

Utilisation de la chaleur de l'eau souterraine

Utilizzo del calore dell'acqua sotterranea

Grundwasserwärmenutzung

384/7

Referenznummer
SN 546384/7:2015 de

Gültig ab: 2015-04-01

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

Allfällige Korrekturen und Kommentare 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.

2015-03 1. Auflage

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite		Seite
Vorwort	4	4 Anforderungen an Anlagen	30
0 Geltungsbereich	5	4.1 Allgemeine Anforderungen	30
0.1 Abgrenzung	5	4.2 Entnahmebrunnen	31
0.2 Allgemeine Bedingungen Bau	6	4.3 Förderpumpe	33
0.3 Normative Verweisungen	6	4.4 Rohrleitungen und Filtertechnik	34
0.4 Abweichungen	7	4.5 Anlagenprinzip und Wärmeübertrager	34
1 Verständigung	8	4.6 Rückgabebauwerk	36
1.1 Allgemeines	8	5 Ausführung, Prüfung und Betrieb	38
1.2 Definitionen	8	5.1 Brunnenbau	38
1.3 Symbole, Begriffe und Einheiten	15	5.2 Entsandung und Brunnen- entwicklung	39
1.4 Indizes	16	5.3 Rückgabebauwerk	39
2 Projektierung	17	5.4 Weitere Anlagenteile	39
2.1 Allgemeines	17	5.5 Abnahme und Übergabe der Anlage ..	40
2.2 Nutzungsarten	17	5.6 Betrieb und Instandhaltung	41
2.3 Wasserrecht, Grundwasserschutz und Bewilligungsverfahren	18	6 Stilllegung	43
2.4 Standortfaktoren	19	Anhang	
2.5 Hydrogeologische Voraussetzungen ..	19	A (informativ) Organisation	44
2.6 Hydrogeologische Standort- erkundung	21	B (normativ) Protokolle	47
3 Berechnung und Auslegung	26	C (Muster, informativ) Abnahme- protokoll	50
3.1 Allgemeines	26	D (informativ) Brunnen und Rückgabe- bauwerke	56
3.2 Grundlegende Anforderungen an die Dimensionierung der Grundwassernutzung	26	E (informativ) Prozesse und Kennwerte	59
3.3 Hydraulische Brunnenbemessung	27	F (informativ) Projektierungs- hinweise	62
3.4 Technische Bemessung für Entnahmebrunnen	28	G (normativ) Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit	75
3.5 Technische Bemessung für Rück- gabeburinnen und Versickerungs- anlagen	29	H (informativ) Hinweise zur Filter- und Bohrtechnik	76
3.6 Abstand zwischen Entnahme und Rückgabe	29	J (normativ) Nachweis der Sandfreiheit	78
3.7 Abschätzung der hydraulischen und thermischen Reichweiten der Nutzung	29	K (informativ) Publikationen	79

VORWORT

Die vorliegende Norm SIA 384/7 ist im Bereich der oberflächennahen geothermischen Nutzung eine Ergänzung zur Norm SIA 384/6 *Erdwärmesonden* aus dem Jahr 2010. Mit dieser zweiten Norm sind somit die beiden häufigsten Arten der oberflächennahen geothermischen Nutzung in der Schweiz definiert und sichern die qualitativ hohen Ansprüche an diese auch quantitativ stark zunehmende Art der Umweltenergienutzung.

Die vorliegende Norm ist massgebend für Planung, Ausführung und Betrieb von Grundwasserwärmenutzungen, welche 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 eine über die berechnete Lebensdauer hinaus funktionierende Anlage übergeben zu können.

Seit 1984 sind in der Reihe *Dokumentation SIA* zahlreiche für die Nutzung untiefer Geothermie relevante Publikationen erschienen.

Die im Jahr 2009 veröffentlichte Vollzugshilfe *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund* des Bundesamts für Umwelt BAFU behandelt Grundwasserwärmenutzungen vorwiegend nach gewässerschutzrechtlichen Aspekten. Weitere Richtlinien stammen insbesondere vom damaligen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (*Wegleitung Grundwasserschutz* von 2004 [1]) und von mehreren Kantonen und Verbänden (Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP, Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS usw.). Allerdings wurden in der Schweiz die technischen Aspekte für Planung, Ausführung und Betrieb verschiedener Typen von Geothermieanlagen bis heute normativ nicht vollständig behandelt.

In Deutschland hat der Verein Deutscher Ingenieure VDI die Richtlinien 4640 *Thermische Nutzung des Untergrundes, Teile 1–4*, herausgegeben, in Österreich das Österreichische Normungsinstitut 2009 das ÖWAV-Regelblatt 207 *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen*.

Um auch die zweithäufigste geothermische Nutzungsart, die Grundwasserwärmenutzung, normativ abzubilden, hat sich die Schweizerische Vereinigung für Geothermie SVG an das Bundesamt für Energie BFE und den SIA gewandt, um eine Schweizerische Norm für den Bereich der Grundwasserwärmenutzung auszuarbeiten.

Diese interdisziplinär geprägte Norm richtet sich an alle, die sich mit Planung, Ausführung und Betrieb von Grundwasser-Wärmenutzungsanlagen befassen. Die rechtlichen, administrativen und die den Umweltschutz betreffenden Aspekte werden mit Bezug auf eidgenössische, kantonale und kommunale Bestimmungen grundlegend behandelt.

Die vorliegende Norm bildet im Zusammenhang mit der thermischen Bedarfsdeckung in Gebäuden auch die Schnittstelle zur Norm SIA 384/1 *Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen* aus dem Jahr 2009 sowie zur Norm SIA 382/1 *Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen* aus dem Jahr 2007.

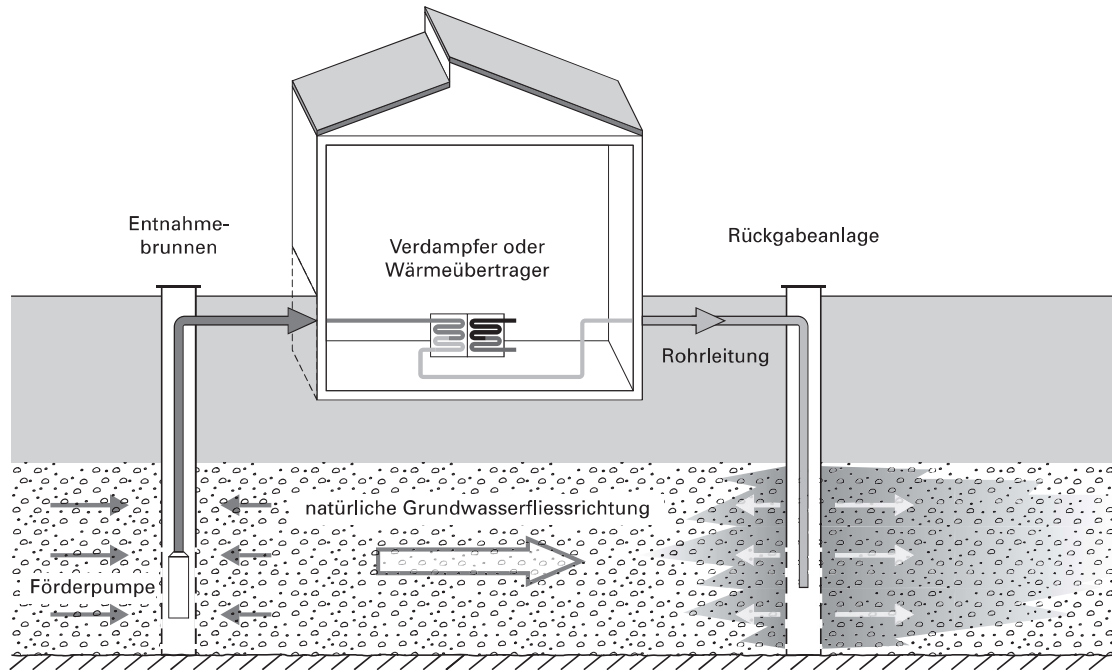
Kommission SIA 384/7

0 GELTUNGSBEREICH

0.1 Abgrenzung

- 0.1.1 Die vorliegende Norm gilt für thermische Grundwassernutzungen und umfasst alle Anlagenteile von der Grundwasserentnahme bis zur Rückgabe.
- 0.1.2 Die Nutzung umfasst Heizen und Kühlen von Gebäuden oder Prozessen, die einen Betrieb mit oder ohne Wärmepumpen oder Kältemaschinen erfordern. Diese Norm behandelt sowohl den Wärmeentzug aus dem Grundwasser (Heizbetrieb) als auch den Wärmeeintrag in das Grundwasser (Kühlbetrieb).
- 0.1.3 Für die Planung von Anlagen zur thermischen Grundwassernutzung sind Kenntnisse der Hydrogeologie, der Bohrtechnik, der Thermodynamik und der Gebäudetechnik erforderlich. Diese Norm beschränkt sich auf den Untertageanteil und die oberirdischen Anlagenteile bis zum Verdampfer bzw. Wärmeübertrager.
- 0.1.4 Systemgrenzen hinsichtlich des zu nutzenden Grundwassers sind Grundwässer mit Temperaturen < 25°C in natürlichen Lockergesteins- oder Festgesteins-Grundwasserleitern. Nicht betrachtet werden Wässer aus Tunneln oder Bergwerken, Thermal- oder Mineralwässer und Oberflächenwässer.
- 0.1.5 Systemgrenzen hinsichtlich der Technologie des zu nutzenden Grundwassers in dieser Norm sind die Bauwerke und Anlagen zur Entnahme, Zirkulation und Rückgabe des Grundwassers (Figur 1). Die Grenze bildet der Verdampfer (bei Wärmepumpen) oder der Wärmeübertrager (bei einem Zwischenkreis, Free-Cooling oder Geocooling).
- 0.1.6 Die saisonale Wärme- oder Kältespeicherung im Grundwasser ist eine besondere Technologie der thermischen Nutzung von Grundwasser und bedarf spezieller hydrogeologischer Voraussetzungen und Planungen. Diese Nutzungsart wird in der vorliegenden Norm nicht behandelt.
- 0.1.7 Die Norm behandelt ausschliesslich Anlagen mit vollständiger Rückgabe des thermisch genutzten Grundwassers.
- 0.1.8 Die Norm behandelt ausschliesslich Anlagen, die Wasser nutzen, das chemisch nicht verändert wird.
- 0.1.9 Die Norm enthält keine Aussagen zu wasserrechtlichen Belangen, kantonalen Konzessions- und Bewilligungsverfahren und -regelungen und deren Umsetzungen. Zur Prüfung der Zulässigkeit oder Genehmigungsfähigkeit von Anlagen der thermischen Grundwassernutzung sind kantonale Bestimmungen zu beachten.

Figur 1 Systemskizze der Grundwasserwärmenutzung, nach [2]



0.2 Allgemeine Bedingungen Bau

Die Allgemeinen Bedingungen Bau (ABB) zur vorliegenden Norm sind in der Norm SIA 118/380 *Allgemeine Bedingungen für die Gebäudetechnik* enthalten.

0.3 Normative Verweisungen

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

0.3.1 Publikationen des SIA

Norm SIA 118/380	Allgemeine Bedingungen für Gebäudetechnik
Norm SIA 380/1	Thermische Energie im Hochbau
Norm SIA 382/2	Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf
Norm SIA 384/1	Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen
Norm SIA 384.201	Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast (SN EN 12831)
Norm SIA 384/3	Heizungsanlagen in Gebäuden – Energiebedarf
Norm SIA 384/6	Erdwärmesonden
Norm SIA 385/2	Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung
Merkblatt SIA 2024	Standard-Nutzungsbedingungen für Energie- und Gebäudetechnik
Merkblatt SIA 2044	Klimatisierte Gebäude – Standard-Berechnungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf

0.3.2 **Weitere Schweizer Normen**

SN 640034	Darstellung der Projekte – Signaturen für die Geotechnik und die Geologie
SN 670009	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geologische Terminologie der Lockergesteine
SN EN ISO 14688-1	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung
SN EN ISO 14689-1	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung

0.3.3 **Richtlinien des SWKI**

SWKI 92-1	Hydraulische Schaltungen von Wärmepumpen-Heizungsanlagen
SWKI 2003-3	Rückkühlung

0.4 **Abweichungen**

Abweichungen von der vorliegenden Norm sind zulässig, wenn technische Entwicklungen oder aussergewöhnliche Verhältnisse, die in dieser Norm nicht erfasst sind, dies rechtfertigen. Abweichungen müssen durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet sein.

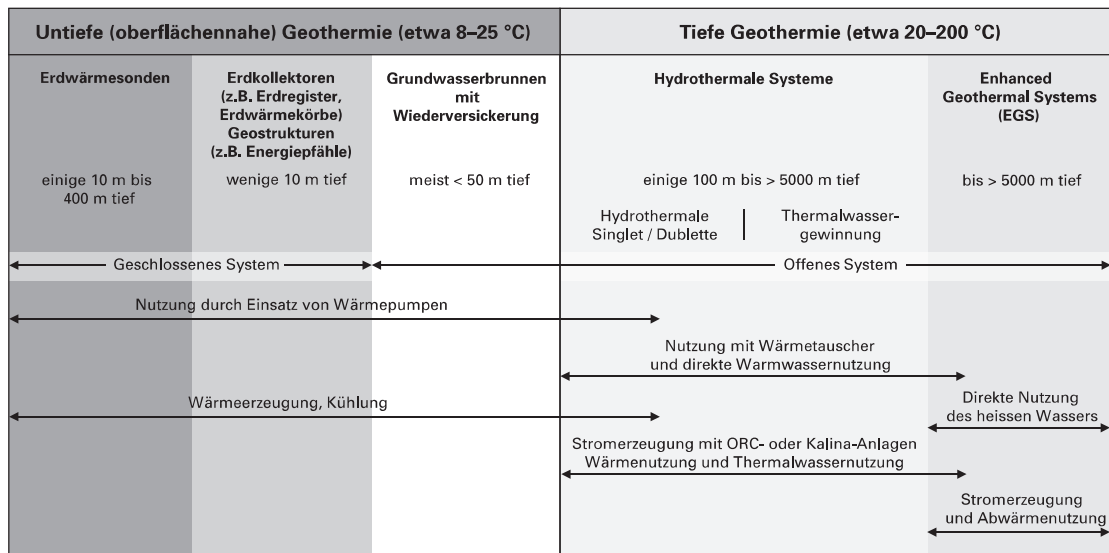
1 VERSTÄNDIGUNG

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 untiefe (oberflächennahe) Geothermie und tiefe Geothermie.

1.1.2 Die Figur 2 veranschaulicht die Tiefenbereiche der verschiedenen Nutzungstechnologien und die darin vorherrschenden Temperaturbereiche. Die Tiefenabgrenzung zwischen untiefer (oberflächennaher) und tiefer Geothermie wird bei 400 m unter Terrain angenommen. Die Figur zeigt, wo Grundwasserbrunnen in den technischen und geologisch-hydrogeologischen Rahmenbedingungen einzuordnen sind.

Figur 2 Übersicht Erdwärmennutzung, nach [3]



1.2 Definitionen

1.2.1 Hydrogeologie und Brunnenbau

- 1.2.1.1 Absenkung
Rabattement
 Δh
m
Absenkung des Grundwasserspiegels bzw. des Druckspiegels des Grundwassers durch Pumpbetrieb.
- 1.2.1.2 Abstandsgeschwindigkeit
Vitesse de déplacement de l'eau
Mittlere Fließgeschwindigkeit der Wasserteilchen im Porenraum des Gesteins.
- 1.2.1.3 Artesisch gespanntes Grundwasser
Nappe d'eau souterraine captive artésienne
Gespanntes Grundwasser, dessen Druckhöhe über der Geländeoberfläche liegt.
- 1.2.1.4 Betriebswasserspiegel oder Betriebsdruckspiegel
Niveau piézométrique en pompage ou infiltration
Geodätische Höhe des Grundwasserspiegels (ungespanntes Grundwasser) oder des Druckspiegels (gespanntes Grundwasser) bei Wasserentnahme oder -rückgabe.

<p>1.2.1.5 Bohrdurchmesser <i>Diamètre nominal du forage</i></p>	<p>Durchmesser des Bohrfutterrohrs, welches das Bohrloch während des Bohrvorgangs stützt. Der Bohrenddurchmesser entspricht dem Durchmesser des Bohrfutterrohrs bei der Endtiefe der Bohrung. Der Anfangsdurchmesser ist gegebenenfalls grösser, wenn die Bohrung teleskopiert werden muss.</p>
<p>1.2.1.6 Bohrprotokoll <i>Compte-rendu de forage</i></p>	<p>Dokumentiert die Ausführung der Bohrung. Es wird vom Bohrmeister erstellt und enthält technische Angaben zum Ablauf, zum eingesetzten Material sowie zum angetroffenen Material und zum Grundwasser.</p>
<p>1.2.1.7 Brunneneinbauten <i>Tubages et matériaux de remplissage d'un puits</i></p>	<p>Fest in Brunnen eingebaute Rohre (Vollrohre und Filterrohre). Die Hinterfüllung des Ringraums zwischen Bohrlochwand und Voll- und Filterrohren mit Filterkies oder Abdichtungsmaterial wird ebenfalls zu den Brunneneinbauten gezählt.</p>
<p>1.2.1.8 Brunnenenergiefähigkeit <i>Débit caractéristique d'un puits</i></p>	<p>Wassermenge pro Zeiteinheit, die der Brunnen aufgrund der durchströmten Filterfläche aufnehmen kann.</p>
<p>1.2.1.9 Brunnenfunktion, Exponentialintegral <i>Fonction caractéristique du puits, exponentielle intégrale</i> $W(u)$</p>	<p>Die Brunnenfunktion $W(u)$ bezeichnet das Exponentialintegral</p> $W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx$ <p>x Integrationsvariable</p>
<p>1.2.1.10 Darcygeschwindigkeit <i>Vitesse de Darcy</i> v_D m/s</p>	<p>Fliessgeschwindigkeit des Wassers durch die Öffnungen des Filterrohrs. Wird auch als Filtergeschwindigkeit bezeichnet.</p>
<p>1.2.1.11 Destruktive Bohrmethoden <i>Forages destructifs</i></p>	<p>Verschiedene Bohrverfahren für den Brunnenbau, mit welchen der Untergrund durch das Bohrwerkzeug zerkleinert wird und als Bohrklein mit der Bohrspülung zutage gefördert wird.</p>
<p>1.2.1.12 Dichte <i>Masse volumique</i> ρ kg/m³</p>	<p>Verhältnis von Masse pro Volumeneinheit.</p>
<p>1.2.1.13 Druckhöhe <i>Charge ascensionnelle</i></p>	<p>Höhe des Druckspiegels in einem Brunnen in gespanntem Grundwasser über der oberen Begrenzung des Grundwasserleiters (vgl. Figur 13, rechts).</p>
<p>1.2.1.14 Druckspiegel <i>Niveau piézométrique</i></p>	<p>Geodätische Höhe des Wasserspiegels in einem Brunnen in gespanntem Grundwasser. Der Druckspiegel liegt über der oberen Begrenzung des Grundwasserleiters.</p>
<p>1.2.1.15 Dublette <i>Doublet hydraulique</i></p>	<p>Anlage mit Entnahmebrunnen und Rückgabebrunnen oder Versickerungsanlage.</p>
<p>1.2.1.16 Durchbruchzeit <i>Temps de percement</i> t_b s</p>	<p>Hydraulische Durchbruchzeit: Zeit, nach welcher injiziertes oder versickertes Wasser den Entnahmebrunnen erreicht.</p> <p>Thermische Durchbruchzeit: Zeit, nach welcher die Temperaturfront des thermisch genutzten, reinjizierten oder versickerten Wassers den Entnahmebrunnen erreicht.</p>

1.2.1.17	Entnahmebrunnen <i>Ouvrage de captage</i>	Unterirdisches Bauwerk für die Fassung und Entnahme des Wassers aus dem Grundwasserleiter, in den meisten Fällen Vertikalfilterbrunnen.
1.2.1.18	Feldergiebigkeit <i>Puissance de l'aquifère</i>	Wassermenge pro Zeiteinheit, welche einem Grundwasservorkommen mit einem Brunnen langfristig entzogen werden kann, ohne dieses zu übernutzen.
1.2.1.19	Filtereintrittsgeschwindigkeit <i>Vitesse d'entrée de l'eau dans la crépine</i>	Fließgeschwindigkeit des Wassers durch die Öffnungen des Filterrohrs.
1.2.1.20	Filterrohr <i>Crépine</i>	Rohr mit Öffnungen zum Einlass des Wassers in den Brunnen.
1.2.1.21	Fließzeit <i>Temps de transfert</i> τ s	Transportzeit eines Wasserteilchens entlang einer Stromlinie.
1.2.1.22	Flurabstand <i>Profondeur de la nappe par rapport au terrain naturel</i>	Abstand der Grundwasseroberfläche der wassergesättigten Zone von der Geländeoberfläche.
1.2.1.23	Förderleistung <i>Capacité de pompage</i>	Geförderte Wassermenge pro Zeiteinheit.
1.2.1.24	Geologisches Bohrprofil <i>Profil géologique du forage</i>	Beschreibt die angetroffenen geologischen Verhältnisse (Gesteinsbeschreibungen, Zuordnung zu den geologischen Einheiten). Es ist von einer qualifizierten Person (Geologe, Geologin) zu erstellen.
1.2.1.25	Gespanntes Grundwasser <i>Nappe captive</i>	Grundwasser, dessen Druckspiegel höher liegt als die obere Begrenzung des Grundwasserleiters.
1.2.1.26	Grundwasserleiter <i>Aquifère</i>	Bereich eines Locker- oder Festgesteinskörpers, der aufgrund seiner hydraulischen Eigenschaften dazu geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen, zu speichern und weiterzuleiten.
1.2.1.27	Grundwassermächtigkeit <i>Épaisseur de la nappe phréatique</i> M m	Lotrechter Abstand zwischen der unteren Grenzfläche des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters und der Grundwasseroberfläche.
1.2.1.28	Grundwasserspiegel <i>Niveau piézométrique</i>	Geodätische Höhe des Wasserspiegels in einem Brunnen in ungespanntem Grundwasser.
1.2.1.29	Grundwasserstauer <i>Aquiclude</i>	Bereich eines Locker- oder Festgesteinskörpers, welcher aufgrund seiner geringen Durchlässigkeit Grundwasser nicht leitet.
1.2.1.30	Hydraulische Leitfähigkeit <i>Conductivité hydraulique</i> K m/s	Fähigkeit eines Bodens, Locker- oder Festgesteins, Wasser durchtreten zu lassen; ausgedrückt als Durchlässigkeitsbeiwert, K -Wert.
1.2.1.31	Hydraulischer Gradient <i>Gradient hydraulique</i> $grad(h)$ m/m	Gefälle oder Gradient des Grundwasserspiegels oder des Druckspiegels.

