Für andere Randbedingungen müssen die entsprechenden Korrekturfaktoren angewendet werden, die im Folgenden beschrieben werden.

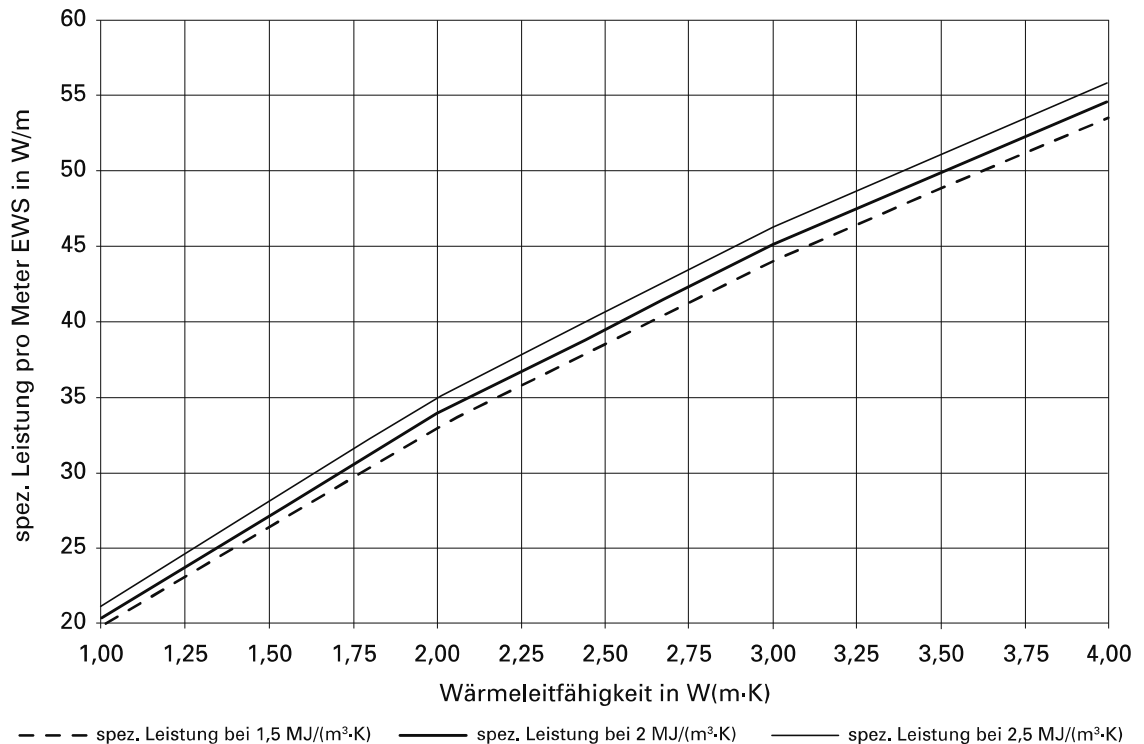
Figur 9 Spezifische Normleistung einer unbeeinflussten, freistehenden EWS mit De 32 mm, Duplex, unter normierten Randbedingungen (100 m Sondenlänge, 10°C mittlere Bodentemperatur, Standardhinterfüllung und 1850 Volllaststunden) bei verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten des Erdreichs



D.4.3 Spezifische Leistung der Duplex-Erdwärmesonde mit Durchmesser 40 mm

Der Vergleich mit Figur 9 zeigt, dass eine Duplex-Erdwärmesonde mit 40 mm Durchmesser 5 % mehr leistet als eine mit 32 mm Durchmesser. Die Bestimmung der spezifischen Leistung und der Normlänge erfolgt analog zu D.4.2.

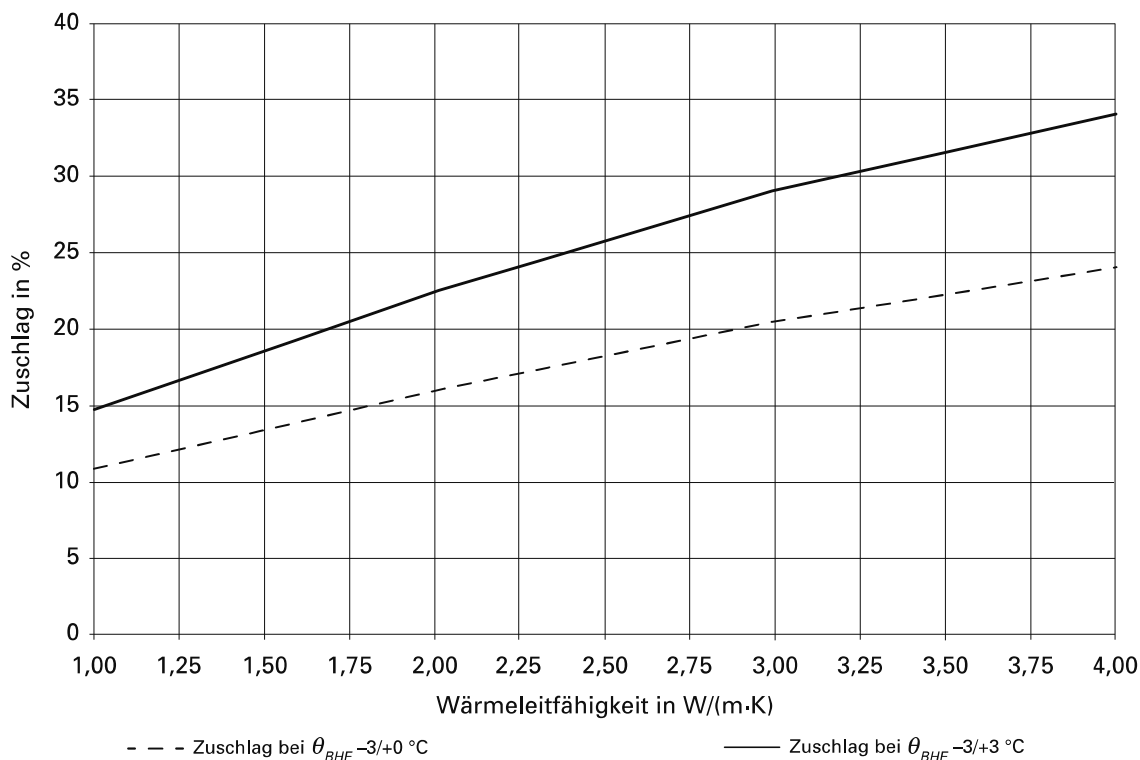
Figur 10 Spezifische Normleistung einer unbeeinflussten, freistehenden EWS mit De 40 mm, Duplex, unter normierten Randbedingungen (100 m Sondenlänge, 10°C mittlere Bodentemperatur, Standardhinterfüllung und 1850 Volllaststunden) bei verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten und Wärmekapazitäten des Erdreichs



D.4.4 Korrekturfaktor für Simplex-Erdwärmesonden

In manchen Ländern (Schweden, Österreich) werden häufig Simplex-Erdwärmesonden eingebaut. Diese Erdwärmesonden bestehen aus nur einem Kreis. Bei Ausfall eines Kreises einer Duplex-EWS verhält sich der übrig gebliebene Kreis wie eine Simplex-Erdwärmesonde. Durch die geringere Tauscherfläche ist die Leistung kleiner und muss nach Figur 11 mit einem Längenzuschlag kompensiert werden. Figur 11 zeigt die Standardauslegung bei $\theta_{BHE,in} = -3^\circ\text{C}$, $\theta_{BHE,out} = 0^\circ\text{C}$ sowie eine Auslegung $\theta_{BHE,in} = -3^\circ\text{C}$, $\theta_{BHE,out} = +3^\circ\text{C}$. Die grosse Spreizung kann bei Ausfall eines Kreises entstehen, wenn die Durchflussmenge nicht der Leistung des Kreises angepasst werden kann.

Figur 11 Zuschlag für die Sondenlänge bei Simplex-Erdwärmesonden gegenüber Duplex-Erdwärmesonden bei vollem und reduziertem Durchfluss



D.4.5 Volllaststunden

D.4.5.1 Für die Berechnung der Volllaststunden eignet sich die Norm SIA 384/3. Für eine Abschätzung der Grössenordnung kann auch die Methode nach D.4.5.2 bis D.4.5.9 verwendet werden.

D.4.5.2 Unterscheiden sich die Volllaststunden einer Anlage von den 1850 h unter Normbedingungen (siehe D.4.2), muss die Leistungsfähigkeit der Erdwärmesonde entsprechend korrigiert werden. Die Volllaststunden sind vom Standort, von der Grösse der Wärmepumpe im Verhältnis zum Wärmebedarf, vom Warmwasserbedarf usw. abhängig. Sie berechnet sich in erster Näherung wie folgt:

$$t_{an} = \frac{Q_{an}}{\Phi_{HP,c}} \tag{15}$$

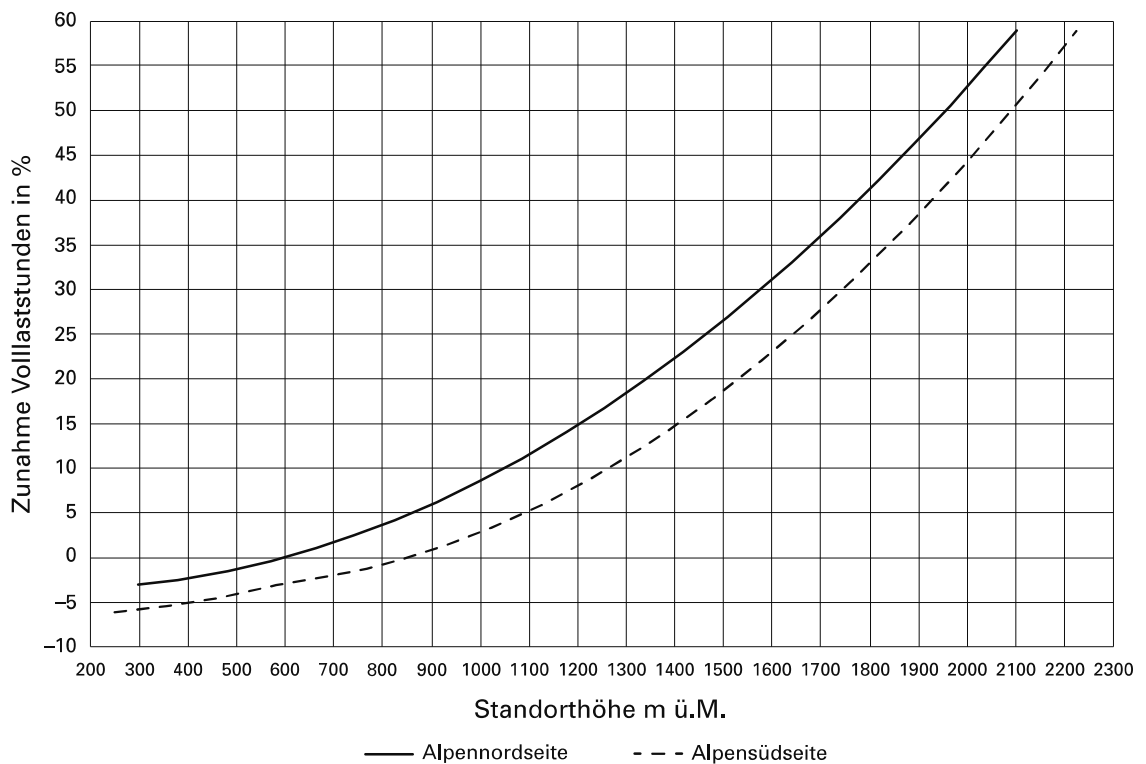
t_{an} Volllaststunden
 Q_{an} Jahreswärmebedarf, in kWh
 $\Phi_{HP,c}$ Heizleistung der Wärmepumpe im Auslegepunkt, in kW

D.4.5.3 Je höher der Standort ist, desto länger ist die Heizperiode (Heizgradtage). Die Norm-Volllaststunden in Abhängigkeit von der Standorthöhe können aus Figur 12 entnommen werden. Die Norm-Volllaststunden entsprechen den Jahres-Volllaststunden für den Fall, dass die Heizleistung der Wärmepumpe gleich dem Normleistungsbedarf ist. Unterscheiden sich die benötigte Norm-Heizleistung und die Heizleistung der gewählten Wärmepumpe, müssen die Volllaststunden entsprechend Gleichung 16 gewichtet werden. Gleichung 16 zeigt, dass bei einer knapp dimensionierten Wärmepumpe die Volllaststunden grösser werden.

$$t_{an,H} = \frac{t_{an,N} \cdot \Phi_{HL}}{\Phi_{HP,c}} \quad (16)$$

$t_{an,H}$ Volllaststunden Heizung
 $t_{an,N}$ Norm-Volllaststunden Heizung
 Φ_{HL} Norm-Heizlast, in kW
 $\Phi_{HP,c}$ Heizleistung der WP im Auslegungspunkt, in kW

Figur 12 Zunahme der Volllaststunden in Abhängigkeit vom Standort für die Alpennord- und -südseite (Referenz 600 m ü.M. für Alpennordseite und 850 m ü.M. für Alpensüdseite)



D.4.5.4 Zu den Volllaststunden Heizung müssen andere Wärmebezüger wie Trinkwarmwassererwärmung dazuaddiert werden. Der Jahreswärmebedarf für Warmwasser kann wie folgt berechnet werden:

$$Q_W = \frac{M_W \cdot (\theta_W - \theta_w) \cdot c_w}{3600 \text{ s/h}} \cdot 365 \quad (17)$$

Q_W Jahreswärmebedarf Warmwasser, in kWh
 M_W Warmwasserbedarf pro Tag, in kg
 θ_W Warmwassertemperatur, in °C
 θ_w Kaltwassertemperatur, in °C
 c_w spez. Wärmekapazität Wasser, in kJ/(kg·K)

D.4.5.5 Für das Gesamtsystem berechnen sich die Volllaststunden wie folgt:

$$t_{an} = t_{an,H} + \frac{Q_e}{\Phi_{HP,c}} \quad (18)$$

t_{an} Volllaststunden
 $t_{an,H}$ Volllaststunden Heizung
 Q_e jährlicher Zusatzwärmebedarf, in kWh
 $\Phi_{HP,c}$ Heizleistung der WP im Auslegepunkt, in kW

D.4.5.6 Minimale Wärmepumpengrösse

Die minimale Wärmepumpengrösse ergibt sich aus dem maximalen Bedarf unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten und Speicherwirkung der Verbraucher. Für Kleinanlagen kann folgende Regel angewendet werden.

$$\Phi_{HP,c,min} = \frac{Q_W}{7000} + \Phi_{HL} \quad (19)$$

$\Phi_{HP,c,min}$ minimale Heizleistung der WP im Auslegepunkt, in kW
 Q_W Jahreswärmebedarf Warmwasser, in kWh
 Φ_{HL} Norm-Heizlast, in kW

D.4.5.7 Volllaststunden bei Inverter-Wärmepumpen

Für die vereinfachte Berechnung darf bei einer Inverter-Wärmepumpe die Heizleistung der Wärmepumpe im Auslegepunkt $\Phi_{HP,c}$ nur dann der minimalen Wärmepumpengrösse $\Phi_{HP,c,min}$ gleichgesetzt werden, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen berücksichtigt wird:

- Die Leistung der Inverter-WP ist auf die minimale Wärmepumpengrösse $\Phi_{HP,c,min}$ begrenzt.
- Die Soletemperatur wird im Betrieb überwacht und die Leistung entsprechend zurückgeregelt, damit die Grenztemperatur von $-1,5^\circ\text{C}$ nach 3.1.1.2 nicht unterschritten wird.

Wird keine dieser Bedingungen berücksichtigt, muss die maximale Heizleistung der Wärmepumpe für $\Phi_{HP,c}$ für die Berechnung der EWS-Länge eingesetzt werden. Es empfiehlt sich, die Inverter-WP nicht grösser als 130 % der minimalen Wärmepumpengrösse $\Phi_{HP,c,min}$ auszuliegen.

D.4.5.8 Beim vereinfachten Verfahren wird immer mit mindestens 1800 Volllaststunden der Wärmepumpe gerechnet.

D.4.5.9 Beispiel für ein Haus mit 10 kW Heizbedarf und 300 l Warmwasserverbrauch pro Tag (Annahme Frischwasserstation von 10°C auf 55°C), Standorthöhe 800 m ü.M., Wärmepumpe mit einer Leistung von 10,5 kW.

Aus Figur 12 ergeben sich bei 800 m ü.M. 1916 Norm-Volllaststunden. Nach Gleichung 16 ergibt sich die folgende Volllaststundenzahl Heizung:

$$t_{an,H} = \frac{1916 \text{ h} \cdot 10 \text{ kW}}{10,5 \text{ kW}} = 1824,8 \text{ h}$$

Um die Volllaststundenzahl für das Gesamtsystem zu erhalten, muss der Zusatzwärmebedarf für das Warmwasser berechnet werden (Gleichung 17):

$$Q_W = \frac{300 \text{ kg} \cdot (55 - 10) \text{ K} \cdot 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})}{3600 \text{ s/h}} \cdot 365 = 5721 \text{ kWh}$$

Nach Gleichung 18 kann nun die Volllaststundenzahl für das Gesamtsystem berechnet werden:

$$t_{an} = 1824,8 \text{ h} + \frac{5721 \text{ kWh}}{10,5 \text{ kW}} = 2370 \text{ h}$$

Für dieses Beispiel ergibt sich eine deutlich höhere Volllaststundenzahl als unter den Normbedingungen (siehe D.4.2) und die unter Gleichung 14 berechnete Normlänge muss entsprechend korrigiert werden. Aus den Figuren 13 bis 21 kann der Korrekturfaktor für die Volllaststunden herausgelesen werden.

