

DIN EN 17522

ICS 07.060

Einsprüche bis 2020-07-22

Entwurf**Planung und Bau von Erdwärmesonden;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17522:2020**

Design and construction of borehole heat exchangers;
German and English version prEN 17522:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-05-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naw@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 113 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17522:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 451 „Bohrungen für geothermale Zwecke und zur Wassergewinnung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 119-07-03-02 UA „Erdwärmesonden“ im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Planung und Bau von Erdwärmesonden

Design and construction of borehole heat exchangers

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.10b

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Geologische und Umweltaspekte	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Geologische und hydrogeologische Risiken	8
4.2.1 Artesische Grundwasserleiter	8
4.2.2 Übereinanderliegende Grundwasserleiter mit unterschiedlichem Grundwasserpotenzial.....	9
4.2.3 Grundwasser und Bodenchemie	9
4.2.4 Gasvorkommen	9
4.2.5 Formationsstandfestigkeit.....	9
4.2.6 Quellen und Schrumpfen von Mineralien oder Böden.....	9
4.2.7 Gegensätzliche geologische Schichtenfolge (alternierende Schichtung).....	10
4.2.8 Karstgeologie	10
4.2.9 Frostanfälligkeit.....	10
4.2.10 Grundwasserschutzgebiet.....	11
4.3 Anthropogene Risiken	11
4.4 Umweltaspekte.....	11
4.4.1 Allgemeines	11
4.4.2 Einfluss auf das Grundwasser	12
4.4.3 Auswirkungen der Bauarbeiten auf die Umwelt.....	12
5 Beschreibung der Anlage.....	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Erdwärmesonde.....	14
5.3 Horizontalrohre	15
5.4 Heizkreisverteiler (Kühlkreisverteiler)	16
5.5 Thermische Anlage	16
6 Werkstoffe.....	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Allgemeine Eigenschaften	16
6.2.1 Allgemeines	16
6.2.2 Kunststoffe	17
6.2.3 Verbindungsverfahren	18
6.2.4 Metallische Werkstoffe.....	19
6.2.5 Wärmeträgerfluid	20
6.2.6 Hinterfüllbaustoffe.....	20
6.3 Kriterien für die Auswahl der Komponenten	22
6.3.1 Allgemeines	22
6.3.2 Sondenrohre.....	22
6.3.3 Horizontalrohre	22
6.3.4 Heizkreisverteiler (Kühlkreisverteiler)	22
6.3.5 Wärmeträgerfluid	23
7 Auslegung	23
7.1 Auslegungsschritte.....	23

7.2	Bemessung.....	23
7.2.1	Allgemeines	23
7.2.2	Allgemeine Methodik	25
7.2.3	Thermische Eigenschaften des Bodens	27
7.2.4	Thermal Response Test (TRT).....	28
7.2.5	Berechnungsverfahren.....	34
7.2.6	Simulation	36
7.2.7	Hydraulische Auslegung	37
8	Ausführung	37
8.1	Allgemeines	37
8.2	Baustelleneinrichtung und Ausführungsplanung	38
8.3	Bohrung.....	38
8.3.1	Allgemeines	38
8.3.2	Bohrdurchmesser.....	39
8.3.3	Bohrspülung.....	39
8.3.4	Überwachung und Dokumentation des Bohrvorgangs	39
8.3.5	Hinterfüllung.....	39
8.4	Erdwärmesondenrohre.....	40
8.5	Einbau der Erdwärmesondenrohre.....	40
8.6	Hinterfüll- und Verpressverfahren.....	41
8.6.1	Allgemeines	41
8.6.2	Verpressverfahren.....	41
8.6.3	Andere Hinterfüllverfahren	42
8.7	Horizontalrohre	42
8.8	Prüfung von EWS – Dichtheitsprüfung, Durchflussprüfung, Verpressprüfung, geophysikalische Messungen	42
8.9	Heizkreisverteiler (Kühlkreisverteiler)	43
9	Inbetriebnahme	44
9.1	Allgemeines	44
9.2	Wärmeträgerfluid	44
9.3	Befüllung der Anlage	45
9.4	Trocknen von Neubauten	45
9.5	Inbetriebnahme	45
9.6	Dokumentation	45
10	Betrieb, Überwachung und Wartung.....	45
10.1	Betrieb.....	45
10.2	Überwachung.....	45
10.2.1	Allgemeines	45
10.2.2	Temperatur	46
10.2.3	Druck.....	46
10.2.4	Durchflussmenge.....	47
10.3	Wartung	47
11	Sanierung.....	47
12	Stilllegung.....	48
12.1	Allgemeines	48
12.2	Wärmeträgerfluid	48
12.3	Erdwärmesonden	48
12.3.1	Hinterfüllte Bohrlöcher	48
12.3.2	Mit Wasser gefüllte Bohrlöcher	48
12.4	Horizontalrohre	49
12.5	Dokumentation	49
Anhang A (informativ)	Dämmung der Horizontalrohre	50

Anhang B (informativ) Beispiele für den Simulationszeitraum.....	51
Anhang C (informativ) Checkliste für die Inbetriebnahme.....	54
Anhang D (informativ) Beispiele für die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmespeicherzahl des Untergrundes	56
Literaturhinweise.....	58

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17522:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 451 „Bohrungen für geothermale Zwecke und zur Wassergewinnung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument befasst sich mit der Normung von Erdwärmesonden für geothermische Anwendungen unter geologischen und Umweltaspekten und deckt dabei die Bereiche Auslegung, Bohrung, Ausführung der Sonde, Fertigstellung der Anlage, Betrieb, Überwachung, Wartung, Sanierung und Stilllegung ab.

Techniken mit direkter Ausdehnung und Thermosiphonen werden in diesem Dokument nicht behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 12201-1:2011, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen — Polyethylen (PE) — Teil 1: Allgemeines*

EN 12201-2:2011, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen — Polyethylen (PE) — Teil 2: Rohre*

EN 12201-3:2011, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen — Polyethylen (PE) — Teil 3: Formstücke*

EN 12201-5:2011, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen — Polyethylen (PE) — Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems*

EN ISO 15875-1:2003, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation — Vernetztes Polyethylen (PE-X) — Teil 1: Allgemeines (ISO 15875-1:2003)*

EN ISO 15494, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für industrielle Anwendungen — Polybuten (PB), Polyethylen (PE), Polyethylen erhöhter Temperaturbeständigkeit (PE-RT), vernetztes Polyethylen (PE-X), Polypropylen (PP) — Metrische Reihen für Anforderungen an Rohrleitungsteile und das Rohrleitungssystem (ISO 15494:2015)*

EN ISO 22391-1, *Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation — Polyethylen erhöhter Temperaturbeständigkeit (PE-RT) — Teil 1: Allgemeines (ISO 22391-1:2009)*

EN 1057, *Kupfer und Kupferlegierungen — Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für Wasser- und Gasleitungen für Sanitärinstallationen und Heizungsanlagen*

EN 12449, *Kupfer und Kupferlegierungen — Nahtlose Rundrohre zur allgemeinen Verwendung*

EN 1965-2, *Strukturklebstoffe — Korrosion — Teil 2: Bestimmung und Klassifikation der Korrosion eines Messingmaterials*

EN 12168, *Kupfer und Kupferlegierungen — Hohlstangen für die spanende Bearbeitung*

EN ISO 1127, *Nichtrostende Stahlrohre — Maße, Grenzabmaße und längenbezogene Masse (ISO 1127:1992)*

EN 10216-5, *Nahtlos Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 5: Rohre aus nichtrostenden Stählen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Grundwasserleiter

unterirdische geologische Formation, die Wasser enthält, das teilweise durch die Schwerkraft mobilisiert werden kann, und die aus durchlässigem und/oder rissigem oder klüftigem Gestein besteht, das in ausreichendem Maß wasserdurchlässig ist, um einen signifikanten Durchfluss und eine signifikante Wassermenge für den Wassereinzug zu erzeugen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Grundwasserleiter kann vollständig oder teilweise gesättigt sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die obere Begrenzung des Grundwasserleiters wird als „Grundwasseroberfläche“ und die untere Begrenzung als „Grundwassersohle“ bezeichnet.

3.2

Grundwassergeringleiter

Gesteinskörper oder Sedimentschicht, der/die den Grundwasserfluss von einem Grundwasserleiter in einen anderen verzögert, aber nicht verhindert

3.3

Erdwärmesonde

EWS

System, bestehend aus dem Bohrloch, den Sondenrohren, in denen das Wärmeträgerfluid zirkuliert, und einer Bohrlochfüllung

3.4

Sondenrohr

Teil des Rohrsystems im Bohrloch, der das Wärmeträgerfluid enthält

3.5

Wärmeträgerfluid

WTF

Fluid, das zum Wärmetransport durch die EWS zirkuliert

3.6

EWS-Anlage

Anlage, bestehend aus einer oder mehreren EWS, die in ein hydraulisches Umlaufsystem eingebunden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Wärmepumpe oder Umwälzpumpe ist nicht enthalten.

3.7

Erdwärmepumpenanlage

EWP-Anlage

EWS-Anlage einschließlich der Horizontalverrohrung, Verteilrohrleitungen, Wärmepumpe und Umwälzpumpe

3.8

EWS-Feld

Bereich mit mehreren EWS-Anlagen, die nicht in dasselbe hydraulische Umlaufsystem eingebunden sind

3.9

Hinterfüllung

Baustoff, der für die Hinterfüllung von Bohrlöchern oder Gräben verwendet wird

3.10

Verpressmasse

Hinterfüllbaustoff, der aus einer Zement-Wasser-Mischung und anderen zusätzlichen Komponenten (Tonmineralien usw.) besteht

3.11

Fluid

Gas, Dampf, Flüssigkeit oder Kombinationen aus diesen Medien

4 Geologische und Umweltaspekte

4.1 Allgemeines

Bei der Auslegung muss geprüft werden, ob der Standort in Bereichen liegt, die in Raumplanungsdokumenten ausgewiesen sind. Dabei könnte es sich um Gebiete mit besonderem Schutz der natürlichen Ressourcen (Gewässerschutz, Naturschutz) oder um Gebiete mit besonderen Risiken (gefährdete Gebiete, Erdbeben, Altlasten usw.) handeln.

Falls die Anlage in einem solchen Schutzgebiet liegen würde, muss sichergestellt werden, dass die Auslegung den spezifischen geologischen Gegebenheiten entspricht.

Es muss geprüft werden, ob hydrogeologische Bedingungen vorliegen (artesischer Grundwasserleiter, niedriger Grundwasserspiegel, schwebendes Grundwasser usw.), die eine besondere Berücksichtigung oder sogar eine Belastungs- oder Risikoeinschätzung erfordern könnten.

Der Planer muss beurteilen, ob die verfügbaren geologischen und hydrogeologischen Informationen für das betreffende Projekt ausreichend sind.

4.2 Geologische und hydrogeologische Risiken

4.2.1 Artesische Grundwasserleiter

Wenn die Bohrung in einen artesischen Grundwasserleiter eindringt, steigt der Grundwasserspiegel über die Mündung des Bohrlochs an. Durch den Einsatz ungeeigneter Bohrtechniken oder -geräte würde es zu unkontrolliertem Aufsteigen und Druckverlust kommen. In einigen Fällen ist das Aufsteigen des Wassers (in oberflächennähere Grundwasserleiter) unter Umständen nicht direkt ersichtlich. Dies stellt das Hauptrisiko beim Anbohren des artesischen Grundwasserleiters dar.

Das Bohren im artesischen Grundwasserleiter ist mit Risiken behaftet. Spezielle Vorgaben bezüglich der Bohrverfahren und der EWS-Bauart müssen dabei umgesetzt werden.