1.2.1.32	Kolmatierung <i>Colmatage</i>	Verstopfung des Porenraums im Grundwasserleiter oder im Filterkies bzw. der Filterschlitze des Brunnenrohrs durch feinkörnige Partikel.
1.2.1.33	Komplementäre Errorfunktion <i>Fonction d'erreur complémentaire</i> <i>erfc</i>	Die komplementäre Error- oder Fehlerfunktion $erfc(x)$ bezeichnet das Exponentialintegral $erfc(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\tau^2} d\tau$ τ Integrationsvariable
1.2.1.34	Kopfschacht <i>Regard de tête de puits</i>	Schutzbauwerk am Kopf des Brunnens, dient der Unterbringung aller notwendigen Armaturen, Rohrleitungen usw.
1.2.1.35	Korrosion <i>Corrosion</i>	Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann.
1.2.1.36	Langzeitpumpversuch <i>Essai de pompage de longue durée</i>	Pumpversuch zur Ermittlung der hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters in mittlerer und grösserer Distanz vom Brunnen und der Feldergiebigkeit; dauert in der Regel einige Tage bis Monate.
1.2.1.37	Leistungspumpversuch <i>Essai de puits (par parliers)</i>	Pumpversuch zur Ermittlung der hydraulischen Eigenschaften des Brunnens, dauert in der Regel mehrere Stunden.
1.2.1.38	Lockergestein <i>Roches meubles</i>	Unverfestigtes Gesteinsmaterial, z.B. Sand oder Kies.
1.2.1.39	Peilrohr <i>Piézomètre (dans le massif filtrant)</i>	Im Ringraum zwischen dem Brunnenrohr und der Bohrlochwand zusätzlich eingebautes Filterrohr, das die Messung des Wasserspiegels im Ringraum, unmittelbar ausserhalb des Brunnenrohrs, ermöglicht.
1.2.1.40	Porosität <i>Porosité</i> n	Verhältnis des Volumens von Hohlräumen im Gestein (Poren, Klüfte) zum Gesamtvolumen des Gesteins.
1.2.1.41	Rezirkulation <i>Court-circuit thermique</i>	Zurückfliessen von injiziertem oder versickertem Wasser zum Entnahmepumpenbrunnen, kann teilweise oder vollständig sein (Angabe in %) und fallweise zu einem thermischen Kurzschluss führen.
1.2.1.42	Ringraum <i>Volume annulaire</i>	A. Raum zwischen Brunnenrohr und Bohrlochwand; ist im Endzustand des Brunnens mit Filterkies oder anderem Material hinterfüllt. B. Raum zwischen zentrisch ineinandergesteckten Rohren unterschiedlicher Durchmesser, z.B. zwischen Filterrohr und Bohrfutterrohr. C. Raum zwischen Bohrgestänge und Bohrlochwand oder Bohrfutterrohr während des Bohrens des Brunnens.
1.2.1.43	Rotationskernbohrung <i>Forage carotté rotatif</i>	Gängiges Bohrverfahren zur Erstellung von kleinkalibrigen Vertikalfilterbrunnen, mit welchem aus dem Untergrund eine zylindrische Gesteinssäule herausgeschnitten und in Stücken von mehreren Dezimetern Länge zutage gefördert wird.

1.2.1.44	Rückgabebrunnen <i>Puits de restitution</i>	Unterirdisches Bauwerk für die Rückgabe des Wassers in den Grundwasserleiter, welches bis unter den Grundwasserspiegel reicht. In den meisten Fällen Vertikalfilterbrunnen.
1.2.1.45	Ruhewasserspiegel oder Ruhedruckspiegel <i>Niveau piézométrique statique</i> <i>H</i> m	Geodätische Höhe des Grundwasserspiegels (ungespanntes Grundwasser) oder des Druckspiegels (gespanntes Grundwasser), wenn keine Wasserentnahme oder -rückgabe stattfindet.
1.2.1.46	Ruhezustand <i>État statique</i>	Grundwasserverhältnisse ohne Pump-, Versickerungs- und Injektionsbetrieb.
1.2.1.47	Schlamm sack <i>Dépotoir</i>	Vollwandiges Rohr am unteren Ende des Brunnens, versehen mit einem Boden. Es dient dem Auffangen des unvermeidlich in den Brunnen eingeschwemmten Sandes.
1.2.1.48	Schluckfähigkeit <i>Capacité d'infiltration de l'ouvrage de restitution</i>	Fähigkeit einer Rückgabeanlage zur Aufnahme von Wasser.
1.2.1.49	Sickerfähigkeit <i>Capacité d'absorption</i>	Fähigkeit einer Versickerungsanlage zur Aufnahme von Wasser. Die spezifische Sickerleistung ist der Volumenstrom pro sickeraktive Fläche.
1.2.1.50	Skin (effekt) <i>Effet de peau</i>	Energieverlust des dem Brunnen zuströmenden Grundwassers im Bereich des Ringraumes und der Filterrohre aufgrund höherer Fliessgeschwindigkeiten im Brunnennahbereich. Führt zu einer stärkeren Absenkung des Wasserspiegels im Förderbrunnen, damit zu grösseren Förderhöhen bzw. geringeren Förderraten und somit letztlich zu höheren Förderkosten.
1.2.1.51	Speicherkoeffizient <i>Coefficient d'emmagasinement</i> <i>S</i>	Beschreibt in der Hydrogeologie die Fähigkeit eines Grundwasserleiters, Wasser zu speichern oder abzugeben.
1.2.1.52	Spezifische Wärmekapazität <i>Capacité thermique spécifique</i> <i>c</i> J/(kg·K)	Energienmenge, die notwendig ist, um eine bestimmte Masse eines homogenen Materials um eine bestimmte Temperaturdifferenz zu erwärmen.
1.2.1.53	Temperaturspreizung <i>Delta T, Différentiel de température</i>	Temperaturdifferenz des genutzten Grundwassers zwischen Entnahme und Rückgabe in den Grundwasserleiter. Die anlagenseitige Temperaturspreizung ist die Temperaturdifferenz zwischen Wasser- und Kühlmittelkreislauf am Wärmeübertrager bzw. Verdampfer der Wärmepumpe.
1.2.1.54	Thermischer Kurzschluss <i>Court-circuit thermique</i>	Fortschreitende Temperaturveränderung im Entnahmehrunnen durch Rezirkulation von thermisch genutztem, injiziertem oder versickertem Wasser.
1.2.1.55	Transmissivität <i>Transmissivité</i> <i>T</i> m ² /s	Produkt aus hydraulischer Leitfähigkeit und Grundwassermächtigkeit.

1.2.1.56	Ungespanntes Grundwasser <i>Nappe libre</i>	Grundwasser, dessen obere Begrenzung (Grundwasseroberfläche) nicht durch einen darüber liegenden Grundwasserstauer begrenzt ist.
1.2.1.57	Verkittungsgrad <i>Taux de cimentation</i>	Ausmass der Verbindung von Körnern in Lockergesteinen durch einen natürlich aus dem Wasser ausgeschiedenen mineralischen Zement.
1.2.1.58	Verockerung <i>Incrustation, Dépôt incrustant</i>	Ausfällung und Anlagerung von Eisen- und Manganverbindungen durch Oxidation von zweiwertigem Eisen und Mangan infolge Änderung der Redoxbedingungen, meist unter Mitwirkung von Mikroorganismen.
1.2.1.59	Verschleimung <i>Dépôts gélatineux</i>	Bildung von gallertartigen Belägen auf Anlageteilen wie Pumpen, Filterrohren, Rohrleitung und im Filterkies oder auch im umliegenden Grundwasserleiter durch Bakterienwachstum; auch als Bioclogging oder Biofouling bezeichnet.
1.2.1.60	Versickerungsanlage <i>Ouvrage d'infiltration</i>	Unterirdisches Bauwerk für die Rückgabe des Wassers in der ungesättigten Zone oberhalb des Grundwasserspiegels.
1.2.1.61	Versinterung <i>Entartrage</i>	Ausscheidung von Mineralen aus dem Wasser, die sich krustenbildend auf der Oberfläche von Rohrarmaturen, Pumpe, Filterrohr usw. ablagert. Am häufigsten sind Versinterungen durch Karbonatausfällung.
1.2.1.62	Vertikalfilterbrunnen <i>Puits crépiné vertical</i>	Senkrechttes Rohr zur Förderung von Grundwasser, in der wasserführenden Schicht geschlitzt oder perforiert und mit Kies umgeben. Ein geschlossenes Rohr führt nach oben in den vor Verunreinigungen schützenden Brunnenkopf.
1.2.1.63	Verunreinigtes Grundwasser <i>Eau souterraine contaminée</i>	Grundwasser, das Schadstoffe enthält, welche nicht aus dem Grundwasserleiter stammen.
1.2.1.64	Vollrohr <i>Tubage plein</i>	Vollwandiges Rohr, das den Eintritt von Wasser in den Brunnen verhindert.
1.2.1.65	Wärmeleitfähigkeit <i>Conductivité thermique</i> λ W/(m·K)	Wärmestrom bei einem Temperaturgefälle von einem Kelvin pro Meter unter stationären Verhältnissen in einem homogenen Stoff.
1.2.1.66	Wasserandrang <i>Débit disponible de l'aquifère</i> q_e m ³ /s, l/min	Wassermenge pro Zeiteinheit, die dem Brunnen aus dem Grundwasserleiter zuströmt.
1.2.1.67	Zulässige Förderrate <i>Débit exploitable</i> q_{adm} m ³ /s, l/min	Wassermenge pro Zeiteinheit, die in einem Entnahmehrunnen bei optimaler Bemessung gefördert werden kann (siehe 3.3)
1.2.2	Gebäudetechnik	
1.2.2.1	Bedarfsprofil <i>Histogramme de la demande</i> Q MJ, kWh	Heiz- bzw. Kühlbedarf des Gebäudes in Funktion der Zeit (z.B. monatlich).

1.2.2.2	Energie <i>Énergie</i>	<p>Energie setzt sich aus Anergie und Exergie zusammen.</p> <p>Exergie: Bezeichnet den Teil der Gesamtenergie eines Systems, der Arbeit verrichten kann, wenn dieses in das thermodynamische (thermische, mechanische und chemische) Gleichgewicht mit seiner Umgebung gebracht wird.</p> <p>Anergie: Teil der Energie, der nicht in Exergie umgewandelt werden kann. Die Umgebungswärme (hier die des Grundwassers) wird als Anergie bezeichnet.</p>
1.2.2.3	Free-Cooling oder Geocooling <i>Freecooling ou géocooling</i>	<p>Kühlung durch direkte Wärmeabgabe (d.h. ohne die Wärmepumpe im Umkehrmodus) über einen Wärmeübertrager ins Grundwasser oder Erdreich; wird auch freie Kühlung genannt.</p>
1.2.2.4	Heizwärmeleistung <i>Puissance de chauffage</i> Φ_H W	<p>Wärmeleistung, die dem Raum zugeführt werden muss, um den unteren Sollwert der Raumlufttemperatur einzuhalten.</p>
1.2.2.5	Kälteleistung <i>Puissance de refroidissement</i> $\Phi_{C,gen}$ W	<p>Verdampferleistung der Wärmepumpe bzw. Kältemaschine.</p>
1.2.2.6	Kälteleistungsbedarf <i>Puissance de refroidissement requise</i> $\Phi_{C,dis}$ W	<p>Wärmeleistung, die vom Kälteerzeuger der Kältespeicherung und -verteilung entzogen werden muss, um angeschlossene Räume auf Solltemperatur zu kühlen.</p> <p>Entspricht der Summe von Klimakälteleistung und Kälteverlustleistung der Kältespeicherung und -verteilung.</p> <p>Der Kälteleistungsbedarf kann auch «Direktkühlung» sein.</p>
1.2.2.7	Leistungszahl <i>Coéfficient de performance</i> ε	<p>Leistungszahl Heizen: Verhältnis der von einer Wärmepumpe abgegebenen Wärmeleistung zur aufgenommenen elektrischen Antriebsleistung (inkl. Leistungsbedarf für die Steuerung und allfällige Förderpumpen).</p> <p>Leistungszahl Kühlen: Verhältnis der von einer Kältemaschine abgegebenen Kälteleistung zur aufgenommenen elektrischen Antriebsleistung (inkl. Leistungsbedarf für die Steuerung und anteilige Leistungsaufnahme der Fördereinrichtungen wie Pumpen und Ventilatoren).</p>
1.2.2.8	Plattenwärmeübertrager <i>Échangeur de chaleur à plaques</i>	<p>Er besteht aus profilierten Platten, die so zusammengesetzt sind, dass jeweils in den aufeinanderfolgenden Zwischenräumen die beiden stofflich getrennten Strömungsmedien fließen.</p>
1.2.2.9	Rohrbündelwärmeübertrager <i>Échangeur de chaleur tubulaire</i>	<p>Er besteht aus einem Hohlzylinder, in dessen Innerem sich eine Vielzahl von Rohren (ein Rohrbündel) mit geringer Nennweite befindet. Der Wärmeaustausch findet zwischen dem Strömungsmedium innerhalb des Rohrbündels und dem Strömungsmedium ausserhalb des Rohrbündels (im Hohlzylinder) statt.</p>
1.2.2.10	Rückflussverhinderer <i>Clapet anti-retour</i>	<p>Bauteil, das den Durchfluss nur in einer Richtung erlaubt. Bei Umkehrung der Strömungsrichtung schliesst es selbsttätig.</p>

1.2.2.11	Sicherheitswärmeübertrager <i>Échangeur de chaleur avec détecteur de fuite</i>	Er gewährleistet dank einer zweiten Trennschicht (z.B. bei einem Rohrbündelwärmeübertrager durch ein Doppelrohr mit Drucküberwachung) eine verbesserte und überwachbare Sicherheit vor Leckagen.
1.2.2.12	Strömungsmantelrohr <i>Chemise de refroidissement</i>	Mantelrohr um das Gehäuse der Unterwasserpumpe. Die Strömung im Mantelrohr gewährleistet die Kühlung des Motors.
1.2.2.13	Volumenstrom (der Zirkulation) <i>Débit volumique</i> q_v $m^3/s, l/min$	Volumen eines Stoffes, das je Zeiteinheit eine festgelegte Fläche durchfließt; hier: im Entnahmebrunnen gefördertes Wasservolumen pro Zeiteinheit.
1.2.2.14	Wärmeübertrager <i>Échangeur de chaleur</i>	Vorrichtung zur Übertragung von Wärme von einem Medium auf ein anderes.
1.2.2.15	Wasserkreislauf <i>Circuit extérieur d'eau de nappe</i>	Kreislauf zwischen Grundwasserentnahme und -rückgabe.
1.2.2.16	Zwischenkreislauf <i>Circuit intérieur de fluide réfrigérant</i>	Solekreislauf zwischen Grundwasserkreislauf und Wärmepumpe oder Kältemaschine.

1.3 Symbole, Begriffe und Einheiten

Symbol	Begriff	Einheit
D	Abstand der Rückgabe von der Entnahme	m
H	Distanz zwischen Grundwasserstauer und Grundwasserspiegel bzw. Druckspiegel, im Ruhezustand; in ungespannten Verhältnissen entspricht H der Grundwassermächtigkeit	m
H_c	Druckspiegelhöhe	m
H_u	Grundwasserspiegelhöhe	m
K	hydraulische Leitfähigkeit, K -Wert	m/s
M	Grundwassermächtigkeit	m
R	Entfernung, Distanz vom Brunnenzentrum	m
S	Speicherkoeffizient	–
$W(u)$	Brunnenfunktion; Exponentialintegral	–
c	Hilfsvariable	–
c_a	spezifische Wärmekapazität des Grundwasserleiters	J/(kg·K)
c_r	spezifische Wärmekapazität des Gesteins	J/(kg·K)
c_w	spezifische Wärmekapazität des Wassers	J/(kg·K)
$erfc$	komplementäre Errorfunktion	–
$grad(h)$	hydraulischer Gradient	m/m
h	Distanz zwischen Grundwasserstauer und Grundwasserspiegel bzw. Druckspiegel im Betriebszustand	m
h_c	Betriebsdruckspiegelhöhe	m
$h_{c,0}$	Ruhedruckspiegelhöhe	m
h_u	Betriebswasserspiegelhöhe	m
$h_{u,0}$	Ruhewasserspiegelhöhe	m
n	Porosität	–
q_{adm}	zulässige Förderrate	$m^3/s, l/min$
q_c	Fassungsvermögen (eines Brunnens)	$m^3/s, l/min$
q_e	Wasserandrang	$m^3/s, l/min$
q_{req}	erforderlicher Volumenstrom	$m^3/s, l/min$

Symbol	Begriff	Einheit
q_V	Volumenstrom	m ³ /s, l/min
r	Entfernung, Distanz	m
r_w	Radius der Bohrung	m
t	Zeit	s
t_b	Durchbruchzeit	s
v_D	Darcygeschwindigkeit	m/s
y	Koordinate	m
Δh	Aufhöhung oder Absenkung des Wasser- oder Druckspiegels	m
ΔT	Temperaturänderung des Grundwassers	K
Θ_0	(ungestörte) Grundwassertemperatur	°C
Θ_G	Temperatur der Bodenoberfläche	°C
Θ_i	Rückgabtemperatur	°C
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
ρ_a	Dichte des Grundwasserleiters	kg/m ³
ρ_r	Dichte des Gesteins	kg/m ³
ρ_w	Dichte des Wassers	kg/m ³
τ	Fließzeit eines «temperaturbeladenen» Wasserteilchens	s
Φ_C	Leistung der Direktkühlung	W
Φ_e	Verdampferleistung, Kälteleistung	W
Φ_H	Heizwärmeleistung	W

1.4 Indizes

Index	deutsch	englisch	französisch
C	Kühlung	cooling	refroidissement
D	Darcy	Darcian	Darcy
G	Erdreich	ground	terrain
H	Heizung	heating	chauffage
V	Volumen	volume	volume
a	Grundwasserleiter	aquifer	aquifère
adm	zulässig	admissible	disponible
b	Durchbruch	breakthrough	percée
c	Fassung	collector	collecteur
dis	Verteilung	distribution	distribution
e	Verdampfung	evaporation	évaporation
e	Andrang	encroachment	disponible
gen	Erzeugung	generation	production
i	Rückgabe	injection	restitution
r	Gestein	rock	roche
req	erforderlich	required	requis
w	Wasser	water	eau
w	Brunnen	well	puits
Δ	Differenz	difference	différence
0	ungestört, Bezug	reference	niveau statique, de référence

2 PROJEKTIERUNG

2.1 Allgemeines

- 2.1.1 Bei der Projektierung der Anlage zur Grundwasserwärmenutzung ist das Gesamtsystem in die Planung einzubeziehen.
- 2.1.2 Bei der Projektierung müssen beachtet werden:
- der Bedarf (Ziffer 2.2),
 - die Zulässigkeit gemäss Vorgaben der kantonalen Bewilligungsbehörden (Ziffer 2.3),
 - behördliche Vorgaben bezüglich Ausführung, Ausrüstung und Überwachung,
 - behördliche Einschränkungen bezüglich Entnahmemenge, Volumenstrom und Temperatur,
 - die hydrogeologische Eignung des Standorts (Ziffer 2.5),
 - die standortspezifischen Möglichkeiten für die Rückgabe (Versickerung oder Rückgabebrunnen),
 - die chemische Beschaffenheit des Grundwassers (Ziffer 2.5.4),
 - das Platzangebot auf dem Projektareal,
 - bestehende benachbarte Grundwassernutzungen (thermische, Trinkwasser und Brauchwasser),
 - die Auswirkungen der Veränderung der Grundwasserverhältnisse (Rechte Dritter),
 - belastete Standorte beim Bohrstandort und im Umfeld.
- 2.1.3 Die wichtigsten Prozessschritte zur Planung und Ausführung der Anlage und der allgemeine Entscheidungsweg sind in Anhang A zusammengefasst.

2.2 Nutzungsarten

2.2.1 Allgemein

- 2.2.1.1 Grundwasser-Wärmenutzungsanlagen können prinzipiell sowohl zu Heizzwecken als auch zu Kühlzwecken genutzt werden. Im ersten Fall wird dem Grundwasser im Untergrund Wärme entzogen (Wärmeentzug); im zweiten Fall wird Wärme ins Grundwasser abgegeben (Wärmeeintrag).
- 2.2.1.2 Grundwasser-Wärmenutzungsanlagen mit Wärmeentzug ermöglichen Nutzungen wie Raumheizung, Trink- und Betriebswassererwärmung, Lüftung (Vorwärmung) und Sonderanwendungen (Schwimmbad, Aussenflächenheizung, Industrieprozesse usw.).
- 2.2.1.3 Grundwasser-Wärmenutzungsanlagen mit Wärmeeintrag ermöglichen Nutzungen wie Aufnahme von Wärme oder Abwärme aus Raumkühlung, Lüftung, Industrieprozessen oder Luftentfeuchtung.
- 2.2.1.4 Die Grundwasserwärmenutzung kann je nach Bedarf mit oder ohne zusätzliche thermische Veränderung (Wärmepumpe oder Kältemaschine) erfolgen.
- 2.2.1.5 Die Wärmeübertragung vom Grundwasser kann sowohl direkt als auch indirekt (mit einem Zwischenkreislauf) erfolgen (siehe 4.5.1).
- 2.2.1.6 Die Dimensionierung der Grundwasser-Wärmenutzungsanlage muss so erfolgen, dass die erforderlichen Leistungen und Energiemengen für Heizen und Kühlen über die gesamte Lebensdauer der Anlage bereitgestellt werden können. Dies kann mehrere Wärmepumpen- oder Kältemaschinengenerationen umfassen.

2.2.2 Leistung

- 2.2.2.1 Für die Dimensionierung der Grundwasser-Wärmenutzungsanlage dienen die Spitzenwerte des Wärmeleistungsbedarfs der Heizungsanlage und der Warmwasserversorgung bzw. des Kältebedarfs der Klimaanlage.

- 2.2.2.2 Die Wärmeerzeugung ist nach SIA 384/1 zu dimensionieren. Bei monovalenten und bivalenten Wärmepumpenanlagen muss die Grundwasser-Wärmenutzungsanlage für die maximale Verdampferleistung der Wärmepumpe dimensioniert werden. Bei nicht klimatisierten Gebäuden wird der Wärmeleistungsbedarf der Heizungsanlage gemäss SIA 384.201 und der Wärmeleistungsbedarf der Warmwasserversorgung gemäss SIA 385/2 berechnet.
- 2.2.2.3 Bei Gebäuden, die klimatisierte Räume enthalten, wird der Wärmeleistungsbedarf der Heizungsanlage und der Warmwasserversorgung sowie der Kälteleistungsbedarf mit SIA 382/2 und SIA 2044 berechnet. Wenn keine genaueren Angaben vorhanden sind, können die Raumnutzungsdaten gemäss SIA 2024 verwendet werden.
- 2.2.3 **Bedarfsprofil**
- 2.2.3.1 Für eine Abschätzung der Rezirkulation und der Beeinflussung des Grundwasserleiters sowie benachbarter Grundwassernutzungen ist ein Jahres-Bedarfsprofil (Wärme- und Kühlenergie) erforderlich.
- 2.2.3.2 Bei Gebäuden ohne klimatisierte Räume wird der jährliche Wärmebedarf der Heizungsanlage und der Warmwasserversorgung und die Laufzeit der Wärmepumpe gemäss SIA 384/3 berechnet. Der Wärmebedarf, der Energiebedarf und die Laufzeit können auf Basis dieser Berechnung in Funktion der Aussentemperatur dargestellt werden.
- 2.2.3.3 Bei Gebäuden mit klimatisierten Räumen wird der Wärmebedarf der Heizungsanlage und der Warmwasserversorgung sowie der Kältebedarf der Klimaanlage gemäss SIA 382/2 und SIA 2044 berechnet. Wenn keine genaueren Angaben vorliegen, können die Raumnutzungsdaten gemäss SIA 2024 verwendet werden. Je nach Erfordernissen können auf Basis dieser Berechnung der Energiebedarf und die Laufzeiten der Wärmepumpe in Funktion der Zeit (Tagesgang, Jahresgang) oder der Aussentemperatur dargestellt werden.

2.3 Wasserrecht, Grundwasserschutz und Bewilligungsverfahren

2.3.1 Wasserrecht

- 2.3.1.1 Wasserrechtliche Fragen werden durch kantonale Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Wasser-nutzungs- und Energiekonzepte geregelt.
- 2.3.1.2 Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Grundwasserwärmenutzung erfordern kantonale gewässerschutzrechtliche Bewilligungen und/oder eine wasserrechtliche Konzession. Auf die Erteilung einer Konzession besteht kein Rechtsanspruch.