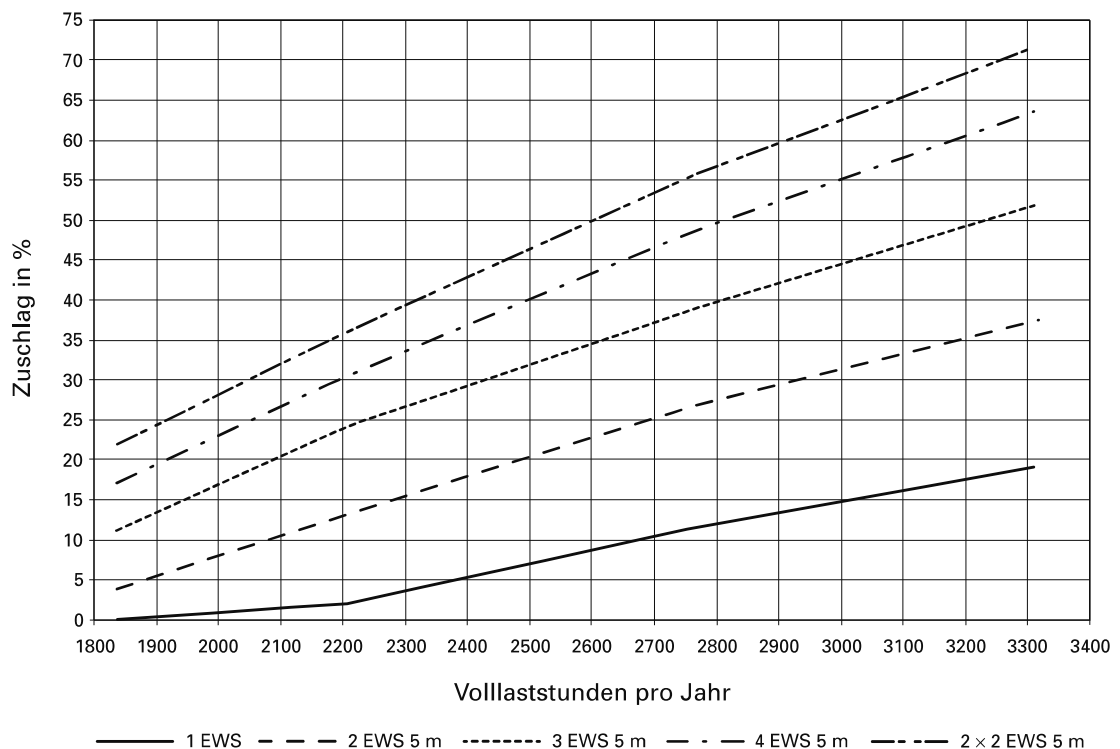
D.4.6 Korrekturfaktor für Volllaststunden, Anordnung und Wärmeleitfähigkeit

Je nach Volllaststunden, Anordnung der Erdwärmesonden und der Wärmeleitfähigkeit aus den Tabellen 11 und 12 muss ein Zuschlag für die EWS-Länge zur Normlänge aus D.4.2 oder D.4.3 gemacht werden. In den nachfolgenden Diagrammen werden Linienanordnungen bis maximal vier EWS und ein Fall mit quadratischer 2×2 EWS-Anordnung dargestellt. Für den Einsatz der EWS zu Heizzwecken sollte der Abstand so gross wie möglich gewählt werden. In den folgenden Diagrammen wird der Zuschlag in Variation von Abstand und Wärmeleitfähigkeit dargestellt. Der Zuschlag ist wie folgt zu berücksichtigen:

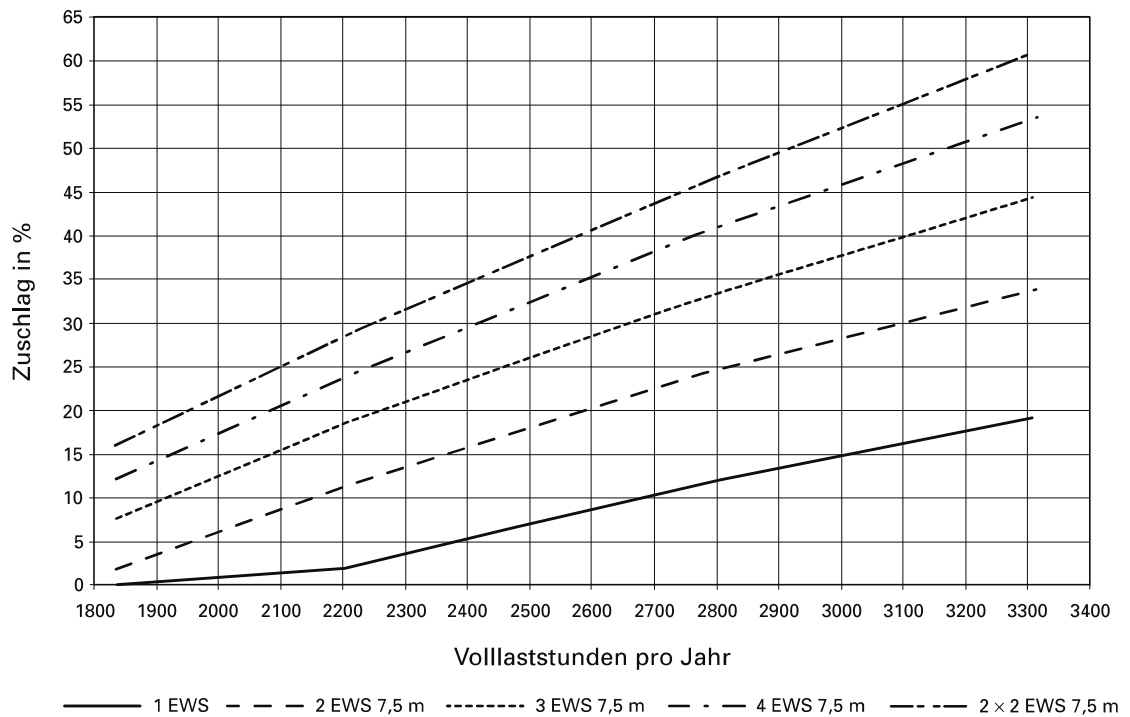
$$L_{BHE} = \frac{L_{BHE,N}}{\text{Anzahl Sonden}} \cdot (1 + \text{Zuschlag}) \quad (20)$$

L_{BHE} Länge der Erdwärmesonde bei Bedingungen am Standort, in m
 $L_{BHE,N}$ Normlänge der Erdwärmesonde bei Normbedingungen, in m

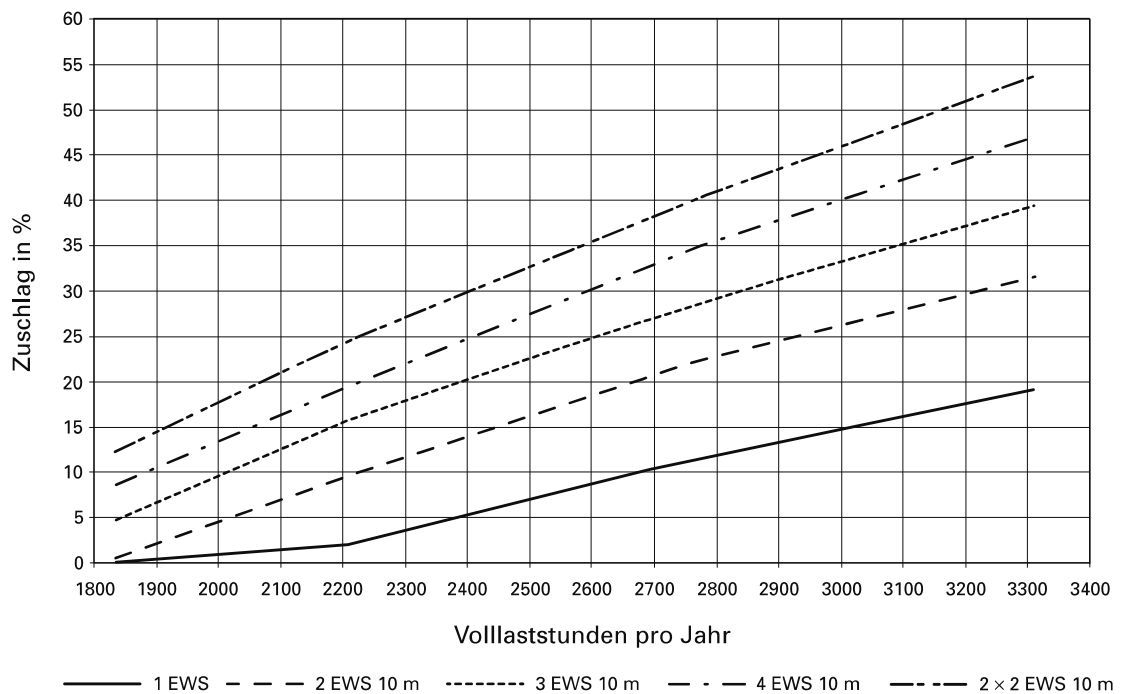
Figur 13 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **2 W/(m·K)** und **5 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



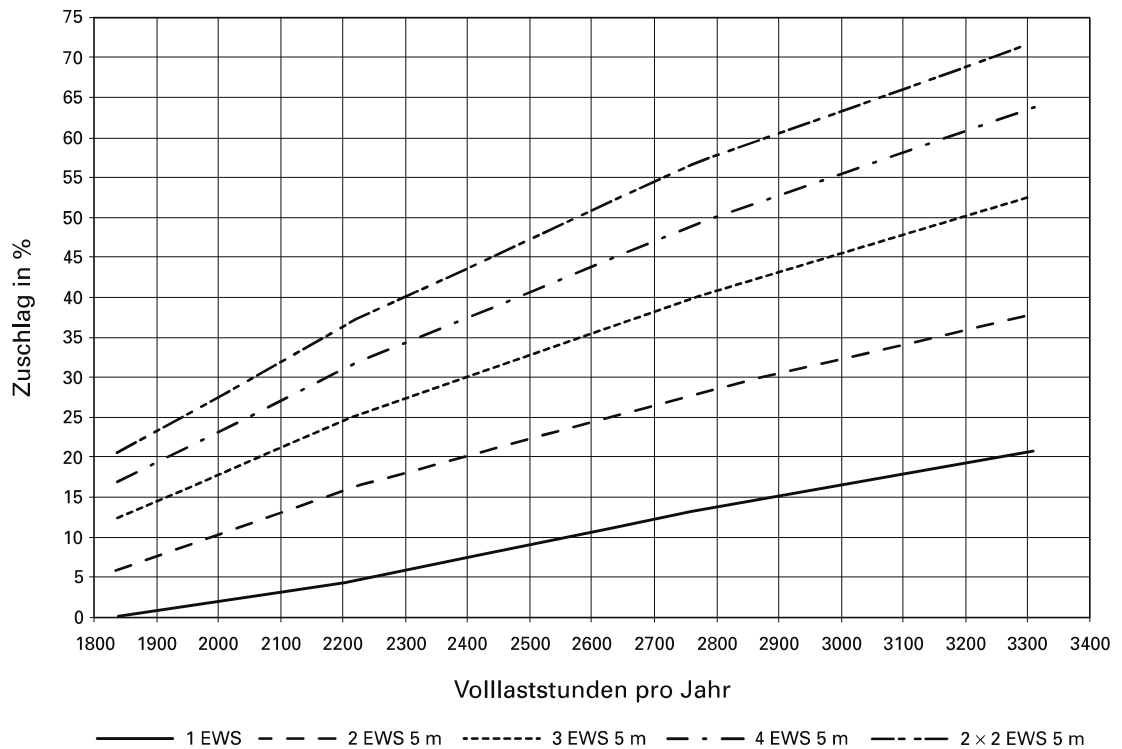
Figur 14 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **2 W/(m-K)** und **7,5 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



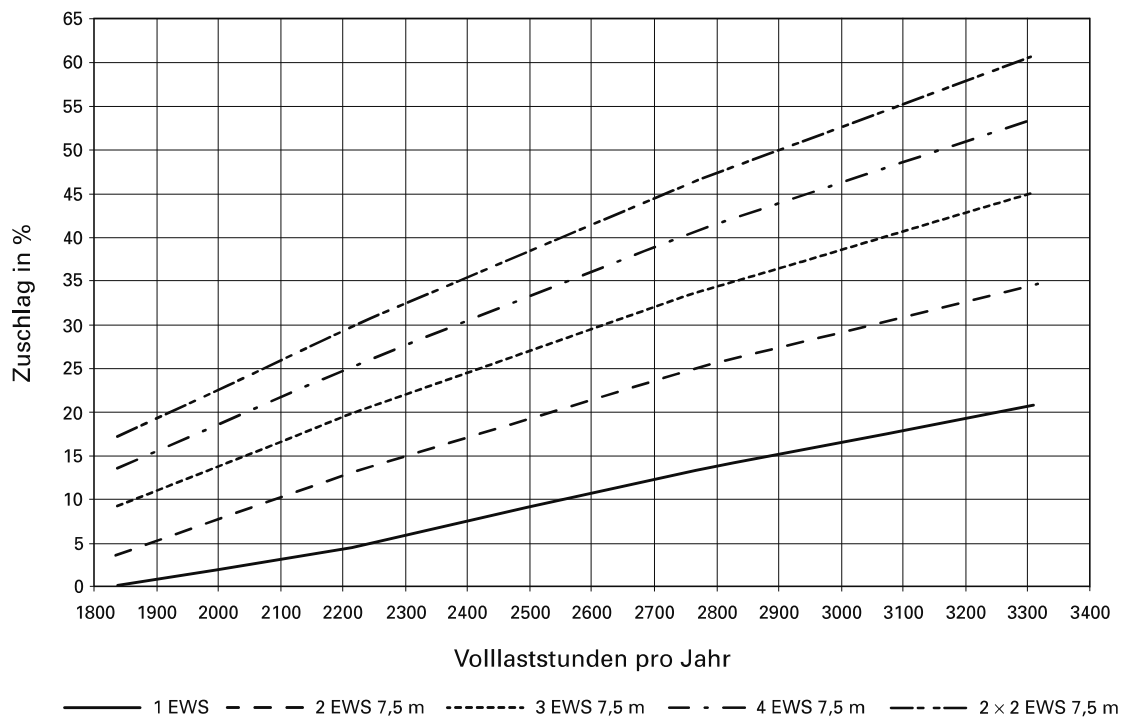
Figur 15 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **2 W/(m-K)** und **10 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



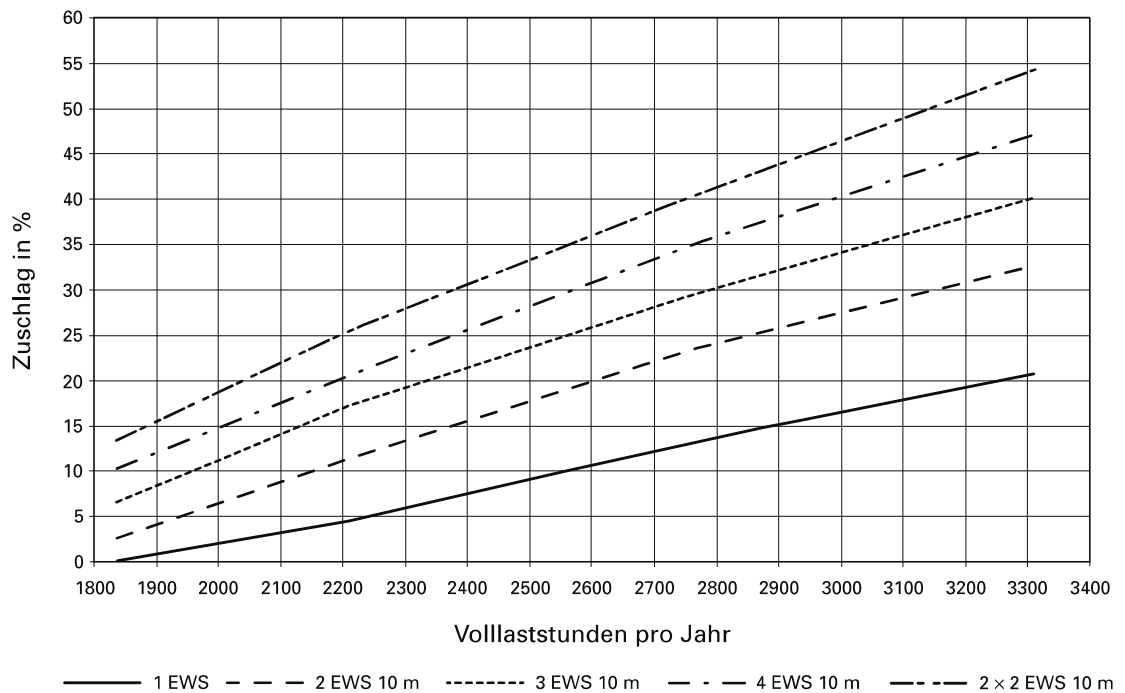
Figur 16 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **2,5 W/(m-K)** und **5 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



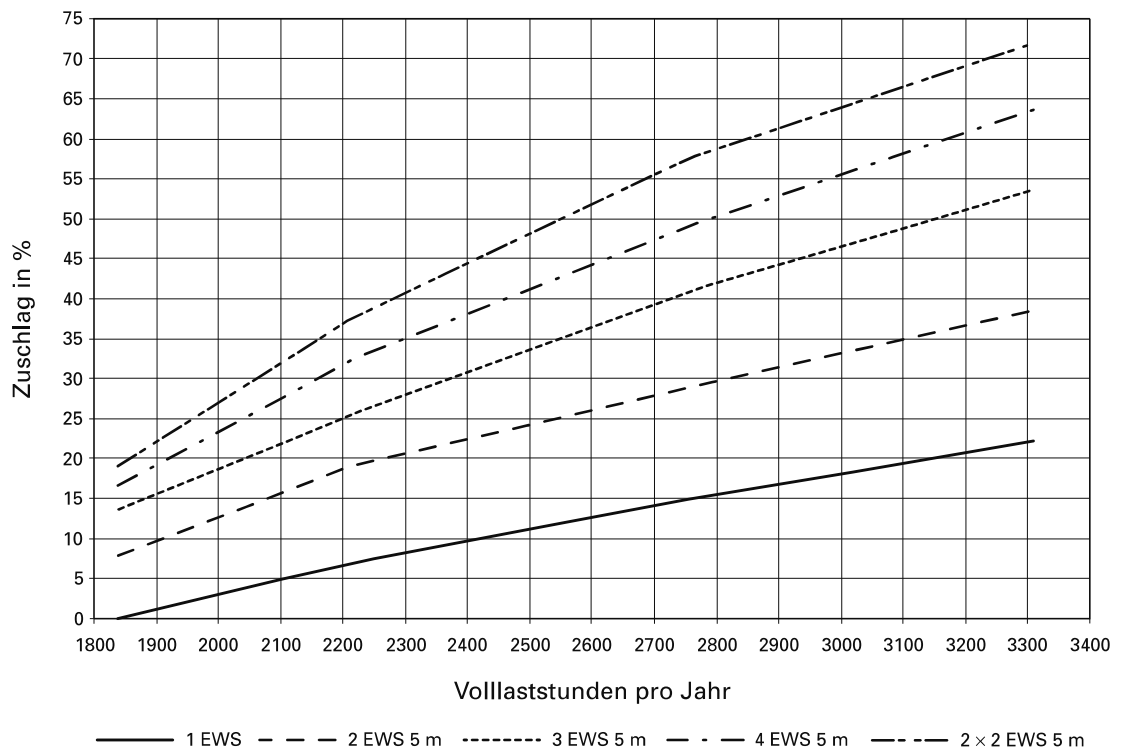
Figur 17 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **2,5 W/(m-K)** und **7,5 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