4.2.2 Übereinanderliegende Grundwasserleiter mit unterschiedlichem Grundwasserpotenzial

Bohrungen durch Sperrschichten zwischen Grundwasserleitern könnten dazu führen, dass Grundwasser von einem Grundwasserleiter in einen anderen fließt und dadurch die chemischen Eigenschaften des Grundwassers oder die hydraulischen Bedingungen verändert. Es könnte auch zu einem unerwünschten Absinken oder Ansteigen des Grundwasserspiegels in einem oder mehreren Grundwasserleitern führen. Eine geringere Produktivität der Wasserquellen oder schlechtere Bedingungen für die Grundwasserneubildung könnten die Folge sein.

Auch die Strömungsbedingungen und die Qualität des Grundwassers können nachteilig beeinflusst werden, wenn die Bohrung zwei oder mehr Grundwasserschichten durchdringt. In diesem Fall muss die Möglichkeit eines unkontrollierten Wasseraustauschs zwischen einzelnen Grundwasserleitern über das Bohrloch in Betracht gezogen werden. Ein hydraulischer Kurzschluss sollte aus Gründen des Grundwasserschutzes vermieden werden, insbesondere dann, wenn eine der angebohrten Schichten stark mineralisiertes oder kontaminiertes Grundwasser enthält.

Falls die Bohrung mehrere Grundwasserleiter durchdringen würde, müssen zumindest die Grundwassergeringleiter abgedichtet werden.

4.2.3 Grundwasser und Bodenchemie

Die chemische Zusammensetzung des Grundwassers (hohe Sulfatkonzentration, hoher Salzgehalt usw.) könnte die Abdichtungseigenschaften und die Standfestigkeit der Hinterfüllung nachteilig beeinflussen.

Bohrungen oder Aushub in der Nähe von Mineralwasserquellen oder -brunnen könnten die mineralogische Zusammensetzung des Grundwassers nachteilig beeinflussen.

4.2.4 Gasvorkommen

Unter bestimmten geologischen Bedingungen kann sich Gas geogenen Ursprungs in Hohlräumen und Speicherstrukturen im Untergrund ansammeln. Bei Bohrungen in diesen Gebieten könnte das Gas unkontrolliert durch das Bohrloch austreten und ein Sicherheitsrisiko (giftige oder explosive Gase) oder ein Umweltrisiko (Treibhausgase) darstellen. Gaslagerstätten könnten in Gebieten mit vulkanischer Aktivität oder über geologischen Schichten, die Kohle, Torf, Kohlenwasserstoffe, Sulfide usw. enthalten, entstehen. Falls Risiken durch Bohrgas auf der Baustelle bekannt oder aufgrund geologischer Untersuchungen vorhersehbar sind, müssen bestimmte Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Explosionsschutzkonzept, spezielle Hinterfüllbaustoffe) eingehalten werden oder die Bohrtiefe begrenzt bzw. die Bohrung abgebrochen werden.

4.2.5 Formationsstandfestigkeit

Nicht standfeste Formationen könnten besonders unter folgenden geologischen Bedingungen vorkommen:

- stark zerklüftete, verworfene und Trümmergesteinszonen, die eine Bildung natürlicher oder anthropogener Hohlräume fördern;
- weiche, zerbrechliche Gesteine, die als nicht standfeste Formationen gelten (z.B. Vulkan- oder Sedimentgestein).

4.2.6 Quellen und Schrumpfen von Mineralien oder Böden

Das Vorkommen von Evaporiten oder Quelltonen birgt die Gefahr einer Setzung oder Hebung des Bodens, falls oberflächennahe oder tiefe Grundwasserleiter durch unsachgemäße oder schwer durchführbare Erdarbeiten mit Evaporit- oder Tonschichten verbunden werden.

4.2.7 Gegensätzliche geologische Schichtenfolge (alternierende Schichtung)

Die Geologie ist sehr vielfältig und kann von Formationen aus losem Sand, Ton und Kies bis hin zu sehr komplexen Strukturen reichen, einschließlich unverfestigter oder verfestigter Sedimente (Sandstein, Kalkstein – zerklüftet und häufig verkarstet) oder kristalliner (metamorpher und vulkanischer) Gesteine. Eine angemessene Kenntnis der geologischen Bedingungen und der damit verbundenen hydrodynamischen Gegebenheiten des ausgewählten Standortes stellt die Grundlage für jedes EWS-Bohrvorhaben dar. Eine angemessene vorherige Analyse der Standortbedingungen erhöht die Wahrscheinlichkeit einer effizienten und langlebigen Anlage und trägt zur nachhaltigen Bewirtschaftung und zum Schutz der Grundwasserressourcen (Quantität und Qualität) bei, die in künftigen Vorhaben (z. B. Wasserbrunnen für verschiedene Zwecke und mit unterschiedlichem Aufbau) genutzt werden sollen.

Sowohl die lithologische Beschreibung der geologischen Schichtenfolge, die von der Bohrung betroffen ist, als auch die Charakterisierung der Bodenstruktur am Standort sind obligatorisch, um ausreichende Informationen für die Auslegung einer EWS-Anlage und die Bereitstellung geeigneter Bohrmaschinen und Hilfsgeräte für effiziente Bauarbeiten zu erhalten und gleichzeitig potenzielle geologische Risiken während der Bohrung zu vermeiden, zu minimieren und/oder zu kontrollieren.

Je nach Komplexität des Vorhabens und der geologischen Gegebenheiten sollte sich der zu beschreibende Standardthemenkatalog (falls zutreffend) auf die folgenden Aspekte beziehen:

- Beschreibung der vorliegenden regionalen geologischen Struktur(en) – Sedimentbecken, Faltformationen und/oder Verwerfungen;
- lithologische (spezifische) Beschreibung (von unten nach oben oder umgekehrt) der lithostratigraphischen Einheiten (Formationen, Lagen oder Bodenschichten), die von der Bohrung betroffen sind;
- Charakterisierung der vorliegenden lokalen tektonischen (strukturellen) Unstetigkeiten – Verwerfungen, Klüfte, Brüche (insbesondere bei Hartgesteinen);
- Charakterisierung der vorliegenden Zerfallshohlräume und -rinnen (bei Carbonat- und Evaporitgesteinen);
- hydrologische Aspekte (Grundwasserchemie, Redoxpotenzial, Tiefe des Süß- oder Salzwasserspiegels, Spiegel des phreatischen Grundwassers, regionale Grundwasserströmung für jeden Grundwasserleiter, hydraulische Leitfähigkeit, Porosität oder thermische Parameter);
- Bestandsaufnahme anderer Nutzer in der Umgebung (Grundwasserentnahmeverbrennen, Grundwasserenergiebrunnen, Erdwärmesonden).

4.2.8 Karstgeologie

Verkarstete Zonen können auf eine starke Heterogenität des Bodens und mögliche Kavernen hindeuten. Eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen von Kavernen birgt mehrere Risiken, wie Einsturz des Bohrlochs, Bodensenkung, Abfließen von Bohrspülung, Probleme bei der Hinterfüllung, Trübung und Feststoffe im Grundwasser oder instabile Temperatur des Grundwassers (zu niedrig im Winter, zu hoch im Sommer), die kaum vorhersehbar sind und eine zuverlässige Modellierung verhindern.

Die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen in der Tiefe von Karstgebieten sind oft nicht ausreichend bekannt, um ohne zusätzliche Untersuchungen eine zuverlässige Vorhersage zu treffen.

4.2.9 Frostanfälligkeit

Da die Fluidtemperatur in der EWS unter 0 °C liegen kann, könnte die Gefahr bestehen, dass der Boden gefriert, was zu einer Hebung des horizontalen Teils führt, und die Abdichteigenschaften der Bohrlochfüllung und der natürlichen Sperrschichten um das Bohrloch herum beeinträchtigt.

Die Verpressmasse für die Erdwärmesonde sollte für die tatsächlichen physikochemischen Bedingungen geeignet sein, die aus natürlichen Gründen oder durch den Betrieb der Anlage vorliegen. Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt sowie Temperaturen des Wärmeträgerfluids bis -3 °C im Rücklauf des geothermischen Wärmetauschers sollten keine negativen Auswirkungen auf den Einpressmörtel haben und seine physikochemischen und mechanischen Eigenschaften sollten erhalten bleiben.

4.2.10 Grundwasserschutzgebiet

Die Gefahr bei EWS-Anlagen in Grundwasserschutzgebieten besteht in einer Beeinträchtigung der Grundwasserqualität aufgrund von:

- Einleitung von Belastungsstoffen von der Oberfläche;
- Austritt von Wärmeträgerfluid;
- Vermischung von Grundwasser unterschiedlicher Qualität;
- Änderung der biologischen Zusammensetzung des Grundwassers.

Gebiete, die für die Trinkwasserversorgung von Bedeutung sind, können Schutzgebiete sein. In diesen Gebieten könnten für EWS-Anlagen besondere Genehmigungen erforderlich sein.

4.3 Anthropogene Risiken

Wechselwirkungen zwischen der bebauten Umgebung und dem Untergrund könnten den Einbau von Erdwärmesonden erschweren. Auch unterirdische Bauwerke können die Grundwasserströmung beeinträchtigen.

Bei der Planung einer Erdwärmesonde sollten die potenziellen Risiken und die Auswirkungen folgender Faktoren auf den Standort bewertet werden:

- Gebiete von archäologischem Interesse;
- Naturschutzgebiete;
- nicht detonierte Kampfmittel;
- Bodenverschmutzung;
- Abbaugelände von Bodenschätzen.

Die Auswirkungen von Bohrungen auf die piezometrische Druckhöhe des Grundwassers sollten bewertet werden. Das Vorliegen thermischer Anomalien (geothermischer Gradient, Hot Spot) muss bewertet werden, um die Dimensionierung der EWS und die für die Bohrung und die Ausführung der EWS verwendeten Werkstoffe anzupassen.

4.4 Umweltaspekte

4.4.1 Allgemeines

Umweltaspekte müssen während der gesamten Ausführung beachtet werden.

4.4.2 Einfluss auf das Grundwasser

Bei der Planung, Ausführung und dem Betrieb von Erdwärmepumpenanlagen müssen Verordnungen und raumplanerische Ziele beachtet werden.

Im Rahmen des geltenden Wasserrechts und – soweit erforderlich – der bergrechtlichen Verfahren sollten die gewünschten Nutzungen mit den wasserwirtschaftlichen Zielen durch Nutzungsauflagen unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten abgestimmt werden.

Grundwasser sollte so bewirtschaftet werden, dass nachteilige Veränderungen der Menge und chemischen Zusammensetzung vermieden werden. Daraus ergibt sich Folgendes:

- Grundwasser sollte mit Sorgfalt behandelt werden.
- Gefährliche Stoffe sollten nicht in den Boden oder in die Grundwasserzone eindringen können.
- Die thermische Nutzung des Untergrunds in Trinkwasserschutzgebieten, in Grundwasserleitern für die Trinkwassergewinnung und in Schutzgebieten von Mineralquellen ist generell untersagt. Ausnahmen müssen anhand der maßgeblichen Umstände geprüft werden.
- In Grundwasserschutzgebieten oder anderen ausgewiesenen Zonen hat die Trinkwasserversorgung Vorrang vor der thermischen Nutzung von Grundwasserschichten. Dieses Prinzip gilt auch für registrierte private Brunnen, die nicht in einem offiziellen Schutzgebiet liegen. Ausnahmen müssen anhand der örtlichen Regelungen geprüft werden.
- Die Hinterfüllung des Bohrlochs muss mit geeigneten Baustoffen (in Übereinstimmung mit örtlichen Regelungen) erfolgen. Dazu gehören unter Umständen Tonsperrschichten und/oder Verpressmassen je nachdem, welche Risiken für den Grundwasserleiter bestehen. Geeignete Werkstoffe sind in Abschnitt 6 beschrieben.