2.3.2 Grundwasserschutz

- 2.3.2.1 Der Schutz des Grundwassers hat Vorrang gegenüber der Grundwasserwärmenutzung.
- 2.3.2.2 Vorschriften zum Grundwasserschutz finden sich in eidgenössischen und kantonalen Gesetzen, Verordnungen, Reglementen und Richtlinien.
- 2.3.2.3 Nachfolgend sind die wichtigsten Rahmenbedingungen zu Planung, Auslegung, Ausführung, Unterhalt und Stilllegung der Anlagen zusammengefasst:
- Für die Auslegung der anlagenseitigen Temperaturspreizung müssen die thermischen Auswirkungen auf den Grundwasserleiter berücksichtigt werden.
 - Die Temperatur des Grundwassers im Grundwasserleiter darf gegenüber der natürlichen saisonalen Temperatur grossräumig um höchstens 3 K verändert werden. Im unmittelbaren Umkreis von maximal 100 m um den Rückgabestandort darf die Veränderung mehr als 3 K betragen.
 - Das thermisch veränderte Grundwasser muss vollständig in denselben Grundwasserleiter zurückgegeben werden, aus dem es entnommen wurde. Die Bewilligungsbehörde kann Ausnahmen gewähren.
 - Das genutzte Grundwasser muss, abgesehen von einer thermischen Veränderung, chemisch unverändert in den Grundwasserleiter zurückgegeben werden.

- Die Bewilligungsbehörde kann vorschreiben, ob eine direkte Nutzung erfolgen kann oder eine indirekte Nutzung mit Zwischenkreislauf vorzusehen ist (siehe 4.5.1).
- Die Bewilligungs- oder Meldepflicht für Erkundungsbohrungen, Pumpversuche, Unterhalts- und Regenerationsmassnahmen an Brunnen und die Stilllegung von Anlagen muss vorgängig abgeklärt werden.

2.3.2.4 Wenn die Grundwasserwärmenutzung mit verunreinigtem Grundwasser betrieben werden soll, gelten besondere Anforderungen, die mit der Behörde abgestimmt werden müssen.

2.3.2.5 Wenn die Möglichkeit besteht, dass die geplante Grundwassernutzung einen belasteten Standort tangiert, sind in Abstimmung mit der Bewilligungsbehörde zusätzliche Abklärungen erforderlich.

2.4 Standortfaktoren

2.4.1 Die hydrogeologischen und hydrochemischen Voraussetzungen (siehe 2.5) sind standortspezifisch und müssen vor Ort untersucht werden.

2.4.2 Benachbarte Bauten, Anlagen, bestehende Grundwasserfassungen und bestehende Anlagen zur Grundwasserwärmenutzung müssen berücksichtigt werden.

2.4.3 Besonderheiten, z.B. belastete Standorte, müssen berücksichtigt werden (vgl. 2.3.2).

2.5 Hydrogeologische Voraussetzungen

2.5.1 Grundwasservorkommen

2.5.1.1 Die Eigenschaften des Grundwasserleiters sind für die technische Bemessung und Ausführung der Brunnenanlage wesentlich. Bei Lockergesteins-Grundwasserleitern sind die Korngrössenverteilung, das räumliche Gefüge und der Verkittungsgrad der Komponenten massgebend, bei Festgesteins-Grundwasserleitern sind es neben der Art der Poren vor allem die Anordnung, Häufigkeit und Öffnungsweite der Klüfte oder der Karsthohlräume. Daraus ergibt sich die hydraulische Leitfähigkeit (Durchlässigkeit) des Grundwasserleiters.

2.5.1.2 Das Grundwasservorkommen ist durch folgende Aspekte charakterisiert:

- die geometrische Ausdehnung und Mächtigkeit,
- allfällige Grundwasserstockwerke und Schichtaufbau im Grundwasserleiter,
- die hydraulische Leitfähigkeit,
- den Grundwasserspiegel bei ungespanntem Grundwasser oder den Druckspiegel bei gespanntem Grundwasser (mittlerer Grundwasserstand sowie jahreszeitliche und witterungsbedingte Schwankungen),
- den hydraulischen Gradienten,
- die Fliessrichtung und die Fliessgeschwindigkeit,
- die Zuströmverhältnisse und Grundwassererneuerung sowie die Abströmverhältnisse und Vorfluter,
- die nutzbare Grundwassermenge,
- die Grundwassertemperatur (Jahresmitteltemperatur und saisonale Schwankungen),
- die chemische Wasserbeschaffenheit.

2.5.1.3 Die hydraulische Leitfähigkeit variiert in verschiedenen Gesteinen um mehrere Grössenordnungen und kann auch innerhalb einheitlicher geologischer Einheiten und Schichten räumlich sehr heterogen verteilt sein. Die hydraulische Leitfähigkeit muss daher am Standort bekannt sein oder mit geeigneten Versuchsanordnungen erkundet werden (vgl. 2.6). Richtwerte für die hydraulische Leitfähigkeit von Lockergesteinen sind in E.1, Tabelle 3, aufgeführt. Annahmen aus E.1 ersetzen entsprechende Untersuchungen nicht.

2.5.2 **Grundwasserhydraulik**

- 2.5.2.1 Die Brunnenergiebigkeit wird bei Lockergesteins-Grundwasserleitern durch die nutzbare Grundwassermächtigkeit und die hydraulische Leitfähigkeit des Grundwasserleiters bestimmt. Bei Kluft- oder Karst-Grundwasserleitern sind die Transmissivitäten der Klüfte oder Hohlräume massgebend.
- 2.5.2.2 Für die erforderliche geodätische Förderhöhe der Pumpen und – unter Berücksichtigung von 2.5.2.1 – für die zur Förderung des Wassers erforderliche Leistung sind bei ungespannten Verhältnissen die Lage des Grundwasserspiegels und bei gespannten Verhältnissen der Druckspiegel von Bedeutung.
- 2.5.2.3 Saisonale und witterungsbedingte Schwankungen des Grundwasserspiegels sowie Einflüsse durch Grundwasserentnahmen müssen beachtet werden.

2.5.3 **Grundwassertemperatur**

- 2.5.3.1 Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Standorthöhe und der natürlichen Jahresmitteltemperatur des Grundwassers. Die Jahresmitteltemperatur der Bodenoberfläche kann mit empirischen Näherungsformeln abgeschätzt werden. In erster Näherung kann der Mittelwert der Grundwassertemperatur dem Mittelwert der Bodenoberflächentemperatur gleichgesetzt werden.
- 2.5.3.2 Oberflächennahes Grundwasser in städtischen Gebieten kann anthropogen erwärmt sein.
- 2.5.3.3 In Grundwasservorkommen mit einem geringen Flurabstand von wenigen Metern und/oder nahe bei Oberflächengewässern kann die Grundwassertemperatur saisonalen Schwankungen unterliegen.
- 2.5.3.4 Hohe Rückgabetemperaturen und grosse Temperaturunterschiede zwischen Entnahme und Rückgabe können Auswirkungen auf die Grundwasserbeschaffenheit haben und damit verbundene Alterungsprozesse bei den Anlagen beschleunigen (siehe 2.5.4 bzw. E.2).

2.5.4 **Grundwasserbeschaffenheit**

- 2.5.4.1 Die chemische und bakteriologische Wasserbeschaffenheit und der Feststoffgehalt im geförderten Wasser müssen bei der Planung und Bemessung, bei der Materialwahl, bei der Festlegung der Art und Häufigkeit von Kontrollen und bei Unterhalts- und Regenerationsmassnahmen beachtet werden.
- 2.5.4.2 Bei einer ungünstigen Wasserbeschaffenheit können die Machbarkeit einer Anlage in Frage gestellt oder deren Lebensdauer eingeschränkt sein. Es können zusätzliche bauliche Anforderungen und ein erhöhter Aufwand für Unterhalt und Regeneration erforderlich sein.
- 2.5.4.3 Eine Beschreibung relevanter chemisch-biologischer Prozesse und deren Einfluss auf die Beschaffenheit des zu nutzenden Grundwassers enthält E.2.
- 2.5.4.4 Ergeben sich aus Erkundungen, Analysen oder Erfahrungen benachbarter Anlagen der Grundwassernutzung im gleichen Grundwasserleiter Hinweise zur Gefährdung durch Verockerung, Versinterung, Korrosion oder Verschleimung, müssen Wasserproben vom Standort analysiert werden. Wesentliche Parameter sind: pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Eisengehalt, Mangangehalt, Chlorid-, Nitrat- und Sulfatgehalt und Gehalt an Hydrogenkarbonat.
- 2.5.4.5 Ein erhöhtes Risiko für Verockerung (siehe E.2) besteht bei:
- reduzierenden Grundwasserverhältnissen,
 - gelöstem Eisen und Mangan,
 - erhöhtem Anteil an organischem Material (z.B. Torf) im Grundwasserleiter,
 - Vermischung in Entnahme- oder Rückgabeeinrichtung von sauerstoffhaltigem Grundwasser mit reduziertem, eisen- und manganhaltigem Grundwasser,
 - schwankender Wasserbeschaffenheit z.B. im Bereich von Stauanlagen.

- 2.5.4.6 Ein erhöhtes Risiko für Versinterung (siehe E.2) besteht bei:
- Grundwasser aus gespannten Grundwasserleitern oder tiefen Schichten des Grundwasserleiters, in welchen der CO₂-Partialdruck gegenüber der Atmosphäre erhöht ist und kein natürlicher Gasaustausch mit der Oberfläche über die Porenluft der ungesättigten Zone stattfinden kann.
 - Kühlbetrieb mit hohen Rückgabetemperaturen bzw. hohen anlagenseitigen Temperaturunterschieden zwischen Entnahme und Rückgabe.
- 2.5.4.7 Ein erhöhtes Risiko für Korrosion (siehe E.2 und Anhang G) besteht bei Grundwasser mit:
- freier Kohlensäure,
 - erhöhtem Chloridgehalt,
 - erhöhtem Sulfatgehalt,
 - erhöhtem Eisen- und Mangangehalt,
 - vollständiger Sauerstofffreiheit oder auch sehr hohem Sauerstoffgehalt,
 - gelösten Gasen (H₂S).

2.6 Hydrogeologische Standorterkundung

2.6.1 Allgemeines

2.6.1.1 Für die Prüfung und den Nachweis der technischen Machbarkeit und der Genehmigungsfähigkeit durch die Bewilligungsbehörde sowie für die Bereitstellung der Grundlagendaten für die Bemessung und Ausführung der Anlagen muss eine hydrogeologische Standorterkundung durchgeführt werden.

2.6.1.2 Untersuchungsmethodik, Bearbeitungstiefe und Umfang der Untersuchungen richten sich nach den Erfordernissen des Standorts, nach dem Stand der Technik und nach Weisung der Bewilligungsbehörde.

2.6.1.3 Die hydrogeologische Erkundung sollte in Abhängigkeit vom Projektstand stufenweise vorgenommen werden:

- Erstbewertung der Machbarkeit aufgrund bestehender Unterlagen und Anfragen bei Bewilligungsbehörden.
- Hydrogeologische Charakterisierung des hydraulischen, chemischen und thermischen Ausgangszustands des Grundwasserleiters am Standort und im Umfeld.
- Erhebung der für die Bemessung der Anlage relevanten hydraulischen, thermischen und chemischen Parameter.
- Ermittlung bestehender Grundwassernutzungen mit möglichen Wechselwirkungen (hydraulisch, thermisch) sowie anthropogene Beeinträchtigungen des Grundwassers.
- Prognose der Feldergiebigkeit des Grundwasserleiters und des thermischen Potenzials.
- Bestimmung der hydrogeologisch günstigsten Standorte für Entnahmebrunnen und Rückgabeanlage.
- Abschätzung der Auswirkungen auf den Grundwasserleiter und auf bestehende Anlagen und Nutzungen.
- Nachweis der Machbarkeit der Anlage in technischer, grundwasserhydraulischer und hydrochemischer Hinsicht.

Im Laufe der Bauausführung müssen die hydrogeologischen Eigenschaften, die Beschaffenheit des Untergrunds und die der Projektierung zugrunde liegenden hydrogeologischen Daten laufend überprüft und das Konzept und die Bemessung der Anlage den neu gewonnenen Erkenntnissen angepasst werden.

2.6.1.4 Die Erkundung ist an die Anforderungen des Projekts anzupassen. Sie kann folgende Bestandteile umfassen:

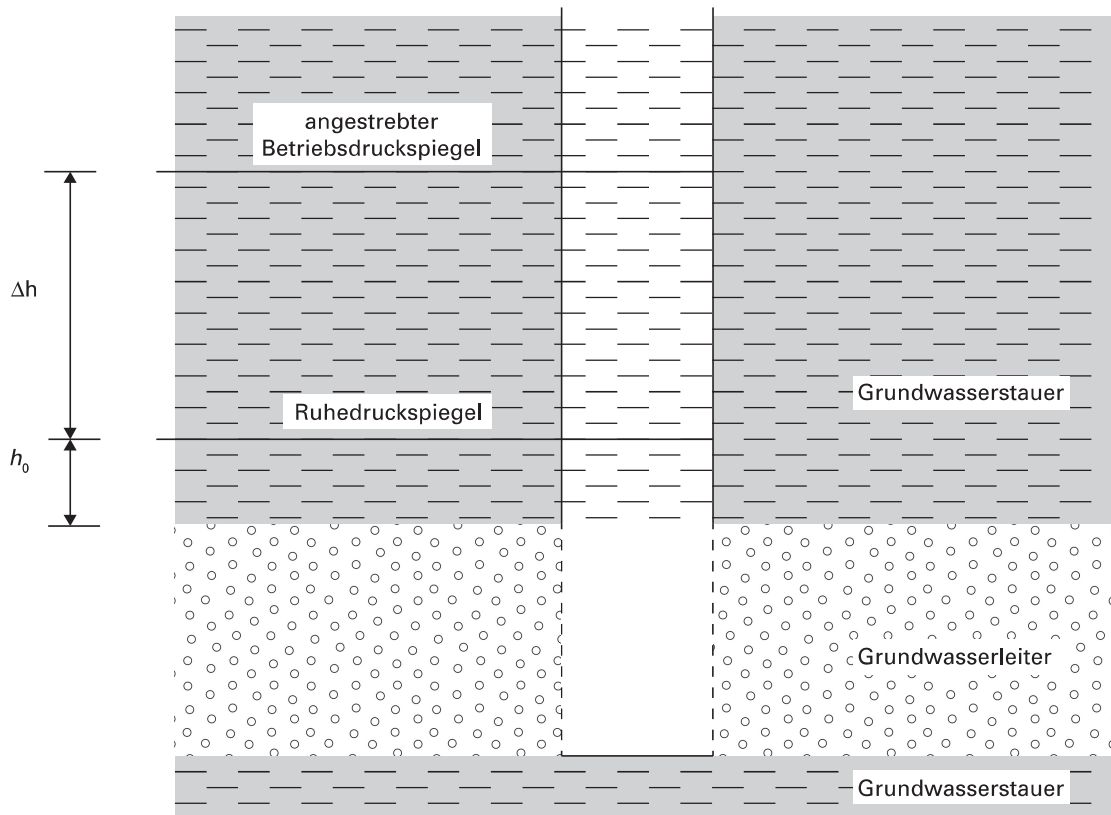
- Sammlung und Auswertung bestehender Unterlagen,
- hydrogeologische Felderkundung und geophysikalische Erkundung,
- Feld- und Laborerhebungen für Temperaturmessungen, Grundwasserprobenahmen und chemische Wasseranalysen,
- Ausführung einer oder mehrerer geologischer Erkundungsbohrungen und Erstellung von Versuchsbrunnen,
- Durchführung von hydraulischen Tests an bestehenden und neu erstellten Versuchsbrunnen bzw. Rückgabeanlagen,
- Grundwassermodellierung (hydrodynamisch, thermisch).

- 2.6.1.5 Folgende Datenquellen sollten zur Erkundung verwendet werden:
- geologische Karten,
 - hydrogeologische Karten,
 - kantonale Grundwasserkarten,
 - kantonale Gewässerschutzkarten,
 - kantonale Karten der Eignung oder Zulässigkeit von Anlagen zur Grundwasserwärmenutzung (Wärmenutzungspläne),
 - allfällige Grundwasserströmungs- und Transportmodelle,
 - hydrogeologische und technische Unterlagen zu bestehenden Grundwassernutzungen (Konzession),
 - bestehende Untergrundaufschlüsse (Sondierdatenbanken, Archive der Kantone usw.),
 - Karten und Archivunterlagen zu belasteten Standorten bei kantonalen Behörden,
 - bestehende geophysikalische Untersuchungen,
 - verfügbare Daten von Sondierbohrungen und Pumpversuchen.
- 2.6.1.6 Die Ergebnisse der Standorterkundung müssen in einem hydrogeologischen Bericht dokumentiert werden. Die Minimalanforderungen an den Bericht sind mit der Bewilligungsbehörde abzusprechen. Für diesen Bericht gilt:
- Fakten und Beurteilungen müssen klar voneinander getrennt werden. Bei hydrogeologischen Daten ist die Zuverlässigkeit der Wertbestimmung anzugeben, insbesondere ob es sich dabei um Versuchswerte, Erfahrungswerte, Schätzungen oder Vermutungen handelt.
 - Auf Lücken in den zur Verfügung stehenden Informationen und auf eine allfällige Unvollständigkeit der Daten ist hinzuweisen. Bei lückenhaften hydrogeologischen Informationen sind ergänzende Abklärungen und Untersuchungen vorzuschlagen.
 - Auf bestehende Unsicherheiten und Risiken bezüglich Machbarkeit, Bau und Betrieb der Anlage ist hinzuweisen.
- 2.6.2 **Erkundungsbohrungen (Versuchsbrunnen)**
- 2.6.2.1 Mit Erkundungsbohrungen werden der Schichtaufbau und die räumliche Struktur des Untergrunds sowie die physikalischen und hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters ermittelt. Für die Durchführung von hydraulischen und hydrochemischen Untersuchungen müssen Erkundungsbohrungen (Versuchsbrunnen) mit einem Filterrohr ausgebaut werden.
- 2.6.2.2 Ein Versuchsbrunnen kann bei günstigem Befund und geeignetem Ausbau als definitiver Brunnen verwendet werden.
- 2.6.2.3 Erkundungsbohrungen müssen die Erkennung, Beschreibung und Dokumentation aller für die Anlage hydraulisch und hydrochemisch relevanten Schichten im erschlossenen Untergrund ermöglichen. Diese umfassen die ungesättigten Deckschichten, die grundwasserführenden Schichten und die darüber und dazwischen liegenden Stauerschichten. In der Erkundungsbohrung müssen insbesondere jene Schichten erkannt und beschrieben werden können, welche besondere Anforderungen an Ausführung, Betrieb und Stilllegung der definitiven Anlage stellen (z.B. Risiko Sandführung, ungünstige chemische Wasserbeschaffenheit).
- 2.6.2.4 Für die Bemessung, Ausführung und Stilllegung von Erkundungsbohrungen (Versuchsbrunnen) gelten dieselben Anforderungen wie für definitive Brunnenanlagen gemäss Kapitel 3, 4, 5 und 6.
- 2.6.2.5 Die Bohrmethode und die Bohrtiefe müssen verlässliche Aussagen über die Beschaffenheit des Untergrunds bis einige Meter unter die Unterkante der geplanten definitiven Brunnen ermöglichen.
- 2.6.2.6 Die Bohrmethode muss an die Anforderungen und Gegebenheiten des Projekts und an die hydrogeologischen Standortfaktoren angepasst sein. In Lockergesteins-Grundwasserleitern ist eine vollständige Kerngewinnung z.B. mit einer Rotationskernbohrung über die gesamte Bohrtiefe erforderlich. Bei guten Vorkenntnissen über den Untergrundaufbau kann auf eine vollständige Kerngewinnung verzichtet werden, und es können destruktive Bohrmethoden angewendet werden. Bei Bohrungen im Fels können destruktive Bohrmethoden angewendet werden.
- 2.6.2.7 Bei Bohrungen in Lockergesteinen müssen die geologischen Ergebnisse und das Schichtprofil mit der Gesteinsbeschreibung gemäss SN EN ISO 14688-1, SN 670009 und SN 640034 dargestellt und beschrieben werden. Bei Bohrungen im Fels gilt zusätzlich SN EN ISO 14689-1.

2.6.3 **Hydraulische Tests: Pump- und Versickerungsversuche**

- 2.6.3.1 Leistungspumpversuche dienen der Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit des Grundwasserleiters im nahen Umfeld des Brunnens und der Ermittlung der hydraulischen Brunnenleistung. Sie werden sowohl in Versuchsbrunnen als auch in den definitiven Entnahme- und Rückgabebrunnen durchgeführt.
- 2.6.3.2 Mit einem Leistungspumpversuch wird die Brunnencharakteristik bestimmt. Sie dient der Ermittlung und dem Nachweis der Brunnenleistung zum Zeitpunkt des Versuchs. Der Versuch muss nach der Entsandung des Brunnens durchgeführt werden.
- 2.6.3.3 Leistungspumpversuche müssen in mehreren Stufen mit zunehmender Förderleistung ausgeführt werden. Dabei sollte die höchste Förderstufe mindestens das 1,5-Fache des angestrebten Volumensstroms des Brunnens bzw. die realisierbare Förderleistung gemäss 3.3.1.6 betragen.
- 2.6.3.4 Im Zuge von Pumpversuchen sollten auch Grundwasserproben zur Ermittlung der Wasserbeschaffenheit gewonnen und die Grundwassertemperatur gemessen werden.
- 2.6.3.5 Bei komplexem, stark geschichtetem Untergrundaufbau sollte eine präzisere Bestimmung der schichtweisen hydraulischen Leitfähigkeit und die Identifikation der stärker wasserführenden Schichten und der Stauerschichten erfolgen. Dazu können Flowmeter-Messungen vorgesehen werden.
- 2.6.3.6 Für den Fall, wo bei Rückgabebrunnen aus Pumpversuchen nicht auf die Schluckfähigkeit geschlossen werden kann, müssen Auffüllversuche durchgeführt werden. Dies ist der Fall wenn:
- bei ungespanntem Grundwasser die angestrebte Aufhöhung des Wasserspiegels im Rückgabebrunnen gegenüber dem Ruhezustand mehr als 50% der nutzbaren Grundwassermächtigkeit beträgt;
 - bei gespanntem Grundwasser die angestrebte Aufhöhung des Druckspiegels im Rückgabebrunnen Δh höher ist als die Ruhedruckhöhe h_0 an der Oberkante des Grundwasserleiters im Ruhezustand (Figur 3).

Figur 3 Schemaskizze zur Prüfung der Schluckfähigkeit eines Rückgabebrunnens bei gespanntem Grundwasser. Ist die angestrebte Aufhöhung des Druckspiegels Δh höher als die Ruhedruckhöhe h_0 , muss an Stelle eines Pumpversuchs ein Auffüllversuch durchgeführt werden.



2.6.3.7 Zur Planung und Bemessung einer Wasserrückgabe in eine Versickerungsanlage im ungesättigten Untergrund muss ein Versuch zur Ermittlung der Sickerleistung durchgeführt werden. Im Rahmen der Standorterkundung kann die Durchführung in einem offenen Graben (Baggerschacht oder Ähnliches) erfolgen, dessen geometrische Abmessungen gut definiert sind.

2.6.3.8 Wenn der Nachweis der Feldergiebigkeit des Grundwasserleiters erforderlich ist, muss ein Langzeitpumpversuch durchgeführt werden. Bei vollständiger Wasserrückgabe im selben Grundwassergebiet ist dagegen die Rezirkulation gemäss 3.6 zu beurteilen.

2.6.3.9 Die Resultate der Leistungs- oder Langzeitpumpversuche sind grafisch auszuwerten und zum Zweck der Nachvollziehbarkeit der Resultate in den Schlussbericht zu integrieren.

2.6.4 Bestimmung der Grundwassertemperatur

2.6.4.1 Für die Erstbewertung der Machbarkeit sind Abschätzungen der Jahresmitteltemperatur des Bodens aus der Standorthöhe gemäss SIA 384/6, Anhang C.2.3, oder Erfahrungswerte aus Messstellen in einem vergleichbaren hydrogeologischen Umfeld in der Region ausreichend.

2.6.4.2 Zur Bemessung muss die Grundwassertemperatur entweder im Pumpversuch oder in einem bestehenden Pegel bestimmt werden.