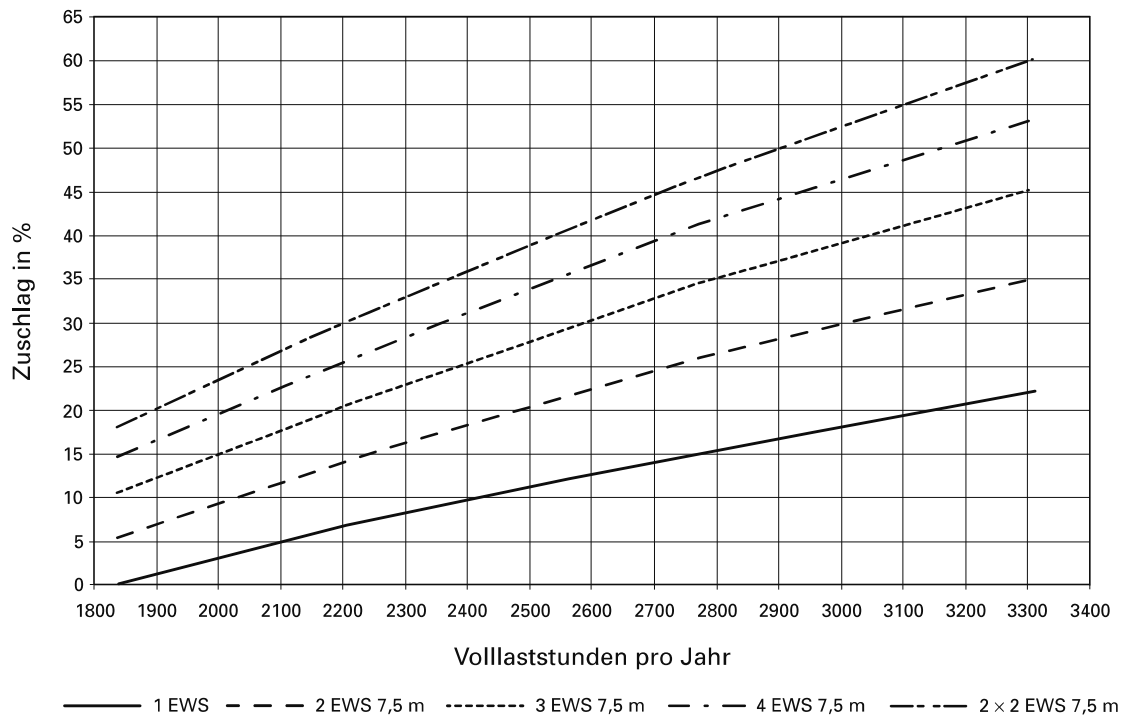
Figur 18 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **2,5 W/(m-K)** und **10 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



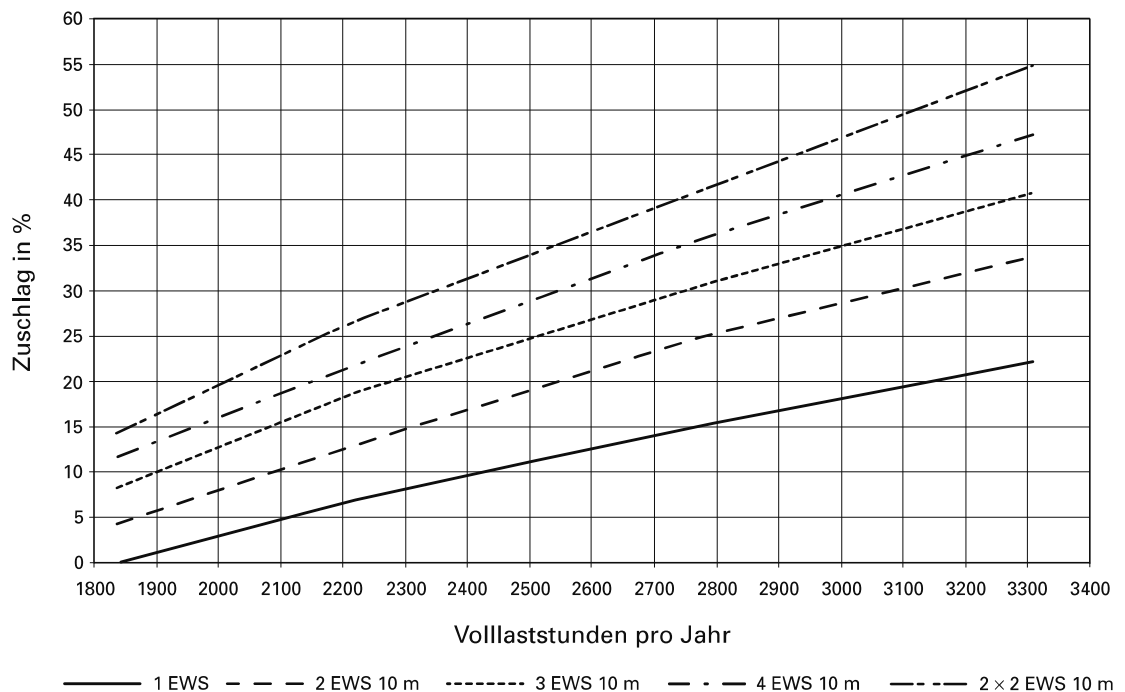
Figur 19 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **3 W/(m-K)** und **5 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



Figur 20 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **3 W/(m·K)** und **7,5 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



Figur 21 Zuschlag zur Erdwärmesondenlänge in Abhängigkeit von Volllaststunden und Anordnung der EWS bei einer Wärmeleitfähigkeit von **3 W/(m·K)** und **10 m Abstand** zwischen den Erdwärmesonden



D.4.7 **Korrekturfaktor für Bodentemperatur, Auslegetemperatur EWS, Grenzwerte nach Tabelle 2, nachbarliche Sonden**

D.4.7.1 Die Auslegung einer Erdwärmesonden-Anlage erfolgt bei geeignetem Wärmeträgermedium auf die minimale Wärmeträgertemperatur (Mittelwert aus Vor- und Rücklauf des Wärmeträgers) gemäss Tabelle 2 nach 50 Jahren (Auslegetemperatur EWS). Bei Wasser als Wärmeträger muss die Auslegetemperatur mit dem Wärmepumpen-Hersteller abgesprochen werden. Da die Entzugswerte von der anfänglichen Bodentemperatur abhängen, sind für die gleiche Entzugsleistung unterschiedliche Erdwärmesondenlängen nötig. Im Folgenden wird ein Verfahren zur Bestimmung der nötigen Erdwärmesondenlänge in Funktion der Bodentemperatur am Standort beschrieben.

In einem ersten Schritt wird die Bodentemperaturdifferenz gemäss Gleichung 21 bestimmt. Sie ist die mittlere Temperaturdifferenz zwischen der ungestörten mittleren Erdreichtemperatur über die Erdwärmesondenlänge und der minimalen Soletemperatur aus Vor- und Rücklauf. Sie ist näherungsweise proportional zur Energiemenge, die aus dem Boden entzogen werden kann.

Die mittlere Bodentemperatur kann aus der Bodenoberflächentemperatur und dem Temperaturgradienten berechnet werden. Der Zusammenhang zwischen Bodenoberflächentemperatur und Standort ist in C.2 beschrieben. Die Bodentemperatur nimmt allgemein gemäss dem lokalen Temperaturgradienten mit der Tiefe zu. Der Temperaturgradient hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens, dem Wärmefluss und lokalen Einflüssen wie Grundwasserströmungen ab. Er beträgt im Mittelland ca. 0,03 K/m und im Gebirge ca. 0,025 K/m.

D.4.7.2 Bodentemperaturdifferenz zwischen der mittleren Bodentemperatur entlang der EWS und der mittleren Wärmeträgertemperatur beim Auslegepunkt:

$$\Delta\theta_G = \theta_{G,s} + \frac{L_{BHE} \cdot \nabla\theta_G}{2} - \theta_{BHE,50} \quad (21)$$

$\Delta\theta_G$ Bodentemperaturdifferenz, in K
 $\theta_{G,s}$ Bodenoberflächentemperatur, in °C
 L_{BHE} Länge der Erdwärmesonde, in m
 $\nabla\theta_G$ Temperaturgradient, in K/m
 $\theta_{BHE,50}$ Auslegetemperatur der EWS, in °C gemäss Tabelle 2

D.4.7.3 Aus der Bodentemperaturdifferenz lässt sich die EWS-Länge für die jeweilige Bodentemperatur gemäss Gleichung 22 bestimmen. In einem iterativen Verfahren wird das Resultat der Gleichung 22 erneut in Gleichung 21 eingesetzt und die Prozedur so lange wiederholt, bis sich die EWS-Länge gegenüber dem vorherigen Rechenschritt um nicht mehr als 5 m ändert.

Bestimmung der korrigierten EWS-Länge, basierend auf der Bodentemperaturdifferenz gemäss Gleichung 21:

$$L_{BHE} = \frac{L_{BHE,N} \cdot \Delta\theta_{G,N}}{\Delta\theta_G} \quad (22)$$

L_{BHE} Länge der Erdwärmesonde, in m
 $L_{BHE,N}$ Normlänge der Erdwärmesonde bei 10°C Bodentemperatur, Auslegung -1,5°C, in m
 $\Delta\theta_{G,N}$ Bodentemperaturdifferenz unter Normbedingungen
(z. B. $\theta_G = 10^\circ\text{C}$; $\theta_{BHE,50} = -1,5^\circ\text{C}$, ergibt 11,5 K)
 $\Delta\theta_G$ Bodentemperaturdifferenz, in K

D.4.8 Beispiele

D.4.8.1 Beispiel 1: Dimensionierung einer Einzelerdwärmesonde nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren

Gegeben:

- | | |
|--|--|
| – Haus in Appenzell | 780 m ü. M. |
| – Geologie | 40 m sandig kiesige Moräne;
80 m Molasse (Sandstein, Konglomerat) |
| – Einschränkung Bewilligung | max. Bohrtiefe 120 m
(tiefer unten Gas möglich) |
| – Platzangebot | 12 m × 5 m |
| – Norm-Heizlast nach SIA 384/2 | 9 kW |
| – Warmwasserbedarf Durchschnitt pro Tag | 125 l (10 °C auf 55 °C erwärmt: 2380 kWh/a) |
| – Wärmepumpe | |
| Heizleistung nach SN EN 14511-1 (B0W35) | 10,8 kW |
| Kälteleistung nach SN EN 14511-1 (B0W35) | 8,4 kW |
| – Heizleistung bei B0W50 (Warmwasser) | 10,2 kW |
| – Wärmeträger | 20 % Ethylenglykol |

Gesucht:

- Tiefe und Anzahl der Erdwärmesonden

Lösung:

1) Bodentemperatur (Anhang C.2)

Bestimmung der Bodenoberflächentemperatur für den Heizfall auf der Alpennordseite gemäss Gleichung 4 in C.2.2:

$$\theta_{G,s} = 1,373 \cdot 10^{-6} \cdot h_S^2 - 6,88 \cdot 10^{-3} \cdot h_S + 14,2$$

$\theta_{G,s}$ Bodenoberflächentemperatur, in °C
 h_S Höhe Standort, m ü. M.

$$\theta_{G,s} = 1,373 \cdot 10^{-6} \cdot 780^2 - 6,88 \cdot 10^{-3} \cdot 780 + 14,2 = 9,7 \text{ °C}$$

Bodenoberflächentemperatur, mit Toleranzwert für den Heizfall gemäss Gleichung 6:

$$\theta_{G,s,H} = \theta_{G,s} - 1,5 \text{ K} = 9,7 \text{ °C} - 1,5 \text{ K} = 8,2 \text{ °C}$$

Sind Meteodaten [21] für den Standort vorhanden, kann die Bodenoberflächentemperatur nach Gleichung 8 in C.2.3 berechnet werden.

Meteodaten (für Appenzell, 780 m ü. M., Jahresmitteltemperatur 8,0 °C)

$$\theta_{G,s} = \theta_{e,avg} + 1,55$$

$$\theta_{G,s} = 8,0 \text{ °C} + 1,55 = 9,55 \text{ °C}$$

$\theta_{G,s}$ Bodenoberflächentemperatur, in °C
 $\theta_{e,avg}$ mittlere Jahresausserlufttemperatur, in °C

Bodenoberflächentemperatur, mit Toleranzwert für den Heizfall:

$$\theta_{G,s,H} = \theta_{G,s} - 1 = 9,55 \text{ °C} - 1 = 8,55 \text{ °C}$$

Die Bodenoberflächentemperatur wird unter Schritt 8 für die Bestimmung des Korrekturfaktors für die Bodentemperatur am Standort benötigt. Es wird die genauere Bodenoberflächentemperatur aus den Meteodaten verwendet (8,55 °C).

2) Boden- und Stoffkennwerte (C.3)

Die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität werden als gewichteter Durchschnitt berechnet.

Mächtigkeit	Gesteinstyp	Empfohlener Rechenwert	
		Wärmeleitfähigkeit λ	Volumetrische Wärmekapazität $\rho \cdot c$
40 m	Moräne fest gelagert	1,8 W/(m·K)	2 MJ/(m ³ ·K)
50 m	Feinsandstein	2,9 W/(m·K)	2,1 MJ/(m ³ ·K)
30 m	Grobsandstein und Konglomerat	2,7 W/(m·K)	2,1 MJ/(m ³ ·K)
Total 120 m		2,48 W/(m·K)	2,07 MJ/(m ³ ·K)

3) Spezifische Leistung der Erdwärmesonde und Normlänge (D.4.2)

Ohne festgelegten Sondendurchmesser wird Figur 9 für Erdwärmesonden mit Durchmesser 32 mm verwendet. Die spezifische Leistung einer Erdwärmesonde mit Durchmesser 32 mm bei einer Wärmeleitfähigkeit von 2,48 W/(m·K) und einer Wärmekapazität von 2,07 MJ/(m³·K) beträgt 37,9 W/m.

Mit der Normleistung kann die Normlänge der Erdwärmesonde bestimmt werden. Für die Auslegung der Erdwärmesonde ist die Kälteleistung der Wärmepumpe massgebend. Sie beträgt 8,4 kW; damit ergibt sich eine Sondenlänge von

$$L_{BHE} = \frac{8400 \text{ W}}{37,9 \text{ W/m}} = 222 \text{ m}$$

4) Volllaststunden Heizung (D.4.5)

Die Volllaststunden für die Heizung werden nach Gleichung 16 bestimmt.

$$t_{an,H} = \frac{t_{an,N} \cdot \Phi_{HL}}{\Phi_{HP,c}} = \frac{1908 \text{ h} \cdot 9 \text{ kW}}{10,8 \text{ kW}} = 1590 \text{ h}$$

$t_{an,H}$ Volllaststunden Heizung

$t_{an,N}$ Norm-Volllaststunden, nach Figur 12 bei 780 m ü. M. (1850 h + 3,2%): 1908 h

Φ_{HL} Norm-Heizlast, in kW

$\Phi_{HP,c}$ Heizleistung der WP im Auslegepunkt, in kW

5) Jahreswärmebedarf Warmwasser (D.4.5.4)

Der Jahreswärmebedarf für Warmwasser wird nach Gleichung 17 bestimmt.

$$Q_W = \frac{M_W \cdot (\theta_W - \theta_w) \cdot c_w}{3600 \text{ s/h}} = \frac{125 \text{ kg} \cdot (55 - 10) \text{ K} \cdot 4,182 \text{ kJ/(kg·K)}}{3600 \text{ s/h}} \cdot 365 = 2385 \text{ kWh}$$

Q_W Jahreswärmebedarf Warmwasser, in kWh

M_W Warmwasserbedarf pro Tag, in kg

θ_W Warmwassertemperatur, in °C

θ_w Kaltwassertemperatur, in °C

c_w spez. Wärmekapazität Wasser, in kJ/(kg·K)

6) Volllaststunden für Gesamtsystem (D.4.5.5)

Mit den Zwischenergebnissen aus Schritt 4) und 5) können die Volllaststunden für das Gesamtsystem nach Gleichung 18 bestimmt werden:

$$t_{an,HP,tot} = t_{an,H} + \frac{Q_e}{\Phi_{HP,c,W}} = 1590 \text{ h} + \frac{2385 \text{ kWh}}{10,2 \text{ kW}} = 1824 \text{ h}$$

$t_{an,HP,tot}$ Volllaststunden für Gesamtsystem

$t_{an,H}$ Volllaststunden Heizung

Q_e Zusatzwärmebedarf, in kWh

$\Phi_{HP,c,W}$ Heizleistung der WP im Auslegepunkt für Zusatzwärmebedarf Warmwasser (B0W55), in kW

7) Korrekturfaktor für Volllaststunden, Anordnung und Wärmeleitfähigkeit (D.4.6)

Die Bohrlänge ist von der Bewilligung her auf 120 m beschränkt. Somit müssen mindestens 2 Erdwärmesonden gebohrt werden. Der Platz reicht für 2 Sonden mit einem Abstand von 10 m oder 3 Sonden mit einem Abstand von 5 m.

Variante 1: Bei 2 Erdwärmesonden mit 10 m Abstand beträgt die Korrektur nach Figur 18 bei 1824 Volllaststunden 2,5%. Die Erdwärmesondenlänge wird damit vorläufig wie folgt bestimmt.

$$L_{BHE,2 \text{ Stück}} = \frac{222 \text{ m}}{2} \cdot (1 + 0,025) = 113,8 \text{ m}$$

Variante 2: Bei 3 Erdwärmesonden mit 5 m Abstand beträgt die Korrektur nach Figur 16 bei 1824 Volllaststunden 12,7%.

$$L_{BHE,3 \text{ Stück}} = \frac{222 \text{ m}}{3} \cdot (1 + 0,127) = 83,4 \text{ m}$$

8) Korrekturfaktor Bodentemperatur (D.4.7)

Abschliessend ist die Erdwärmesondenlänge noch bezüglich der Bodentemperatur am Standort zu korrigieren. Mit dem in D.4.7 beschriebenen iterativen Verfahren wird die korrigierte EWS-Länge aufgrund der Bodentemperatur am Sondenstandort wie folgt berechnet:

Bestimmung der mittleren Bodentemperaturdifferenz anhand von Gleichung 21 und Korrektur der EWS-Länge gemäss Gleichung 22.

Variante 1: Bei 2 Erdwärmesonden ist die mittlere Bodentemperaturdifferenz

$$\Delta\theta_G = 8,55^\circ\text{C} + \frac{113,8 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C}) = 11,76 \text{ K}$$

Daraus ergibt sich eine Länge von je:

$$L_{BHE} = \frac{113,8 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{11,76 \text{ K}} = 111,3 \text{ m}$$

Gewählt würden 2 EWS à 120 m.

Variante 2: Bei 3 Erdwärmesonden ist die mittlere Bodentemperaturdifferenz

$$\Delta\theta_G = 8,55^\circ\text{C} + \frac{83,4 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C}) = 11,30 \text{ K}$$

Daraus ergibt sich eine Länge von je:

$$L_{BHE} = \frac{83,4 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{11,30 \text{ K}} = 84,9 \text{ m}$$

Gewählt würden 3 EWS à 90 m.

Eine Iteration kann bei beiden Varianten entfallen, da die Längenkorrektur kleiner als 5 m ist. Mit beiden Varianten sind die Bewilligungsaufgaben erfüllt.

9) Druckverlust

Für die Druckverlustberechnung dieses Beispiels siehe D.7.4.

10) Installation

Beide Varianten haben einen kleinen bis sehr kleinen Druckverlust. Auf den Stromverbrauch der Umwälzpumpe hat der Unterschied einen geringen Einfluss. Aus wirtschaftlicher Sicht würde in diesem Beispiel die Variante mit den 2 Erdwärmesonden (2 Stück à 120 m) gewählt.

D.4.8.2 **Beispiel 2:** Bestimmung der Erdwärmesondenlänge ohne erhöhte Anforderungen (R1, Tabelle 2)

Bestimmung der korrigierten EWS-Länge bei einer Bodenoberflächentemperatur von 12°C, einem Temperaturgradienten von 0,03 K/m und einer geplanten EWS-Länge von 200 m für eine minimale Auslegetemperatur von -1,5°C (Vorlauf und Rücklauf gemittelt).