4.4.3 Auswirkungen der Bauarbeiten auf die Umwelt

4.4.3.1 Allgemeines

Umweltaspekte müssen während der gesamten Ausführung beachtet werden. Anlagen zur Erdwärmenutzung sollten ohne negative Auswirkungen auf die Umwelt ausgeführt und betrieben werden. Alle schädlichen Auswirkungen müssen vermieden werden. Solche Auswirkungen könnten durch ungeeignete Werkstoffe/Fluide beim Bohrvorgang oder durch die thermische Belastung des Bodens/Grundwassers aufgrund des Betriebs des Wärmetauschers verursacht werden.

4.4.3.2 Werkstoffe und Baustoffe

Werkstoffe und Baustoffe, die in den Untergrund eingebracht werden, müssen als unschädlich für das Grundwasser und die Umwelt und als nicht korrodierend ausgewiesen sein. Rohrleitungen, Hinterfüllungen usw. sollten für den Einsatz im Grundwasser geeignet sein.

Werden in Ausnahmefällen Metallrohre in Erdwärmesonden eingesetzt, sollte auf eine ausreichende Wandstärke, die Metallqualität und den Korrosionsschutz geachtet werden, und die chemische Zusammensetzung des Grundwassers muss berücksichtigt werden. Die Folgen einer möglichen Freisetzung von Wärmeträgerfluid oder Arbeitsmedien in die Luft, das Erdreich oder das Grundwasser sollten beachtet werden.

Wenn ein Wasser-Frostschutzmittelgemisch als Wärmeträgerfluid verwendet wird, muss dabei berücksichtigt werden, dass im Falle eines Austretens Korrosionshemmer oder andere Zusätze negative Auswirkungen auf die Umwelt haben können.

4.4.3.3 Bohrvorgang

Unternehmen, die an EWS-Bohrvorhaben beteiligt sind, müssen sicherstellen, dass alle Bohrarbeiten von Fachkräften durchgeführt werden, und gewährleisten, dass die eingesetzte Ausrüstung die Anforderungen von Arbeits- und Gesundheitsschutznormen erfüllt sowie regelmäßig gewartet und überprüft wird. Dies kann durch eine aktuelle Wartungsbescheinigung gewährleistet werden. Die Bohrgeräte, Bohrgestänge, das Zubehör und die eingesetzten Werkstoffe sollten keine Verunreinigungen in den Untergrund/das Erdreich einbringen. Geeignete Vorkehrungen sollten getroffen werden, um Kontamination und ähnliche Vorfälle zu vermeiden. Die Verschmutzung des Oberflächenwassers durch abgelagerten Bohrschlamm oder stark mineralisiertes Grundwasser muss vermieden werden. Die Verwendung von Schlammzusätzen mit Freigabebescheinigungen ist zulässig, wenn alle behördlichen Auflagen dabei erfüllt werden. Es dürfen nur Schlammzusätze [5] verwendet werden, die keine chemischen/biologischen Veränderungen im Untergrund verursachen. Nationale Richtlinien müssen angewendet werden. Die Qualität des Einleitwassers muss der geforderten Qualität des zuständigen Abwasserunternehmens entsprechen.

Die Verschmutzung von natürlichen Grünflächen, Straßen, Gebäuden oder anderer Infrastruktur durch Schmutz, Fluide, ausgetretenes Öl oder Belästigungen durch vermeidbare Geräusche und Vibrationen beim Bohrvorgang müssen vermieden werden.

5 Beschreibung der Anlage

5.1 Allgemeines

Die EWS-Anlage kann in vier Teilsysteme untergliedert werden (Bild 1):

- 1) Erdwärmesonde;
- 2) Horizontalrohre;
- 3) Heizkreisverteiler;
- 4) thermische Anlage (Technikraum) mit Wärmepumpenanlage.

ANMERKUNG Das Heizsystem im Haus, einschließlich der Wärmepumpe, wird in diesem Dokument nicht behandelt.

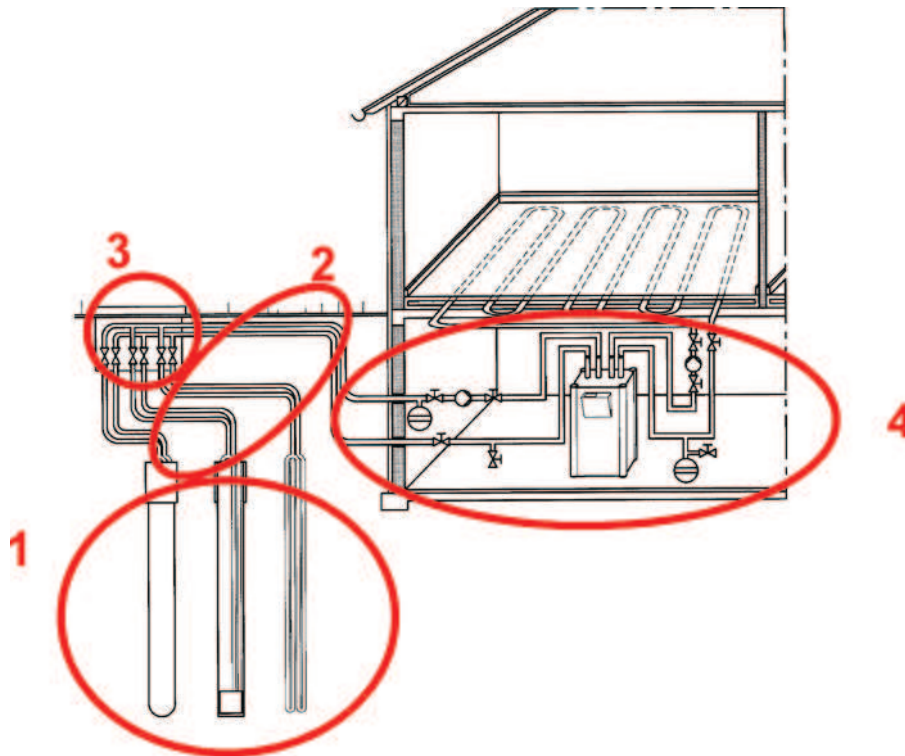


Bild 1 — Beispiel einer EWP-Anlage mit EWS

Die EWS ist die Wärmequelle (Heizbetrieb) bzw. Wärmesenke (Kühlbetrieb) des Systems. EWS werden in verschiedenen Ausführungen (siehe Bild 2) mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften hergestellt.

5.2 Erdwärmesonde

Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Rohrauslegung einer EWS. Die drei folgenden sind die gängigsten EWS-Bauarten:

- Einfach-U-Sonde (Bild 2 a));
- Doppel-U- oder Mehrfach-U-Sonde (in Bild 2 b ist eine Doppel-U-Sonde dargestellt);
- Koaxialsonde (Bild 2 c)).

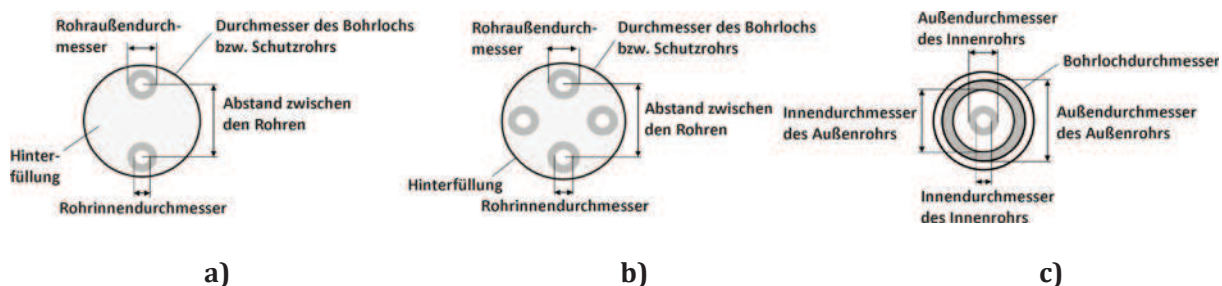


Bild 2 — Gängige EWS-Bauarten: Einfach-U-Sonde (a), Doppel-U-Sonde (b), Koaxialsonde (c)

Die EWS ist durch den durchschnittlichen Bohrlochdurchmesser und die Tiefe gekennzeichnet.

Die Sondenrohre sind durch ihren Rohrwerkstoff und den Rohrrinnen- und -außendurchmesser gekennzeichnet. Bei U-Sonden ergibt sich der mittlere Abstand der Rohrachsen voneinander aus der Geometrie der Rohre, ihrer Einbauanordnung und dem Bohrloch. Dieser wird als Achsenabstand der U-Sonde bezeichnet. Der Hohlraum zwischen dem Rohr und der Bohrlochwand wird mit Hinterfüllbaustoffen verfüllt (6.2).

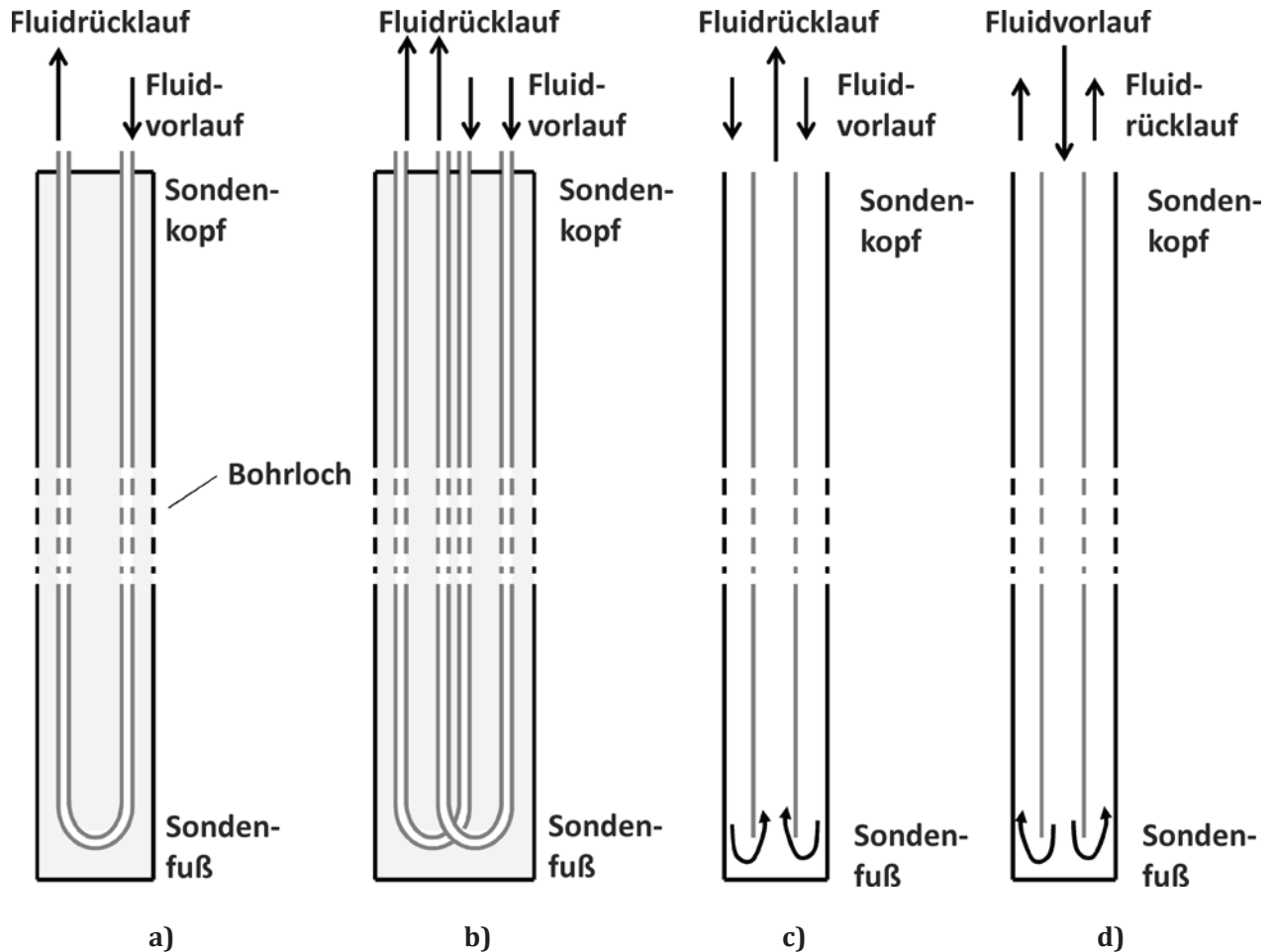


Bild 3 — Gängige vertikale EWS-Bauarten: Einfach-U-Rohrsonde (a), Doppel-U-Rohrsonde (b), Koaxialsonde mit Vorlauf im Ringraum des Außenrohrs (c), Koaxialsonde mit Vorlauf im Innenrohr (d)

Die Auslegung der Sonde muss die Umweltaspekte (siehe Abschnitt 4) und Ausführungsanforderungen (siehe Abschnitt 8) dieses Dokuments erfüllen.