2.6.4.3 Bei saisonal stark schwankenden Grundwassertemperaturen müssen mehrmals im Jahr Erhebungen durchgeführt werden.

2.6.5 **Bestimmung der Grundwasserbeschaffenheit**

2.6.5.1 Die Methodik für Probenahme und Analytik von Wasserproben richtet sich nach dem Stand der Technik [4]. Die Probenahme muss mittels Pumpen nach ausreichendem Vorpumpen erfolgen. Die Beprobung muss protokolliert werden und Angaben über Ruhewasserspiegel, abgesenkten Wasserspiegel, Vorpumpmenge, Volumenstrom, physikalisch-chemische Vor-Ort-Messungen usw. enthalten.

2.6.5.2 Bei Probenahme und Pumpversuchen in Brunnen sollten die nachfolgenden Parameter vor Ort erhoben werden:

- organoleptische (Sinnes-)Prüfung (Geruch, Geschmack und Farbe),
- Trübung,
- pH-Wert,
- gelöster Sauerstoff (O₂-Gehalt in mg/l oder Sättigung in %),
- elektrische Leitfähigkeit (bei Referenztemperatur 25 °C),
- Redox-Potenzial.

Bei der Interpretation sollten saisonale Schwankungen berücksichtigt werden.

2.6.5.3 Bei Nutzung mehrerer Grundwasserstockwerke und bei Entnahme und Rückgabe in getrennten Stockwerken muss die Verträglichkeit (Chemismus) geprüft werden. Es muss eine getrennte Beprobung vorgenommen werden.

2.6.5.4 Vertiefte Abklärungen bezüglich der Wasserbeschaffenheit müssen durchgeführt werden, wenn:

- die allgemeinen Kenntnisse über die hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnisse des Grundwasserleiters unsicher sind,
- hohe Rückgabetemperaturen vorliegen bzw. die Temperaturdifferenz zwischen Entnahme und Rückgabe mehr als 10 K beträgt,
- bei bestehenden, ähnlichen Anlagen in der Nachbarschaft Probleme im Zusammenhang mit der Wasserbeschaffenheit aufgetreten sind,
- Anlagen im Einflussbereich belasteter Standorte vorgesehen sind,
- einer oder mehrere der unter 2.5.4 aufgeführten Risikofaktoren vorliegen.

3 BERECHNUNG UND AUSLEGUNG

3.1 Allgemeines

- 3.1.1 Die Grundwasserwärmenutzung beeinflusst die hydraulischen und thermischen Verhältnisse im Grundwasserleiter und eventuell in angrenzenden Schichten. Zur Auslegung und Planung von Anlagen ist diese Beeinflussung zu prognostizieren. Diese Beeinflussung ist komplex, von einer Vielzahl hydrogeologischer, thermophysikalischer und verfahrenstechnischer Grössen und von der Zeit abhängig.
- 3.1.2 Die Erstbemessung und -auslegung der Anlage kann anhand von vereinfachenden Berechnungsgrundsätzen ausgeführt werden. Die dazu erforderlichen Gleichungen sind in F.2 zusammengestellt.
- 3.1.3 Ergibt die Erstbemessung, dass die Machbarkeit der Anlage unter Berücksichtigung der entsprechenden Unsicherheit nicht gewährleistet ist, müssen zur Bemessung vertiefte Erkundungsmassnahmen (siehe 2.6) und, wenn nötig, detaillierte Berechnungen und Modellierungen herangezogen werden (Spezifikation der Modellrechnungen in F.4). Wenn vorhanden, sollten kantonale Grundwassermodelle beachtet werden.

3.2 Grundlegende Anforderungen an die Dimensionierung der Grundwassernutzung

- 3.2.1 Grundlage der Dimensionierung des Grundwasserkreislaufs ist der Leistungsbedarf (Heiz- bzw. Kälteleistung) gemäss 2.2.2 am Verdampfer bzw. Wärmeübertrager.
- 3.2.2 Die Heiz- und Kälteleistung am Verdampfer bzw. Wärmeübertrager bestimmt bei Annahme einer Temperaturänderung des Grundwassers um ΔT den erforderlichen Volumenstrom der Zirkulation von Entnahme und Rückgabe q_{req} ; ein mögliches Verfahren ist in F.2.2.1 aufgeführt.
- 3.2.3 Je grösser die mögliche Temperaturänderung ΔT , umso kleiner kann der Volumenstrom q_{req} sein, um die gleiche Leistung zu gewährleisten.
- 3.2.4 Für eine gesamtenergetische Betrachtung oder Optimierung sollte das Temperaturniveau des Grundwassers und der Aufwand bzw. die Kosten für die Entnahme und Rückgabe (Volumenstrom) betrachtet werden.
- 3.2.5 Die Temperaturänderung ΔT wird begrenzt durch die chemische Verträglichkeit (siehe 2.5) und gewässerschutz- und wasserrechtliche Vorschriften (siehe 2.3).
- 3.2.6 Der Volumenstrom q_V wird durch hydrogeologische Standortfaktoren (hydraulische Bemessung, 3.3) und Ergiebigkeit des Brunnens (technische Bemessung, 3.4) begrenzt.
- 3.2.7 Anhand der Beziehung zwischen Wärme- bzw. Kälteleistung, Grundwassermächtigkeit und hydraulischer Leitfähigkeit lässt sich abschätzen, welche hydraulische Leitfähigkeit der Grundwasserleiter bei einer bestimmten Mächtigkeit haben muss, um dem Grundwasser eine gewünschte Heiz- oder Kälteleistung am Verdampfer bzw. Wärmeübertrager zu entziehen. Die Beziehung ist in F.3, Figur 14, für ausgewählte Grundwassermächtigkeiten grafisch dargestellt.
- 3.2.8 Für die Bemessung der Anlagenkomponenten wie Förderpumpe, Rohrleitungen und Wärmeübertrager gelten die Bestimmungen für die Komponenten gemäss SIA 384/1. Weitere Vorgaben zur Projektierung der Gesamtanlagen geben die Richtlinien SWKI 92-1 und SWKI 2003-3. Das Handbuch [5] kann als umfassendes Hilfsmittel beigezogen werden.

3.3 Hydraulische Brunnenbemessung

3.3.1 Allgemein

3.3.1.1 Die nachfolgenden Grundlagen der hydraulischen Brunnenbemessung gelten für Entnahme- und Rückgabeburgen.

3.3.1.2 Massgeblicher Kennwert der hydraulischen Bemessung ist die hydraulische Leitfähigkeit des Grundwasserleiters. Ist der Wert der hydraulischen Leitfähigkeit am Standort nicht bekannt, muss er durch geeignete Erkundung (Tests, Pumpversuche) bestimmt werden (siehe 2.6).

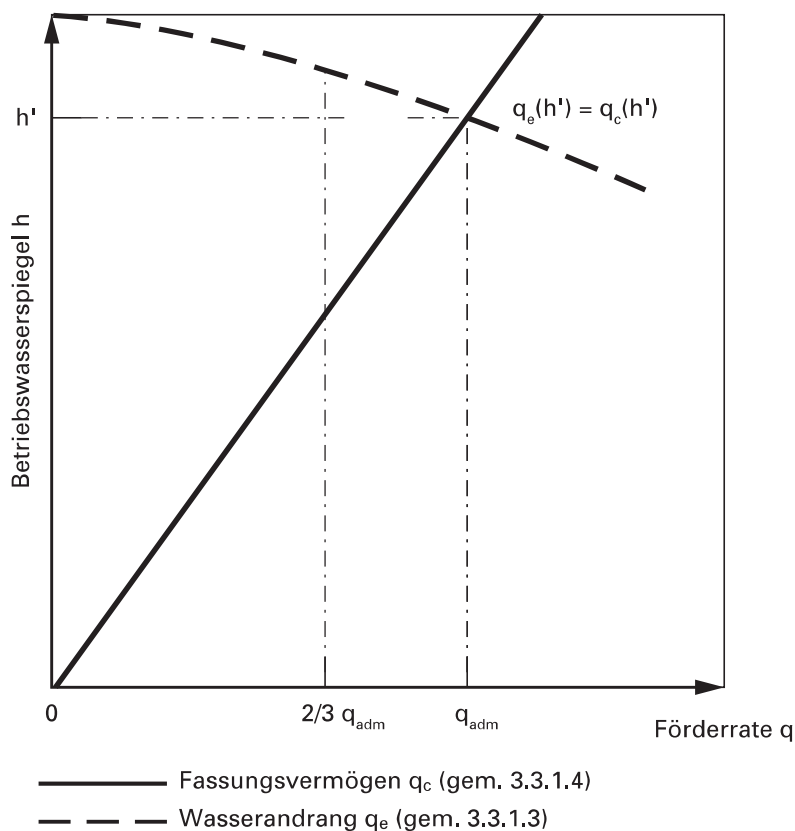
3.3.1.3 Die brunnenhydraulische Berechnungsformel für den förderbaren Volumenstrom eines Brunnens (Wasserandrang q_e nach Dupuit [6]) ist in F.2.3.1 aufgeführt. Dazu müssen folgende Grössen bekannt sein oder abgeschätzt werden:

- hydraulische Leitfähigkeit des Grundwasserleiters,
- Grundwassermächtigkeit,
- zulässige Absenkung im Entnahmebrunnen bzw. Aufhöhung bei der Rückgabe,
- hydraulisch wirksamer Brunnendurchmesser,
- Abstand des Rückgabebauwerks.

3.3.1.4 Das Fassungsvermögen eines Brunnens q_c wird bestimmt durch die hydraulische Leitfähigkeit, durch die mit dem Brunnen erschlossene Grundwassermächtigkeit des Grundwasserleiters und durch den Radius des Brunnens. Das Fassungsvermögen muss differenziert für ungespanntes und gespanntes Grundwasser gemäss Gleichungen in F.2.3.2 abgeschätzt werden.

3.3.1.5 Für die maximal zulässige Förderrate gilt: $q_{adm} = q_e(h') = q_c(h')$, siehe Figur 4.

Figur 4 Bestimmung der maximal zulässigen Förderrate q_{adm} eines Entnahmebrunnens in einem ungespannten Grundwasserleiter



3.3.1.6 Bei zunehmender Alterung des Brunnens (Kolmatierung usw.) kann das Fassungsvermögen abnehmen. Die realisierbare Förderrate darf deshalb nicht mehr als $2/3$ der maximal zulässigen Förderrate q_{adm} betragen.

3.3.1.7 Kann an einem Standort der erforderliche Volumenstrom q_{req} (gemäss 3.2.2) entsprechend den Kriterien 3.3.1.6, 3.3.2.2, 3.3.2.3 oder 3.3.2.4 nicht durch einen einzelnen Brunnen realisiert werden, müssen entsprechend mehrere Brunnen (und Rückgabebauwerke) erstellt werden. Der erforderliche Abstand zwischen den Pumpbrunnen bzw. zwischen den Rückgabeanlagen muss so gewählt werden, dass er die Hälfte der hydraulischen Reichweite nach Sichardt [7] (Gleichung in F.2.5.1) nicht unterschreitet. Ist dies aus baulichen oder Platzgründen nicht möglich, muss der rechnerische Nachweis für die zu erwartende Absenkung und Aufhöhung in jedem Brunnen unter Berücksichtigung der gesamten Anlage geführt werden.

3.3.2 **Absenkung und Aufhöhung**

3.3.2.1 Absenkung im Entnahmebrunnen und Aufhöhung im Rückgabebauwerk müssen vorgängig abgeschätzt werden. Sie stehen in einer einfachen Beziehung zu Volumenstrom, hydraulischer Leitfähigkeit, Grundwassermächtigkeit, Brunnendurchmesser und Abstand von Entnahme und Rückgabe (Gleichung in F.2.3.3). Diese Abschätzung vernachlässigt potenzielle Skineffekte im Brunnen. Eine Illustration für drei verschiedene Transmissivitäten gibt Figur 15 in F.3.

3.3.2.2 Für die zulässige Absenkung im Entnahmebrunnen muss Folgendes eingehalten werden: Bei maximaler Absenkung darf der Betriebswasserspiegel die Filteroberkante nicht unterschreiten. Bei gespanntem Grundwasser darf die Absenkung nicht zu teilungespannten Verhältnissen führen.

3.3.2.3 Für die zulässige Aufhöhung in einem Rückgabebrunnen muss der Betriebswasserspiegel unterhalb des Brunnenkopfes liegen. Anderenfalls müssen technische Massnahmen ergriffen werden.

3.3.2.4 Grundwasserabsenkung und -aufhöhung dürfen existierende Bauten und Anlagen nicht in unzulässiger Weise beeinflussen (zur Berechnung der Reichweite siehe 3.7.1).

3.4 **Technische Bemessung für Entnahmebrunnen**

3.4.1 Die technische Bemessung orientiert sich an den technischen Anforderungen für das Brunnenbauwerk und betrifft Pumpendurchmesser, Brunnenrohrdurchmesser, Ringraum, Bohrenddurchmesser und Brunnentiefe. Die Festlegung erfolgt iterativ gemäss 3.3.1.7 sowie 3.4.3. Die Wirtschaftlichkeit sollte dabei berücksichtigt werden.

3.4.2 Für die technische Bemessung des Entnahmebrunnens müssen der erforderliche Volumenstrom sowie die Abmessung aller im Brunnen einzubauenden Komponenten (Pumpe, Steigleitung, Rohrverbindungen) bekannt sein.

3.4.3 Zur Bemessung der Brunnentiefe, der Brunnenrohrdurchmesser und der Bohrdurchmesser müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- die für den angestrebten Volumenstrom notwendige erschlossene Grundwassermächtigkeit (3.3.1),
- der notwendige hydraulisch wirksame Durchmesser des Brunnens (3.3.1),
- der Flurabstand des Grundwasserspiegels bei ungespanntem Grundwasser bzw. die Mächtigkeit der unproduktiven Überdeckung bei gespanntem Grundwasser (2.5),
- die zulässige und zu erwartende Absenkung im Brunnen (3.3.1 und 3.3.2),
- allenfalls zusätzlich erforderliche Brunneneinbauten unterhalb der Filterstrecke, z.B. ein Schlamm-sack (4.2.3).

3.4.4 Der Filterausbau (Schlitz- oder Maschenweite) muss sicherstellen, dass die Anströmung nicht turbulent ist. Dazu ist die Filtereintrittsgeschwindigkeit auf max. 0,03 m/s zu begrenzen.

3.4.5 Schlitzweite und Korngrösse des Filterkieses richten sich nach der Korngrößenverteilung des anstehenden Untergrunds (siehe auch 4.2.4.5).

3.4.6 Der erforderliche Brunnenrohrdurchmesser muss den Einbau der Förderpumpen und die laminare Anströmung (siehe 3.4.4) gewährleisten.

- 3.4.7 Der Bohrenddurchmesser wird bestimmt durch den notwendigen Ringraumquerschnitt für die Ringraumverfüllung und ggf. Peilrohre. Dieser soll bei Kleinfiterbrunnen (mit einem Bohrenddurchmesser < 300 mm) mindestens das 1,5-Fache des Filterrohrdurchmessers, bei Grossbrunnen (Bohrenddurchmesser \geq 300 mm) mindestens das 1,2-Fache des Filterrohrdurchmessers betragen.

3.5 Technische Bemessung für Rückgabebrunnen und Versickerungsanlagen

- 3.5.1 Der Ausbau von Rückgabebrunnen orientiert sich an den technischen Anforderungen eines Entnahmebrunnens (siehe auch 4.6.2). Die Festlegung erfolgt iterativ gemäss 3.3.1.7 sowie 3.4.3.
- 3.5.2 Bei Versickerungsanlagen muss die Versickerungsfläche mindestens so gross sein wie der Quotient von zu versickerndem Volumenstrom in m^3/s und hydraulischer Leitfähigkeit der ungesättigten Untergrundschicht in m/s (siehe auch 2.6.3.6).
- 3.5.3 Alterungseffekte durch Kolmatierung und daraus resultierende abnehmende Schluckfähigkeit bei Rückgabebrunnen oder abnehmende Sickerfähigkeit bei Versickerungsanlagen müssen bei der Bemessung berücksichtigt werden (siehe auch 3.3.1.6).

3.6 Abstand zwischen Entnahme und Rückgabe

- 3.6.1 Die Lage der Rückgabeeanlage und ihr Abstand zum Entnahmebrunnen sind so zu wählen, dass kein thermischer Kurzschluss erfolgt und die Wassertemperatur im Entnahmebrunnen nicht nachteilig beeinflusst wird. Dies ist in der Regel gewährleistet, wenn die Rückgabe im Abstrom zur Entnahme erstellt wird.
- 3.6.2 Der erforderliche Abstand und die Anordnung der Anlagen sind abhängig von der natürlichen Fliessgeschwindigkeit, dem Volumenstrom, der Grundwassermächtigkeit und – untergeordnet – von der Porosität des Grundwasserleiters und den thermophysikalischen Stoffkennwerten des Gesteins und des Wassers (vereinfachte Berechnung in F.2.4.1, Diagramme zu Beispielen in F.3.4).
- 3.6.3 Bei komplexen hydrogeologischen Verhältnissen – z.B. stark geschichtetem Aufbau oder nahe von lateralen Berandungen – und/oder Betrachtungen von zeitlich veränderlichen (saisonalen) Regimes muss eine hydraulisch-thermische Modellierung durchgeführt werden; Anforderungen und Spezifikation der Modelle siehe F.4.

3.7 Abschätzung der hydraulischen und thermischen Reichweiten der Nutzung

- 3.7.1 Die Reichweite der hydraulischen Beeinflussung von Grundwasserentnahme und -rückgabe hängt massgeblich von der hydraulischen Leitfähigkeit des Grundwasserleiters ab (Abschätzung nach F.2.5.1).
- 3.7.2 Die Reichweite der thermischen Beeinflussung hängt ab von der natürlichen Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers, vom Volumenstrom, von der Grundwassermächtigkeit, die an der «Verdünnung» des thermisch veränderten Wassers teilhat, und von thermophysikalischen Stoffkennwerten des Wassers und des Gesteins. Diese Reichweite lässt sich näherungsweise für bestimmte Spezialfälle abschätzen (Gleichung siehe F.2.5.2, Beispiel in F.3.5).
- 3.7.3 Die Berechnung des abstromseitigen Temperaturfeldes im Grundwasser («Kalt- oder Warmwasserfahne») kann je nach Komplexität mit Näherungsberechnungen oder mit Grundwassermodellen (siehe F.4) erfolgen. Je nach Grundwasserumsatz und natürlichem Grundwasserstrom muss die Berechnung saisonal oder langfristig, d.h. für die Lebensdauer der Anlage, erfolgen.

- 4.1.5 Sämtliche Systemkomponenten müssen unschädlich für Mensch und Umwelt sein.
- 4.1.6 Sämtliche Systemkomponenten müssen frost- und betriebssicher eingebaut werden.
- 4.1.7 Eine Anlage für die Grundwasserwärmenutzung wird in einem geschlossenen Kreislauf ausgeführt.
- 4.1.8 Sowohl Entnahmebrunnen als auch Rückgabeeinrichtung müssen regenerierbar sein (siehe 5.6.1).
- 4.1.9 Sämtliche Systemkomponenten müssen so geplant werden, dass sie wieder rückgebaut oder fachgerecht stillgelegt werden können (Kapitel 6).
- 4.1.10 Alle Apparate, Armaturen und Rohrleitungen, die mit dem Grundwasser in Kontakt kommen, müssen gegen die auftretenden thermischen, chemischen und mechanischen Beanspruchungen resistent sein (siehe auch 2.5.4).
- 4.1.11 Die Anforderungen an Werkstoffe und Anlagenkomponenten sind abhängig von der Wasserqualität. Die Auswahl der Werkstoffe und Materialien richtet sich nach der Grundwasserbeschaffenheit (siehe 2.5.4, 2.6.5 sowie E.2 und Anhang G). Insbesondere sind die herstellerseitigen Grenzwerte bezüglich Materialwahl (Platten, Rohrbündel, Lot, Dichtung usw.) massgebend und für den Einsatz verbindlich.
- 4.1.12 Verockerung oder Verschleimung kann zu einer Verstopfung im Gesamtsystem führen. Diese tritt bevorzugt im Wärmeübertrager und in der Rückgabeeinrichtung auf.
- 4.1.13 Versinterung kann zu einer Verschlechterung des Wärmeübergangs und zur Verstopfung im Gesamtsystem führen. Sie tritt bevorzugt an der Förderpumpe und im Wärmeübertrager auf.
- 4.1.14 Korrosion an Eisenteilen kann zu Materialschwächung und zu deren Zerstörung oder auch zu einer Verstopfung führen. Korrosion infolge Kriechströmen (insbesondere in der Nähe von Eisenbahnen) ist zu beachten. Um Korrosion zu vermeiden, sind aufgrund der Wasserbeschaffenheit geeignete Materialien einzusetzen, die die geplante Lebenszeit der Anlage gemäss 4.1.4 gewährleisten.
- 4.1.15 Es muss berücksichtigt werden, dass sich sowohl die Wasserbeschaffenheit als auch der Wasserandrang zum Entnahmebrunnen im Laufe der Zeit aufgrund von Umwelteinflüssen und Alterungserscheinungen verändern können.

4.2 Entnahmebrunnen

4.2.1 Allgemein

- 4.2.1.1 Zur Entnahme von Grundwasser wird ein Filterbrunnen mit folgenden Komponenten erstellt:
 - Kopfschacht mit Brunnenkopf,
 - Vollrohr, Aufsatzrohre,
 - Filterrohr,
 - Schlammfangsack,
 - Hinterfüllung (Filterkies und Abdichtung),
 - eventuell Peilrohr (im Ringraum mit Kiesfilter neben Filterrohr).
- 4.2.1.2 Der Kopfschacht mit Brunnenkopf und das Filterrohr müssen für Prüfungen, Unterhalt und für Massnahmen zur Brunnenregenerierung zugänglich sein.
- 4.2.1.3 Die Bauweise des Brunnens muss einen möglichst sandfreien Betrieb gewährleisten. Falls der Leistungspumpversuch zeigt, dass dies nicht möglich ist, sind Massnahmen zur Sandabscheidung vorzusehen.
- 4.2.1.4 Mögliche Alterungseffekte der Anlage durch Versinterungen, Verockerung, Verschleimung oder Korrosion müssen beim Brunnenbau berücksichtigt werden. Die Bauweise des Entnahmebrunnens muss auf die hydrochemischen und mikrobiologischen Verhältnisse im Grundwasserleiter abgestimmt sein (siehe auch 2.5.4).

4.2.2 **Material der Filterrohre**

4.2.2.1 Die Brunneneinbauten mit Filter- und Vollrohren müssen die mechanischen Anforderungen beim Einbau und beim Betrieb erfüllen.

4.2.2.2 Das Material ist bezüglich der Grundwasserbeschaffenheit zu wählen. Filter- und Vollrohre müssen alterungsbeständig gemäss 4.1.4 sein. Bis ca. 300 mm Durchmesser können alterungsbeständige Kunststoffrohre verwendet werden. Für grössere Durchmesser müssen Edelstahlrohre oder geeignete kunststoffbeschichtete Stahlrohre verwendet werden.

4.2.2.3 Bei grösseren erforderlichen Filtereintrittsflächen können Filterrohre mit Edelstahl-Wickeldrahtfilter verwendet werden.

4.2.3 **Filterrohrdurchmesser, Filterstrecken und Vollrohrstrecken**

4.2.3.1 Der Filterrohrdurchmesser und die Filterstrecke richten sich nach dem Durchmesser und der Anzahl der einzubauenden Pumpen sowie nach den Anforderungen der technischen und hydraulischen Bemessung (siehe 3.3 und 3.4).

4.2.3.2 Die Filterstrecken müssen auf den geologischen Schichtaufbau und den Pumpeneinbau abgestimmt werden (hydrogeologische Voraussetzung in 2.5.1, Pumpeneinbau in 4.3.1).

4.2.3.3 Der unterste Abschnitt der Rohrstrecke muss mit einem Vollrohr von mindestens 1 m Länge als Schlammstrecke ausgebaut sein.