Bestimmung der mittleren Bodentemperaturdifferenz gemäss Gleichung 21:

$$\Delta\theta_G = 12^\circ\text{C} + \frac{200 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C}) = 16,5 \text{ K}$$

Iterative Bestimmung der korrigierten EWS-Länge gemäss Gleichung 22:

1. Iteration

$$L_{BHE} = \frac{200 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{16,5 \text{ K}} = 139,4 \text{ m}$$

Die 2. Iteration ergibt 147,4 m:

$$\Delta\theta_G = 12^\circ\text{C} + \frac{139,4 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C}) = 15,6 \text{ K}$$

$$L_{BHE} = \frac{200 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{15,6 \text{ K}} = 147,4 \text{ m}$$

Die 3. Iteration ergibt 146,5 m. Resultat: Es wird eine Standardlänge von 150 m gewählt.

D.4.8.3 **Beispiel 3:** Bestimmung der Erdwärmesondenlänge für erhöhte Auslegetemperatur

Bestimmung der korrigierten EWS-Länge bei einer Bodenoberflächentemperatur von 12°C, einem Temperaturgradienten von 0,03 K/m und einer geplanten EWS-Länge von 200 m für eine minimale Auslegetemperatur von +4,5°C (z. B. +3°C / +6°C gemittelt). Bestimmung der mittleren Bodentemperaturdifferenz gemäss Gleichung 21:

$$\Delta\theta_G = 12^\circ\text{C} + \frac{200 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (4,5^\circ\text{C}) = 10,5 \text{ K}$$

Iterative Bestimmung der korrigierten EWS-Länge gemäss Gleichung 22:

1. Iteration

$$L_{BHE} = \frac{200 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{10,5 \text{ K}} = 219 \text{ m}$$

Die 2. Iteration ergibt 213,4 m:

$$\Delta\theta_G = 12^\circ\text{C} + \frac{219 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (4,5^\circ\text{C}) = 10,78 \text{ K}$$

$$L_{BHE} = \frac{200 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{10,78 \text{ K}} = 213,4 \text{ m}$$

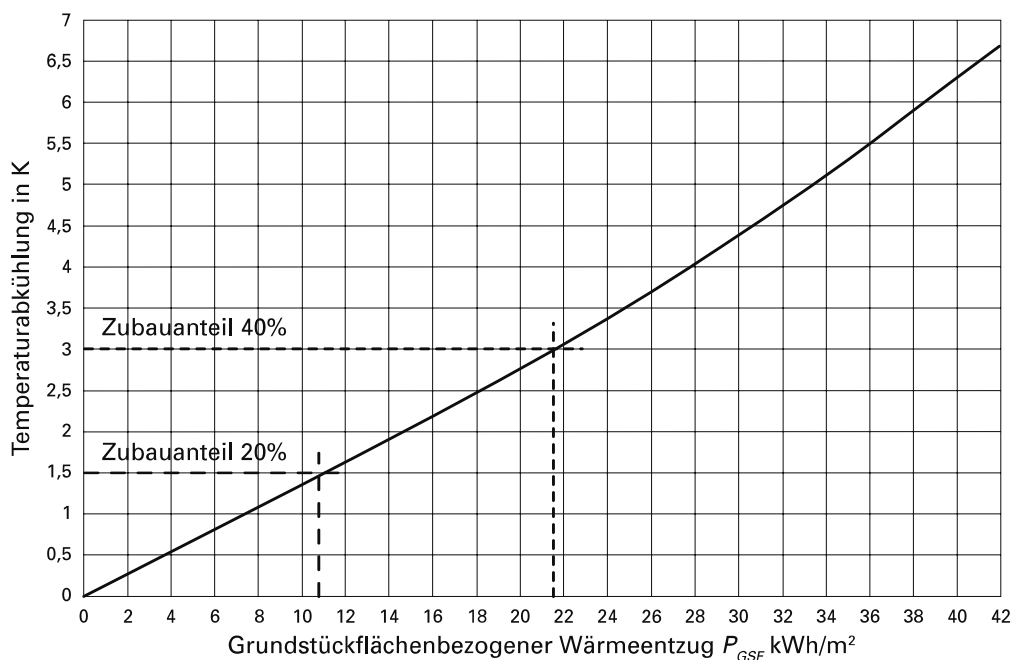
Die 3. Iteration ergibt 214,9 m. Resultat: Es wird eine Länge von 215 m gewählt.

D.4.8.4 **Beispiel 4:** Bestimmung der Erdwärmesondenlänge mit Berücksichtigung künftiger Nachbarsonden (keine bestehenden Nachbarsonden vorhanden)

Bestimmung der korrigierten EWS-Länge bei einer Bodenoberflächentemperatur von 12°C, einem Temperaturgradienten von 0,03 K/m und einer geplanten EWS-Länge von 200 m für eine minimale Auslegetemperatur von -1,5°C (z. B. -3°C / 0°C gemittelt), unter Berücksichtigung eines Zubauanteils künftiger Nachbarsonden von 20 % gemäss 3.5.

Ausnutzungsziffer	A_E/GSF	1,3	Wohnzone W4
Anrechenbare Grundstückfläche	ASF/GSF	10 %	Anrechenbare Strassenfläche
	GSF_{eff}/GSF	1,1	Gleichung 3
	A_E/GSF_{eff}	1,18	
Nutzung		MFH	
	$Q_{H,li0}$	13 kWh/m ²	SIA 380/1:2016, Tabelle 6
	$\Delta_{QH,li}$	15 kWh/m ²	SIA 380/1:2016, Tabelle 6
	Q_W	21 kWh/m ²	SIA 380/1:2016, Tabelle 27
Jahresmitteltemperatur	$\theta_{e,avg}$	9,4 °C	SIA 380/1:2016, Ziffer 2.3.9
Gebäudehüllzahl	A_{th}/A_E	1,25	Tabelle 5
Grenzwert Neubau	$Q_{H,li}$	31,75 kWh/m ²	SIA 380/1:2016, Neubau
Grenzwert Altbau	$Q_{H,li}$	47,63 kWh/m ²	SIA 380/1:2016, Altbau
Grenzwert Heizwärmebedarf	$Q_{H,li}$	39,69 kWh/m ²	Neubauanteil 50 % (Ziffer 3.5.2.3)
Zubauanteil	f_{ZB}	20 %	Nachbargrundstücke (flächenbezogen)
Grundstückflächenbezogener Wärmeentzug	P_{GSF}	10,8 kWh/m ²	Gleichung 1
Abkühlung durch künftige Nachbarsonden		1,5 K	Figur 3 / Figur 22

Figur 22 Zu erwartende Temperaturabkühlung durch künftige Nachbarsonden nach 50 Jahren bei MFH mit einer Ausnutzungsziffer von 1,3 und einem Zubauanteil von 20 % und 40 % (vgl. 3.5)



$$\Delta\theta_G = 12^\circ\text{C} + \frac{200 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C} + 1,5^\circ\text{C}) = 15,0 \text{ K}$$

Iterative Bestimmung der korrigierten EWS-Länge gemäss Gleichung 21 und 22:

1. Iteration:

$$L_{BHE} = \frac{200 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{15,0 \text{ K}} = 153,3 \text{ m}$$

Die 2. Iteration ergibt 160,8 m:

$$\Delta\theta_G = 12^\circ\text{C} + \frac{153,3 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ K/m}}{2} - (-1,5^\circ\text{C} + 1,5^\circ\text{C}) = 14,3 \text{ K}$$

$$L_{BHE} = \frac{200 \text{ m} \cdot 11,5 \text{ K}}{14,3 \text{ K}} = 160,8 \text{ m}$$

Die 3. Iteration ergibt 159,6 m. Resultat: Es wird eine Standardlänge von 160 m gewählt.

D.5 Alternatives Berechnungsverfahren für einfache Anlagen mit Regeneration

Für einfache Anlagen mit Regeneration der EWS kann die Methode nach [14] als Alternative zum vereinfachten Berechnungsverfahren (D.4) angewendet werden. Die Methode eignet sich für die Auslegung von Kleinanlagen mit bis zu vier Erdwärmesonden. Die Abweichung der Methode zu den Resultaten des Berechnungsverfahrens in D.4 beträgt für Objekte mit 2200 oder mehr Volllaststunden weniger als 10 %.

Gegenüber dem vereinfachten Verfahren nach D.4 bietet die Methode folgende Vorteile:

- Wahl des Auslegungszeitraums.
- Beliebige Anordnung der Sonden und Abstände in einem EWS-Feld.
- Berücksichtigung des Wärmeeintrags bzw. einer aktiven Regeneration des Erdreichs.

Für die Berechnung wird das typische Lastprofil einer EWS-Anlage gemäss Figur 23 vereinfacht und in drei Abschnitte mit jeweils konstanter Leistung zerlegt:

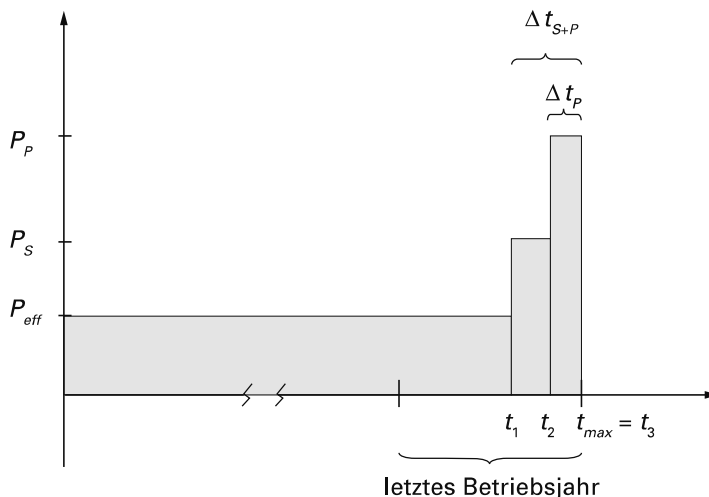
P_{eff} über das ganze Jahr gemittelte, spezifische EWS-Belastung, unter Berücksichtigung einer allfälligen aktiven Regeneration, in W/m

P_S durchschnittliche spezifische EWS-Belastung während der Heizperiode Δt_s , in W/m

P_P spezifische Spitzenlast (in der Regel berechnet aus der maximalen Verdampferleistung der Wärmepumpe), in W/m

Bei einer Betrachtungsdauer t_{max} von 50 Jahren kann für die saisonale Belastung eine Dauer $\Delta t_s = 90$ Tage und für die Spitzenbelastung eine Dauer $\Delta t_p = 24$ Stunden gewählt werden.

Figur 23 Vereinfachtes Lastprofil einer EWS-Anlage. Die Betriebszeit bis zum vorletzten Jahr wird durch eine zeitlich konstante Entzugsleistung P_{eff} beschrieben. Im letzten Betriebsjahr wird das Verhalten der Sonde durch die Lastspitzen P_S (saisonale Belastung, von t_1 bis t_2) und P_P (Spitzenlast, von t_2 bis t_{max}) charakterisiert.



Die Berechnungsmethode ersetzt bei komplexen Anlagen mit Regeneration keine Simulationsrechnung. Die Methode ist nicht geeignet und liefert überdimensionierte Sondenlängen, wenn die Auslegungszeit im Bereich der Sondenzeitkonstanten liegt. Bei Objekten mit 2000 oder weniger Vollbetriebsstunden betragen die Abweichungen zum vereinfachten Berechnungsverfahren D.4 über 20 %.

D.6 Berechnungsverfahren für komplexe Anlagen

Für die Berechnung von komplexen Anlagen gemäss 3.3.4 stehen verschiedene Programme zur Verfügung ([17] [18] [19] [20]). Die Minimalbedingungen für die Berechnung komplexer Anlagen sind in 3.1.1 beschrieben.

D.7 Druckverlustberechnung

D.7.1 Berechnungsgrundlagen für Duplex-Erdwärmesonden. Die Berechnung erfolgt nach Colebrook-Nikuradse, Blasius oder dem Moody-Diagramm. Dabei sind die Durchflussrate, die Viskosität und die Dichte des Mediums sowie die Rohrgeometrie zu berücksichtigen.

D.7.2 In den folgenden Figuren ist der Druckverlust pro Meter Duplex-Erdwärmesonde und pro Meter Zuleitung dargestellt. Für andere Ausführungen von Erdwärmesonden sollen Herstellerdaten verwendet werden.

Bei den Erdwärmesonden ist der Durchfluss für einen Kreis auf der X-Achse angegeben. Der Druckverlust berechnet sich wie folgt:

- Druckverlust Erdwärmesonde = Länge der EWS × Druckverlust pro Meter.
- Druckverlust Zuleitung = Länge des Rohrs (Vor- und Rücklauf addieren) × Druckverlust pro Meter.

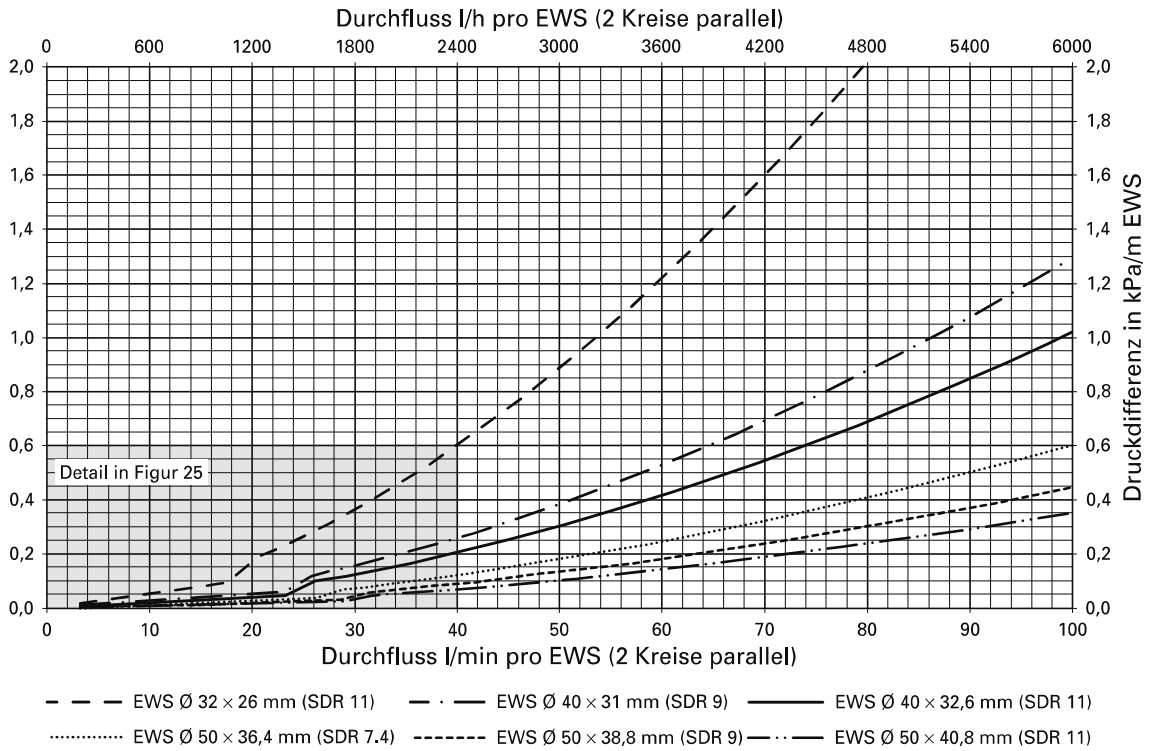
Bei der Erdwärmesonde wird die Länge als Länge der Sonde verstanden und nicht als Gesamtlänge der Rohre. Der Durchfluss in den Diagrammen ist bei den EWS für beide Kreise, bei den Rohren pro Meter Rohr.

In den Erdwärmesondenrohren sollte eine turbulente Strömung angestrebt werden, um einen guten Wärmeübergang zu erhalten. Laminare Strömung ergibt einen um ca. 1,5 K kälteren Wärmeträger, was bei der Auslegung zu berücksichtigen ist. In den Figuren 26 und 28 ist die hydraulische Leistung pro Meter angezeigt. Umwälzpumpen haben einen Wirkungsgrad von ca. 15 % bis 65 %, d.h. die effektive Pumpenleistung für die Erdwärmesonde (ohne horizontale Leitungen, Armaturen und Wärmepumpe) berechnet sich wie folgt:

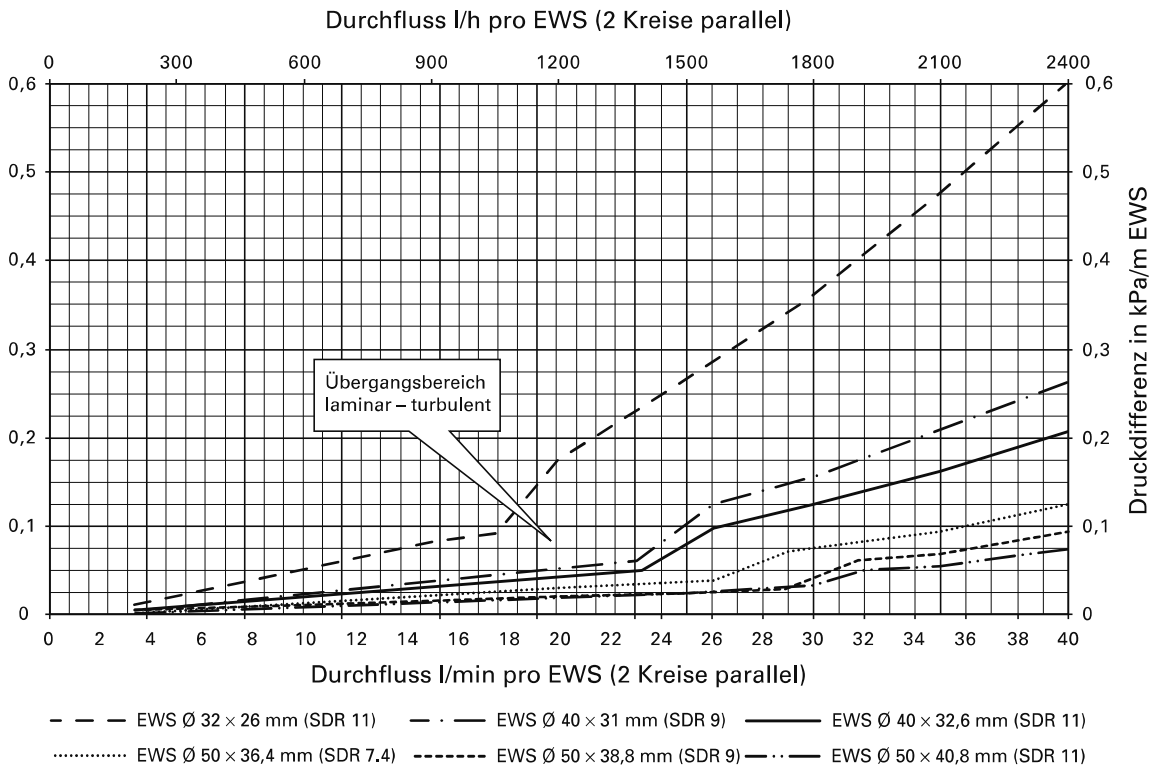
$$\Phi_{Pu,el} = \frac{L_{BHE} \cdot \Phi_{hy,sp,BHE}}{\eta_{Pu}} \quad (23)$$

$\Phi_{Pu,el}$	Pumpenleistung (elektrische Aufnahme), in W
L_{BHE}	Länge der EWS (Distanz von Kopf bis Fuss), in m
$\Phi_{hy,sp,BHE}$	spezifische hydraulische Leistung der EWS pro Sondenlänge, in W/m
η_{Pu}	Wirkungsgrad Umwälzpumpe (hydraulische Leistung zu elektrischer Aufnahmeleistung)