Die Qualität und Betriebsdauer der Sondenrohre hängt von der Druckklasse, der Wandstärke und der Betriebstemperatur ab. Der hydraulische Innen- und/oder Außendruck über die Länge der EWS muss während aller Ausführungs- und Betriebsphasen berücksichtigt werden.

5.3 Horizontalrohre

Die Horizontalrohre bilden den Kreislauf, der die EWS an die Heizkreisverteiler und die thermische Anlage anbindet. Anhang A enthält Angaben zur Dämmung der Horizontalrohre.

5.4 Heizkreisverteiler (Kühlkreisverteiler)

Der Heizkreisverteiler dient zur Einbindung der einzelnen Horizontalrohre in einen Hydraulikkreislauf und zur Sicherstellung und Steuerung des Fluiddurchflusses in den einzelnen EWS.

Er kann folgende Komponenten umfassen: Absperrventile und ein Überdruckventil für jeden Kreislauf, einen Druckmesser und eine Entlüftungsbaugruppe.

5.5 Thermische Anlage

Die Auslegung der thermischen Anlage wird durch die Anwendung bestimmt: Heizung, Kühlung oder eine Kombination aus beidem. Dies kann entweder auf direkte oder indirekte Weise geschehen; indirekt bedeutet in Kombination mit einer Wärmepumpe zur Anpassung des Temperaturniveaus.

Bei der Auslegung des Teils der thermischen Anlage, der sich auf den Erdwärmesondenkreislauf (Wärmequelle/Wärmesenke) bezieht, sollte Folgendes berücksichtigt werden.

- Bei passiven Kühl- oder Heizsystemen könnte ein zusätzlicher Wärmetauscher erforderlich sein, um den EWS-Kreislauf vom Nutzerkreislauf (Wärmeabgabesystem) zu trennen.
- Bei passiven Kühlsystemen sollte bei der Temperaturregelung auf der Nutzer-(Kälteabgabe-)Seite eine mögliche Kondensation bedacht werden.
- Bei Systemen mit Wärmeabfuhr während des mechanischen Kühlbetriebs könnte ein Kondensationstemperaturregler erforderlich sein.
- Ein Entlüftungs- und Dosiersystem könnte erforderlich sein.

6 Werkstoffe

6.1 Allgemeines

Eine EWS-Anlage umfasst mehrere Komponenten aus unterschiedlichen Werkstoffen, die spezifische Anforderungen hinsichtlich Haltbarkeit, Lebensdauer und Umweltverträglichkeit erfüllen müssen.

6.2 Allgemeine Eigenschaften

6.2.1 Allgemeines

Aufgrund des vertikalen Einbaus der EWS in ein Bohrloch und der damit verbundenen weitgehenden Unzugänglichkeit, der Umweltrisiken für den Untergrund und der hohen Anforderungen an die Lebensdauer sind für die Ausführung von Sondenrohren ein sehr hohes Maß an Qualität und Haltbarkeit der Werkstoffe sowie entsprechende Fachkenntnisse erforderlich. Hersteller und Einbauunternehmen von Rohrsonden sollten mit dieser Technologie und den aktuellen Praktiken vertraut sein.

Alle im Untergrund eingesetzten Werkstoffe dürfen keine chemische Reaktivität mit den verschiedenen Mineralien und Fluiden aufweisen. Die Werkstoffe selbst und ihre Zersetzungsprodukte dürfen auch nach dem Ende des Betriebs keine schädlichen Auswirkungen auf das Grundwasser und die Umwelt haben. Sie müssen korrosionsbeständig sein oder es muss ein langfristig zuverlässiger Korrosionsschutz nachgewiesen sein. Die Rohre, Hinterfüllbaustoffe usw. sollten für den Erdeinbau geeignet sein.

Die Lebensdauer der Sondenrohre wird durch die Werkstoffauswahl, die Druckbelastung (Innen- und Außendruck, Druckklasse der Rohre) und den Betriebstemperaturbereich beeinflusst. Rohrwerkstoffe zum Einbau in ein hinterfülltes Bohrloch sollten für eine voraussichtliche Lebensdauer der EWS von mindestens 50 Jahren ausgewählt werden, um ein gewisses Maß an Qualität zu gewährleisten.

Für einige Werkstoffe gibt es Normen mit Angaben zur Druckklasse und zum Druckminderungsfaktor für unterschiedliche Temperaturen. Alternativ kann eine Zertifizierung der Werkstoffe durch ein akkreditiertes Prüflabor für die beabsichtigte Anwendung veranlasst werden. Bei hohen Temperaturen müssen die Werkstoffe nach den Einschränkungen und Vorschriften des Herstellers ausgewählt werden.

6.2.2 Kunststoffe

Polymere werden hauptsächlich für die Sondenrohre und die Horizontalanbindungsrohre, aber auch als Korrosionsschutz von metallischen Sondenrohren eingesetzt. Ein typisches Polymer für Sondenrohre ist hochdichtes Polyethylen (HDPE) mit der Bezeichnung PE 100. Die Eigenschaften der Rohstoffe und die mechanischen Eigenschaften des Rohrs müssen die Anforderungen der Normen EN 12201-1 und EN 12201-2 erfüllen. Formstücke und Rohrverbindungen müssen die Anforderungen von EN 12201-3 und EN 12201-5 erfüllen. Dimensionale Eigenschaften (z. B. Nennweite, Ovalität, innere Glätte der Sonden usw.) dürfen von der Normenreihe EN 12201 abweichen. Der Hersteller muss gewährleisten, dass die Sonden- und Anbindungsrohre aus Rohstoffen von überprüfbarer Qualität von einem Hersteller von PE-Rohrwerkstoffen stammen und die Anforderungen von EN 12201-1 erfüllen.

Weitere Werkstoffe, die unter Umständen für Sondenrohre und Horizontalanbindungsrohre verwendet werden dürfen, sind unter anderem PE 100-RC, PE-RT, PE-X. Tabelle 1 gibt die Werkstoffe für Rohre und Formstücke und die zugehörigen Normen an.

Tabelle 1 — Relevante Normen für Rohre und Formstücke aus Polyethylen

Bezeichnung	Relevante Normen für den Werkstoff
PE 100	EN 12201-1:2011, EN 12201-2:2011, EN 12201-3:2011, EN 12201-5:2011
PE 100-RC	EN 12201-1:2011, EN ISO 15875-1:2003
PE-RT (Typ I/Typ II)	EN ISO 15494, EN ISO 22391-1
PE-X	EN ISO 15494

Polymere für erdverlegte Rohre müssen die Anforderungen der in Tabelle 1 aufgeführten Normen bezüglich Druckbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Haltbarkeit und Schweißbarkeit erfüllen. Gelieferte Sondenrohre müssen auf die Produktionslieferung, die Charge und sogar die Rohstoffeigenschaften zurückverfolgbar sein.

Für jede einzubauende Anlage müssen die geeignete Druckklasse und die Rohrweite der Sondenrohre anhand der Tiefe des Bohrlochs und anderer Kennwerte, wie das Wärmeträgerfluid, die Hinterfüllbaustoffe usw., ausgewählt werden. Die Rohre und Formstücke für EWS müssen mindestens dieselben Druckanforderungen erfüllen. Tabelle 2 gibt mechanische und dimensionale Eigenschaften für unterschiedliche Rohrweiten von PE 100-Rohren für typische U-Rohrsonden an.

Tabelle 2 — Merkmale einer typischen U-Rohrsonde aus PE 100

Nennweite (DN)	Durchmesser- Wanddicken- Verhältnis (SDR)	Maximaler Betriebsdruck bei 20 °C	Wanddicke	Ringsteifigkeit	Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C
mm		bar	mm	kN/m ²	W/(m·K)
32	11/13,6/17	16/12,5/10	3,0/2,4/2,0	83,3/41,7/20,4	0,42
40	11/13,6/17	16/12,5/10	3,7/3,0/2,4	83,3/41,7/20,4	0,42
45	11/13,6/17	16/12,5/10	4,1/3,3/2,6	83,3/41,7/20,4	0,42
50	11/13,6/17	16/12,5/10	4,6/3,7/3,0	83,3/41,7/20,4	0,42

Wenn die Auslegungstemperatur des Wärmeträgerfluids höher als 20 °C ist, dann müssen Druckminderungsfaktoren nach EN 12201-1:2011 (Tabelle 3) berücksichtigt werden.

Tabelle 3 — Druckminderungsfaktoren für Rohrleitungen aus PE 100 (EN 12201-1:2011)

Temperatur °C	Druckminderungsfaktor
20	1,00
30	0,87
40	0,74

ANMERKUNG Der zulässige Bauteilbetriebsdruck (PFA) wird aus der folgenden Gleichung abgeleitet:

$$PFA = f_T \times f_A \times PN$$

Dabei ist

f_T der Druckminderungsfaktor aus Tabelle 3;

f_A der Minderungsfaktor (oder Erhöhungsfaktor) bezogen auf die Anwendung (für die Förderung von Wasser $f_A = 1$);

PN der Zahlenwert der Nenndruckangabe.

Der Druckverlust aller Komponenten der EWS- oder EWP-Anlage sollte vom Planer angegeben werden.

6.2.3 Verbindungsverfahren

Die für Rohre und Formstücke verwendeten Werkstoffe müssen unabhängig von der Anwendung die Anforderungen der in Tabelle 1 aufgeführten Normen erfüllen. Aufgrund der unterschiedlichen werkstoffspezifischen Eigenschaften können verschiedene Verbindungsverfahren und Einbautechniken entsprechend Tabelle 4 angewendet werden. Annehmbare Verfahren für die Verbindung von Sondenrohren sind Heizwendelschweißen, Stumpfschweißen und Muffenschweißen. Heizwendelschweißverfahren müssen von entsprechend geschultem Personal streng nach den Anweisungen und Verfahren des Herstellers durchgeführt werden.

Tabelle 4 — Verbindungstechniken

Werkstoff	Verlegung ohne Sandbett	Verbindungsverfahren ^a
PE 100	nein	HWS, SS, MS, RS
PE 100-RC	ja	
PE-RT (Typ I/Typ II)	nein	
PE-X	ja	HWS, RS, SM
^a SS Stumpfschweißen MS Muffenschweißen HWS Heizwendelschweißen RS Rohrschelle SM Schiebemuffe		

Das einzig zulässige Verfahren zur Verbindung von erdverlegten PE-Rohrsystemen ist das Heizwendelschweißen. Die Schweißarbeiten dürfen nur von einer Schweißfachkraft mit Schweißzulassung durchgeführt werden.