4.2.4 **Filterkiesschüttung und Schlitzweiten**

4.2.4.1 Um Nachstürze aus der Bohrlochwand und Setzungen im Umkreis des Brunnens zu vermeiden, muss durch die Filterkiesschüttung ein Kraftschluss zwischen Bohrlochwand und Filterrohr sichergestellt werden.

4.2.4.2 Die Filterkiesschüttung muss so dimensioniert sein, dass das Einströmen von feinen Sandpartikeln aus dem Grundwasserleiter in den Brunnen verhindert wird.

4.2.4.3 Die Filterkiesstrecke im Bohrloch muss nach unten und oben vor Einschwemmung von feinkörnigem Hinterfüllungsmaterial entlang von Vollrohrstrecken geschützt werden. Dazu kann eine Trennschicht mit feineren Korngrössen zwischen Filterkies und Abdichtungen eingebracht werden.

4.2.4.4 Die Wahl des Filterkiesmaterials und die Filterkiesstrecken im Bohrloch richten sich nach dem geologischen Schichtaufbau (2.5.1). Eine optimale Filterwirkung gegenüber Sandeinspülung wird erzielt, wenn der Mediandurchmesser der Filterkieskörner das 4- bis 6-Fache des Mediandurchmessers der Korngrössenverteilung des Grundwasserleiters beträgt.

4.2.4.5 Die Korngrösse des Filterkieses muss auf die Filterschlitzweite abgestimmt sein. Das kleinste Korn muss einen Durchmesser von mindestens der 2-fachen Filterschlitzweite aufweisen.

4.2.4.6 Als Filterkiesmaterial müssen Rundkies, andere gerundete mineralische Granulate oder Glas verwendet werden. Gebrochener, kantiger Splitt darf nicht verwendet werden.

4.2.4.7 Der Bohrlochringraum muss in Vollrohrstrecken mit geeignetem Material abgedichtet werden:

- über der Filterkiesstrecke zum Schutz gegen einsickerndes Wasser von oben,
- zur Wiederherstellung der gering durchlässigen Überdeckung bei gespanntem Grundwasser,
- zur Wiederherstellung des Grundwasserstauers zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken.

4.2.5 **Sandfreiheit**

- 4.2.5.1 Durch den Einsatz der korrekten Einkiesung muss der Sandgehalt im geförderten Grundwasser gering gehalten werden. Die Sandfreiheit muss anschliessend an den Pumpversuch im fertiggestellten Brunnen nachgewiesen werden (siehe Anhang J). Dies ist der Fall, wenn die Sandführung weniger als $0,3 \text{ g/m}^3$ beträgt.
- 4.2.5.2 Falls die Entsandung nicht erfolgreich ist, muss die geeignete Filtertechnik (siehe 4.4.2) eingesetzt werden.

4.2.6 **Kopfschacht**

- 4.2.6.1 Der Kopfschacht muss den Zugang zum Brunnen und den Ein- und Ausbau von Förderpumpe und Rohrleitungen gewährleisten sowie den Schutz von Bohrung, elektrischen Installationen und Rohrleitungen sicherstellen.
- 4.2.6.2 Die Abmessungen des Kopfschachts richten sich nach dem Platzbedarf der einzubauenden Armaturen und Komponenten. Im Minimum sollte ein Rundschacht von 1,0 m Durchmesser mit einem Schachtdeckel von mindestens 0,6 m Durchmesser erstellt werden.
- 4.2.6.3 Die Lage des Einstiegs in den Kopfschacht und das Platzangebot im Kopfschacht müssen den leichten Ausbau der Pumpen und des Steigrohrs sowie alle Installations- und Unterhaltsarbeiten ermöglichen.
- 4.2.6.4 Die Sohle des Kopfschachts sollte über dem höchsten Grundwasserspiegel bzw. dem höchsten Druckspiegel liegen. Andernfalls muss der Schacht gegen Auftrieb und drückendes Wasser gesichert sein.
- 4.2.6.5 Der Kopfschacht muss dicht gegen eindringendes Wasser sein. Zum Schutz vor Verschmutzungen muss der Schachtdeckel
- entweder eine Überhöhung zum umgebenden Terrain und der Schachtboden ein Gefälle vom Brunnen weg zu einem Pumpensumpf aufweisen oder
 - dicht verschraub- oder verriegelbar sein.

Ein Schema des Kopfschachts ist in den Figuren 9 bis 12 in Anhang D dargestellt.

4.3 **Förderpumpe**

4.3.1 **Rahmenbedingungen zur Installation im Brunnen**

- 4.3.1.1 Es muss sichergestellt werden, dass keine Luft angesaugt werden kann. Dazu muss die Position der Wasserentnahme (Ansaugöffnung der Unterwasserpumpe oder Einlauf des Entnahmerohrs) unterhalb des tiefstmöglichen Betriebswasserspiegels im Entnahmebrunnen liegen, wobei auch die Bildung von Ansaugwirbeln berücksichtigt werden muss.
- 4.3.1.2 Die Eintrittsgeschwindigkeit (vgl. 3.4.4) durch die Filterschlitzte darf nicht zu hoch sein. Aus diesem Grund sollte die Wasserentnahme in einer Vollrohrstrecke liegen.
- 4.3.1.3 Die Unterwasserpumpe muss mit einem Strömungsmantelrohr ausgerüstet sein, wenn die Ansaugöffnung unterhalb der Filterstrecke liegt.
- 4.3.1.4 Der Innendurchmesser des Filterrohrs muss auf den Platzbedarf des Fördersystems abgestimmt sein. Der minimale Innendurchmesser des Filterrohrs muss gemäss dem maximal benötigten Aussendurchmesser der Installation im Entnahmebrunnen (Förderpumpe, Verbindung, Elektroanschluss, Zugseil usw.) bestimmt werden. Zwischen Pumpen- bzw. Flanschdurchmesser und Filterrohrdurchmesser muss ein Mindestabstand von 2 cm als Ringraum freigehalten werden.

4.3.2 **Sicherheitseinrichtungen und technische Massnahmen**

- 4.3.2.1 Es muss ein geeigneter Trockenlaufschutz vorgesehen werden, damit die Förderpumpe keine Luft ansaugen kann.
- 4.3.2.2 Für die Wahl der Förderpumpe sind der maximal zulässige Sandgehalt sowie die maximal zulässige Wassertemperatur abzuklären. Allgemein ist für die Motorkühlung eine Wassertemperatur von max. 30°C zulässig.
- 4.3.2.3 Druckstösse in den Brunnen und im Wasserkreislauf müssen vermieden werden. Die Förderpumpe muss langsam anfahren und auslaufen. Drossel- und Absperrorgane sind langsam zu öffnen und zu schliessen.
- 4.3.2.4 Die Taktfrequenz der Förderpumpe (Anzahl Einschaltbefehle pro Zeit) muss klein gehalten werden. Sie sollte drei Einschaltbefehle pro Stunde nicht überschreiten.
- 4.3.2.5 Folgende Komponenten und Sicherheitseinrichtungen müssen vorhanden sein (Figur 5):
 - langsam schliessendes Rückschlagventil, um Druckstösse und das Auslaufen der Installation zu vermeiden,
 - Manometer, um den Förderdruck der Pumpe abzulesen,
 - Absperrorgan, um Reparaturarbeiten an sämtlichen Installationen zu ermöglichen,
 - T-Stück mit Auslaufarmatur für den Spülbetrieb des Brunnens sowie der Unterwasserpumpe.

4.4 **Rohrleitungen und Filtertechnik**

4.4.1 **Rohrleitungen**

- 4.4.1.1 Sämtliche Rohrleitungen sowie deren Verbindungselemente müssen dauerhaft resistent gegenüber den auftretenden Drücken, Temperaturen und der Wasserbeschaffenheit sein.
- 4.4.1.2 Die gesamte Leitungsführung muss frostsicher ausgeführt werden. Rohrleitungen, welche im Freien geführt werden, sind mit geeigneten Massnahmen zu schützen.
- 4.4.1.3 Die Leitungen vom Entnahmebrunnen müssen so ins Gebäude eingeführt werden, dass weder Gase noch Flüssigkeiten eindringen können.

4.4.2 **Filtertechnik**

- 4.4.2.1 Für den einwandfreien Betrieb ist eine geeignete Filtertechnik zum Schutz des Wärmeübertragers und der Rückgabeeinrichtung erforderlich.
- 4.4.2.2 Die Wahl der geeigneten Filtertechnik (vgl. Anhang H) ist abhängig von der Wasserbeschaffenheit, von der Sandführung und vom geförderten Volumenstrom.

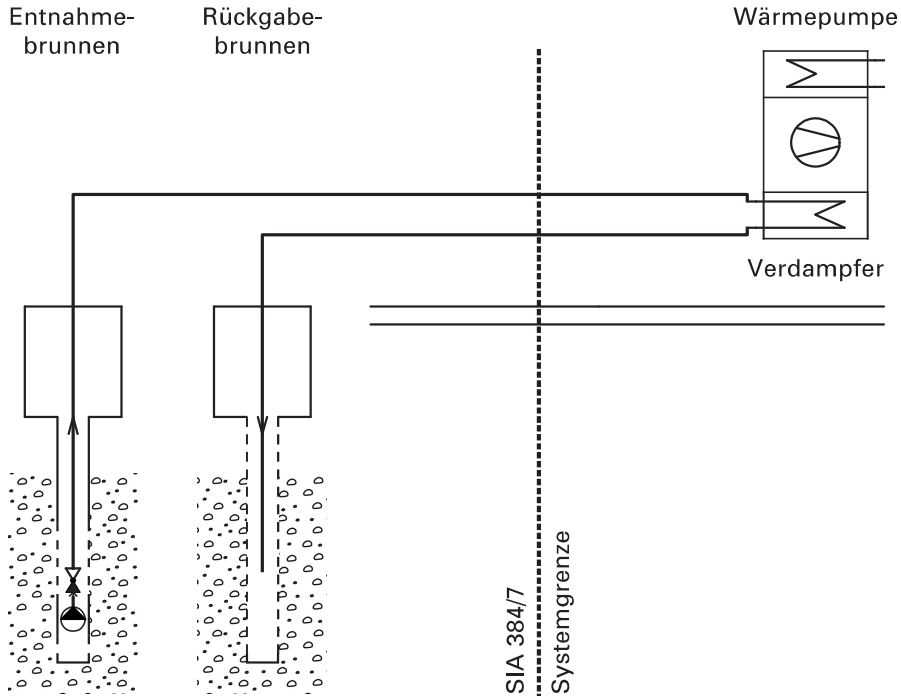
4.5 **Anlagenprinzip und Wärmeübertrager**

4.5.1 **Anlagenprinzip**

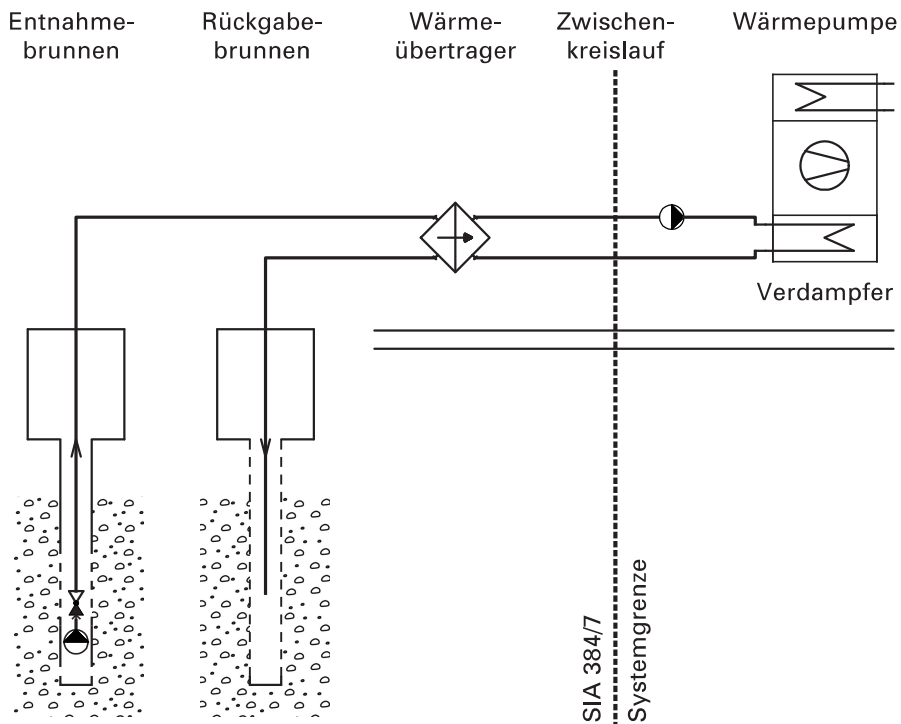
- 4.5.1.1 Um den Grundwasserschutz bei einer Grundwasser-Wärmenutzungsanlage sicherzustellen, muss ein geeignetes Sicherheitskonzept gewählt werden. Der notwendige Schutz kann zum einen durch die Wahl der Bauteile (Plattenwärmeübertrager, Rohrbündelwärmeübertrager, Sicherheitswärmeübertrager) erfolgen und zum anderen durch das geeignete Anlagenprinzip (indirekte Nutzung mit Zwischenkreislauf) sichergestellt werden.
- 4.5.1.2 Für die Wärmeübertragung zwischen Grundwasserkreislauf und Kältemittelkreislauf wird grundsätzlich zwischen Systemen mit direkter und indirekter Nutzung unterschieden (vgl. 2.3.2.3).

4.5.1.3 Bei der direkten thermischen Nutzung ist das Grundwasser durch einen Wärmeübertrager (Verdampfer der Wärmepumpe) vom Kältemittel getrennt (Figur 6). Bei der indirekten thermischen Nutzung ist das Grundwasser durch zwei Wärmeübertrager mit einem Zwischenkreislauf vom Kältemittel getrennt (Figur 7).

Figur 6 Prinzipschema der direkten thermischen Nutzung (vereinfachte Darstellung)



Figur 7 Prinzipschema der indirekten thermischen Nutzung (vereinfachte Darstellung)



4.5.1.4 Dank der zusätzlichen Trennung der beiden Kreisläufe (Grundwasser und Kältemittel) erhöht eine indirekte Wärmenutzung den Schutz des Grundwassers.

4.5.1.5 Die indirekte thermische Nutzung führt zu einer schlechteren energetischen Effizienz des Gesamtsystems. Durch den zusätzlichen Wärmeübertrager steht eine etwas tiefere Temperatur der Energiequelle für die Wärmepumpe zur Verfügung. Zusätzlich wird elektrische Energie für die Umwälzpumpe im Zwischenkreislauf benötigt.

4.5.2 **Wärmeübertrager**

4.5.2.1 Die Dimensionierung der Wärmeübertrager (z.B. Verdampfer in der Wärmepumpe oder zusätzlicher Wärmeübertrager im Zwischenkreislauf) sollte – um den Temperaturverlust möglichst gering zu halten – mit einer möglichst kleinen Temperaturdifferenz (max. 3 K) zwischen den mittleren Temperaturen auf beiden Seiten des Wärmeübertragers und einem möglichst kleinen Druckverlust (10 bis 15 kPa) erfolgen.

4.5.2.2 Die Reinigungsfähigkeit des Wärmeübertragers, welcher mit dem Grundwasser in Verbindung steht, muss unter Berücksichtigung der vorliegenden Wasserbeschaffenheit gewährleistet sein. Dabei ist eine mechanische Reinigung einer Reinigung mit chemischen Hilfsmitteln vorzuziehen.

4.5.2.3 Sofern ein erhöhtes Risiko bezüglich Versinterung oder Verockerung nachgewiesen ist, muss der Wärmeübertrager mit geeigneten Massnahmen von diesen anorganischen oder auch organischen Ablagerungen befreit werden können.

4.5.2.4 Sofern die Sandfreiheit gemäss 4.2.5.1 im Entnahmebrunnen nicht gewährleistet werden kann, muss der Wärmeübertragertyp hinsichtlich der prognostizierten Sandführung ausgewählt werden. Allgemein ist ein überfluteter Rohrbündelwärmeübertrager leichter zu reinigen als ein geschraubter Plattenwärmeübertrager.

4.5.2.5 Im Grundwasserkreislauf müssen vor und hinter dem Wärmeübertrager Anschlussstutzen für die Installation von Messsonden (Druckfühler, Temperaturfühler; Durchflussmesser) und für die Entnahme von Wasserproben vorgesehen werden.

4.6 **Rückgabebauwerk**

4.6.1 **Allgemeines**

4.6.1.1 Die Rückgabe des Grundwassers in den Grundwasserleiter kann über zwei Arten von Rückgabebauwerken geschehen:

- Versickerung in den ungesättigten Untergrund über dem Grundwasserleiter in einer Versickerungsanlage (Sickerschacht oder Sickergalerie),
- direkte Einleitung in den Grundwasserleiter in einem Vertikalfilterbrunnen (Rückgabebrunnen).

4.6.1.2 Die Wahl der Art des Rückgabebauwerks ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten und von Vorgaben der Bewilligungsbehörde.

4.6.1.3 Es muss sichergestellt werden, dass bei der Wasserrückgabe keine Grundwasserverschmutzung erfolgt.

4.6.2 **Rückgabebrunnen**

4.6.2.1 Alle Komponenten müssen für Prüfungen, Unterhalt und für Massnahmen zur Brunnenregenerierung zugänglich sein.

4.6.2.2 Die Materialwahl des Filterrohrs sowie die Wahl des Filterkieses und der Schlitzweiten richten sich nach denselben Vorgaben wie für den Entnahmebrunnen.

4.6.2.3 Der Filterrohrdurchmesser richtet sich nach dem erforderlichen Durchmesser für den Einbau des Rückgaberohrstrangs. Sonst sind nur brunnenhydraulische Aspekte von Bedeutung.

- 4.6.2.4 Die erforderliche Filterstrecke richtet sich nach den hydraulischen Erfordernissen. Der unterste Abschnitt der Rohrstrecke sollte mit einem Vollrohr von mindestens 1 m Länge als Schlammstrecke ausgestattet werden.
- 4.6.2.5 Das Rückgaberohr muss stets eingetaucht sein und mindestens bis unter den tiefstmöglichen Ruhewasserspiegel reichen.
- 4.6.2.6 Die Anforderungen an den Kopfschacht sind dieselben wie beim Entnahmebrunnen.
- 4.6.2.7 Liegt der Betriebswasserspiegel bei gespanntem Grundwasser höher als die Oberkante des Brunnenrohrs, muss der Kopf des Brunnenrohrs entsprechend den Überdrücken dicht ausgeführt werden.
- 4.6.3 **Versickerungsanlage**
- 4.6.3.1 Versickerung ist bei einer Wasserbeschaffenheit mit Risiko zu Verockerung ungeeignet und sollte vermieden werden.
- 4.6.3.2 Es gelten die Anforderungen gemäss 4.6.1.3 und die Bemessung gemäss 3.5.2.
- 4.6.3.3 Die Versickerungsanlage muss einen Schacht zur Kontrolle und zum Unterhalt der Anlage haben (Figuren 11 und 12 in Anhang D).
- 4.6.3.4 Überläufe müssen für Kontrollzwecke sichtbar über Oberkante Terrain geführt werden. Sie sind vor Eintritt von Oberflächenwasser zu schützen.
- 4.6.3.5 Zum Schutz des Grundwassers muss mit baulichen Massnahmen verhindert werden, dass Wasser von der Geländeoberfläche direkt in den Schacht bzw. in die Schächte gelangt. Zudem gelten die technischen Anforderungen an Versickerungsanlagen von Meteorwasser (siehe VSA-Richtlinie [8]).

5 AUSFÜHRUNG, PRÜFUNG UND BETRIEB

5.1 Brunnenbau

5.1.1 Bohrung

- 5.1.1.1 Anforderungen und Auflagen der Behörden insbesondere bezüglich Ableitung des Baustellenabwassers müssen beachtet werden.
- 5.1.1.2 Brunnen werden meistens als Vertikalfilterbrunnen erstellt. Die nachfolgenden Ausführungsbestimmungen gelten für diese Brunnenbauform. Abweichende Bauformen sind möglich, sofern deren Eignung und Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden kann.
- 5.1.1.3 Der Untergrunderbau sollte im Umkreis des Brunnens durch die Bohrung möglichst wenig gestört werden. Der Untergrund darf durch die Bohrung nicht verdichtet werden.
- 5.1.1.4 Die Wahl des Bohrverfahrens ist abhängig von den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten, vom erforderlichen Bohrdurchmesser und von der erforderlichen Brunnentiefe (siehe 3.4.3) sowie von den Anforderungen gemäss 4.2 und 4.6. Verschiedene Bohrverfahren und ihre Vor- und Nachteile sind in H.2 aufgeführt.
- 5.1.1.5 Bei Vertikalfilterbrunnen darf die Bohrung nicht mehr als 2% von der Vertikalen abweichen.
- 5.1.1.6 Der Anfangsbohrdurchmesser muss so gewählt werden, dass die Endtiefe mit dem erforderlichen Bohrenddurchmesser erreicht werden kann. Bei verrohrten Bohrungen muss die Verrohrung nötigenfalls teleskopiert werden.
- 5.1.1.7 Die Wahl des Bohrgeräts ist abhängig vom gewählten Bohrverfahren und den lokalen Gegebenheiten des Brunnenstandorts (Geländebeschaffenheit, Platzverhältnisse, Zugänglichkeit).
- 5.1.1.8 Beim Bohren des Brunnens müssen die Bohrproben des Untergrunds zur Bestimmung des hydrogeologischen Untergrunderbaus tiefengerecht zutage gefördert, ausgelegt und beschrieben werden (siehe 2.6.2).
- 5.1.1.9 Die Bohrunternehmung muss ein Baustellenjournal über alle relevanten Tätigkeiten und Vorkommnisse führen. Bei Schichtbeginn müssen die Lage des Wasserspiegels und der Bohrlochsohle gemessen und protokolliert werden mit Angaben zur aktuellen Bohr- und Verrohrungstiefe.
- 5.1.1.10 Von der Bohrung muss ein technischer Bohrrapport erstellt werden. Er muss mindestens Folgendes enthalten: das Bohrprotokoll mit Angaben über den Schichtaufbau, Wasserzutritte und Wasserführung der Schichten, bohrtechnische Besonderheiten und Erschwernisse sowie das Verrohrungsschema und das Einbauprotokoll, alle Brunneneinbauten, Filterkies-, Abdichtungs- und Hinterfüllungstrecken, eingesetzte Materialien und Mengen. Muster für das Bohr- und Einbauprotokoll sind in B.1 zu finden.

5.1.2 Brunneneinbauten

- 5.1.2.1 Der Rohrstrang wird in der Regel frei hängend bis zur Endtiefe abgesenkt. An der Bohrlochsohle muss vor dem Einbau des Filterrohrstrangs eine Vorschüttung mit Filterkies oder Filtersand vorgenommen werden. Der Rohrstrang muss mit Abstandhaltern im Bohrloch zentriert eingebaut werden.
- 5.1.2.2 Der Filterkies muss über die gesamte ausgefilterte Rohrstrecke in den Ringraum zwischen Filterrohr und Bohrlochwand eingebracht werden. Die Filterrohrstrecke sollte unten und oben um mindestens 1 m unter- bzw. überschüttet werden.

- 5.1.2.3 Zwischen Filterkiesstrecken und Abdichtungen oder Hinterfüllungen mit Bohrgut sollte ein Sand-Gegenfilter von mindestens 1 m Mächtigkeit eingebaut werden (Schema Entnahmebrunnen, Figur 9 in Anhang D). Im Bereich der Deckschicht ist eine mindestens 1 m mächtige Tonabdichtung einzubauen.
- 5.1.2.4 Der Filterkies ist chargenweise einzubringen. Die Bohrlochverrohrung darf zwischen einzelnen Chargen schrittweise um höchstens 0,5 m bis 1 m zurückgezogen werden. Beim Rückzug der Verrohrung muss die Stabilität der Bohrlochwand jederzeit gewährleistet werden. Der Füllstand der Ringraum-Hinterfüllung muss zwischen einzelnen Befüllungschargen ausgelotet werden.
- 5.1.2.5 Der Filterkies muss im Ringraum allseitig gleichmässig verteilt werden. Eine Entmischung und Fraktionierung des Filterkiesmaterials nach Korngrössen während des Einbringens muss vermieden werden. In grossen Brunnentiefen oder bei Verwendung von Bohrspülungen muss der Filterkies mit einem separaten Schlauch eingespült werden.