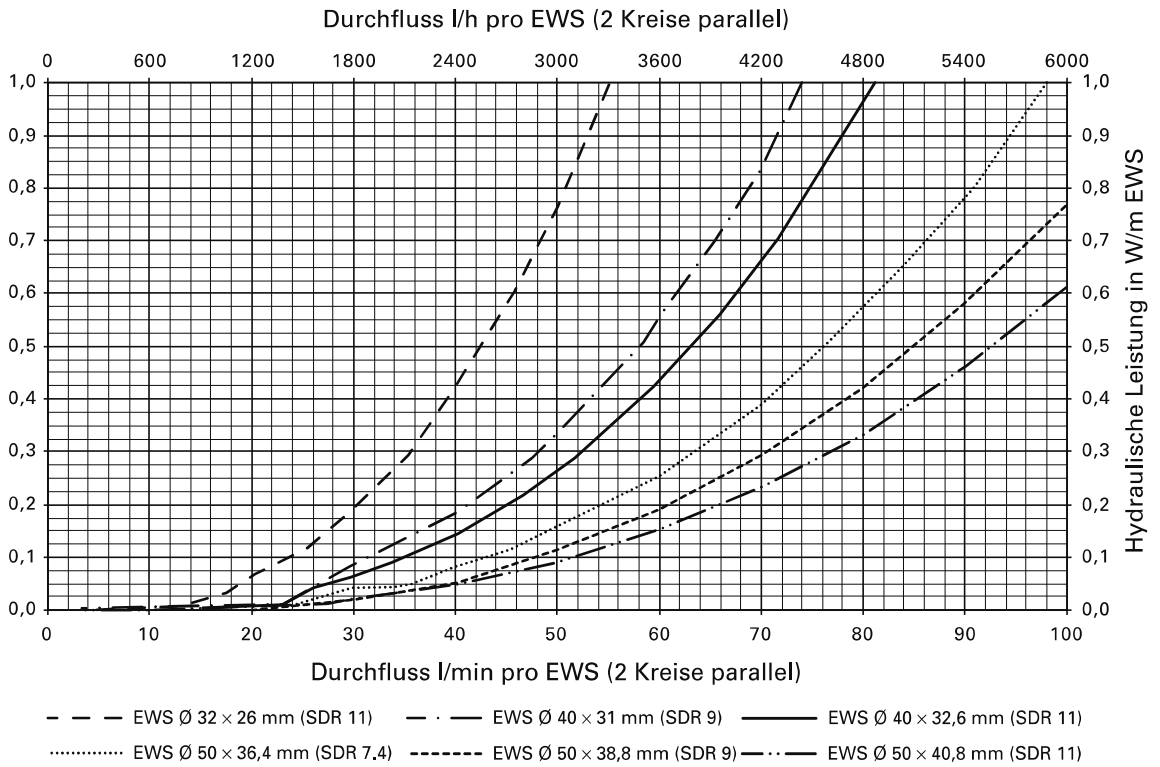
Figur 24 Druckverlust pro Meter EWS bei 20% Ethylenglykol und 0°C
(Viskosität 3,5 mm²/s, 1040 kg/m³)



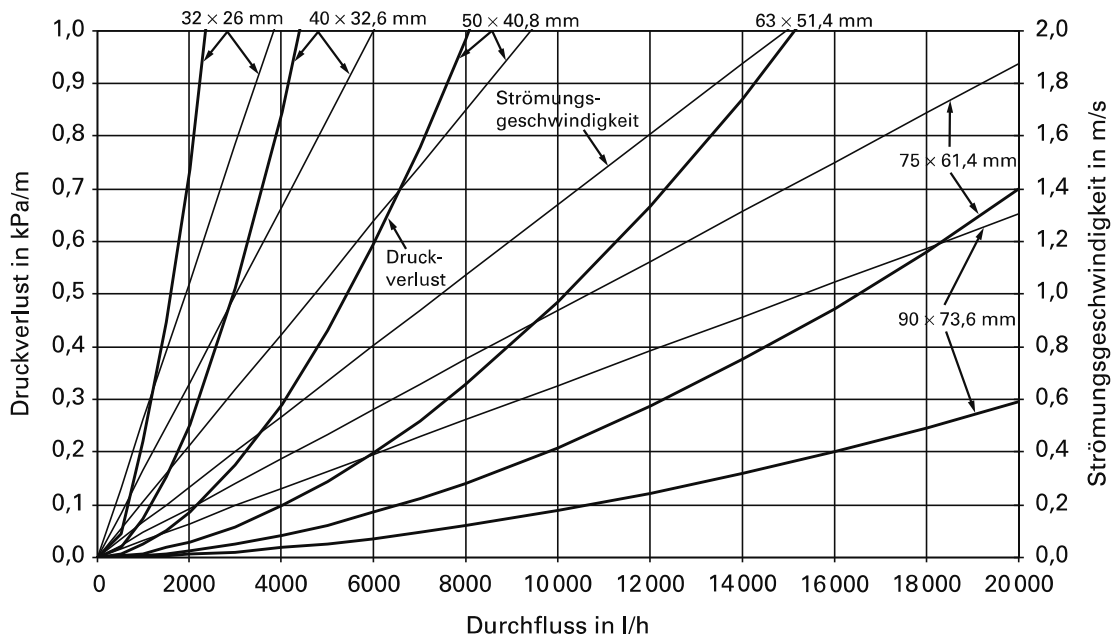
Figur 25 Druckverlust pro Meter EWS bei 20% Ethylenglykol und 0°C (Viskosität 3,5 mm²/s, 1040 kg/m³) bei geringen Durchflussraten mit Übergangsbereich laminar-turbulent



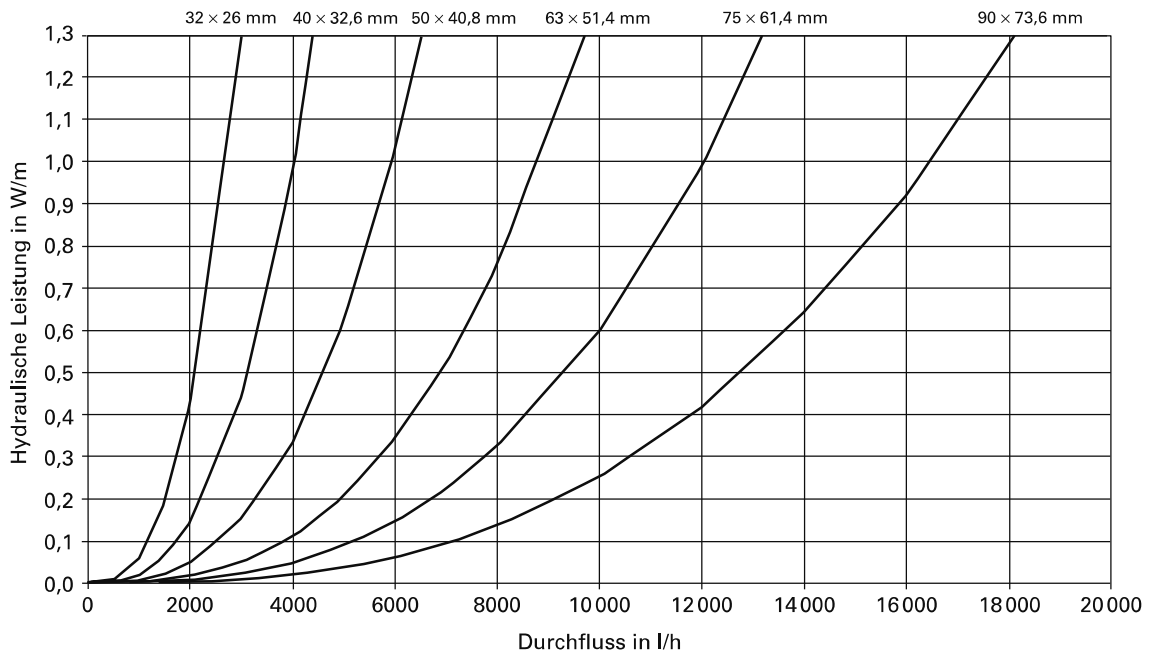
Figur 26 Hydraulische Leistung pro Meter EWS bei 20 % Ethylenglykol und 0 °C
(Viskosität 3,5 mm²/s, 1040 kg/m³)



Figur 27 Druckverlust pro Meter PE-Rohr SDR 11 bei 20 % Ethylenglykol und 0 °C
(Viskosität 3,5 mm²/s, 1040 kg/m³)

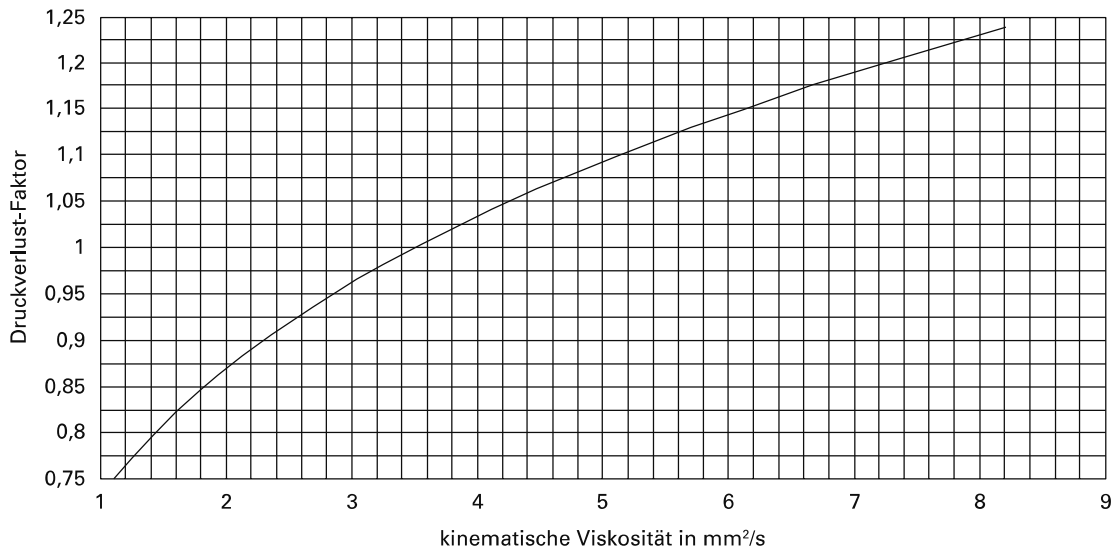


Figur 28 Hydraulische Leistung pro Meter PE-Rohr SDR 11 bei 20% Ethylenglykol und 0°C (Viskosität 3,5 mm²/s, 1040 kg/m³)



Für die Druckdifferenzberechnung und die hydraulische Leistung bei abweichender kinematischer Viskosität des Mediums können in Annäherung die Werte aus den Diagrammen für 20% Ethylenglykol bei 0°C mit dem Faktor aus Figur 29 entsprechend der kinematischen Viskosität des eingefüllten Mediums multipliziert werden.

Figur 29 Druckverlust-Faktor bei turbulenter Strömung gegenüber Sondenfüllung mit 20% Ethylenglykol und 0°C (kinematische Viskosität 3,5 mm²/s) in Abhängigkeit von der kinematischen Viskosität



D.7.3 Auf einen Einbau von Drosselorganen soll verzichtet werden, wenn der Längenunterschied der Erdwärmesonden zwischen der kürzesten und der längsten Erdwärmesonde weniger als 15 % oder die Differenz der Zuleitungslängen weniger als 50 % der Sondenlänge beträgt.

Bei einer Kombination unterschiedlicher Erdwärmesonden- und Zuleitungslängen gelten folgende Einschränkungen: Die Summe aus den relativen Zuleitungslängenunterschieden (in Prozent) und die mit 3 multiplizierten relativen Unterschiede der EWS-Längen (in Prozent) darf 50 % nicht überschreiten. Damit wird gewährleistet, dass die Durchflussmenge pro Sonde im Vergleich zum Sollwert um nicht mehr als 15 % abweicht, was zulässig ist. Ein erhöhter Durchfluss hat eine minimale Leistungssteigerung zur Folge, ein verminderter Durchfluss entsprechend eine kleine Leistungseinbusse. Von der 15 %-Regel kann abgewichen werden, wenn die hydraulisch bedingte Leistungsänderung der EWS berücksichtigt wird (siehe 3.4.4).

In den folgenden Beispielen wird von einer Temperaturdifferenz von 3 K zwischen Ein- und Austritt der Wärmepumpe ausgegangen und die effektiven Verhältnisse pro Erdwärmesonde werden berechnet.

Beispiel 1: Druckverlust bei unterschiedlichen Zuleitungslängen: 4 Erdwärmesonden à 100 m Länge, Ø 32 mm, mit Zuleitung 40 mm (Y-Formstück), Wärmeträger 20 % Ethylenglykol bei 0°C. Zuleitungsdifferenz 50 m, d. h. 50 % der EWS-Länge.

Tiefe	Zuleitung (Weg)	Durchfluss EWS-Kreis	Zuleitung	EWS	Druckverlust Zuleitung	Total	Durchflussänderung	Temperaturdifferenz nominal
m	m	l/h	l/h	kPa	kPa	kPa	%	K
100	5	758,5	1517,1	27,0	1,5	28,6	114,7	2,6
100	21,7	689,7	1379,5	22,9	3,4	28,6	104,3	2,9
100	38,3	635,8	1271,5	19,8	8,7	28,6	96,1	3,2
100	55	592,0	1184,0	17,5	11,1	28,6	89,5	3,4

Beispiel 2: Druckverlust bei unterschiedlichen EWS-Längen: 4 Erdwärmesonden à 92 bis 108 m Länge, Ø 32 mm, mit Zuleitung 40 mm (Y-Formstück), Wärmeträger 20 % Ethylenglykol bei 0°C. Differenz der EWS 16 m, d. h. 16 % der durchschnittlichen EWS-Länge.

Tiefe	Zuleitung (Weg)	Durchfluss EWS-Kreis	Zuleitung	EWS	Druckverlust Zuleitung	Total	Durchflussänderung	Temperaturdifferenz nominal
m	m	l/h	l/h	kPa	kPa	kPa	%	K
92	10	693,2	1386,4	21,2	2,6	23,9	113,9	2,6
97	10	674,7	1349,5	21,4	2,5	23,9	105,2	2,9
103	10	654,3	1308,6	21,5	2,4	23,9	96,1	3,1
108	10	638,5	1277,0	21,6	2,3	23,9	89,4	3,4

Beispiel 3: Druckverlust bei unterschiedlichen Zuleitungs- und EWS-Längen: 4 Erdwärmesonden à 95 bis 105 m Länge, Ø 32 mm, mit Zuleitung 40 mm (Y-Formstück), Wärmeträger 20 % Ethylenglykol bei 0°C. Differenz der EWS 10 m, d. h. 10 % der EWS Länge × 3, d. h. 30 %. Differenz der Zuleitungen 20 m, d. h. 20 %; Total 30 % + 20 % = 50 %.

Tiefe m	Zuleitung (Weg) m	Durchfluss EWS- Kreis l/h	Zuleitung l/h	EWS kPa	Druck- verlust Zuleitung kPa	Total kPa	Durch- fluss- änderung %	Tempera- turdiffe- renz nominal K
95	10	720,7	1441,3	23,5	2,8	26,3	114,7	2,6
100	16,7	675,9	1351,8	22,1	4,2	26,3	102,2	3,0
100	23,3	652,2	1304,5	20,8	5,6	26,3	98,6	3,1
105	30	617,7	1235,5	19,8	6,5	26,3	89,0	3,4

D.7.4 Rechenbeispiel: Druckverlustberechnung einer Einzelerdwärmesonde
(basierend auf Beispiel D.4.8.1)

Gegeben:

- Wärmepumpe
 Heizleistung 10,8 kW
 Kälteleistung 8,4 kW nach SN EN 14511-1 (B0W35)
- Wärmeträger 20 % Ethylenglykol

Gesucht:

- Druckverlust der Erdwärmesonden (111,3 m, aufgerundet auf handelsübliche 120 m)

D.7.4.1 Variante 1: Druckverlust bei 2 Erdwärmesonden à 120 m

Die Wärmepumpe hat eine Kälteleistung von 8400 W. Für eine Differenz von 3 K zwischen Ein- und Austrittstemperatur beim Verdampfer ergibt sich ein Durchfluss von 2500 l/h (c_p Frostschutz 4040 J/(kg·K)). Bei 2 Erdwärmesonden ergibt dies einen Durchfluss pro Erdwärmesonde von 1250 l/h. Nach Figur 25 berechnet sich ein Druckverlust für PE-Rohre 32 × 26 mm von 0,19 kPa/m und damit bei handelsüblichen 120 m EWS:

$$\text{Druckverlust} = 120 \text{ m} \cdot 0,19 \text{ kPa/m} = 22,8 \text{ kPa}$$

Die Strömung ist noch turbulent. Die Erdwärmesondenlänge muss nicht korrigiert werden.

Der Druckverlust für die Zuleitungen wird gemäss Figur 27 für PE-Rohre 40 × 32,6 mm bestimmt.

Erdwärmesonde	Zuleitungslänge (einfache Länge)	Rohrlänge (Vor- und Rücklauf)	Durchfluss	Druckverlust
1	15 m	30 m	1250 l/h	3,32 kPa
2	5 m	10 m	1250 l/h	1,11 kPa
Maximum				3,32 kPa

Der Gesamtdruckverlust der Erdwärmesonden bis zum Verteiler beträgt im Maximum:

$$\text{Gesamtdruckverlust} = (120 \text{ m} \cdot 0,19 \text{ kPa/m}) + 3,32 \text{ kPa} = 26,12 \text{ kPa}$$

Nach D.7.3 soll auf Drosselorgane verzichtet werden.

D.7.4.2 Variante 2: Druckverlust bei 3 Erdwärmesonden à 90 m

Bei 3 Erdwärmesonden ergibt sich ein Durchfluss pro Erdwärmesonde von 833 l/h. Nach Figur 25 ergibt dies für PE-Rohre 32 × 26 mm einen Druckverlust von 0,08 kPa/m und der Druckverlust der EWS ist:

$$\text{Druckverlust} = 90 \text{ m} \cdot 0,08 \text{ kPa/m} = 7,2 \text{ kPa}$$

Die Strömung ist laminar. Die Erdwärmesondentemperatur wird dadurch 1,5 K tiefer sein als berechnet und entsprechend auch die Bodentemperaturdifferenz (siehe D.4.7). Dies hat zur Folge, dass der Korrekturfaktor für die Bodentemperatur angepasst werden muss. Gemäss Gleichung 22 in D.4.7.3 und dem Beispiel in D.4.8.1 beträgt die korrigierte EWS-Länge:

$$L_{BHE} = \frac{83,4 \cdot 11,5}{11,3 - 1,5} = 97,9 \text{ m}$$

Der Druckverlust für die Zuleitungen wird gemäss Figur 27 für PE-Rohre 40 × 32,6 mm bestimmt.