Jegliche Schweißarbeiten müssen nach den nationalen Vorschriften durchgeführt werden. Als Schweißgeräte sollten Schweißautomaten eingesetzt werden, die regelmäßig kalibriert werden sollten. Die Schweißarbeiten dürfen nur von einer Schweißfachkraft mit Schweißzulassung durchgeführt werden.

6.2.4 Metallische Werkstoffe

Bei der Verwendung von Metallrohren (z. B. als Heizrohre) und anderen Metallkomponenten in Erdwärmesonden in Ausnahmefällen sollte auf eine ausreichende Wandstärke, die Metallqualität und den Korrosionsschutz geachtet werden. Außerdem muss die chemische Zusammensetzung des Grundwassers berücksichtigt werden. Die Dauerhaftigkeit muss durch den Einsatz von Schutzsystemen gewährleistet werden. In jedem Fall müssen diese Analysen im Rahmen der Umwelt- und Risikoanalysen (Norm zum Umweltschutz und dem Schutz vor Risiken) durchgeführt werden.

Die am häufigsten eingesetzten metallischen Werkstoffe sind Kupfer, Messing und nichtrostender Stahl. Neben den Anforderungen der in Tabelle 5 aufgeführten Normen könnte es weitere Anforderungen geben, insbesondere für erdverlegte Rohre, die ebenfalls eingehalten werden müssen.

Tabelle 5 — Relevante Normen für Rohre und Formstücke aus metallischen Werkstoffen

Werkstoff	Relevante Normen für Rohre und Formstücke
Kupfer	EN 1057
Messing	EN 12449, EN 1965-2, EN 12168
Nichtrostender Stahl	EN ISO 1127, EN 10216-5

Der Einsatz von metallischen Komponenten sollte weitestgehend vermieden werden.

6.2.5 Wärmeträgerfluid

Bei Umlauftemperaturen, die dauerhaft über 0 °C liegen, kann Wasser als Wärmeträgerfluid verwendet werden. Wenn reines Wasser als Umlaufmedium verwendet wird, ist die Wasserqualität entscheidend für die Korrosion und die bakteriologische Aktivität (die zu Korrosion und Biofouling führen könnte) und kann sich von Ort zu Ort erheblich unterscheiden. Wichtig in Bezug auf Korrosion ist der pH-Wert (pH: 8,5 bis 9,5), der Sauerstoffgehalt ($< 0,05 \text{ mg O}_2/\text{l}$) und der Mineralgehalt (elektrische Leitfähigkeit $< 100 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$).

Fallen die Temperaturen beim Betrieb der Anlage zu irgendeinem Zeitpunkt unter 0 °C, muss dem Medium Frostschutzmittel beigemischt werden, um Frostschäden an der Anlage zu vermeiden. Der Frostschutzmittelgehalt sollte so niedrig wie möglich sein und sich nach der Auslegung des Systems und dem erforderlichen Frostschutz für jede Komponente richten.

Das Wärmeträgerfluid

- muss Verträglichkeit gegenüber allen Werkstoffen aufweisen, mit denen es in Kontakt kommen könnte, wobei die Korrosionsgefahr besonders berücksichtigt werden sollte,
- darf keine Aggressivität gegenüber den Werkstoffen der gesamten Anlage aufweisen,
- darf kein Gefahrstoff sein,
- darf nicht brennbar sein (zumindest in den üblichen Konzentrationen für die in diesem Dokument behandelten Anwendungen).

Gängige Frostschutzmittel sind Ethylenglykol, Propylenglykol, Ethanol und manchmal auch Salzlösungen. Es sollte bedacht werden, dass einige auf dem Markt erhältliche Produkte Zusätze gegen biologischen Abbau und Korrosion enthalten, die giftig sein könnten und im Grundwasser nur sehr langsam abgebaut werden.

Sie unterscheiden sich deutlich in der Dichte und der Viskosität. Diese Werte sind für den Druckverlust entscheidend.

Bei der Auslegung müssen die tatsächlichen Werte beim jeweiligen Mischungsverhältnis und der jeweiligen Betriebstemperatur verwendet werden.

6.2.6 Hinterfüllbaustoffe

6.2.6.1 Allgemeines

Die Hinterfüllbaustoffe sind für die vollständige Verfüllung des Bohrlochs ohne Hohlräume verantwortlich. Sie müssen das Bohrloch und insbesondere durchbohrte Grundwassergeringleiter über die gesamte Länge abdichten und dadurch jegliche Verbindung zwischen unterschiedlichen Grundwasserleitern vermeiden. Zusätzlich müssen sie für mechanische Standfestigkeit und einen guten thermischen Kontakt zwischen den Sondenrohren und der Bohrlochwand sorgen.

6.2.6.2 Verpressmassen

Die Verpressmasse muss Mindestanforderungen hinsichtlich der dem Wasser/Feststoff-Verhältnis (nach Angabe des Herstellers/Lieferanten) entsprechenden Schlammichte, der Schlammstandfestigkeit und Rheologie, der Druckfestigkeit und der Hydratationswärme erfüllen.

Für Verpressmassen gelten folgende allgemeine Anforderungen:

- die Wahl der Hinterfüllbaustoffe oder Verpressmassen muss an die besonderen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten des jeweiligen Standorts angepasst werden;
- dauerhafte Standfestigkeit nach dem Aushärten;

- Beständigkeit gegen chemische Angriffe (Sulfat usw.) durch Grundwasser, Boden und Gas;
- Beständigkeit gegen Temperatureinwirkungen im Betriebstemperaturbereich der EWS. Bei der Verwendung von frostbeständigen Verpressmassen muss die Widerstandsfähigkeit des Untergrundes bei Frosteinwirkung berücksichtigt werden;
- die Verpressmasse darf eine Sedimentationsrate von 2 % nach 24 h nicht überschreiten;
- die Durchlässigkeit der Verpressmasse sollte gleich oder kleiner als $1 \cdot 10^{-10}$ m/s sein;
- die Dichte der Suspension sollte größer als $1\,300 \text{ kg/m}^3$ und muss um 250 kg/m^3 größer als die der Bohrspülung sein;
- die Viskosität der Suspension (Marschzeit) sollte das Pumpen in die Tiefe des Bohrlochs ermöglichen;
- eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit wird empfohlen.

Die zu berücksichtigenden Kennwerte (obige Liste und Rezeptur) einer bestimmten Verpressmasse sollten in einem speziellen Datenblatt des Baustoffherstellers aufgeführt sein. Auf der Verpackung des Gebindes sollte das Herstellungsdatum angegeben sein.

Der Verarbeiter der Verpressmasse sollte sicherstellen, dass die Kennwerte des Baustoffherstellers vor Ort mit dem eingesetzten Mischverfahren und dem hinzugefügten Wasser erreicht werden.

Es werden industriell vorgemischte Verpressmassen mit kontrollierter Qualität empfohlen, um den geforderten Qualitätsstandard einhalten zu können.

Anstelle von Verpressschlämmen können in einigen Fällen auch Quelltonpellets verwendet werden.

6.2.6.3 Andere Hinterfüllbaustoffe

Für andere Hinterfüllbaustoffe gelten folgende Anforderungen:

- Beständigkeit gegen chemische Angriffe durch Grundwasser, Boden und Gas;
- im Allgemeinen werden sulfatbeständige Abdichtstoffe empfohlen;
- Beständigkeit gegen Temperatureinwirkungen im Betriebstemperaturbereich der EWS. Bei der Verwendung einer frostbeständigen Abdichtung muss die Widerstandsfähigkeit des Untergrundes bei Frosteinwirkung berücksichtigt werden;
- eine höhere Wärmeleitfähigkeit als die des umgebenden Untergrunds wird empfohlen;
- wenn Abdichtung erforderlich ist, sollte die Durchlässigkeit des Abdichtstoffes kleiner als $1 \cdot 10^{-10}$ m/s sein. Die Abdichtfähigkeit sollte der umgebenden Geologie entsprechen oder besser sein;
- der Hinterfüllbaustoff muss gut sortiert (homogen) sein.

Die Kennwerte, die für eine bestimmte Verpressmasse zu berücksichtigen sind, sollten in einem speziellen Datenblatt des Baustoffherstellers aufgeführt sein.

Die Wahl der Hinterfüllbaustoffe oder Verpressmassen muss in Hinblick auf die besonderen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten am jeweiligen Standort erfolgen.

6.3 Kriterien für die Auswahl der Komponenten

6.3.1 Allgemeines

Die Auswahl der Komponenten, Werkstoffe und Baustoffe muss anhand der in 6.2 angegebenen Stoffeigenschaften, der Auswirkungen auf die Umwelt und der spezifischen Auslegungskriterien der Anlage erfolgen.

6.3.2 Sondenrohre

In der Mehrzahl der Anlagen liegt die Betriebstemperatur deutlich unter 40 °C, höhere Temperaturen kommen nur in speziellen Anwendungen vor. In der Regel steht ein Hydrauliksystem unter Druck, um Hohlzug in der Umwälzpumpe zu vermeiden. Die Druckklasse wird durch die Summe aus hydrostatischem und Betriebsdruck bestimmt.

Für die Werkstoffe der Sondenrohre gelten folgende Auswahlkriterien:

- Betriebstemperatur;
- Betriebsdruck;
- Tiefe des Grundwasserspiegels im Verhältnis zur Tiefe des Bohrlochs bestimmt den zusätzlichen hydrostatischen Druck;
- allgemeine Bodenqualität;
- Sondenfußschutz, bei scharfkantigem Gestein im Bohrloch zur Vermeidung von Schäden;
- Grundwasserspiegel;
- Druckverlust bei der erforderlichen Durchflussmenge;
- thermische Eigenschaften der Sondenrohre.

6.3.3 Horizontalrohre

Bei der Auswahl des Werkstoffs für die Horizontalrohre müssen die gleichen Temperaturanforderungen erfüllt werden wie für die Sondenrohre. In 6.2.2 werden auch die Eigenschaften der Verbindungen angegeben.

6.3.4 Heizkreisverteiler (Kühlkreisverteiler)

Die Heizkreisverteiler einschließlich aller Formstücke müssen dieselben Anforderungen an Temperaturbeständigkeit und Druckklasse erfüllen wie die Horizontal- und/oder Anbindungsrohre. Dasselbe gilt für die geplante Lebensdauer.

Bei der Auswahl der Heizkreisverteiler muss berücksichtigt werden, ob die Heizkreisverteiler im Innen- oder Außenbereich des Gebäudes montiert werden.

Die Heizkreisverteiler müssen für Inspektionen und Wartung leicht zugänglich sein. Für die Entlüftung ist eine Entlüftungsvorrichtung in den Heizkreisverteilern erforderlich. Wenn sich der Heizkreisverteiler in einem unterirdischen Verteilerschacht befindet, sollten Verkehrslasten berücksichtigt werden.

6.3.5 Wärmeträgerfluid

Das Wärmeträgerfluid muss die in 6.2.5 angegebenen Kriterien erfüllen.

Folgende Auswahlkriterien sollten berücksichtigt werden:

- zu erwartende Betriebstemperatur;
- erforderlicher Temperatursicherheitsbereich;
- Werkstoffverträglichkeit;
- Umweltaspekte (z. B. Wasser im Grundwasserschutzgebiet).

7 Auslegung

7.1 Auslegungsschritte

Die Auslegung umfasst insgesamt die Kombination der folgenden Schritte:

- Informationen sammeln: alle für die Fallstudie erforderlichen Informationen müssen zusammengetragen werden;
- Bestimmen der geologischen Eigenschaften des Bodens (thermische Eigenschaften, Bohrbarkeit, einfache Verlegung der Rohre, Grundwasserströmung usw.);
- Auswählen einer möglichen Anordnung der EWS-Anlage unter Berücksichtigung des verfügbaren Raums;
- Auswählen der Temperatur: Festlegen der Temperaturgrenzwerte für den Sommer- und Winterbetrieb;
- Bemessen, Festlegen der Anzahl der EWS, der Sondentiefe und des Abstands zwischen den EWS;
- hydraulische Auslegung;
- thermische Heiz- und Kühlkapazität und Dauer der Spitzenlast;
- Energiebedarf für den Heiz- und Kühlbetrieb (Grundlast);
- Anlagenleistung bei verschiedenen Betriebsbedingungen.