5.2 Entsandung und Brunnenentwicklung

- 5.2.1 Die Entsandung und Entwicklung des Brunnens müssen die Sandfreiheit gemäss 4.2.5 gewährleisten. Der Nachweis der Sandfreiheit des Entnahmebrunnens muss unter betriebsnahen Bedingungen (Volumenstrom und Einschaltzyklen) erbracht werden (vgl. J.1.3).
- 5.2.2 Die Wahl der Entsandungsmethode und das Vorgehen sind auf die Materialbeschaffenheit des Untergrunds und auf die Bauweise des Brunnens abzustimmen. Das Vorgehen bestimmt der Geologe.
- 5.2.3 Die Entsandung des ausgefilterten Brunnens muss abschnittsweise erfolgen. Die Länge der Abschnitte darf höchstens 2 m betragen.
- 5.2.4 Bei einer Entsandung mit Pumpen und Rückspülung müssen die Entsandungsabschnitte hydraulisch mit Packern oder gleichwertigen Einrichtungen von der restlichen Filterrohrstrecke isoliert werden.

5.3 Rückgabebauwerk

- 5.3.1 Für den Bau des Rückgabebrunnens gelten die Ausführungsvorschriften gemäss 4.6.2. Der Rückbau muss den Anforderungen gemäss Kapitel 6 genügen.
- 5.3.2 Für den Bau einer Versickerungsanlage gelten die Ausführungsvorschriften gemäss 4.6.3.
- 5.3.3 In einem einfachen Sickerschacht muss die Sohle vor Ausschwemmungen geschützt werden. Dazu können an der Schachtsohle eine trennende Geotextilmatte, Geröll oder eine Prallplatte eingebracht werden.

5.4 Weitere Anlagenteile

- 5.4.1 Die Förderpumpe muss mit einem Stahlseil gesichert werden. Beim Ein- und Ausbau des Förder-systems ist insbesondere bei kunststoffbeschichteten Filter- und Vollrohren sicherzustellen, dass die Brunneneinbauten nicht beschädigt werden (vgl. 4.2.2.2).
- 5.4.2 Beim elektrischen Anschluss der Förderpumpe muss die korrekte Drehrichtung vor dem Absenken in den Brunnen überprüft werden.
- 5.4.3 Die Förderpumpe muss zu jeder Zeit wieder ausbaubar sein. Der dazu erforderliche Platzbedarf sowie derjenige für geeignete Hilfseinrichtungen (z.B. Flaschenzug) müssen sowohl bei der Wahl des Bohrstandorts als auch bei der Planung und beim Bau des Kopfschachtes berücksichtigt werden.
- 5.4.4 Die horizontale Pumpendruckleitung ist möglichst kurz zu halten. Der Graben muss genügend tief ausgehoben werden, damit die Leitung unterhalb der Frostgrenze liegt. Nach dem Einsanden muss über der Leitung ein Warnband verlegt werden.

- 5.4.5 Das Leitungssystem muss anhand einer Druckprobe überprüft werden, und das Resultat ist zu dokumentieren. Danach kann die Überdeckung ausgeführt werden.
- 5.4.6 Die Hauseinführungen müssen gas- und wasserdicht geführt werden. Wegen der Frostgrenze ist die horizontale Position mit einem minimalen Abstand von 1 m von Lichtschächten zu wählen.
- 5.4.7 Die Installationen innerhalb des Gebäudes haben nach dem Stand der Technik (Wärmedämmung, Schallschutz usw.) zu erfolgen.
- 5.4.8 Der Einbau von Apparaten und Armaturen hat nach den Montagevorschriften der Lieferanten zu erfolgen. Zu beachten ist insbesondere der notwendige Platzbedarf für die Wartung und den Ausbau von Filter und Wärmeübertrager.
- 5.4.9 Die Anordnung und Grösse des Technikraums sind abhängig von den technischen Installationen (z.B. Menge und Typ des Kältemittels sowie dazugehörige Sicherheitseinrichtungen).

5.5 Abnahme und Übergabe der Anlage

5.5.1 Inbetriebnahme

- 5.5.1.1 Nach Abschluss der Bau- und Installationsarbeiten ist die Inbetriebnahme des Gesamtsystems durchzuführen und zu dokumentieren.
- 5.5.1.2 Der Volumenstrom ist korrekt einzustellen, zu messen und zu dokumentieren. Dabei muss die Drehrichtung der Förderpumpe kontrolliert werden.
- 5.5.1.3 Das resultierende Temperaturniveau sowie die Temperaturdifferenz (bei 100% Leistung) vor und nach dem Wärmeübertrager müssen kontrolliert und dokumentiert werden.

5.5.2 Dokumentation auf der Anlage

- 5.5.2.1 Auf der Anlage müssen folgende Daten angeschlagen und in den Unterlagen dokumentiert werden:
 - Baujahr der Anlage,
 - beteiligte Unternehmer (Planer, Geologe, Bohrunternehmer, Gebäudetechnik-Installateur usw.),
 - Anzahl, Tiefe und Durchmesser der Brunnen bzw. Sickerschächte (Entnahme und Rückgabe),
 - Volumenstrom und Druckverlust der Förderpumpe (Leistungsdiagramm),
 - technische Schnitte der Entnahme- und Rückgabebauwerke mit Brunneneinbauten und Installationen in den Kopfschächten,
 - technische Daten des Wärmeübertragers bzw. der Wärmepumpe (Heiz- und Kälteleistung),
 - technische Daten zum Zwischenkreislauf (Wärmeträgermedium, Füllinhalt und Druckprüfung),
 - Prinzipschema des Gesamtsystems (mit allen Komponenten wie Sicherheitseinrichtungen, allfälligen Massnahmen zum Schutz des Wärmeübertragers, Messvorrichtungen zur Überwachung des geförderten Grundwassers, Art der Wärme- und Kältenutzung usw.),
 - Katasterplan mit eingemessener Lage aller Bauten,
 - Situationsplan mit allen Entnahme- und Rückgabebauwerken sowie Zu- und Ableitungen zum Gebäude,
 - hydrogeologische Berichte,
 - geologisches Schichtprofil der Erkundungsbohrung(en) (siehe 2.6.2) und Brunnenbohrungen (siehe 5.1),
 - technische Rapporte der Brunnenbohrungen (Bohrprotokoll, Einbauprotokoll und Entsandungsprotokoll inkl. Nachweis der Sandfreiheit, siehe B.1 bis B.3),
 - Rohdaten und Auswertung der Pumpversuche mit Darstellung der Brunnencharakteristik (siehe 2.6.3.2 und B.3),
 - allfällige Messvorrichtungen zur Überwachung des Grundwassers,
 - Protokoll der Druckprobe der Leitungsinstallation,
 - Volumenstrommessungen bei Abnahme,
 - Temperaturmessungen bei Abnahme.

5.5.3 **Abnahme und Übergabe**

- 5.5.3.1 Die funktionsfähige Anlage wird dem Bauherrn oder dessen Betriebspersonal übergeben. Dabei muss die Anlagendokumentation abgegeben und eine Instruktion vor Ort durchgeführt werden.
- 5.5.3.2 Anlässlich einer ordentlichen Abnahme nach SIA 118 und SIA 118/380 geht die Anlage vom Ersteller zum Bauherrn über. Eine Vorlage zum Abnahmeprotokoll findet sich in Anhang C.

5.6 **Betrieb und Instandhaltung**

5.6.1 **Entnahmebrunnen, Rückgabebrunnen oder Rückgabeschacht**

- 5.6.1.1 Entnahme- und Rückgabebauwerke müssen in regelmässigen Zeitabständen inspiziert und die Brunneneignisfähigkeit geprüft werden. Die Mindestanforderungen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Beim Ausbau der Pumpe kann der Zustand des Brunnens (Filter, Ablagerungen, Korrosionen usw.) durch eine TV-Inspektion geprüft werden.

Tabelle 1 Inspektionsintervalle

	mehrmals jährlich	jährlich	5-jährlich
Visuelle Kontrolle Schachtdeckel (Dichtungen, Verschluss) und Kopfschacht innen		X	
Wasserspiegel im Brunnen (Ruhe- und Betriebswasserspiegel)	X		
Sandakkumulation im Schlammsack (Brunnen)			X
Visuelle Kontrolle Rückgabeanlage		X	
Wiederholung Leistungspumpversuch oder Auffüllversuch (2.6.3)			X
Inspektion Pumpen bei Ausbau (Ablagerungen, Korrosion)			X

- 5.6.1.2 Bei Leistungseinbussen oder bei Schäden müssen die Ursachen umfassend abgeklärt werden. Ab Leistungseinbussen von 10% sind Reinigungs-, Regenerations- und Sanierungsmassnahmen an den Entnahme- und Rückgabebauwerken erforderlich. Diese Massnahmen müssen gezielt auf die Ursachen der Leistungseinbussen abgestimmt werden.
- 5.6.1.3 Die Regeneration von Brunnen sollte mechanisch oder hydraulisch erfolgen. Chemische Regeneration ist nur in Ausnahmefällen und im Einvernehmen mit der Behörde zulässig. Der erzielte Erfolg der Regenerationsmassnahmen gegenüber dem Ausgangszustand muss dokumentiert werden.
- 5.6.1.4 Als Regenerationsmassnahmen können folgende Verfahren angewendet werden (siehe auch [9]):
- Bürsten,
 - Absaugen von Auflandungen,
 - Entsandung (siehe 5.2),
 - CO₂-Injektion,
 - Niederdruck- oder Hochdruckspülverfahren,
 - Druckwellen- bzw. Impulsverfahren.

5.6.2 **Weitere Anlagenteile (Förderpumpe, Rohrleitungen, Filtertechnik, Wärmeübertrager)**

- 5.6.2.1 Um Veränderungen oder Anlagenschäden frühzeitig zu erkennen, sollten die weiteren Anlagenteile in regelmässigen Abständen (mehrmals jährlich) visuell überprüft werden. Manometer und Thermometer helfen für den schnellen Überblick. Bei Leckagen muss der Grund sofort eruiert und das Leck behoben werden.

- 5.6.2.2 Alle eingebauten Anlagenteile müssen nach Herstellerangaben kontrolliert und gewartet werden. Besonders zu beachten ist die allfällig eingesetzte Filtertechnik im Grundwasserkreislauf. Das geeignete Intervall ist je nach Filtertyp und Sandführung im System zu bestimmen.
- 5.6.2.3 Die Grundwasser-Wärmenutzungsanlage muss während des Betriebs überwacht werden. Monatlich sollten folgende Daten erhoben und in einem Betriebsjournal festgehalten werden:
- summierte Grundwasser-Menge, in m³,
 - aktueller Grundwasser-Volumenstrom, in m³/h,
 - aktuelle Temperaturen (vor und nach dem Wärmeübertrager), in °C, resultierende Differenz, in K.

6 STILLEGUNG

- 6.1.1 Bereits beim Bau der Anlage ist sicherzustellen, dass auch nach Stilllegung der Anlage keine nachteiligen Auswirkungen auf das Grundwasser entstehen können. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass auch nach Stilllegung entlang der Anlage kein Eindringen von Meteor- oder Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter, Vermischung von Grundwässern mit unterschiedlichen hydrochemischen Eigenschaften oder Austreten von artesisch gespanntem Grundwasser möglich ist.
- 6.1.2 Pumpen, Rohrleitungen, Kabel, sonstige Installationen und Ausrüstungsteile müssen entfernt und fachgerecht entsorgt werden.
- 6.1.3 Brunnen und Rückgabebauwerke müssen durch ein spezialisiertes Brunnenbauunternehmen dauerhaft verfüllt werden. Dabei sind hydraulisch wirksame Trenn- und Deckschichten des Grundwasserleiters sowohl im eingebauten Filter- und Vollrohr als auch im Ringraum zwischen Bohrlochwand und Filter- oder Vollrohr wieder herzustellen und langfristig wirksam abzudichten.
- 6.1.4 Der obere Teil des Brunnens muss mindestens 1 m unter die Geländeoberkante abgetragen werden. Das Brunnenrohr muss mit einer Kappe dicht verschlossen werden. Der Aufbau der Deckschichten muss entsprechend den natürlichen Eigenschaften des umgebenden Untergrunds und den statischen Anforderungen mit unverschmutztem Aushubmaterial wieder hergestellt werden.
- 6.1.5 Zur definitiven Stilllegung und zu einem allfälligen Rückbau müssen Vorschriften der Bewilligungsbehörde berücksichtigt werden.

Anhang A (informativ)

Organisation

Figur 8 Kritischer Entscheidungsweg für die Erstellung einer Anlage zur thermischen Grundwassernutzung

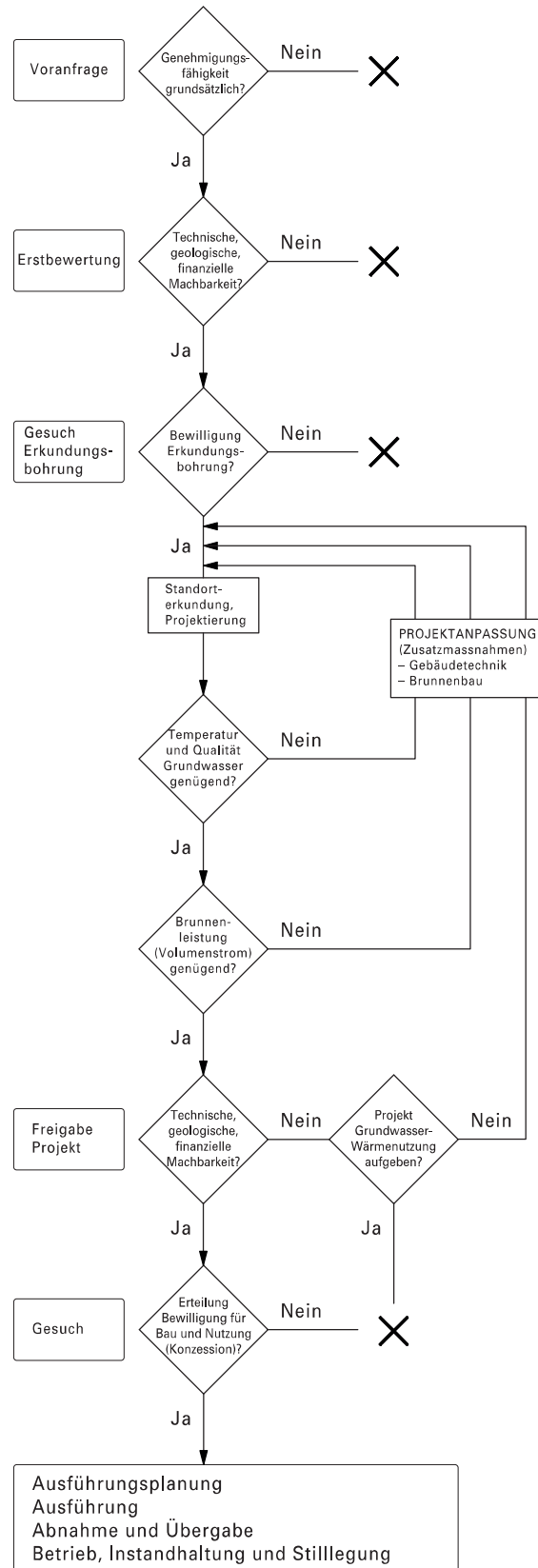


Tabelle 2 Beschreibung von Zielen und Inhalt von einzelnen Prozessschritten

Prozessschritt, Teilziel	Beschreibung	Verweis	Phase nach SIA 112
1. Voranfrage	<ul style="list-style-type: none"> • Wunsch Grundwasser-Wärmenutzung • Konzept Gebäudetechnik erstellen • Wärme- und Kälteleistungsbedarf schätzen • Grundsätzliche Bewilligungsfähigkeit bei Behörde anfragen 		21
2. Erstbewertung Studium Ausgangslage Ziele: <ul style="list-style-type: none"> • Technische und hydrogeologische Machbarkeit nachgewiesen • Schätzung der Kosten und Finanzierbarkeit überprüft • Grundlagen für Erkundung erstellt 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesetzgebung (kantonale Bewilligungsvorschriften) • geologische Karten • hydrogeologische Karten • kantonale Grundwasserkarten • kantonale Gewässerschutzkarten • kantonale Wärmenutzungspläne und Grundwassermodelle • hydrogeologische und technische Unterlagen zu bestehenden Grundwassernutzungen (Konzession) • bestehende Untergrundaufschlüsse (Sondierdatenbanken, Archive der Kantone usw.) • Karten und Archivunterlagen zu belasteten Standorten bei kantonalen Behörden • geophysikalische Untersuchungen • bestehende Sondierbohrungen und Pumpversuche 	2.6	
3. Gesuch Erkundungsbohrung Ziel: <ul style="list-style-type: none"> • Bewilligung Erkundungsbohrung 	<ul style="list-style-type: none"> • Empfehlung Bewilligungsfähigkeit aufgrund vorheriger Abklärungen (Risikoabschätzung paralleler Planungsaufträge usw.) 		31
4. Standorterkundung und Projektierung Ziele: <ul style="list-style-type: none"> • Hydrogeologischer Bericht • Entnahme und Rückgabe bemessen • Grundlagen Ausführungsplanung Entnahme und Rückgabe erstellt • Grundlagen Konzessionsgesuch • Vorprojekt Gebäudetechnik erstellt 	<ul style="list-style-type: none"> • Erkundungsbohrung, Pump- und Versickerungsversuch durchführen • Grundwasserleiter • Grundwasserhydraulik • Grundwassertemperatur • Grundwasserbeschaffenheit • Vorprojekt Gebäudetechnik erstellen • Kostenschätzung Gebäudetechnik 	2.5, 2.6, 3	32
5. Gesuch für Bau und Nutzung (Konzession, Bewilligung) Ziele: <ul style="list-style-type: none"> • Baubewilligung erteilt • Konzessionsbewilligung erteilt 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorprüfung Behörde • öffentliche Bekanntmachung • Planaufgabe • allfällige Einspracheverhandlungen • Entscheid 		33

Tabelle 2 Beschreibung von Zielen und Inhalt von einzelnen Prozessschritten (Fortsetzung)

Prozessschritt, Teilziel	Beschreibung	Verweis	Phase nach SIA 112
6. Ausführungsplanung Ziel: <ul style="list-style-type: none"> • Ausführungsreife erreicht 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergabereife für Gebäudetechnikprojekt erarbeiten • Ausführungsprojekt Brunnenbau (Entnahme und Rückgabe) erarbeiten • Ausführungsprojekt Gebäudetechnik erarbeiten • Ausführungsprojekt Werkleitungen erarbeiten • Koordination aller Gewerke und Arbeiten 		41, 51
7. Ausführung Ziel: <ul style="list-style-type: none"> • Bauwerk gemäss Pflichtenheft erstellt 	<ul style="list-style-type: none"> • Entnahmebrunnen erstellen • Rückgabebauwerk erstellen • Werkleitungen erstellen • Förderpumpe einbauen • Gebäudetechnikinstallationen erstellen 	4, 5	52
8. Abnahme und Übergabe Ziele: <ul style="list-style-type: none"> • Anlage in Betrieb genommen • Bauwerk durch Bauherr bzw. Betreiber übernommen 	<ul style="list-style-type: none"> • Inbetriebnahme Gesamtsystem • Qualitätskontrollen <ul style="list-style-type: none"> – geförderte Wassermenge – Temperaturen • Messergebnisse dokumentieren • Betriebs- und Instandhaltungsunterlagen erstellen • Instruktion Bedienpersonal • Abnahme und Übergabe der Anlage vom Unternehmer zum Bauherrn 	5.5	53

Einbauprotokoll

(Bohrfirma) _____	Einbauprotokoll	Bohrung Nr.: _____	Rapport Nr.: _____
Bohrmaschinentyp: _____ Inventar-Nr.: _____			
Umstellidistanz von KB _____ zu KB _____ / _____ m Bohrtiefe Total: _____ m / Fels ab: _____ m		Vorschacht bis: _____ m Tiefe / Aufwand: _____ Std	
Einbauten Piezo Ø: _____ 	Bemerkungen/Spezialfälle	Wasserversorgung Anschluss an Hydrant oder an bauseitige Zapfstelle: _____ Stk Wasserverbrauch: _____ m ³ Zählerstand Ende: _____ m ³ Zählerstand Anfang: _____ m ³ Total Verbrauch: _____ m ³ Wasserleitung: _____ m Hochdruck-/Unterwasserpumpe: _____ Stk Installation: _____ Std Betriebsstunden: _____ Std Generator: _____ Std	
Abdichtung: von _____ m bis _____ m und von _____ m bis _____ m Filterkies: von _____ m bis _____ m und von _____ m bis _____ m Filtertresse: von _____ m bis _____ m und von _____ m bis _____ m Boden / Deckel: _____ Stk Spezialdeckel Typ: _____ / _____ Stk Schutzrohr ø: _____ cm Länge: _____ m / _____ Stk Strassenschacht ø: _____ cm _____ cm Stk 1 to / 5 to _____		Material Zement (25 kg) _____ Sack Opalit (25 kg) _____ Sack Bentonit (25 kg) _____ Sack Filterkies _____ Fass/m ³ Quarzsand (25 kg) _____ Sack Compactonit (25 kg) _____ Sack andere Materialien: _____ _____ _____ _____ _____ _____	
Kernkisten: <input type="checkbox"/> ausgeleert <input type="checkbox"/> bei Bohrstelle <input type="checkbox"/> an Depot _____ m		Bohrgut: <input type="checkbox"/> bei Bohrstelle <input type="checkbox"/> in Untermerdeponie <input type="checkbox"/> in Spezialdeponie <input type="checkbox"/> _____	

Anhang C (Muster, informativ)

Abnahmeprotokoll

Dieses Formular dient zur Verständigung und als Übersicht. Die auszufüllende Version ist online über www.energytools.ch erhältlich.

1. Objektangaben

Objekt:

Standort: (Adresse, Gemeinde, Grundstück Nr.)

Bauherrschaft: (Name, Adresse)

Gesamtbauleitung: (Name, Adresse)

Gebäudetechnik-Ingenieur: (Name, Adresse)

Geologe: (Name, Adresse)

Bohrunternehmen: (Name, Adresse)

Gebäudetechnik-Installateur: (Name, Adresse)

Bauunternehmer: (Name, Adresse)

2. Nutzung

- Heizzwecke: Maximale Wasserentnahme l/min
- Minimale Wassertemperatur vor Nutzung °C
- Minimale Rückgabetemperatur °C
- Maximale Abkühlung des Wassers K
- Maximale Wärmeentzugsleistung aus dem Wasser kW
- Jährliche Wärmeentzugsmenge aus dem Wasser kWh/a
- Kühlzwecke: Maximale Wasserentnahme l/min
- Maximale Wassertemperatur vor Nutzung °C
- Maximale Rückgabetemperatur °C
- Maximale Erwärmung des Wassers K
- Maximale Wärmeeintragsleistung ins Wasser kW
- Jährliche Wärmeeintragsmenge ins Wasser kWh/a

3. Technische Ausrüstung

Entnahmebrunnen: (Erstelldatum, Bohr- und Filterdurchmesser, Tiefe)
.....
.....

Rückgabebauwerk:

Brunnen Sickerschacht / Sickergalerie andere:

Anzahl/Beschreibung:
.....
.....

Förderpumpe: (Anzahl, Hersteller, Typ, nominale Leistung, max. Durchmesser, installierte Tiefe)

.....
.....
.....

Sandfilter: (Typ, Beschreibung)

.....
.....