Erdwärmesonde	Zuleitungslänge (einfache Länge)	Rohrlänge (Vor- und Rücklauf)	Durchfluss	Druckverlust
1	15 m	30 m	833 l/h	1,63 kPa
2	10 m	20 m	833 l/h	1,09 kPa
3	5 m	10 m	833 l/h	0,54 kPa
Maximum				1,63 kPa

Der Gesamtdruckverlust der Erdwärmesonden bis zum Verteiler beträgt im Maximum:

$$\text{Gesamtdruckverlust} = (98 \text{ m} \cdot 0,08 \text{ kPa/m}) + 1,63 \text{ kPa} = 9,5 \text{ kPa}$$

Dies ist ein sehr tiefer Wert. Üblich sind Druckverluste von 40 kPa bis 100 kPa. Nach D.7.3 soll auf Drosselorgane verzichtet werden.

D.7.4.3 Installation

Beide Varianten haben einen kleinen bis sehr kleinen Druckverlust. Auf den Stromverbrauch der Umwälzpumpe hat der Unterschied einen geringen Einfluss. Aus wirtschaftlicher Sicht würde in diesem Beispiel die Variante mit den 2 Erdwärmesonden gewählt.

Anhang E (normativ)

Ausrüstung der Bohrunternehmung

E.1 Allgemeines

- E.1.1 Jede Bohrequipe muss so ausgerüstet sein, dass nebst den gesetzlichen Bedingungen (Meldepflicht an Bewilligungsbehörde im Störfall) auch die in dieser Norm enthaltenen Anforderungen erfüllt werden können. Dabei wird unterschieden zwischen Material, das jede Equipe für eine fachgerechte Arbeit und eine Erstintervention bei einem Störfall (Gas- und starker Wasserzutritt, Klüftungen usw.) ständig mitzuführen hat, und Material, das bei Bedarf unverzüglich auf den Bohrplatz zu bringen ist.
- E.1.2 Für nicht vorhersehbare, geogene Gefahren sind Universalbohrgeräte gut geeignet, die sowohl für das Imlochhammer-Bohrverfahren (Spülmedium Druckluft) als auch für das Rotationsspülverfahren (Spülmedium Wasser, sofern erforderlich mit Spülmittelzusätzen) ausgerüstet sind.

E.2 Standardausrüstung

- E.2.1 Ausrüstung für Erdwärmesondenbohrungen:
- Gestänge und Verrohrung
 - Spülungskopf (Luft- oder Stützspülung)
 - Anschlussmöglichkeit am Bohrergerät zum Totpumpen von Artesern
- E.2.2 Verrohrungskopf, bestehend aus:
- abgedichteter Gestängedurchführung
 - Ableitungsanschluss für Bohrgut-Förderschläuche
 - mindestens zwei Anschlussmuffen für Wasser und Manometer
- E.2.3 Bohrgutfassung:
- druck- und knickfeste Bohrgut-Förderschläuche (z. B. Betonförderschlauch)
 - Anschlussstück für Bohrgutmulde (Pfeife)
 - gedeckte Mulde
 - Einrichtung zum Umpumpen bei hohem Wasseranfall
- E.2.4 Einbaueinrichtung für Erdwärmesondenrohre:
- Haspel
 - Einführungsschutz beim Bohrlochkopf
 - Einrichtung am Haspel, um die EWS direkt füllen und abpressen zu können
 - Bremseinrichtung am Haspel ab 150 m freie Bohrlochtiefe
- E.2.5 Hinterfüllungsausrüstung:
- Vorrichtung für das Anrichten einer pumpfähigen Suspension mit gleichmässiger Konsistenz:
 - Durchlaufmischer für Fertigmischungen (mit Regulierung der Wassermenge)
 - bei aus Einzelkomponenten zusammengesetzten Hinterfüllungen oder chargenweisem Einbringen:
 - Wanne mit Spülpumpe und Mischtrichter
 - Zwangsmischer mit Suspensionsbehälter und Einpresspumpe
 - Einrichtung zum Bestimmen der eingepressten Suspensionsmenge und deren Zusammensetzung
 - Hahn beim Anschluss zum Injektionsschlauch, um Proben nehmen zu können
 - Injektionspumpe

E.3 Ausrüstung zur Arteserintervention

- E.3.1 Vorrichtung zum Bestimmen des Artesers:
- Mengenummessung (l/min, z. B. über Wasserstandsmessung in der Schlammmulde)
 - Druckmessung (Satz Manometer 0 bis 6 bar, 0 bis 16 bar)
 - Trübungsmessung (Sichtweite der Zahlen beim Doppelmeter)
 - Sedimentanteil (Imhoff-Trichter)
- E.3.2 Für die Sofortintervention:
- Druckkopf zum Totpumpen
 - Hauptanschluss zum Totpumpen, absperrbar
 - Anschlussmöglichkeit für Manometer
 - Erdwärmesondenpacker für die Abdichtung der Erdwärmesondenbohrung
 - Einrichtung zum Umpumpen bei hohem Wasseranfall
- E.3.3 Bei Bedarf für die Sanierung nach Absprache mit den Fachleuten:
- Zusatzmulden (Absetzbecken und Auffangwannen)
 - Tauchpumpe(n) zum Ableiten
 - Ableitungsschläuche
 - Abtransportmöglichkeiten (Saugwagen, Druckfass usw.)
 - Vorrichtung für chargenweise Anmischung von beschwerter oder/und thixotroper Hinterfüllung (Zusatzeinrichtung bei Durchlaufmischern, evtl. Zusatzbehälter)
 - Zuschlagstoffe (Zement, Bentonit, Schwerspat usw.)
 - Erdwärmesondenpacker (Abdichtung mit EWS) oder Bohrlochpacker (Abdichtung ohne EWS) je nach Anforderung bei definierten Stauern
 - Gewebestrümpfe für Gewichtsabdichtung über längere Distanzen und durchlässige Schichten
 - Injektionspumpe mit genügender Pumpleistung
 - Spülungswaage
 - Zusatzinjektionsschläuche
 - Schlammpumpe
- E.3.4 Informationen:
- Arteser sind den Behörden zu melden.
 - Ableitung von Wasser nach Rücksprache mit Klärwärter und Grundstückbesitzer.
 - Bei schwierigen Artesern: Beizug von Drittfirmen für Abdichtungen nach Rücksprache mit Experten.

E.4 Ausrüstung zur Gasintervention

- E.4.1 Vorrichtung zum Bestimmen des Gasaustritts:
- Gasmessgerät (Geruch, Geräusch); bei erhöhter Gefahr beim Bohrgerät und bei der Mulde
 - Druckmessung (Satz Manometer 0 bis 6 bar, 0 bis 16 bar)
- E.4.2 Für die Sofortintervention:
- geschraubter Verrohrungskopf
 - Einrichtung, um Wasser am Verrohrungskopf einzupressen
 - Druckkopf zum Totpumpen
 - Hauptanschluss zum Totpumpen, absperrbar
 - Anschlussmöglichkeit für Manometer
 - Ableitungsschläuche, um Gas abzuleiten
 - Absperr- und Markiermaterial (Triopan Explosion)
 - Erdwärmesondenpacker für die Abdichtung der Erdwärmesondenbohrung

- E.4.3 Bei Bedarf für die Sanierung nach Absprache mit den Fachleuten:
- Bohrung mit Stützspülung
 - Abfackeleinrichtung
 - Vorrichtung für chargenweise Anmischung von beschwerter oder/und thixotroper Hinterfüllung (Zusatzeinrichtung bei Durchlaufmischern, evtl. Zusatzbehälter)
 - Zuschlagstoffe (Zement, Bentonit, Schwerspat usw.)
 - Erdwärmesondenpacker (Abdichtung mit EWS) oder Bohrlochpacker (Abdichtung ohne EWS), je nach Anforderung
 - Injektionspumpe mit genügender Pumpleistung
 - Spülungswaage
 - Zusatzinjektionsschläuche
 - Schlammpumpe
- E.4.4 Informationen:
- Gasausbrüche sind den Behörden zu melden.
 - Bohrstelle grossräumig absperren, je nach Ausmass Feuerwehr und Polizei aufbieten.
 - Bei schwer zu beherrschenden Gasausbrüchen: Beizug von Drittfirmen für Abdichtungen nach Rücksprache mit Experten.

Anhang F (informativ)

Ausführung

F.1 Allgemein

F.1.1 Geologie

F.1.1.1 Die Schweiz besteht aus drei geologischen Hauptgebieten: Jura, Mittelland (Molassebecken) und Alpen. Im Jura, in den Alpen und in den Lockergesteinen des Mittellandes werden häufig komplexe geologische und hydrogeologische Verhältnisse angetroffen.

F.1.1.2 Das Bohrrisiko kann je nach lokalen geologischen Verhältnissen unterschiedlich gross sein. Dem Bohrrisiko ist an Standorten mit komplexen geologischen Verhältnissen generell Beachtung zu schenken. Dasselbe gilt für anthropogene oder geogene Gefahren.

F.1.2 Begrenzung der Bohrtiefe

Für eine Bohrung gibt es technische Grenzen des Bohrverfahrens, gegeben durch die maximal mögliche Bohrtiefe des Bohrgeräts, die maximale Verrohrungstiefe, die Beherrschbarkeit des Bohrrisikos, konstruktive Einschränkungen durch die Erdwärmesondenrohre, wie EWS-Material, Hydraulik, Druck- und Temperaturbeständigkeit, sowie Einschränkungen aufgrund behördlicher Auflagen.

F.2 Bohrverfahren

F.2.1 Allgemein

F.2.1.1 Für Erdwärmesondenbohrungen werden in erster Linie das Imlochhammer-Bohrverfahren und das Rotationsspülbohrverfahren auf der Basis von Wasser- oder Tonspülungen angewendet. Neu aufkommende Bohrverfahren, z. B. die Vibrorammung, und andere Bohrverfahren wie Rotationskernbohrungen oder Schneckenbohrverfahren werden hier nicht betrachtet, da sie von untergeordneter Bedeutung für Erdwärmesondenbohrungen in der Schweiz sind.

F.2.1.2 Beim Abteufen der Erdwärmesondenbohrungen geht es im Gegensatz zu Brunnenbohrungen nicht um die Funktion des Bohrlochs an sich (z. B. Förderung von Grundwasser), sondern lediglich um die Herstellung eines Lochs zur Aufnahme der Erdwärmesondenrohre. Die Bohrungen werden dabei sowohl mit selbstfahrenden, vollhydraulischen Bohranlagen (LKW-Bohranlagen) als auch mit vollhydraulischen Raupenbohranlagen ausgeführt. Bei der Ausführung steht ein rasches und sicheres Abteufen der Bohrung unter Berücksichtigung der grundwasserschutzrelevanten Rahmenbedingungen im Vordergrund.

F.2.2 Imlochhammerbohrung

Bei einer Imlochhammerbohrung wird die zur Zertrümmerung des Gesteins notwendige Schlagenergie mittels Druckluft aufgebracht. Dazu wird die von einem Hochdruckkompressor (z. B. 25–35 bar) übertag erzeugte Druckluft durch das rotierende Bohrgestänge auf einen unten am Gestänge befestigten Imlochhammer geleitet. Die Luft treibt dort die Meisselplatte an, die das Gestein zu Bohrklein zertrümmert. Über den Volumenstrom der Luft (z. B. 20–35 m³/min) wird das Bohrklein durch den Ringraum zwischen Bohrgestänge und anstehendem Gebirge zutage gefördert. Aufgrund der technisch limitierten Druckluftzufuhr des Kompressors sind bei hohem Wasseranfall im Bohrloch Tiefen über 250 m nur noch eingeschränkt machbar. Das Imlochhammerbohrverfahren kann aufgrund der fehlenden Stützwirkung der Luft nur in standfestem Gebirge – oder in nicht standfestem Gebirge nur mit einer dem Imlochhammer nachgeschobenen fortlaufenden Verrohrung mittels Doppelrotorkopf oder Doppeldrehkopf – eingesetzt werden. Die maximalen Verrohrungstiefen betragen etwa 70 m bis 100 m. In feinkörnigen Sedimenten und strukturempfindlichen Lithologien wie Tonen, Silten und Sanden sowie locker gelagerten Kiesen darf das Imlochhammerbohrverfahren aufgrund der Grundbruchgefahr und der weiträumigen Zerstörung des hydrogeologisch relevanten Bodenaufbaus generell nicht angewendet werden. Bei Zufluss von Gas, hohem Wasseranfall und artesisch gespanntem Grundwasser ist eine Imlochhammerbohrung schlecht bis gar nicht kontrollierbar, sodass dieses Bohrverfahren nur bei guter Kenntnis der Lithologie angewendet werden darf.

F.2.3 **Rotationsspülbohrverfahren**

Bei einer Rotationsspülbohrung mit Stützflüssigkeit (Wasser- oder Tonspülung) wird über einen hydraulisch betriebenen Kraftdrehkopf der unten am Gestänge befestigte Rollen- oder Flügelmeissel unter gezieltem Andruck gedreht. Das damit zerbohrte Gestein wird in Form von sogenannten Cuttings (Bohrklein) über die in einem geschlossenen Kreis durch das Bohrgestänge zirkulierende Bohrspülung im Ringraum zwischen Bohrgestänge und Gebirge ausgetragen. Die Bohrspülung besteht aus Wasser mit evtl. eingemischten Tonen (Tonspülung). Sie kann mit unterschiedlichen umweltverträglichen Additiven (Spülmittelzusätze) versehen sein. Dazu sind unter anderem spezielle Spülpumpen sowie entsprechend fundierte Kenntnisse in der Spülungstechnik notwendig. Die Rotationsspülbohrtechnik mit Stützflüssigkeit wird bei Erdwärmesondenbohrungen ausschliesslich im Lockermaterial (Ton, Silt, Sand, Kies) bei grossen Überlagerungsmächtigkeiten eingesetzt; aufgrund des zu langsamen Bohrfortschrittes findet sie in standfestem Fels für Erdwärmesondenbohrungen kaum Anwendung. Die Einsatztiefe ist durch die Bohranlagen- (Hakenlast und Drehmoment) sowie die Spülpumpenkapazität eingeschränkt. Die Rotationsspülbohrtechnik erlaubt aufgrund der Möglichkeiten der Verwendung von Spülmittelzusätzen (Kreide, Schwerspat usw.) die Kontrolle über zuströmende Gase, Wasser sowie Arteser. Universalbohranlagen erlauben daher im Notfall eine sofortige Intervention und Reaktion auf alle Vorkommnisse und machen bei einer entsprechenden Ausbildung des Personals alle Lithologien beherrschbar.

Allerdings besteht bei diesem Bohrverfahren die Gefahr, dass gasführende Schichten während des Bohrvorgangs nicht bemerkt werden. Dadurch ist es möglich, dass Erdwärmesonden wider besseres Wissen in gasführende Schichten eingebaut werden. Dadurch besteht die Gefahr, dass das Gas in den Erdwärmesondenkreis hineindiffundiert (siehe 4.1.10 und 5.4.3).

F.2.4 **Bohrdurchmesser**

Um eine Erdwärmesonde sicher einbauen zu können, sind die einschlägigen Regeln der Bohrkunst zu beachten. Je nach Erdwärmesondentyp soll ein ausreichend grosser Durchmesser gebohrt werden. Die Verrohrung muss entsprechend dem Bohrwerkzeug grösser gewählt werden.

Tabelle 16 Minimale empfohlene Bohrdurchmesser

Erdwärmesondentyp	Hammerbohrung	Spülbohrung
32 mm Duplex	115 mm	4 3/4" (121 mm)
40 mm Duplex	130 mm	5 3/8" (136 mm)
50 mm Duplex	160 mm	6 1/2" (165 mm)

F.2.5 **Zusammenfassung**

Tabelle 17 Beherrschbarkeit besonderer Vorkommnisse

	Wasser	Arteser	Gas	Stabilität
Imlochhammer ohne Verrohrung	schlecht	unkontrolliert	unkontrolliert	schlecht
Imlochhammer mit Verrohrung	mittel	schlecht/mittel	schlecht	gut
Rotationsspülbohrung mit Tonspülung	gut	kontrollierbar	kontrollierbar	kontrollierbar

Tabelle 18 Bohrverfahren und Geologie

	Fels	Moräne	Sand / Kies	Silt / Ton
Imlochhammer ohne Verrohrung	gut	mittel	schlecht	schlecht
Imlochhammer mit Verrohrung	nicht notwendig	gut	mittel	schlecht bis mittel
Rotationsspülbohrung mit Tonspülung	zeitaufwendig	mittel	gut	gut

F.2.6 Bohrgutentsorgung

- F.2.6.1 Das Bohrgut muss gemäss BAFU-Vollzugshilfe [4] und kantonalen Merkblättern entsorgt werden.
- F.2.6.2 Das Bohrgut kann über Absetzbecken oder Aufbereitungsanlagen in Schlämme und Abwasser aufgeteilt werden.
- F.2.6.3 Der Bohrschlamm muss in eine Behandlungsanlage oder nach der Abfallverordnung [1] in eine geeignete Inert-, Reststoff- oder Reaktordeponie entsorgt werden.
- F.2.6.4 Genügend klares Abwasser kann mit Bewilligung abgeleitet werden.

F.3 Druckfestigkeit von Erdwärmesondenrohren

- F.3.1 Der für die Rohrbelastung massgebende Differenzdruck wird über die Differenz aus Innendruck und Aussendruck berechnet.
- F.3.2 Üblicherweise ist der Sondenfuss am stärksten belastet. Beim Hinterfüllungsvorgang können aber auch andere Bereiche der EWS einen höheren Differenzdruck aufweisen. Für den Sondenfuss ergibt sich ein Innendruck aus Systemdruck (Anlagedruck und Teil des Pumpendruckes) am Sondenkopf und dem statischen Druck der Flüssigkeitssäule in der Erdwärmesonde am Sondenfuss. Der Aussendruck während des Hinterfüllungsvorgangs setzt sich aus statischem Druck der flüssigen Hinterfüllung und dem Austrittsdruck am Hinterfüllungsschlauch zusammen. Nach dem Abbinden der Hinterfüllung reduziert sich der Aussendruck auf den Gebirgsdruck und den Wasserdruck im Gebirge.
- F.3.3 Beim Einbauen einer wassergefüllten EWS in ein nur teilweise mit Wasser oder Spülung gefülltes Bohrloch ist der Innendruck höher. Während des Hinterfüllens wird die EWS vor allem von aussen belastet und kann bei zu hohem Aussendruck gequetscht werden. Nach dem Abbinden der Hinterfüllung reduziert sich der Aussendruck und der Innendruck wird für die Festigkeitsberechnung und die Lebensdauer bestimmend.
- F.3.4 PE-Material besitzt einen temperatur-, zeit- und druckabhängigen Kriechmodul. Die Herstellerangaben dazu beziehen sich üblicherweise auf eine konstante Temperatur von 20°C. Der Kriechmodul verringert sich bei erhöhten Temperaturen sowie über die Zeit und bei höheren Drücken.
- F.3.5 Die Innendruckfestigkeit, d.h. der Differenzdruck zwischen Innen- und Aussendruck, wird bei den PE-Rohren über die PN-Zahl (Pressure Nominal) angegeben. PN 16 steht für einen maximal zulässigen Differenzdruck von 16 bar bei 20°C über 50 Jahre. Dabei ist eine Sicherheit von 1,25 eingerechnet. Während des Einbaus der EWS darf der Innendruck kurzfristig höher sein. Für den kurzfristigen zulässigen Druck kann der Nenndruck mit 1,5 multipliziert werden, z. B. PN 16: $1,5 \times 16 = 24$ bar. Dabei darf das Material nicht wärmer als 20°C sein. Bei einer Temperatur von 25°C ist der Faktor noch 1,35, bei einer Temperatur von 30°C noch 1,25.
- F.3.6 Gibt es Hinweise darauf, dass das Gebirge und darin enthaltenes Wasser oder die Hinterfüllung keinen genügenden Gegendruck aufbauen können, muss auf Erdwärmesonden ausgewichen werden, die den maximal wirkenden Überdruck am Sondenfuss aufnehmen können. Für Erdwärmesonden bis maximal 20°C Betriebstemperatur kann dazu Tabelle 19 verwendet werden; dabei sind ein maximaler Systemdruck von 3 bar und eine Frostschutzfüllung mit 1,04 kg/l über die übliche Temperaturverteilung bis 20°C eingerechnet (F.3.7).