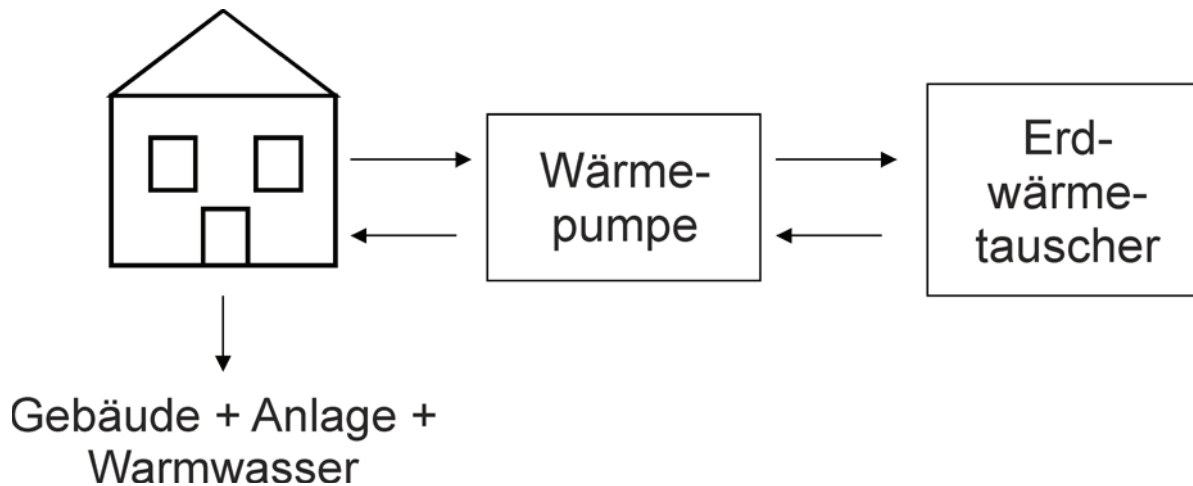
Die Bemessung ist der entscheidende Teil der Auslegung und muss mit den Entscheidungen der Auslegung immer wieder abgestimmt werden.

Wenn die Bemessung abgeschlossen ist und die Auslegungsbedingungen erfüllt sind, erfolgt die hydraulische Auslegung.

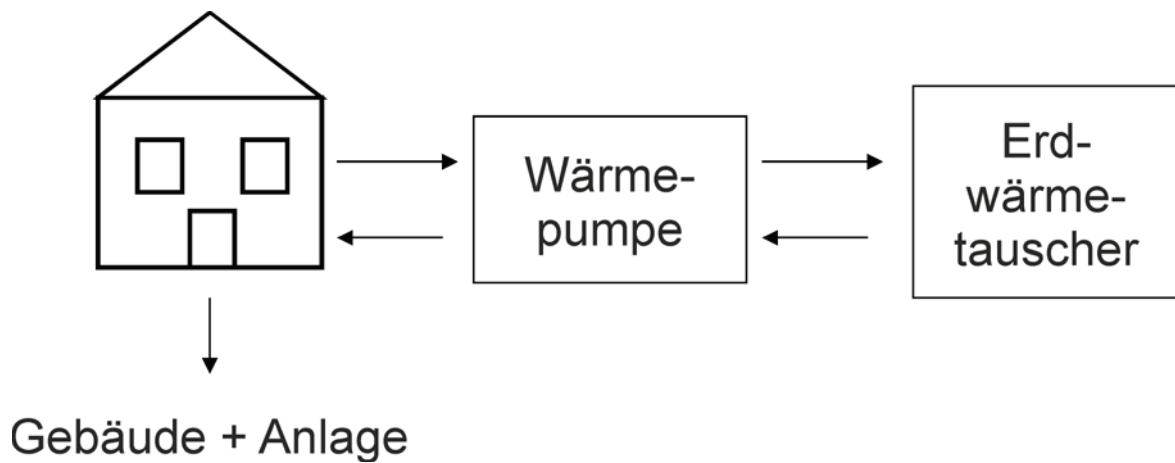
7.2 Bemessung

7.2.1 Allgemeines

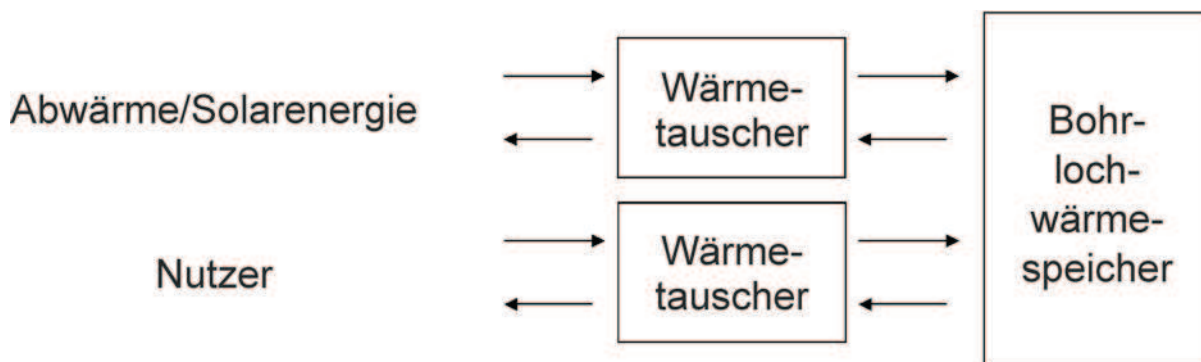
Das vorliegende Dokument definiert das Verfahren zur Auslegung von Wärmetauscheranlagen. EWS können für die Kopplung mit Wärmepumpen für Heiz- und/oder Kühlzwecke verwendet werden. In diesem Fall ist die EWS Teil einer Erdwärmepumpenanlage (EWP-Anlage). EWS können auch für die direkte Übertragung von Wärmeenergie aus dem Erdreich ohne Wärmepumpe (direktes Heizen/Kühlen) eingesetzt werden. EWS können auch für die Speicherung von Energie im Boden verwendet werden (in der Regel bei Abwärmeheizungen oder Solarthermie). Das vorliegende Dokument deckt alle diese Technologien ab, die in Bild 4 dargestellt sind.



a)



b)



c)

Bild 4 — EWS-Anlage

Die Bereitstellung von Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung kann vollständig durch die Geothermieanlage abgedeckt werden oder darf mit einem anderen Heiz-/Kühlsystem und/oder einer anderen erneuerbaren Energiequelle kombiniert werden.

7.2.2 Allgemeine Methodik

7.2.2.1 Allgemeines

Die allgemeine Methodik für die ordnungsgemäße Bemessung eines EWS-Feldes ist in Bild 5 dargestellt.

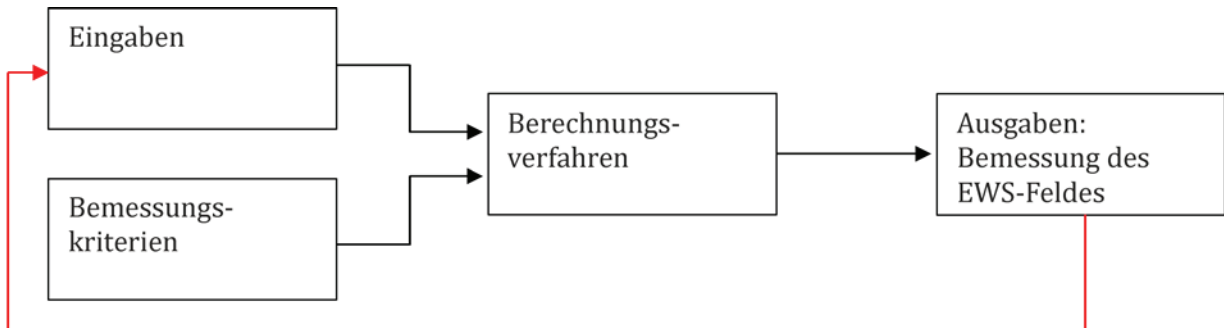


Bild 5 — Allgemeine Bemessungsmethodik

7.2.2.2 Eingaben

Die folgenden Eingaben müssen in der Auslegungsphase berücksichtigt werden:

- thermische Eigenschaften des Bohrlochs und des Bodens (spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Temperaturprofil des ungestörten Bodens). Die Wärmeleitfähigkeit und die ungestörten Bodentemperaturen können *in Situ* mithilfe eines Thermal Response Tests (TRT) bestimmt werden, der in 7.2.4 ausführlich beschrieben wird. Der Bohrlochwiderstand (Wärmewiderstand) kann aus den Prüfergebnissen und der Geometrie der EWS-Ausführung berechnet werden;
- Lasteingabe: Energiebedarf (kWh) und Spitzenleistung (kW und Dauer in Stunden). Bei Anlagen mit direkter Übertragung und direkten Heiz-/Kühlsystemen beziehen sich diese Eingaben auf Lasten, die die EWS betreffen. Bei EWP-Anlagen beziehen sich diese Eingaben in der Regel auf Lasten, die die Wärmepumpe betreffen, d. h. auf der Nutzer-/Gebäudeseite;
- Energieleistung der Erdwärmepumpenanlage in den verschiedenen geplanten Betriebsarten;
- voraussichtliche Geometrie der EWS (Bohrlochdurchmesser, Rohrachsenabstand) und Eigenschaften der Hinterfüllbaustoffe (z. B. Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Dichte);
- Eigenschaften des Wärmeträgerfluids bei Betriebstemperaturen (Viskosität, Dichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit);
- Massenstrom des Wärmeträgerfluids;
- verfügbare Fläche;
- Betriebsdauer der Anlage.

7.2.2.3 Bemessungskriterien

Der Planer muss auch Bemessungskriterien definieren, die dem Stand der Technik, seiner eigenen Erfahrung und möglicherweise spezifischen Anforderungen des Bauherrn bzw. des Bauunternehmers entsprechen. Für die Bemessung müssen mindestens folgende Kriterien gelten:

- Betriebstemperatureinschränkungen für das Wärmeträgerfluid in den Sondenrohren. Zwei unterschiedliche Einschränkungen können festgelegt werden:
 - Für den Heizbetrieb, d. h. für den Erdwärmeentzug, muss ein unterer Grenzwert für die EWS-Einlasstemperatur festgelegt werden. Dieser untere Grenzwert muss in geeigneter Weise definiert werden, um Ausfälle durch Einfrieren des die EWS umgebenden Erdreichs oder das Einfrieren des Wärmeträgerfluids zu verhindern oder um die Betriebsbedingungen der Wärmepumpe einzuhalten. Dieser untere Grenzwert darf über null liegen, wenn die Sondenrohre z. B. mit reinem Wasser gefüllt sind.
 - Für den Kühlbetrieb, d. h. für die Wärmeeinbringung in den Boden, muss ein oberer Grenzwert für die EWS-Einlasstemperatur festgelegt werden. Dieser obere Grenzwert muss so festgelegt werden, dass die Anlage die Anforderungen an die Lebensdauer der Werkstoffe der Sondenrohre und die Umweltauflagen erfüllt.

Andere zusätzliche Bemessungskriterien dürfen vom Planer gewählt werden, wie z. B. globaler Wirkungsgrad der geothermischen Anlage, Temperatureinschränkungen für den umgebenden Bodens, Druckverlust im Hydraulikkreislauf.