Wärmeübertrager: (Hersteller, Typ, Beschreibung)

.....
.....

Zwischenkreislauf: (Beschreibung, Wärmeträgerflüssigkeit, Konzentration, Inhalt)

.....
.....

Wärmepumpe: (Hersteller, Typ, Baujahr, Beschreibung, Kältemittel und Menge)

.....
.....

Mess-, Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen:

- Rückschlagventil Pumpe
- Trockenlaufschutz Pumpe
- Entnahmehahn an Druckleitung Entnahme, Lage
- Absperrorgan, Lage
- T-Stück an Druckleitung Entnahme (Spülbetrieb Pumpe)

vor nach Wärmeübertrager:

- Anschlussstutzen
- Manometer
- Temperaturfühler
- Durchflussmesser

Druckwächter Zwischenkreislauf

Weitere
.....
.....

4. Dokumentation und Revisionsunterlagen

Situationsplan:

mit allen Entnahme- und Rückgabebauwerken und Leitungen, nach Lage und Höhe eingemessen

fehlt: unvollständig:

Plan Nr.	Massstab	Datum:
.....
.....
.....

Technische Details:

Pläne und Schnitte Brunnen und Gebäudetechnik

inkl. Kopfschächte, Deckel, Brunneneinbauten mit Filter- und Vollrohrstrecken, Durchmesser, Filterkies und Abdichtungen, Einbautiefe Pumpe, max. und min. Grundwasserspiegel, Zu- und Ableitungen zu den Gebäuden

Entnahme:

Rückgabe:

fehlt: unvollständig:

Plan Nr.	Massstab	Datum:
.....
.....
.....

Weitere:

.....
.....

Anlagenschema:

inkl. Pumpe, Leitungen, Materialien usw.

fehlt: unvollständig:

Plan Nr.	Datum:
.....
.....
.....

Bohr- und Einbauprotokolle Brunnenbohrungen:

fehlt: unvollständig:

Plan Nr.	Datum:
.....
.....
.....

Entsandung, Leistungspumpversuch (PV):

durchgeführt: Protokoll:

Erkundungsbohrung(en):

Entsandung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pumpversuch:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Entnahmebrunnen:

Entsandung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pumpversuch:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Rückgabebrunnen:

Entsandung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pumpversuch:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Plan Nr.	Datum:
.....
.....
.....

Sicker- oder Auffüllversuche Rückgabe:

durchgeführt: Protokoll:
Sickerversuch:
Auffüllversuch:

Plan Nr. Datum:
.....
.....
.....

Hydrogeologischer Bericht:

fehlt: unvollständig:

Erkundungs- Entnahme- Rückgabe-
bohrungen brunnen brunnen

Geol.
Schicht-
profile:

Auswertung grundwasserhydraulische Versuche:

Pumpversuch:
Flowmeter:
K-Wert/Sicker-
fähigkeit:
Brunnen-
charakteristik:

Grundwasserspiegel (m OK Terrain oder m ü.M.):

Messreihen:
Einzel-
messungen:

Grundwassertemperatur:

Messreihen:
Einzel-
messungen:
Temperatur-
logs:

Wasserbeschaffenheit:

Feldanalysen:
Laboranalysen:

durchgeführt: Protokoll:

Grundwasser-
modellierung:

Plan Nr. Datum:
.....
.....
.....

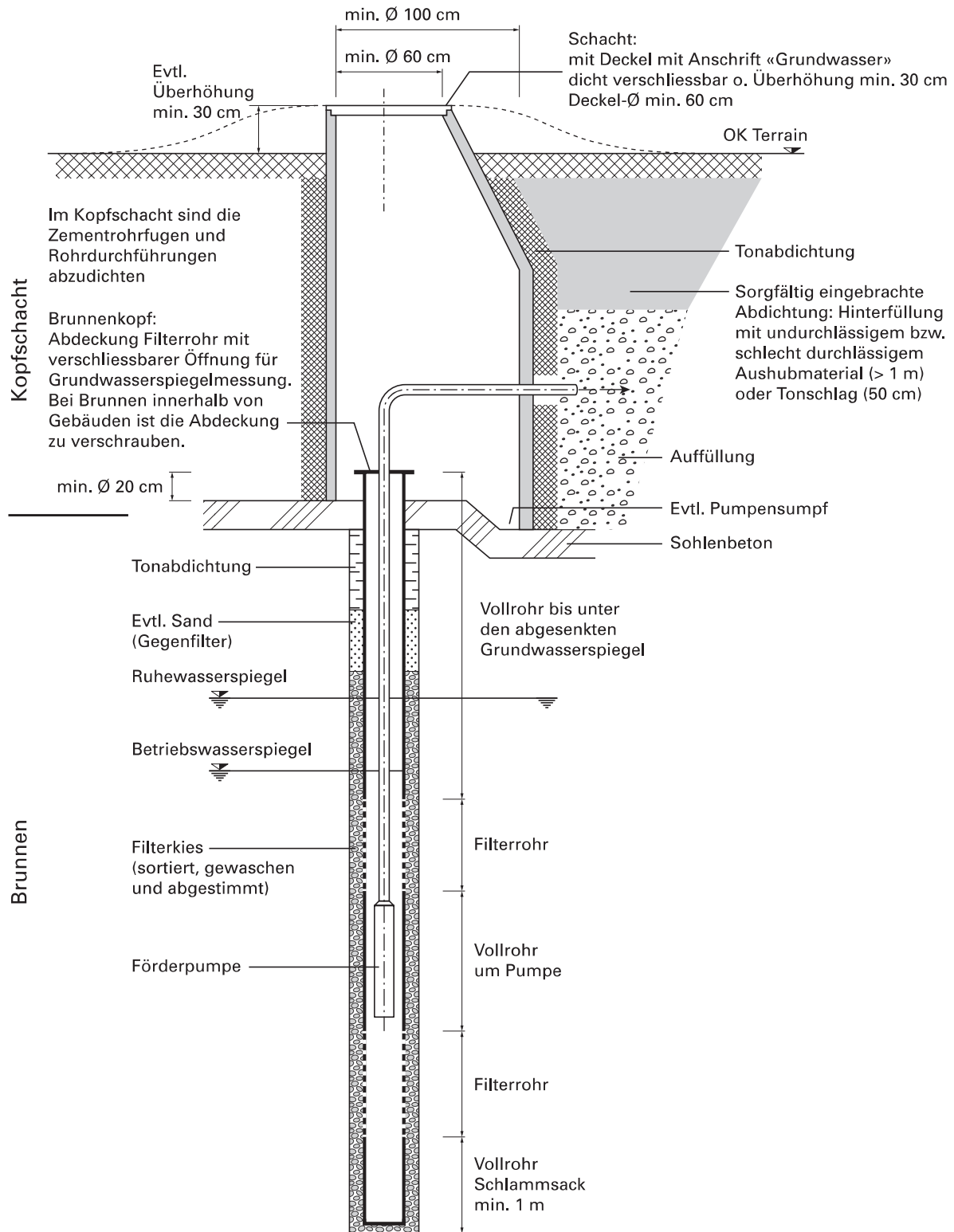
7. Abnahme

Bauteil	Ersteller	Planer (Datum, Stempel und Unterschrift)	Bauherrschaft
Entnahmebrunnen			
Rückgabebauwerk			
Kopfschächte Entnahme und Rückgabe			
Leitungsbau und Gebäudetechnik			

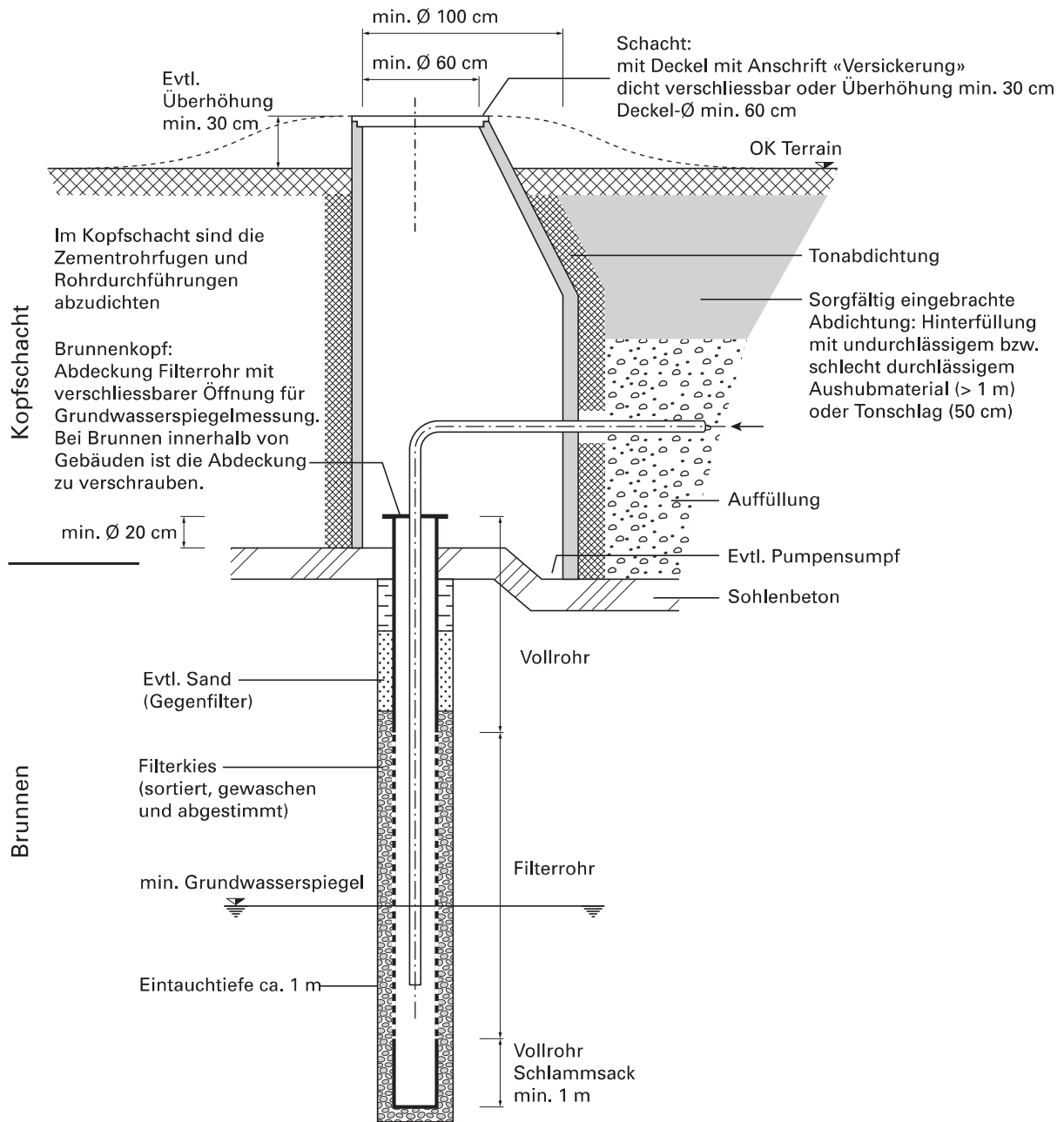
Anhang D (informativ)

Brunnen und Rückgabebauwerke

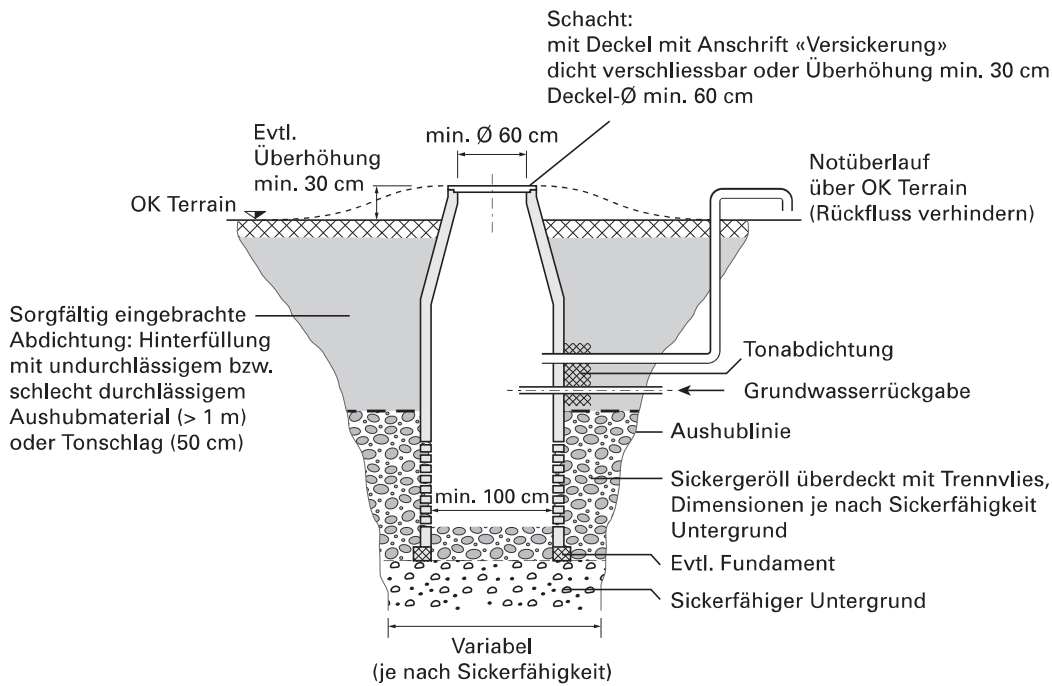
Figur 9 Aufbau eines Entnahmebrunnens (nach [10], angepasst)



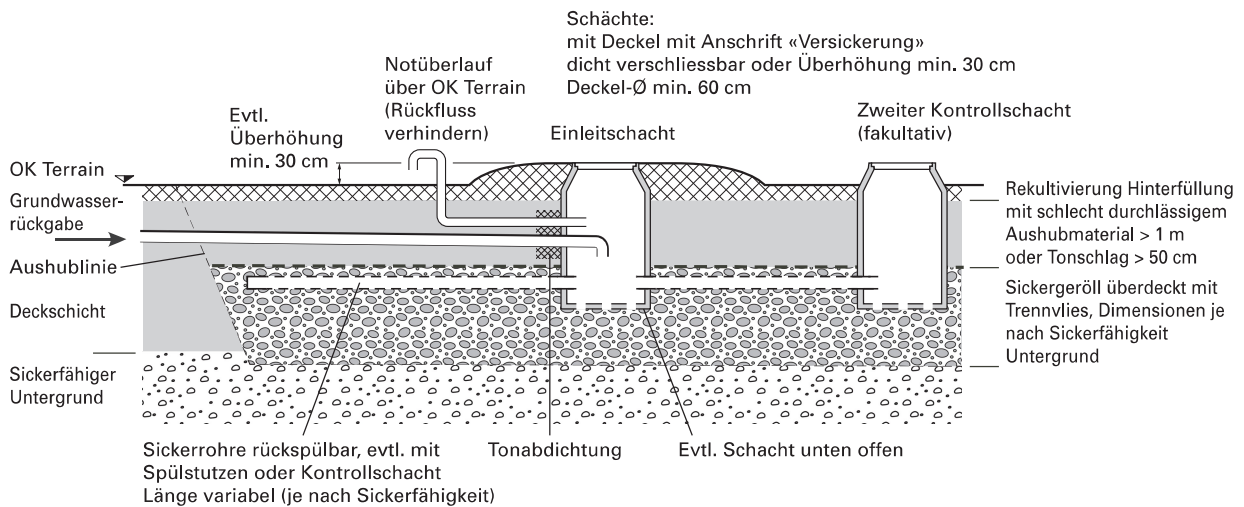
Figur 10 Aufbau eines Rückgabebrunnens (nach [10], angepasst)



Figur 11 Aufbau eines Rückgabeschachtes (nach [10], angepasst)



Figur 12 Aufbau einer Sickergalerie



Anhang E (informativ)

Prozesse und Kennwerte

E.1 Typische Werte der hydraulischen Leitfähigkeit

Tabelle 3 Darstellung der Durchlässigkeit der quartären Lockergesteine, Gliederung nach Bildungsform (nach pers. Mitteilung W.P. Balderer, 2012)

Bezeichnung der Bildungsform	Ort des Vorkommens (der Ablagerung)	Geotechnische Beschreibung	Durchlässigkeit	
			Qualitative Beschreibung	Quantitativ, Grössenordnung K, in m/s
(Fluvio-)glaziale Schotter	Talsole	reine, etwas sandige, lehmfreie Kiese	gross – sehr gross	$10^{-3} - 10^{-1}$
(Fluvio-)glaziale Schotter	Talsole sowie an den Talflanken	Kiese / sandig, lehmarm	gross	10^{-3}
		Kiese / sandig, tonig-siltig	mittel – gross	$10^{-4} - 10^{-3}$
		siltreicher, sandig-lehmiger Kies	klein – mittel	$10^{-5} - 10^{-4}$
Alluviale Schotter	Talsole (fluvial)	Kiese, sandig	gross	10^{-3}
		Kiese, sandig, tonig-siltig	mittel – gross	$10^{-4} - 10^{-3}$
		Sande, siltreicher Kies	klein – mittel	$10^{-5} - 10^{-4}$
Bachschuttkegel	Talhänge, Flanken	kiesreich, arm an Silt und Ton	mittel – sehr gross	$10^{-4} - 10^{-2}$
		kiesarm, reich an Silt und Ton	klein – gross	$10^{-5} - 10^{-3}$
Gehängeschutt	Talhänge	kiesreich, arm an Silt und Ton	mittel – sehr gross	$10^{-4} - 10^{-2}$
		reich an Silt und Ton	klein – gross	$10^{-5} - 10^{-3}$
Rutschungs-Sackungsschutt	Talflanken – Talsole	kiesreich, arm an Silt und Ton	mittel – sehr gross	$10^{-4} - 10^{-2}$
		kiesarm, reich an Silt und Ton	klein – gross	$10^{-5} - 10^{-3}$
Wallmoränen (Seiten-, Stirnmoränen), Drumlins	Talsole – Talflanken	kiesreich, arm an Silt und Ton	mittel – sehr gross	$10^{-4} - 10^{-2}$
		kiesarm, reich an Silt und Ton	klein – gross	$10^{-5} - 10^{-3}$
Auffüllungen ehemaliger Seebecken (limnische, alluviale Sedimente)	Talsole, Füllung von Mulden, Seebecken	Wechselagerung Kies, Sand	im Allg. unregelmässig, klein – mittel	$10^{-5} - 10^{-4}$
		Tonschichten	klein	10^{-5}
		Seekreide	klein	ca. 10^{-5}
		Torf	unregelmässig, sehr klein – gross	$10^{-6} - 10^{-3}$
Schwemmlehme, (Auelehme), fluvial	Talsole, oft als Deckschichten	tonig-siltig, siltig, sandige Tone	sehr klein – klein	$10^{-6} - 10^{-5}$
		Gehängelehme	Talhänge bis Talsole	tonig-siltig, siltig, sandige Tone
Grundmoränen (Moränendecke)	Talsole, oft direkt über Felsunterlage	vorbelasteter tonig-siltiger Kies oder Silt und Ton mit Steinen	unregelmässig, sehr klein	$\leq 10^{-6}$

E.2 Grundwasserbeschaffenheit und chemisch-biologische Prozesse

E.2.1 Allgemeines

- E.2.1.1 Die Machbarkeit der Anlage, auftretende Alterungsprozesse, der erforderliche Aufwand für Unterhalt und Regeneration in der Betriebsphase und die Lebensdauer der Anlagen stehen in engem Zusammenhang mit der chemischen, biologischen und physikalischen Beschaffenheit des Grundwassers.
- E.2.1.2 Chemisch-biologisch bedingte ungünstige Entwicklungen werden hervorgerufen durch die Veränderung der chemischen und biozönotischen Gleichgewichtsbedingungen im Wasser. Typische Störungen dieser Gleichgewichtsbedingungen sind:
- Veränderung des Wasserdrucks im Grundwasserleiter durch den Pumpbetrieb oder durch turbulente Strömung im Nahbereich des Brunnens, in der Pumpe, in den Leitungen und im Wärmeübertrager;
 - Sauerstoffzufuhr ins Wasser durch den Kontakt mit der Umgebungsluft in den Brunnen oder im Anlagensystem;
 - Mischung von Wässern, die aus verschiedenen Schichten des erschlossenen Grundwasserleiters stammen und eine unterschiedliche Wasserbeschaffenheit aufweisen;
 - Entgasung des Wassers durch den Pumpen- und Förderbetrieb;
 - erhöhte Zufuhr von bioverfügbaren Nährstoffen;
 - Veränderung der Wassertemperatur in der Anlage und im Grundwasserleiter.
- E.2.1.3 Je nach Angriffspunkt im System der Anlage sind die chemisch-biologisch bedingten Alterungsprozesse anders geartet. Besonders gefährdete Systemteile sind der Entnahmekostenbrunnen und die Rückgabeanlage, der umliegende Grundwasserleiter sowie der Wärmetauscher und die Pumpen. Leitungsarmaturen und Armaturen sind weniger stark gefährdet.
- E.2.1.4 Die Verwendung von Materialien für die Anlagenkomponenten, welche nicht mit der Grundwasserbeschaffenheit kompatibel sind, kann zu beschleunigten Alterungsprozessen führen.

E.2.2 Verockerung

- E.2.2.1 Verockerungen bestehen aus anwachsenden Belägen aus Eisen- und Manganhydroxiden, die zu Kolmatierung und Verstopfung von Hohlräumen im Wasserkreislauf der Anlage und im umgebenden Grundwasserleiter führen. Diese Ablagerungen können sich in Abhängigkeit von den jeweiligen relevanten chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Verhältnissen an verschiedenen Angriffspunkten bilden. Am häufigsten sind das Rückgabebauwerk (Versickerungsanlage oder Rückgabekostenbrunnen) und der Wärmeübertrager betroffen. In Brunnen führen sie zu Kolmatierung der Brunnenfilterrohre, im Filterkies und am Übergang zum Grundwasserleiter.
- E.2.2.2 Verockerungen entstehen durch Oxidation von im Wasser gelöstem zweiwertigem Eisen und Mangan und Ausfällungen in Form von schwerlöslichen Eisen- und Manganhydroxiden. Anfänglich sind die Beläge meist porös und weich. Mit zunehmendem Alter kann eine Umkristallisation zu kompakteren und härteren Belägen stattfinden. Verockerungen treten verbreitet in Verbindung mit der Bildung von Biofilmen aus Mikroorganismen und im Besonderen mit Eisen und Mangan liebenden Bakterien auf, welche den Verockerungsprozess stark beschleunigen.
- E.2.2.3 Häufigste Ursache von Verockerungen ist das Vorhandensein von reduziertem Wasser mit gelöstem zweiwertigem Eisen oder Mangan in Kombination mit einer Veränderung der Oxidationsbedingungen, z.B. durch Vermischung mit sauerstoffhaltigem Wasser oder durch Kontakt mit Sauerstoff aus der Luft.
- E.2.2.4 Verockerungen entstehen bevorzugt und nehmen rascher zu auf bestehenden eisen- oder manganhaltigen Oberflächen. Unvollständige Entfernung von bestehenden Belägen bei Regenerationsmassnahmen führt zu rascher Neubildung und zu nur vorübergehendem Erfolg der Regenerationsmassnahmen.

E.2.3 **Versinterung**

E.2.3.1 Versinterungen entstehen meist durch Ablagerungen von Calcium- und Magnesiumkarbonaten im Brunnen im Filterkies, im Filterrohr, an Pumpen und in Leitungen.

E.2.3.2 In vielen Gebieten der Schweiz ist das Grundwasser annähernd mit gelöstem Kalk gesättigt. Versinterungen entstehen durch eine Verringerung des CO₂-Partialdrucks und Entgasung von CO₂ aus dem Wasser, was zu einer Veränderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts, zu Kalk-Übersättigung und zur chemischen Ausfällung von Karbonaten aus dem Wasser führt. Versinterungen treten oft in Begleitung von Verockerungen und Bildung von Biofilmen auf.