Tabelle 19 Wahl der Nenndruckstufe von Sondenmaterial PE bei üblicher Temperaturbelastung Heizen/Kühlen mit maximal 20°C Betriebstemperatur, ohne Gegendruck durch das Gebirge, Belastung am Sondenfuss (Berechnung für PE 100RC)

Tiefenbereich	maximaler Überdruck am Sondenfuss	Nenndruckstufe Erdwärmesonde am Sondenfuss
0 m–170 m	20 bar	PN 16
171 m–200 m	24 bar	PN 20
201 m–260 m	30 bar	PN 25
261 m–360 m	41 bar	PN 32

F.3.7 Die Berechnung der Lebensdauer über den Differenzdruck und die Temperatur erfolgt nach der Minerschen Regel nach SN EN ISO 13760. Dabei wird die Schädigung aufgrund der Temperaturganglinie über die Zeit der Erdwärmesonde mit dem maximalen Differenzdruck in der Anlage (üblicherweise der Sondenfuss) integriert. Die berechnete Lebensdauer muss dabei mindestens 50 Jahre betragen.

F.3.8 Die Aussendruckfestigkeit (Beuldruck) hängt vom Verhältnis der Wanddicke zum Rohrdurchmesser ab. Sie muss genügend hoch sein, um den maximalen Differenzdrücken nach Tabelle 8 standzuhalten. Werden mehrlagige Rohre (z. B. mit Metalleinlage) eingesetzt, ist für die Aussendruckfestigkeit nur das Verhältnis von Rohrdurchmesser zu Wanddicke massgebend (SDR).

In den Werten ist eine Sicherheit von 1,25 berücksichtigt. Um die Ovalform des Rohres zu berücksichtigen, ist eine Sicherheit von 2 eingerechnet.

Um die Abbindewärme zu berücksichtigen, sollen bei der Druckprüfung die Werte aus der Spalte 27°C aus Tabelle 8 nicht überschritten werden. Bei höheren Temperaturen (warme und sonnige Witterung) sind die zulässigen Drücke geringer.

F.4 Hinterfüllung

F.4.1 Die Anforderungen an die Hinterfüllung sind in 5.3 beschrieben. Eine mögliche Hinterfüllung, die diese Bedingungen erfüllt, hat die folgende Zusammensetzung:

100 kg Bentonit (Calcium-Montmorillonit) + 200 kg Zement (z. B. CEM III/B 325 N HSKH) + 900 Liter Wasser, was 1000 Liter Suspension ergibt. Die Wärmeleitfähigkeit beträgt 0,85 W/(m·K) [10].

Diese Hinterfüllung ist nicht frostbeständig. Bei frostbeständigen Hinterfüllungen verschiebt sich das Problem in das umliegende Gebirge, das häufig nicht frostbeständig ist. Die Erdwärmesonde ist daher unabhängig vom Hinterfüllungsmaterial auf eine korrekte Auslegung angewiesen, um ihre Funktion erfüllen zu können.

F.4.2 Fertigmischungen werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Bei deren Verwendung ist vor dem Einsatz zu prüfen, ob deren Dichte im Verhältnis zur eingesetzten EWS-Tiefe nicht zu gross ist, damit die Rohre von aussen her nicht gequetscht werden (siehe 5.3.4 und Tabelle 20).

Bei Fertigmischungen müssen die Rezepturen der Hersteller unter Berücksichtigung der Vorgaben gemäss 5.3.2 eingehalten werden, auch wenn die Mischung dadurch schlecht pumpbar ist. Gewisse Hinterfüllungen können daher nur bis zu einer gewissen Einbautiefe verwendet werden, da sonst der Einpressdruck die Festigkeit des Injektionsschlauches überschreitet. Abhilfe können grössere oder mehrere Injektionsschläuche bieten.

Die Mischungen dürfen sich nicht entmischen, zu dünnflüssig sein, im abgebundenen Zustand sandartig zerbröseln oder zu Rissbildung neigen.

Die Fertigmischungen können je nach Zuschlagstoffen verbesserte Eigenschaften wie erhöhte Wärmeleitfähigkeit oder Frostbeständigkeit aufweisen.

Die Suspension muss chargenweise angerührt und verpresst werden; bei Fertigmischungen ist auch eine kontinuierliche Mischung und Verpressung möglich.

Die Mischungen sind klumpenfrei anzumischen. Beim Einpressen sind die maximal zulässigen Drücke für das Injektionsrohr zu beachten.

F.4.3 Aussendruck auf die Erdwärmesonde während der Hinterfüllung

Tabelle 20 Auftretende Druckdifferenzen von aussen nach innen (Beuldruck) am Sondenfuss in Abhängigkeit von Hinterfüllung und EWS-Länge bei wassergefüllten Erdwärmesonden

EWS-Länge	Dichte der Hinterfüllung				
	1200 kg/m ³	1400 kg/m ³	1600 kg/m ³	1800 kg/m ³	2000 kg/m ³
40 m	0,8 bar	1,6 bar	2,4 bar	3,1 bar	3,9 bar
60 m	1,2 bar	2,4 bar	3,5 bar	4,7 bar	5,9 bar
80 m	1,6 bar	3,1 bar	4,7 bar	6,3 bar	7,8 bar
100 m	2,0 bar	3,9 bar	5,9 bar	7,8 bar	9,8 bar
120 m	2,4 bar	4,7 bar	7,1 bar	9,4 bar	11,8 bar
140 m	2,7 bar	5,5 bar	8,2 bar	11,0 bar	13,7 bar
160 m	3,1 bar	6,3 bar	9,4 bar	12,6 bar	15,7 bar
180 m	3,5 bar	7,1 bar	10,6 bar	14,1 bar	17,7 bar
200 m	3,9 bar	7,8 bar	11,8 bar	15,7 bar	19,6 bar
220 m	4,3 bar	8,6 bar	12,9 bar	17,3 bar	21,6 bar
240 m	4,7 bar	9,4 bar	14,1 bar	18,8 bar	23,5 bar
260 m	5,1 bar	10,2 bar	15,3 bar	20,4 bar	25,5 bar
280 m	5,5 bar	11,0 bar	16,5 bar	22,0 bar	27,5 bar
300 m	5,9 bar	11,8 bar	17,7 bar	23,5 bar	29,4 bar
320 m	6,3 bar	12,6 bar	18,8 bar	25,1 bar	31,4 bar
340 m	6,7 bar	13,3 bar	20,0 bar	26,7 bar	33,4 bar
360 m	7,1 bar	14,1 bar	21,2 bar	28,3 bar	35,3 bar
380 m	7,5 bar	14,9 bar	22,4 bar	29,8 bar	37,3 bar
400 m	7,8 bar	15,7 bar	23,5 bar	31,4 bar	39,2 bar

F.4.4 Wenn die vollständig mit Wasser gefüllten EWS am Kopf druckdicht abgeschlossen und mit einem Vordruck vorbelastet werden, kann das Beulen (Quetschen) während des Einbringens der Hinterfüllung verhindert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass bei fehlendem Gegendruck (nicht vollständig gefülltes Bohrloch) der Innendruck inklusive allfällig zusätzlich aufgebrachtem Vordruck über die ganze EWS die Werte aus Tabelle 20 nicht überschreitet. Die Kappen mit Manometer müssen bis zur teilweisen Aushärtung der Hinterfüllung montiert bleiben. Es ist sicherzustellen, dass die Hinterfüllung genügend Eigenstabilität aufweist, um bei ungenügender Aushärtung nicht durch «Nachfliessen» die EWS dennoch zu quetschen. Werden Kappen montiert, kann der Kopfdruck bis maximal zum Differenzdruck nach Tabelle 8 ansteigen. Die Erdwärmesonde muss kurzfristig auch diesem Druck standhalten (F.3.5).

F.4.5 Um bei Erdwärmesonden ab etwa 300 m den Differenzdruck (Differenz Innendruck – Aussendruck) niedrig zu halten, kann die Hinterfüllung stufenweise mit mehreren Hinterfüllungsschläuchen eingebracht werden. Dabei ist das Manometer am Sondenkopf zu beobachten und die nächste Hinterfüllungsladung erst dann einzubringen, wenn der Kopfdruck genügend abgesunken ist (sogenannte Stufenzementation). Es ist auf eine vollständige Hinterfüllung der EWS unter Beachtung der Prinzipien des Kontraktionsverfahrens zu achten. Während des ganzen Hinterfüllungsvorgangs dürfen die zulässigen Festigkeitswerte nicht überschritten werden.

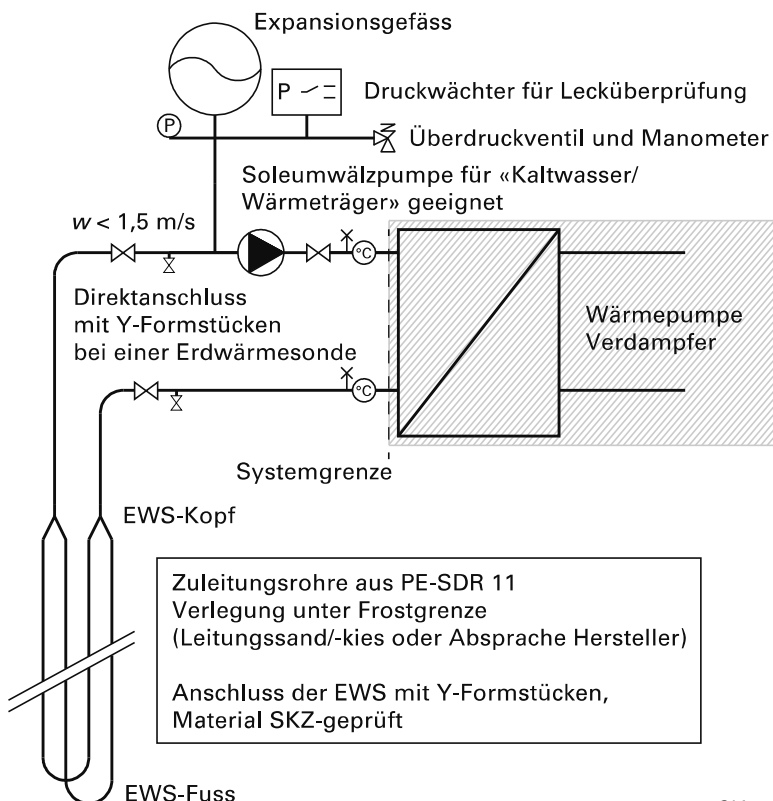
F.4.6 In Klüftzonen und in permeablen Bereichen des Bohrlochs ist eine Hinterfüllung mit thixotropen Eigenschaften erforderlich. Dies verhindert ein Wegfliessen der Hinterfüllung im Ruhezustand. Bei grossen Klüften ist eventuell mit mehreren Injektionsrohren (1. Rohr bis Endtiefe, 2. Rohr bis knapp über Klüft) und mit Erdwärmesonden-Gewebepackern zu arbeiten. Grosse Klüfte oder stark durchlässige Bereiche können durch Einbauen von fix einzementierten Verrohrungen oder den Einsatz anderer Methoden überbrückt werden, z. B. Gewebestrümpfen ab dem Sondenfuss oder Dichtmanschetten, die ein Wegfliessen der Hinterfüllung verhindern. Der nicht hinterfüllte Anteil der Bohrung kann thermisch nicht als aktive Sondenlänge gerechnet werden.

- F.4.7 Zonen mit Wasserzutritt oder gespannte Grundwasserleiter müssen mit beschwerten Hinterfüllungen und/oder Erdwärmesondenpackern abgedichtet werden. Dabei muss das Gewicht der Hinterfüllungssäule grösser sein als der Druck des einströmenden Wassers oder das Wasser muss durch Zusatzeinbauten verdrängt werden. Hilfreich ist eine stark thixotrope Hinterfüllung. Bei Verwendung von Gewebestrümpfen muss der Einbau mit einer Festigkeitsberechnung nachgewiesen werden.
- F.4.8 Das Volumen der verpressten Suspension ist zu kontrollieren und zusammen mit der verwendeten Rezeptur zu protokollieren. Dabei ist eine Berechnung der theoretisch möglichen Verpressmenge vorzunehmen. Die Dichte ist nach 5.3.3 zu messen und zu protokollieren.
- F.4.9 Nicht vollständige Hinterfüllungen sind nur mit Bewilligung der zuständigen Gewässerschutzbehörde zulässig (siehe D.1).

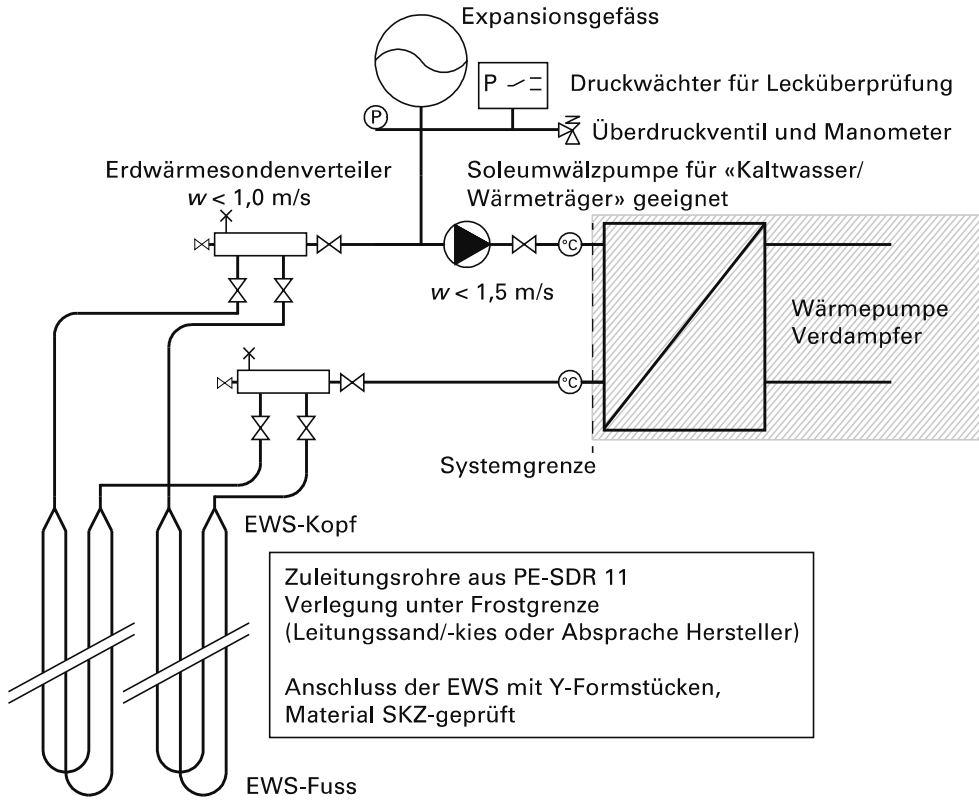
F.5 Anschluss der Erdwärmesonden

- F.5.1 Die Anforderungen an den Anschluss sind unter 4.1 und 4.2 definiert.
- F.5.2 Die Rohre sind zu ihrem Schutz in ein Leitungssand- oder -kiesbett zu verlegen und mit einem Warnband zu markieren. In Absprache mit dem Hersteller und bei entsprechender Rohrqualität können die Rohre auch in den bestehenden Aushub verlegt werden.
- F.5.3 Der Verteiler und die Soleleitung müssen korrosionsfest ausgeführt sein. Der Verteiler kann in einem zugänglichen Schacht oder im Haus montiert sein.
- F.5.4 Im Falle eines Verteilerschachts müssen der Standort, die Ausführung des Verteilerschachts und die Belastungsklasse der Schachtabdeckung durch den Planer definiert sein. Werden Verteilerschächte in Bodenplatten oder Grundwassergebieten eingesetzt, dürfen nur Verteilerschächte mit erhöhter Druckbeständigkeit eingesetzt werden.
- F.5.5 Figur 30 zeigt das Schema für eine einzelne Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonde, Figuren 31 und 32 die Schemas für mehrere Doppel-U-Rohr-Erdwärmesonden (mit und ohne Y-Formstücke). Figur 33 zeigt die Einbindung für Geocooling. Diese Schemas stehen stellvertretend für mögliche Anschlussvarianten.