Eine ordnungsgemäße Auslegung der EWS muss die Bemessungskriterien erfüllen, die für die gesamte Betriebsdauer der Anlage festgelegt wurden.

Die Verlegetiefe der Horizontalrohre muss ausreichend sein, um den thermischen Einfluss von der Oberfläche zu begrenzen und die Gefahr mechanischer Schäden zu verringern. Wärmedämmung darf eingebaut werden, wenn es notwendig ist oder der Planer die Vorteile darlegt. Der Durchmesser der Horizontalrohre muss in Hinblick auf die Begrenzung der Druckverluste gewählt werden. Dabei müssen der Betriebstemperatur, der Rauheit der Rohrleitung und der höheren Viskosität bei Frostschutzfluids Rechnung getragen werden. In der Regel können laminare Strömungsverhältnisse für die Horizontalrohre empfohlen werden. Auch in diesem Fall tragen die Druckverluste zur Hilfsenergie (Pumpe) des Heizsystems bei.

7.2.2.4 Berechnungsverfahren

Die Auslegung sollte abhängig von den Eingaben zur korrekten Bemessung der EWS führen. Die Eingaben sollten den vom Planer festgelegten Bemessungskriterien entsprechen. Abhängig von den hydrogeologischen Gegebenheiten vor Ort kann der Wärmetransport im Boden entweder hauptsächlich über Konduktion oder hauptsächlich über Konvektion oder über eine Kombination aus beidem erfolgen.

ANMERKUNG Die meisten Auslegungsverfahren lassen die Grundwasserströmung außer Acht.

Abhängig von der Art der EWS-Anlage und der erforderlichen Genauigkeit der Berechnungsergebnisse dürfen unterschiedliche Berechnungsverfahren implementiert werden. Diese Verfahren sind in 7.2.5 beschrieben.

7.2.2.5 Ausgaben

Alle Kennwerte, die die EWS-Feldgeometrie definieren, stellen die Ausgaben der Bemessung dar:

- Anzahl der EWS und Einbautiefe;
- EWS-Bauart und Rohrabmessungen;

- Abstand zwischen den Bohrlöchern und räumliche Auslegung (Geometrie) des gesamten EWS-Feldes;
- thermischer Bohrlochwiderstand;
- Betriebstemperaturen während der Betriebsdauer;
- maximaler Druckverlust.

Die Auslegung sollte die verwendeten Eingaben, die Berechnungsergebnisse, eine Übersichtszeichnung der EWS-Anlage und der Horizontalrohre, den Ausführungszeitplan und die Vorgaben in einem Bericht dokumentieren.

7.2.3 Thermische Eigenschaften des Bodens

Aus thermischer Sicht kann man den Boden in zwei unterschiedliche Schichten aufteilen:

- a) eine flachere Schicht, in der der Boden von den äußeren atmosphärischen Bedingungen beeinflusst wird, d.h. von der Trockenthermometertemperatur und dem Wärmeaustausch durch die Infrarotstrahlung des Sonnenlichts. Dieser Teil des Bodens kann zur Bewertung der Horizontalrohre und des oberen Teils der EWS herangezogen werden, wird aber in den Berechnungen in der Regel nicht berücksichtigt;
- b) eine tiefere Schicht, in der der Boden nicht von den jahreszeitlich wechselnden äußeren atmosphärischen Bedingungen beeinflusst wird. Die Eigenschaften des ungestörten Bodens werden als Eingabe für die Bemessung verwendet.

In beiden Fällen können die thermischen Bedingungen des Bodens durch anstehendes Wasser beeinflusst werden, das in Abhängigkeit von seiner Fließgeschwindigkeit die Wärmeübertragung des Erdwärmetauschers und die mögliche saisonale Wärmespeicherung beeinträchtigen könnte.

Die folgenden thermischen Eigenschaften des Bodens werden als Eingabe für die EWS-Bemessung berücksichtigt:

- Wärmespeicherzahl des Bodens;
- Wärmeleitfähigkeit des Bodens;
- ungestörte Bodentemperatur.

Weitere thermische Eigenschaften dürfen ebenfalls berücksichtigt werden:

- geothermischer Gradient;
- geothermischer Wärmestrom.

Die thermophysikalischen Eigenschaften des Bodens dürfen durch eine geologische Untersuchung des Standorts bewertet werden. Für die vorläufige Analyse können frühere geologische Untersuchungen an nahe gelegenen Orten oder geologische Karten der Zone sowie verfügbare Klimadaten ausgewertet werden.

Solche Bewertungen können später in der Ausführungsphase bestätigt und eventuell mit einem TRT validiert werden.

Als Referenz für die Berechnungen sind die gebräuchlichsten Bodentypen und die damit verbundenen typischen Werte der thermischen Eigenschaften in Anhang D aufgeführt.

Sobald die thermischen Eigenschaften der Bodenschichten (λ_h) und deren Dicken (D_h) bekannt sind, kann die durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit des Bodens (λ), die in die Berechnungen eingeht, mithilfe der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$\lambda = \frac{\sum_{h=1}^n \lambda_h \cdot D_h}{\sum_{h=1}^n D_h}$$

Die Wärmespeicherzahl des Bodens kann als Mittelwert der unterschiedlichen Schichten bestimmt werden:

$$\rho \cdot c_p = \frac{\sum_{h=1}^n \rho_h \cdot c_h \cdot D_h}{\sum_{h=1}^n D_h}$$

Die Wärmespeicherzahl unverfestigter Böden kann für jede Schicht mithilfe der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$c_h = (2,7 \varphi_h + 1,9 \varphi_m + 4,2 \phi) \text{ MJ}/(\text{m}^3 \text{ K})$$

Dabei ist

c_h die Wärmespeicherzahl der Bodenschicht h ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3} \text{ K}^{-1}$);

φ_h der Anteil der organischen Stoffe;

φ_m der Anteil der mineralischen Stoffe;

ϕ der Wasseranteil (in der Regel der Porenraum).

7.2.4 Thermal Response Test (TRT)

7.2.4.1 Allgemeines

Das nachfolgend vorgestellte TRT-Verfahren entspricht dem klassischen Typ-1-TRT, der auf Wärmeinbringung durch einen konstanten Wärmestrom basiert. Es gibt andere Prüfungsarten, die abhängig von den örtlichen Gegebenheiten unter Umständen mehr Informationen liefern können.

Die Messung des Ansprechens eines Systems auf die schrittweise Änderung eines Eingabeparameters ist ein übliches physikalisches Prinzip zur Bestimmung bestimmter physikalischer Eigenschaften. Im Rahmen der thermischen Nutzung des Untergrundes mithilfe von Erdwärmesonden wird dieses Verfahren in einem Thermal Response Test (TRT) eingesetzt. Bei einem TRT wird eine vorgegebene konstante Wärmeleistung in den Untergrund eingebracht (oder dem Untergrund entzogen) und die Temperaturentwicklung am Bohrlochein- und -austritt gemessen. In Kombination mit einem mathematischen Modell ermöglicht die Temperaturentwicklung die Bestimmung von thermischen Parametern wie der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes und des thermischen Bohrlochwiderstands der EWS. Diese Parameter werden üblicherweise in Auslegungsberechnungen verwendet. Ein TRT wird mit einer mobilen Prüfeinrichtung durchgeführt, die während der Prüfung direkt am Bohrloch aufgebaut wird.

7.2.4.2 Theoretischer Hintergrund

Ein theoretisches Modell des Wärmetransports zwischen der EWS an der Wärmequelle (Wärmesenke) und dem umgebenden Untergrund bildet die Grundlage für die Auswertung. Über die Bestimmung der Modellparameter werden die berechneten Fluidtemperaturen an die gemessenen angepasst. In der Regel sind die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes und der thermische Bohrlochwiderstand der EWS die ermittelten Modellparameter.

Die Bewertungsverfahren unterscheiden sich in erster Linie durch den Detaillierungsgrad des verwendeten Modells, welches durchaus Einfluss auf die Auslegung der Prüfeinrichtung und die Prüfleistung hat. Das gängigste Modell ist die Linienquellenapproximation.

7.2.4.3 Linienquellenapproximation

Die mittlere Fluidtemperatur kann in Abhängigkeit von der Zeit für den eindimensionalen konduktiven Wärmetransport einer Linienquelle im Untergrund mithilfe von Gleichung (1) beschrieben werden, wenn die folgenden Einschränkungen (Vereinfachungen) eingehalten werden:

- Der Wärmetransport im Untergrund erfolgt ausschließlich durch Konduktion.
- Der Untergrund wird als homogen mit einheitlichen thermischen Eigenschaften angenommen (in der Praxis bedeutet dies, dass man die durchschnittliche Ersatzwärmeleitfähigkeit des Bodenprofils ermittelt).
- Für die Komponenten im Bohrloch (z. B. Rohre, Bohrlochfüllung, Wärmeträgerfluid usw.) und den Untergrund werden die gleichen thermischen Eigenschaften angenommen.
- Vor Beginn der Prüfung herrscht eine gleichmäßige Temperatur im Untergrund.
- Die Wärme wird durch eine unendliche Linienquelle in der Mitte des Bohrlochs mit konstanter Leistung eingebracht (entzogen).

$$T_f(t) = \frac{\dot{Q}}{H \cdot 4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \ln(t) + \frac{\dot{Q}}{H} \cdot \left[\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot a}{r_b^2} \right) - \gamma \right) + R_b \right] + T_b \quad (1)$$

Dabei ist

$T_f(t)$	die mittlere Fluidtemperatur (arithmetischer Mittelwert der Fluidein- und -auslasstemperatur zum Zeitpunkt t , in °C;
t	die Zeit, in s;
$\dot{Q}$	die Gesamtwärmeleistung, die über die EWS in den Untergrund eingebracht wird, in W;
H	die Länge der EWS, in m;
λ	die Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds, in W/(m·K);
a	die Temperaturleitfähigkeit $a = \lambda/c_v$, in m ² /s;
c_v	die Wärmespeicherzahl des Bodens, in J/(m ³ ·K);
r_b	der Bohrlochradius, in m;
γ	die Euler-Mascheroni-Konstante $\cong 0,572\ 2$;
R_b	der gesamte thermische Bohrlochwiderstand, in K/(W/m);
T_b	die ungestörte Bodentemperatur, in °C.

Durch Zusammenführen der zeitlich konstanten Parameter kann Gleichung (1) zu einer linearen Funktion des Logarithmus der Zeit mit der Steigung k und dem Achsenabschnitt m vereinfacht werden (Gleichung (2)):

$$T_f(t) = k \cdot \ln(t) + m \quad (2)$$

Daraus ergibt sich:

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{H \cdot 4 \cdot \pi \cdot k} \quad (3)$$

und

$$R_b = \frac{H}{\dot{Q}} \cdot (m - T_b) - \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot a}{r_b^2} \right) - \gamma \right) \quad (4)$$

Diese Näherungslösung gilt jedoch nur für eine Zeit, die nicht zu nahe am Beginn der Erwärmung bei $t = 0$ s liegt, also für eine Zeit, die größer als das theoretische Mindestzeitkriterium ist:

$$\frac{a \cdot t_s}{r_b^2} \geq 5$$

Dabei ist

a die Temperaturleitfähigkeit $a = \lambda/c_v$, in m^2/s ;

t_s die Startzeit der Auswertung, in s;

r_b der Bohrlochradius, in m.