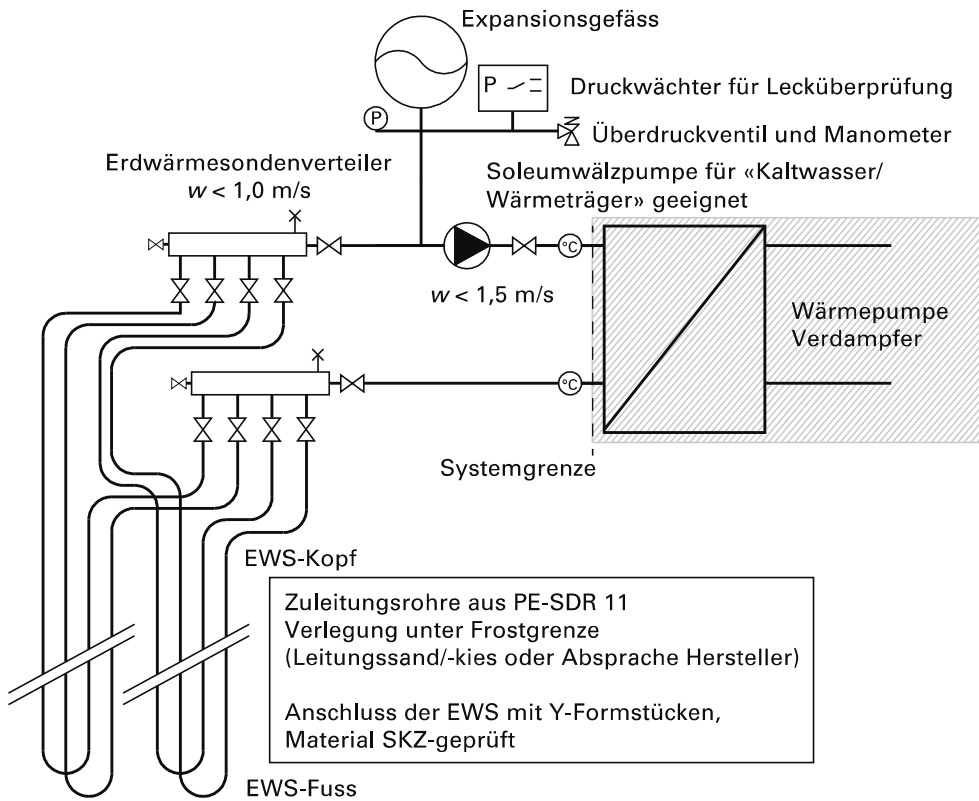
Figur 30 Prinzipschema für eine Erdwärmesonde, angeschlossen mit Y-Formstück



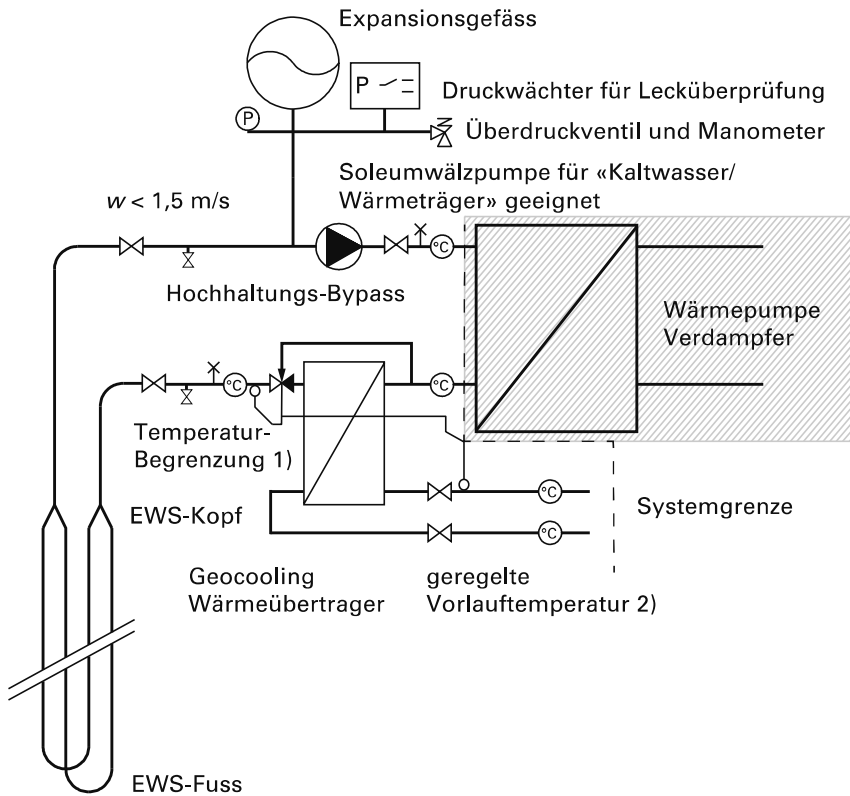
Figur 31 Prinzipschema für mehrere Erdwärmesonden mit Y-Formstücken



Figur 32 Prinzipschema für mehrere Erdwärmesonden ohne Y-Formstücke



Figur 33 Prinzipschema für Geocooling-Einkopplung in Erdwärmesondenkreis



- 1) Temperaturbegrenzung bei Einspeisung von Solarwärme; Bypass mit Notstellfunktion
- 2) Geregelter Vorlauftemperatur bei Gebäudeentwärmung

F.6 Spülen

- F.6.1 Mit dem Spülen der Erdwärmesondenkreise werden Verschmutzungen wie Sand und Steine ausgespült. Jeder Kreis muss einzeln gespült werden.
- F.6.2 Kann nicht ausgeschlossen werden, dass Sand und Steine in die Rohre gefallen sind, müssen die EWS so lange gespült werden, bis die Verschmutzungen wieder ausgespült werden.
- F.6.3 Um Steine sicher auszuspülen, muss von Steinen in Kugelform ausgegangen werden, da diese bei den üblichen Steinformen die grösste Sinkgeschwindigkeit entwickeln. In Tabelle 21 werden die maximale Sinkgeschwindigkeit von runden Kieselsteinen und die entsprechende minimale Durchflussmenge in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser angegeben. Damit die Steine sicher ausgespült werden, muss schneller gespült werden als in der Tabelle angegeben.

Tabelle 21 Minimal notwendiger Durchfluss zum Ausspülen von Steinen

Rohrdurchmesser	max. Sinkgeschwindigkeit	minimaler Durchfluss
20,6 mm	0,65 m/s	0,8 m ³ /h
26,0 mm	0,73 m/s	1,4 m ³ /h
32,6 mm	0,82 m/s	2,5 m ³ /h
40,6 mm	0,92 m/s	4,3 m ³ /h

F.6.4 Die minimale Ausspülzeit berechnet sich nach Gleichung 24.

$$t_{min} = \frac{L_{BHE}}{\frac{4 \cdot \dot{V}}{3600 \text{ s/h} \cdot d_i^2 \cdot \pi} - w_{sink}} \quad (24)$$

t_{min} minimale Spülzeit, in Sekunden

L_{BHE} Länge der Erdwärmesonde, in m

\dot{V} Volumenstrom des Spülwassers, in m³/h

d_i Innendurchmesser des Erdwärmesondenrohrs, in m

w_{sink} maximale Sinkgeschwindigkeit einer Kugel im Rohr, in m/s

Wird beispielsweise ein Kreis einer 250 m langen, \varnothing 40 mm EWS SDR 11 ($d_i = 32,6$ mm) mit 3 m³/h gespült, muss nach Gleichung 24 mindestens 1402 Sekunden lang gespült werden.

$$t_{min} = \frac{250 \text{ m}}{\frac{4 \cdot 3 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s/h} \cdot (0,0326 \text{ m})^2 \cdot \pi} - 0,82 \text{ m/s}} = 1402 \text{ s}$$

Anhang G (informativ) Publikationen

Dieser Anhang verweist auf Publikationen zum Thema der vorliegenden Norm.

G.1 Verordnungen, Richtlinien und Leitfäden

- [1] *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen* (Abfallverordnung, VVEA), SR 814.600
- [2] VDI 4640, *Thermische Nutzung des Untergrundes*, Blatt 1 bis 5
- [3] *Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden*, Umweltministerium Baden-Württemberg, 4. Auflage, 2005
- [4] *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund*, Vollzugshilfe für Behörden und Fachleute im Bereich Erdwärmennutzung, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, 2009
- [5] DVS 2207-1, *Schweissen von thermoplastischen Kunststoffen – Heizelementschweissen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE*, Deutscher Verband für Schweissen und verwandte Verfahren e.V. (DVS), Düsseldorf
- [6] SKZ Prüf- und Überwachungsbestimmungen, HR 3.26, 02/2015, *Erdwärmesondenfüsse, Rohre und Rohrleitungsteile aus Polyethylen PE 100 für Erdwärmeprodukte*, Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (SKZ), Würzburg
- [7] *Klassierung wassergefährdender Flüssigkeiten*, BAFU, 2019
- [8] VKR RL02 und RL03: *Richtlinie/Leitfaden für erdverlegte PE-Druckrohrleitungen in der Gas- und Wasserversorgung*, Verband Kunststoff-Rohre und -Rohrleitungsteile (VKR), Aarau, www.vkr.ch/

G.2 Berichte und Dokumentationen

- [9] Dokumentation SIA D 0179, *Energie aus dem Untergrund – Erdreichspeicher für moderne Gebäudetechnik*, 2003
- [10] Rohner E., Salton M., Rybach L., *Lebensdauer von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung*, Bundesamt für Energie, Schlussbericht PN 20536, 2001
- [11] Signorelli S., *Geoscientific investigations for the use of shallow low enthalpy systems*, Diss. ETH Nr. 15519, 2004
- [12] Eskilson P., *Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes*, Department of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, ISBN 91-7900-298-6, 1987
- [13] Poppei J., Huber A., *Strategische Planung von Erdwärmesonden*, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, 2019
- [14] Wagner R., *Erdwärmesonden – Auslegung von Kleinanlagen mit Berücksichtigung von Nachbarsonden*, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, 2019
- [15] Brodhag S., Oesterling N., *Datenmodell Bohrdaten (Modèle de données de forage)*, Office fédéral de topographie swisstopo, Berne, 2014

G.3 Berechnungsprogramme und Datenbanken

- [16] Leu W., Mégel Th., Schärli U., *Programm SwEWS – Geothermische Eigenschaften der Schweizer Molasse (Tiefenbereich 0 – 500 m) – Datenbank für Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Gesteinsdichte und Porosität*, 2006
- [17] Hellström G., Sanner B., *EED – Earth Energy Designer*, User manual, Download Probeversion www.buildingphysics.com
- [18] Huber A., 2019: *Programm EWS, Version 5.3, Berechnung von Erdwärmesonden*, Benutzerhandbuch und Download Probeversion www.hetag.ch
- [19] Pahud D., 2007, *PILESIM2: Simulation Tool for Heating/Cooling Systems with Energy Piles or multiple Borehole Heat Exchangers*, SUPSI, Download Probeversion www.isaac.supsi.ch
- [20] Geowatt AG, *Cloudanwendung für Projektverwaltung, Simulation und Qualitätssicherung für Erdwärmesonden-Anlagen*, www.geowatt.ch
- [21] Remund J., Kunz St., *Meteonorm – Global meteorological database for applied climatology*, Meteotest Bern, www.meteonorm.com
- [22] Koenigsdorff R., *GEO-HANDlight – Handrechenverfahren zur überschlägigen Bemessung von Erdwärmesondenfeldern*, Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, 26.–27. April 2007, Freising, Deutschland
- [23] *TRNSYS*, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin (USA) und *TRANSSOLAR*, Stuttgart
- [24] Huber A., Ochs M., *Hydraulische Auslegung von Erdwärmesondenkreisläufen mit der Software «EWSDRUCK» V 2.0*, Bundesamt für Energie, Bern, Download www.hetag.ch, 2007

Anhang H (informativ) Verzeichnis der Begriffe

Tabelle 22 Alphabetisches Verzeichnis der in Kapitel 1 definierten Begriffe

Deutsch	Französisch	Italienisch	Ziffer
Arteser	Eau artésienne	Acqua artesiana	1.2.3.4
Auslegetemperatur EWS	Température de dimensionnement SG	Temperatura di dimensionamento della SG	1.2.8.6
Bedarfsprofil	Profil des besoins	Profilo di fabbisogno	1.2.5.1
Belastungsprofil	Profil de charge	Profilo di carico	1.2.5.2
Bodenoberflächentemperatur	Température superficielle du sol	Temperatura superficiale del terreno	1.2.8.2
Bodentemperatur	Température du sol	Temperatura del sottosuolo	1.2.8.3
Bodentemperaturdifferenz	Différence par rapport à la température du sol	Differenza di temperatura del sottosuolo	1.2.8.5
Bohrklein	Déblais de forage	Detriti di perforazione	1.2.4.2
Bohrlochpacker	Obturateur pour puits de forage	Otturatore	1.2.4.4
Bohrlochwiderstand	Résistance thermique de la sonde	Resistenza termica del foro	1.2.2.13
Bohrprotokoll	Protocole de forage	Protocollo di perforazione	1.2.4.1
Effektive Wärmeleitfähigkeit	Conductivité thermique effective	Conducibilità termica effettiva	1.2.3.10
Effektiver Bohrloch-widerstand	Résistance thermique effective de la sonde	Resistenza termica effettiva del foro	1.2.2.15
Erdwärme	Géothermie	Calore terrestre	1.2.1.1
Erdwärmesonde	Sonde géothermique	Sonda geotermica	1.2.1.4
Erdwärmesondenfeld	Champ de sondes géothermiques	Campo di sonde geotermiche	1.2.1.5
Erdwärmesondenkreis	Circuit de sonde géothermique	Circuito della sonda geotermica	1.2.2.4
Erdwärmesondenpacker	Obturateur textile pour sonde géothermique	Otturatore della sonda geotermica	1.2.4.5
Erdwärmesondenrohr	Tube de sonde géothermique	Tubo della sonda geotermica	1.2.2.1
Erdwärmesondentemperatur	Température de la sonde géothermique	Temperatura della sonda geotermica	1.2.8.7
Expansionsgefäss	Vase d'expansion	Vaso d'espansione	1.2.2.8
Frostgrenze	Limite de gel	Limite del gelo	1.2.1.10
Fülldruck	Pression de remplissage	Pressione di riempimento	1.2.2.9
Geocooling	Geocooling	Geocooling	1.2.1.6
Geologische Struktur	Structure géologique	Struttura geologica	1.2.3.1
Geologische, anthropogene Gefahren	Dangers géologiques anthropogènes	Pericoli geologici antropogenici	1.2.3.6
Geologische, geogene Gefahren	Dangers géologiques géogènes	Pericoli geologici geogenici	1.2.3.7
Geologisches Bohrprofil	Profil géologique de forage	Profilo geologico di perforazione	1.2.3.5
Geothermische Wärme-stromdichte	Densité de flux géothermique	Flusso geotermico	1.2.3.12

Tabelle 22 Alphabetisches Verzeichnis der in Kapitel 1 definierten Begriffe (Fortsetzung)

Deutsch	Französisch	Italienisch	Ziffer
Geothermischer Bestandsanteil	Part de la géothermie	Quota geotermica esistente	1.2.1.9
Geothermischer Deckungsgrad	Taux de couverture par la géothermie	Grado di copertura geotermico	1.2.1.7
Geothermischer Zubauanteil	Taux de développement	Quota di ampliamento	1.2.1.8
Gesamtsystem	Système	Sistema globale	1.2.2.10
Grundbruch	Poinçonnement	Rottura di fondo	1.2.3.8
Grundwasser	Eau souterraine	Falda sotterranea	1.2.3.3
Hinterfüllung	Matériau de remplissage	Riempimento	1.2.4.3
Interner Bohrlochwiderstand	Résistance thermique interne de la sonde	Resistenza termica interna del foro	1.2.2.14
Jahreswärmebedarf	Besoins de chaleur annuels	Fabbisogno di calore annuo	1.2.5.3
Jahreswärmebedarf für Warmwasser	Besoins de chaleur annuels pour l'eau chaude sanitaire	Fabbisogno di calore annuo per l'acqua calda	1.2.5.4
Kälteleistung	Puissance de refroidissement	Potenza di raffreddamento	1.2.6.5
Kaltwassertemperatur	Température d'eau froide	Temperatura dell'acqua fredda	1.2.8.9
Lithologie	Lithologie	Litologia	1.2.3.2
Mittlere Jahresausserlufttemperatur	Température moyenne annuelle de l'air extérieur	Temperatura media annuale dell'aria esterna	1.2.8.1
Norm-Heizlast	Charge thermique nominale	Potenza di riscaldamento di dimensionamento	1.2.6.3
Norm-Kühlleistung	Charge de refroidissement nominale	Potenza di raffreddamento di dimensionamento	1.2.6.4
Normlänge der Erdwärmesonde	Longueur nominale de la sonde géothermique	Lunghezza di dimensionamento della sonda geotermica	1.2.2.12
Norm-Volllaststunden Heizung	Heures de pleine charge pour le chauffage en conditions nominales	Ore annuali a pieno carico di dimensionamento per il riscaldamento	1.2.7.3
Regenerationsrate	Taux de régénération	Tasso di rigenerazione	1.2.5.5
Solekreis	Circuit de saumure	Circuito di salamoia	1.2.2.4
Sondenfuss	Pied de sonde	Piede della sonda	1.2.2.2
Sondenkopf	Tête de sonde	Testa della sonda	1.2.2.3
Sondenrücklauf	Fluide «retour» de sonde	Ritorno nella sonda	1.2.2.6
Sondenvorlauf	Fluide «aller» de sonde	Mandata dalla sonda	1.2.2.5
Spezifische Entzugsleistung	Puissance spécifique d'extraction	Potenza di estrazione specifica	1.2.6.6
Spezifische hydraulische Leistung	Puissance hydraulique spécifique	Potenza idraulica specifica	1.2.6.7
Spezifische Wärmekapazität	Capacité thermique massique	Capacità termica specifica	1.2.3.11
Strumpf	Chaussette	Calza	1.2.4.6
Temperaturgradient	Gradient de température	Gradiente di temperatura	1.2.8.4
Thermal Response Test	Test de réponse thermique	Thermal Response Test	1.2.3.13
Thixotropie	Thixotropie	Tixotropia	1.2.4.7
Tichelmann-System	Système Tichelmann	Sistema Tichelmann	1.2.2.11

Tabelle 22 Alphabetisches Verzeichnis der in Kapitel 1 definierten Begriffe (Fortsetzung)

Deutsch	Französisch	Italienisch	Ziffer
Umwälzpumpe	Pompe de circulation	Pompa di circolazione	1.2.2.7
Volllaststunden Heizung	Heures de pleine charge pour le chauffage	Ore a pieno carico per il riscaldamento	1.2.7.2
Volllaststunden pro Jahr	Heures de pleine charge par an	Ore a pieno carico annuali	1.2.7.1
Wärmeleistung	Puissance thermique	Potenza termica	1.2.6.1
Wärmeleistung der Wärmepumpe im Auslegepunkt	Puissance thermique de la PAC au point de dimensionnement	Potenza termica della PdC al punto di dimensionamento	1.2.6.2
Wärmeleitfähigkeit	Conductivité thermique	Conducibilità termica	1.2.3.9
Wärmequelle	Source de chaleur	Fonte di calore	1.2.1.2
Wärmeträger	Fluide caloporteur	Vettore termico	1.2.1.3
Warmwassertemperatur	Température d'eau chaude	Temperatura dell'acqua calda	1.2.8.8

In der Kommission SIA 384/6 vertretene Organisationen

AHB Stadt Zürich	Amt für Hochbauten der Stadt Zürich
FWS	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz
Geothermie-Schweiz	Schweizerische Vereinigung für Geothermie
HEIG-VD	La Haute École d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud
HSLU	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
SIA KGE	SIA-Kommission für Gebäudetechnik- und Energienormen
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Kommission SIA 384/6, Erdwärmesonden

		Vertreter von
Präsident	Adrian Altenburger, Prof., dipl. HLK-Ing. HTL/SIA, Weinfelden	HSLU
Mitglieder	Walter Eugster, Dr. sc. nat., dipl. Natw. ETH/SIA, Zürich Harry Gmür, dipl. Ing. FH/SIA, Zug Peter Hubacher, dipl. Ing. HTL, Engelburg Markus Hubbuch, Prof., dipl. Ing. ETH/SIA, Wädenswil Olivia Lauber Ruiz, dipl. phil. nat., Geologin, Bern Michael Menzl, dipl. Oek., Benken Hanspeter Oester, dipl. Arch. ETH/SIA, Zürich Daniel Pahud, Dr., dipl. Phys., Yverdon-les-Bains Joachim Poppei, Dr. rer. nat., dipl. Phys. SIA, Aarau Roland Wagner, Dr. rer. nat., Zürich Michael Zurkinder, dipl. BWL NDS HF, Düringen	FWS SIA KGE FWS ZHAW Kanton Hersteller Planer HEIG-VD Geothermie-Schweiz AHB Stadt Zürich Bohrfirma
Sachbearbeiter	Arthur Huber, dipl. Ing. ETH/SIA, Zürich Ernst Rohner, dipl. Ing. HTL/SIA, Arnegg Davide Bionda, Dr. sc. ETH, dipl. Geol. UZH, Arbon	

Genehmigung und Gültigkeit

Die Zentralkommission für Normen des SIA hat die vorliegende Norm SIA 384/6 am 2. März 2021 genehmigt.

Sie ist gültig ab 1. Mai 2021.

Sie ersetzt die Norm SIA 384/6 *Erdwärmesonden*, Ausgabe 2010.

Copyright © 2021 by SIA Zurich

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe und Speicherung sowie das der Übersetzung, sind vorbehalten.