Zusätzlich gibt es ein physikalisches Mindestzeitkriterium, das die Gültigkeit des verwendeten Bewertungsmodells definiert und das sich auf die Abweichungen des realen Wärmetransports von den idealen Modellannahmen bezieht. Zur Schätzung des physikalischen Mindestzeitkriteriums kann die Konvergenz der sequenziellen Vorwärtsauswertung verwendet werden. Die Auswertung wird schrittweise für ein Zeitintervall t_s bis $t_s + n \Delta t$ ($n = 1, 2 \dots$) durchgeführt, daher wird das Ergebnis für λ zu einer Funktion der Länge des Auswertungszeitintervalls. Diese sukzessive Erhöhung des Auswertungszeitintervalls ergibt eine Kurve von λ , die nur dann gegen einen konstanten Wert (Ergebnis) konvergiert, wenn

- 1) die Modellannahmen richtig sind,
- 2) der Wert der Startzeit der Auswertung t_s nicht zu klein ist,
- 3) die Mess-/Auswertungszeit lang genug ist.

Ein zu kurzes Messintervall führt zu einer hohen statistischen Variabilität. Für eine gültige Auswertung der Prüfung sollte die Kurve innerhalb eines Standardintervalls $\lambda \pm \Delta\lambda$ ($\Delta\lambda/\lambda = \pm 5\%$) über mindestens 20 h konvergieren.

7.2.4.4 TRT-Prüfeinrichtung

Die Anforderungen an eine TRT-Prüfeinrichtung – Hydraulikkreislauf, Sensoren und Datenerfassung – sowie die geplante Prüfleistung hängen stark vom Auswertverfahren ab.

Üblicherweise wird eine vorgewählte konstante Wärmeleistung in die EWS eingebracht. Es wird empfohlen, das hydraulische Konzept für die Prüfung verschiedener EWS-Bauarten (Einfach-U, Doppel-U usw.) zu entwickeln. Auch Sicherheitsaspekte wie die thermische Ausdehnung des Fluids, die Vermeidung von Überhitzung und Strömungsprobleme müssen berücksichtigt werden. Die Wärmeleistung muss bei einer Prüfungsauswertung mit Linienquellenapproximation konstant sein. Die eingebrachte Leistung muss an die Länge der EWS angepasst werden, um einen sinnvollen ΔT -Wert (Einlass, Auslass) zu erreichen. Dieser ist für eine hochgenaue Temperaturmessung von Bedeutung. Die Wärmekapazität des für die Prüfung ausgewählten Fluids muss hinreichend bekannt sein. Ein sorgfältiger und fachgerechter Versuchsaufbau hat großen Einfluss auf die Qualität der Prüfung.

Bild 6 zeigt eine typische Prüfanordnung.

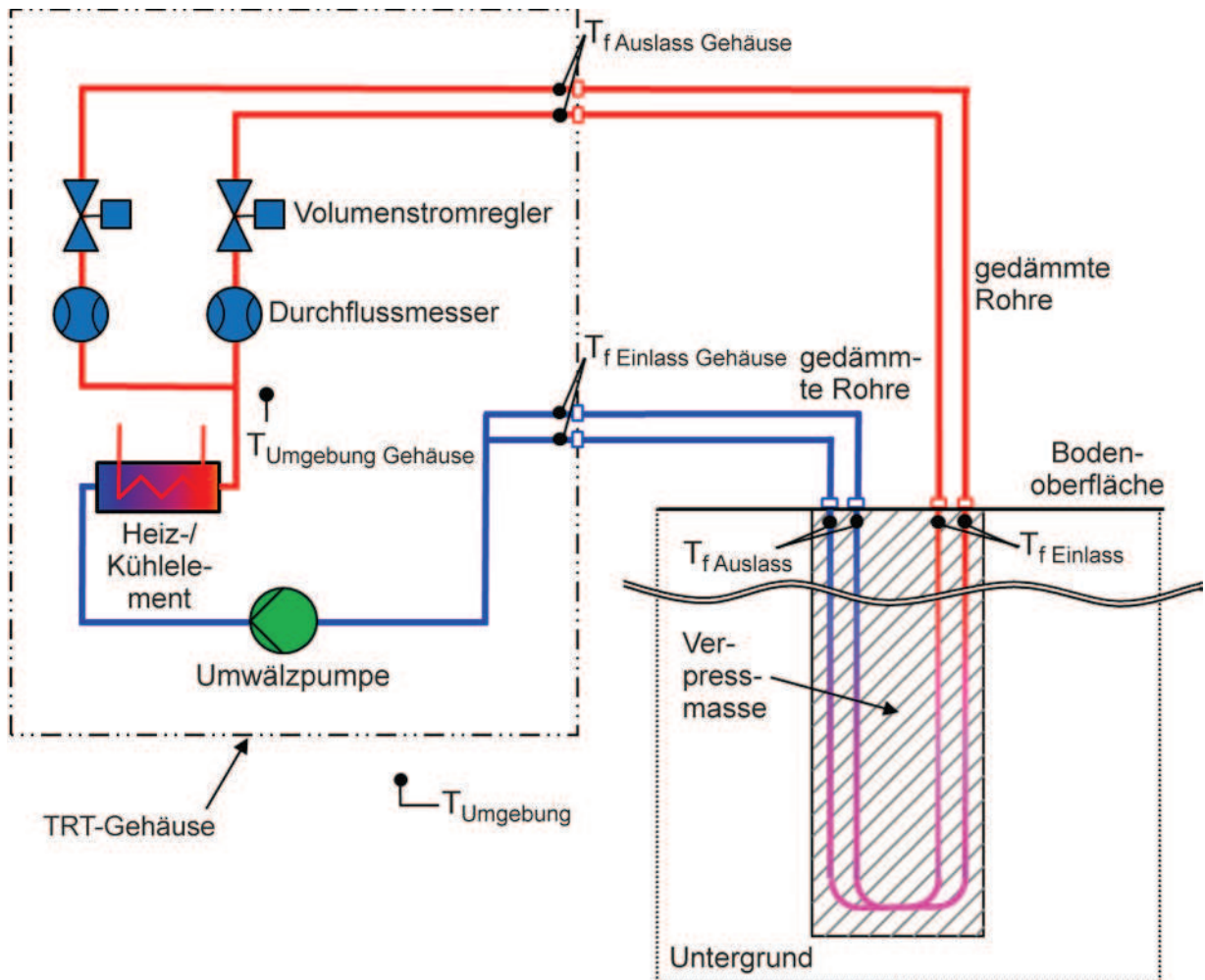


Bild 6 — Typische TRT-Prüfanordnung

7.2.4.5 TRT-Prüfverfahren

Die gewählten Prüfparameter müssen nahe bei den Betriebsparametern der späteren Anlage liegen und die zu prüfende EWS sollte repräsentativ für die geplante EWS-Anlage am späteren Standort sein.

Für eine belastbare Prüfung sind verlässliche Informationen über die Geologie am Standort, das Bohrloch, die Bohrlochfüllung und die EWS erforderlich. Es ist wichtig, dass der Einbau der EWS abgeschlossen und das Bohrloch bis zur Oberkante verfüllt ist. Die Sondenrohre sollten mit Fluid gefüllt werden, das sich im thermischen Gleichgewicht mit dem umgebenden Untergrund befindet. Alle Aktivitäten in der Umgebung der zu prüfenden EWS, die die Messung beeinflussen können, sollten vermieden werden.

Das Prüfgerät wird mit Fluid gefüllt, entlüftet und hydraulisch an das Sondenrohr angeschlossen. Es wird empfohlen, die Anbindungsrohre zu dämmen, um Umgebungseinflüsse auf die Messergebnisse zu vermeiden.

Die ungestörte Bodentemperatur wird direkt vor Beginn der Prüfung gemessen. Es ist wichtig, dass sich das Fluid im thermischen Gleichgewicht mit dem umgebenden Untergrund befindet. Die Messung kann entweder durch das tiefe Absenken eines schlanken Temperatursensors in das Sondenrohr oder durch Zirkulieren des Fluids in den Rohren und Messung der Temperatur am Auslass beim ersten Umlauf eines flüssigen Mediums durch die Rohre erfolgen. Es wird eine turbulente Strömung empfohlen. Die Prüfung sollte erst dann beginnen, wenn die thermischen Auswirkungen der Bohrung und Hinterfüllung abgeklungen sind.

Nach Abschluss der Messung der ungestörten Bodentemperatur kann der TRT begonnen werden. Eine konstante Wärmeleistung bei konstanter Durchflussmenge kann leicht erreicht werden, indem die Temperaturdifferenz am EWS-Einlass als Messparameter ermittelt und damit die elektrische Leistung der Heizelemente gesteuert wird. So können störende Umgebungseinflüsse leicht ausgeglichen werden.

7.2.4.6 Auswertung der Prüfung

Die in 7.2.4.3 beschriebene Linienquellenapproximation zur Auswertung der Prüfung erfordert minimalen Aufwand und Approximationsfehler sind vernachlässigbar klein, wenn alle Randbedingungen den Anforderungen des Modells entsprechen.

Die mittlere Fluidtemperatur ergibt sich als lineare Funktion von $\ln(t)$ (Gleichung (2) und Bild 7) und die Wärmeleitfähigkeit kann aus diesen Messungen mithilfe von Gleichung (3) berechnet werden.

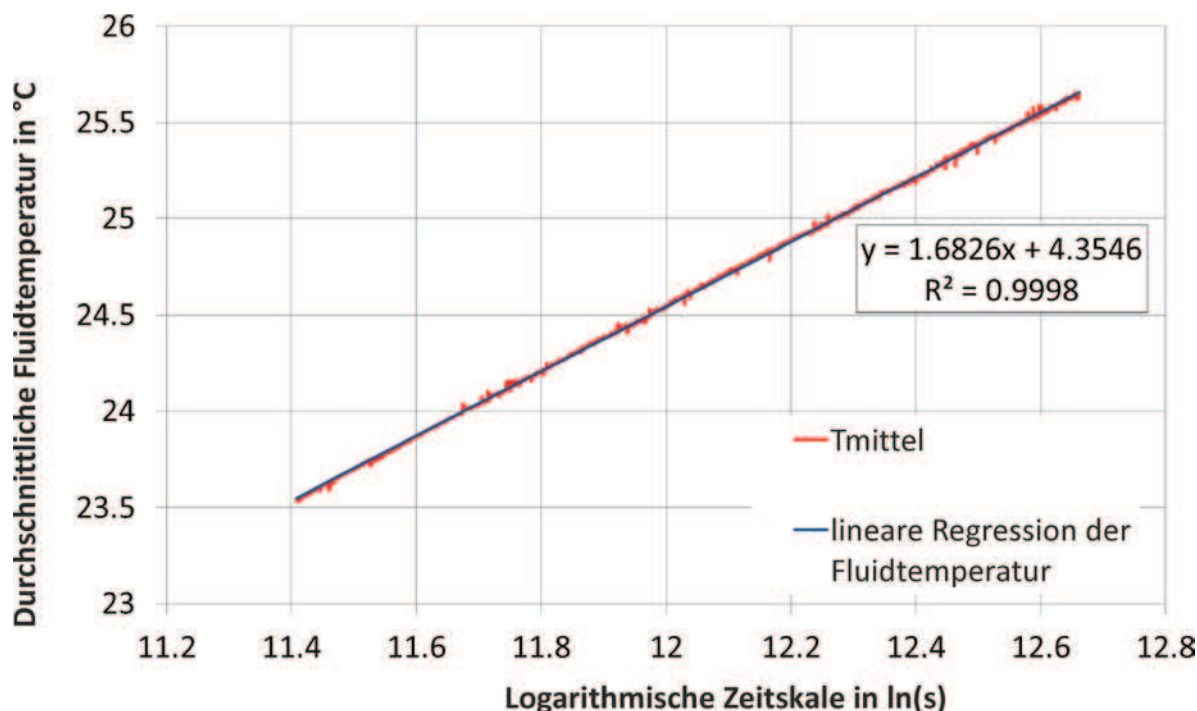


Bild 7 — Lineare Regression der mittleren Fluidtemperatur als Funktion von $\ln(t)$