E.2.3.3 Ursache ist meist der Betrieb des Entnahmebrunnens: Entzug von im Wasser gelöstem CO₂ durch Verringerung des Wasserdrucks im Grundwasserleiter (Absenkung des Wasserspiegels), durch strömungsbedingte Entgasung bei stark turbulenter Strömung (starke lokale Änderung der Fließgeschwindigkeit und Umlenkung der Fließrichtung an scharfen Kanten wie Filterschlitz) oder durch die Erhöhung der Wassertemperatur durch die Förderpumpe. Bei Anlagen zur Kühlung mit Grundwasser kann eine Erhöhung der Wassertemperatur am Wärmeübertrager und im Rückgabebrunnen Ursache von Versinterungen sein. Auch eine unregelmässige Befahrung der Brunnen (stagnierendes Wasser oder Luftkontakt im Entnahme- und im Rückgabebrunnen) mit langen Standzeiten führt zu Versinterung.

E.2.4 **Verschleimung**

E.2.4.1 Die Bildung von Biofilmen durch im Grundwasserleiter vorhandene oder durch Verunreinigung zugeführte Mikroorganismen kann zur Beeinträchtigung und zur Kolmatierung der Brunnenanlagen und des umliegenden Grundwasserleiters führen. Am häufigsten treten Verschleimungen bei Rückgabeeanlagen auf.

E.2.4.2 Durch das Wachstum von Mikroorganismen werden die Porenräume im Filterkies und im umgebenden Grundwasserleiter verstopft und die hydraulische Durchlässigkeit nimmt ab. Die Verfüllung des Porenraums kann durch die Zellen der Mikroorganismen, durch Sekretion von organischen Polymeren («Schleim»), durch die Bindung von im Wasser suspendierten Feststoffpartikeln am Biofilm, durch die Bildung und Bindung von Gasblasen im Porenraum (CO₂, H₂S, CH₄) oder durch die Ausscheidung und Ausfällung von mineralischen Ablagerungen durch Mikroorganismen erfolgen.

E.2.4.3 Die Bildung von Verschleimungen kann sehr abrupt auftreten und nach komplexen Mustern ablaufen. Vergesellschaftungen von Mikroorganismen mit unterschiedlichem Stoffwechsel (z.B. aerob und anaerob) und das Nährstoffangebot sind ausschlaggebend. Wesentliche Nährstoffe sind:

- Phosphat,
- Nitrat,
- organischer Kohlenstoff (als Biomasse, als organische chemische Substanzen, z.B. in Form der organischen Schadstofffracht bei Altlasten oder von organischen Zusätzen aus Rückständen von Bohrspülungen),
- reduziertes Eisen und Schwefel, die als Nährstoffe für spezialisierte Vergesellschaftungen von Mikroorganismen dienen.

Bei reduzierter Nährstoffzufuhr können Biofilme durch natürliche Prozesse abgebaut werden.

E.2.5 **Korrosion**

E.2.5.1 Die Korrosion von Anlagenkomponenten aus Metall, welche im Kontakt mit dem Grundwasserkreislauf sind, kann durch die Wasserbeschaffenheit stark beschleunigt werden. Davon betroffen ist vor allem der Wärmeübertrager. Die Bildung von Versinterungsbelägen an metallischen Anlagenteilen bewirkt eine schützende Schutzschicht und hemmt die Korrosion (vgl. Anhang G).

Anhang F (informativ)

Projektierungshinweise

F.1 Einflussfaktoren zur Dimensionierung

Tabelle 4 Einflussfaktoren auf die Dimensionierung einer thermischen Grundwassernutzung

		Auswirkung auf:						
		Erzielbarer Volumenstrom	Absenkung/Aufhöhung im Brunnen	Erforderliche Brunnentiefe	Erforderlicher Ausbau- und Bohrdurchmesser	Erforderlicher Dublettenabstand	Hydraulische Reichweite	Thermische Reichweite
Hydrogeologische Faktoren	K-Wert	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Hydraulischer Gradient	o	o	o	o	+++	+	+++
	Wassergesättigte, hydraulisch aktive Mächtigkeit des Grundwasserleiters	+++	+++	o	++	+++	+	+++
	Flurabstand Grundwasserspiegel	o	o	+++	o	o	o	o
	Temperaturspreizung Entnahme zu Rückgabe	o	o	o	o	++	o	+++
Anlagenspezifische Faktoren	Volumenstrom		+++	+++	++	+++	+++	+++
	Brunnentiefe	+++	+++		++	+	+	+
	Bohrdurchmesser	+	+	++		o	+	o
Ausführungsspezifische Faktoren	Bohrmethode	+	+	+	+++	o	o	o
	Entsandung	+++	+++	+++	+++	o	o	o

Einfluss: +++ stark
 ++ mittel
 + klein
 o vernachlässigbar

Tabelle 5 Einflussfaktoren auf die Energieeffizienz einer Anlage zur thermischen Grundwassernutzung (hier zu Heizzwecken)

	Bedarf von Hilfsstrom	COP bzw. JAZ ¹
Hohe Verdampfungstemperatur im Verdampfer	o	++
Hohe Grundwassertemperatur	o	++
Kleine Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Abgabe (Grundwassertemperatur und Heizungs-Vorlauftemperatur)	o	++
Grosser Grundwasservolumenstrom	-	o
Kleine Temperaturdifferenz im Grundwasserkreislauf (Entnahme zu Rückgabe)	o	+
Kleiner Grundwasser-Volumenstrom	+	o
Grosse Temperaturdifferenz im Grundwasserkreislauf (Entnahme zu Rückgabe)	o	-
System: Direkte Nutzung	+	+
System: Indirekte Nutzung	-	-
Grosse geodätische Förderhöhe (= grosse Tiefe im Entnahmebrunnen)	--	-
Grosser Gesamtdruckverlust im Grundwasserkreislauf	--	-
Kleine geodätische Förderhöhe (= geringe Tiefe im Entnahmebrunnen)	++	+
Kleiner Gesamtdruckverlust im Grundwasserkreislauf	++	+

¹ COP: Coefficient of performance (Leistungszahl), JAZ: Jahresarbeitszahl

Einfluss: ++ stark positiv
 + positiv
 o vernachlässigbar (kein oder kaum Einfluss)
 - negativ
 -- stark negativ

F.2 Gleichungen zur Berechnung und Auslegung

F.2.1 Einleitung

Dieser Anhang enthält Gleichungen, die insbesondere zur Prüfung der Machbarkeit und Erstbewertung an einem Standort geeignet sind. Diese analytischen Lösungen gehen von speziellen Vereinfachungen aus, die hier nicht ausführlich beschrieben werden, die aber für eine Erstbewertung angemessen sind. Ausgewählte Diagramme, die mit diesen Gleichungen berechnet wurden und zur Erstbewertung am Standort dienen können, sind in F.3 aufgeführt.

F.2.2 Grundlegende Anforderungen an die Dimensionierung der Grundwassernutzung

F.2.2.1 Die Verdampferleistung (bei Wärmepumpennutzung) und Kälteleistung (bei direkter Kühlung) bestimmen bei Annahme einer Temperaturänderung des Grundwassers um ΔT den Volumenstrom der Zirkulation von Entnahme und Rückgabe q_{req} :

$$q_{req} = \frac{\Phi_{C,gen}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T} \text{ bzw. } \frac{\Phi_{C,dis}}{\rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T} \quad (1)$$

q_{req} erforderlicher Volumenstrom, in m³/s
 $\Phi_{C,gen}$ Verdampferleistung, in W
 $\Phi_{C,dis}$ Leistung der Direktkühlung, in W
 ρ_w Dichte des Wassers, in kg/m³
 c_w spezifische Wärmekapazität des Wassers, in J/kgK
 ΔT Temperaturänderung des Grundwassers durch Nutzung, in K

F.2.3 Hydraulische Brunnenbemessung

F.2.3.1 Die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters (Wasserandrang q_e) lässt sich abschätzen nach Dupuit [6]:

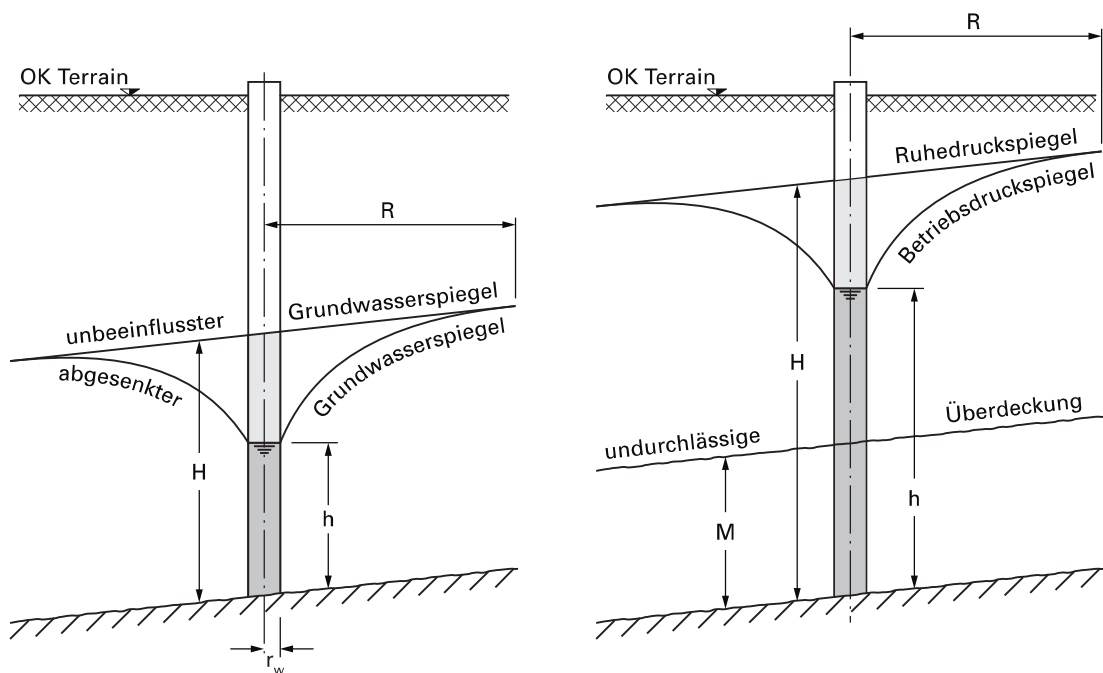
$$q_e = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln \frac{R}{r_w}} \quad \text{ungespannt} \quad (2)$$

- q_e Wasserandrang an einen Brunnen, in m^3/s
 K hydraulische Leitfähigkeit, in m/s
 H Differenz zwischen Grundwasserstauer und Ruhewasserspiegel bei Ruhezustand, in m
 h Differenz zwischen Grundwasserstauer und abgesenktem Wasserspiegel, in m
 R Reichweite, in m (z.B. nach Sichardt [7], F.2.5.1)
 r_w Radius der Bohrung, in m

$$q_e = \frac{\pi \cdot K \cdot M \cdot (H - h)}{\ln \frac{R}{r_w}} \quad \text{gespannt} \quad (3)$$

- M Grundwassermächtigkeit, in m
 H Differenz zwischen Grundwasserstauer Druckniveau bei Ruhezustand, in m
 h Differenz zwischen Grundwasserstauer und abgesenktem Druckniveau, in m

Figur 13 Skizze der massgeblichen Grössen in den Gleichungen



F.2.3.2 Das Fassungsvermögen eines Brunnens q_c wird bestimmt nach Sichardt [7]:

$$q_c = \frac{2\pi \cdot r_w \cdot h \cdot \sqrt{K}}{15} \quad \text{ungespannt} \quad (4)$$

$$q_c = \frac{2\pi \cdot r_w \cdot M \cdot \sqrt{K}}{15} \quad \text{gespannt} \quad (5)$$

- q_c Fassungsvermögen eines Brunnens, in m^3/s

F.2.3.3 Für eine Dublette aus Entnahme und Rückgabe lässt sich die Absenkung und Aufhöhung im Brunnen Δh (näherungsweise auch für ungespanntes Grundwasser) abschätzen nach:

$$\Delta h = \frac{q_V}{2\pi \cdot K \cdot M} \ln\left(\frac{D-r_w}{r_w}\right) \quad (6)$$

q_V Volumenstrom, in m^3/s
 Δh Spiegelabsenkung bzw. Aufhöhung im Brunnen, m
 D Abstand zwischen Entnahme und Rückgabe, in m

vgl. Figur 15 in F.3

F.2.4 **Abstand für Rückgabe**

F.2.4.1 Die Rezirkulation ist ausgeschlossen im Abstand D der Rückgabe im Abstrom, wenn:

$$D \geq \frac{2q_V}{\pi \cdot M \cdot v_D} \quad (7)$$

$$v_D = K \cdot \text{grad}(h) \quad (8)$$

v_D Darcygeschwindigkeit, in m/s
 $\text{grad}(h)$ hydraulischer Gradient, in m/m

vgl. Figuren 16 bis 19 in F.3

Die Durchbruchzeit t_b im Abstand D bei Rückgabe im Abstrom (Azimut = 180°) berechnet sich nach Schulz [11],

$$\text{wenn } D < \frac{2q_V}{\pi \cdot M \cdot v_D} : \quad (9)$$

$$t_b = \frac{\rho_a \cdot c_a}{\rho_w \cdot c_w} \cdot \frac{D}{v_D} \cdot \left[\frac{q_V}{\pi \cdot M \cdot v_D \cdot c} \cdot \arctan\left(\frac{D}{2c}\right) - 1 \right] \quad (10)$$

t_b Durchbruchzeit (des 1. Wasserteilchens im Brunnen), in s
 c Hilfsvariable

$$c = \sqrt{\text{abs}\left(\frac{D^2}{4} - \frac{D \cdot q_V}{2\pi \cdot M \cdot v_D}\right)} \quad (11)$$

$$\rho_a \cdot c_a = n \cdot \rho_w \cdot c_w + (1-n) \cdot \rho_r \cdot c_r \quad (12)$$

ρ_a Dichte des Grundwasserleiters, in kg/m^3
 c_a spezifische Wärmekapazität des Grundwasserleiters, in J/kgK
 ρ_r Dichte des Festgesteins, in kg/m^3
 c_r spezifische Wärmekapazität des Festgesteins, in J/kgK
 ρ_w Dichte des Wassers, in kg/m^3
 c_w spezifische Wärmekapazität des Wassers, in J/kgK
 n Porosität

vgl. Figuren 16 bis 19 in F.3

F.2.5 **Abschätzung der hydraulischen und thermischen Reichweiten der Nutzung**

F.2.5.1 Hydraulische Beeinflussung

Die hydraulische Reichweite kann z.B. nach Sichardt [7] berechnet werden:

$$R = 3000 \cdot \Delta h \cdot \sqrt{K} \quad (13)$$

R äusserster Einflussbereich von Absenkungen, in m

Die Absenkung bzw. Aufhöhung in der Distanz r kann nach Theis [12] berechnet werden:

$$\Delta h(r, t) = \frac{q_v}{4 \pi \cdot K \cdot M} W(u) \quad (14)$$

$W(u)$ Brunnenfunktion; Exponentialintegral (s. u.a. Theis [12])

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4 K \cdot M \cdot t} \quad (14)$$

r Distanz zum Brunnen, in m
 S Speicherkoeffizient
 t Zeit, in s

Die quasistationäre Näherung nach hinreichend grossen Zeiten $\left(t > \frac{25r^2 \cdot S}{K \cdot M} \right)$ für gespanntes Grundwasser ist:

$$\Delta h(r, t) = \frac{q_v}{4\pi \cdot K \cdot M} \left(-0,5772 + \ln \frac{4 K \cdot M \cdot t}{r^2 \cdot S} \right) \quad (16)$$

F.2.5.2 Thermische Beeinflussung

Die Temperaturänderung entlang einer Strombahn lässt sich berechnen nach Alisaev [13]:

$$\text{für } t < \frac{\rho_a \cdot c_a}{\rho_w \cdot c_w} \cdot \tau: \frac{\Theta(t, y) - \Theta_0}{\Theta_i - \Theta_0} = 0 \quad (17)$$

$$\text{sonst: } \frac{\Theta(t, y) - \Theta_0}{\Theta_i - \Theta_0} = \operatorname{erfc} \left[\frac{\frac{\lambda}{M \cdot \rho_w \cdot c_w} \cdot \tau}{\sqrt{\frac{\lambda}{\rho_r \cdot c_r} \left(t - \frac{\rho_a \cdot c_a}{\rho_w \cdot c_w} \cdot \tau \right)}} \right]$$

Θ_0 (ungestörte) Grundwassertemperatur, in °C
 Θ_i Rückgabetemperatur, in °C
 τ Fließzeit eines «temperaturbeladenen» Wasserteilchens, in s
 λ Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht, in W/mK
 erfc komplementäre Errorfunktion

vgl. Figur 20 in F.3

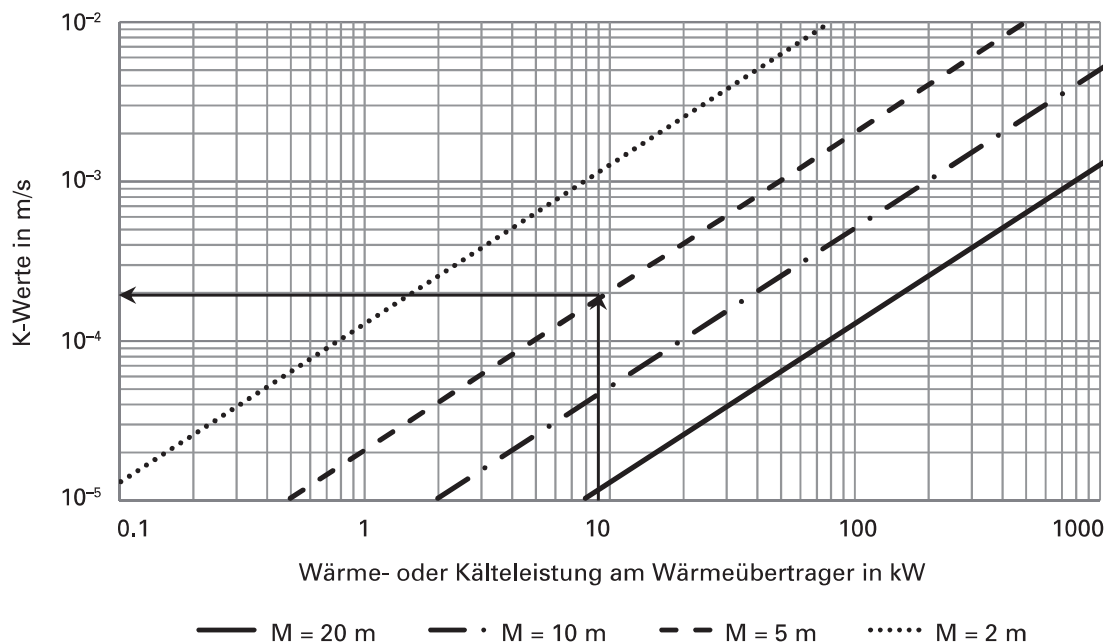
F.3 Diagramme zur Berechnung und Auslegung

F.3.1 Einleitung

Dieser Anhang enthält ausgewählte Diagramme zu den Gleichungen in F.2, die insbesondere zur Prüfung der Machbarkeit und Erstbewertung an einem Standort geeignet sind. Die den Diagrammen zugrundeliegenden analytischen Lösungen gehen von Vereinfachungen aus (homogene Parameter, konstante Regimes usw.). Der Nachweis des Ausschlusses einer Beeinflussung Dritter kann damit in der Regel nicht erbracht werden.

F.3.2 Erforderliche Durchlässigkeit zur Erzielung einer thermischen Leistung

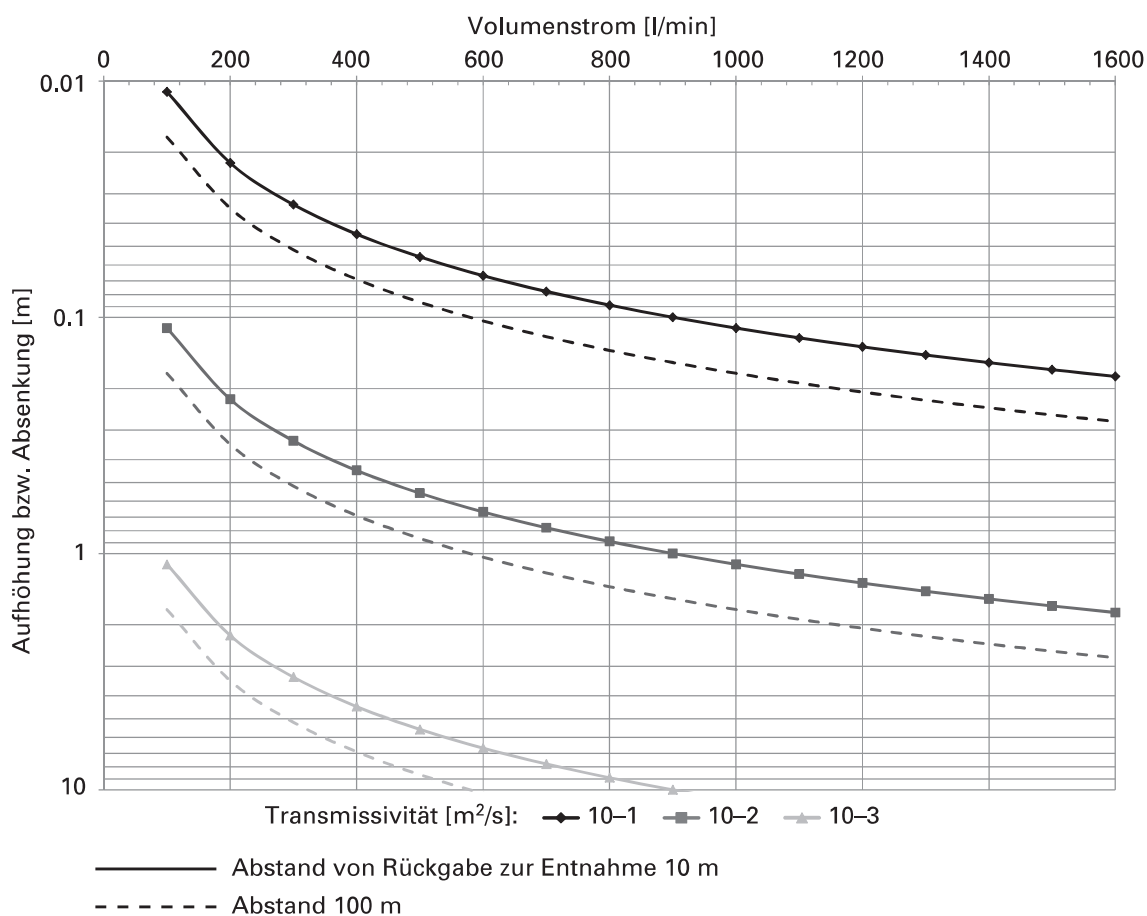
Figur 14 Erforderliche hydraulische Leitfähigkeit bei verschiedenen Grundwassermächtigkeiten M zur überschlägigen Prüfung, eine bestimmte Leistung entziehen zu können; hier bei Annahme einer maximalen Absenkung um 10% der wassergesättigten Mächtigkeit und einer Temperaturänderung um 4 K



Eingetragenes Beispiel: Zum Entzug einer Wärmeleistung von 10 kW durch eine Dublette (mit einer Abkühlung um 4 K und einer Absenkung um nicht mehr als 10% der wassergesättigten Mächtigkeit) sind bei einer Grundwassermächtigkeit von 5 m hydraulische Leitfähigkeiten von mindestens $2 \cdot 10^{-4}$ m/s erforderlich.

F.3.3 Spiegeländerungen infolge Zirkulation mit einer Dublette

Figur 15 Absenkung bzw. Aufhöhung des Wasserspiegels im Brunnen (stationär, Gleichung in F.2.3.3) in Abhängigkeit vom Zirkulationsvolumenstrom für drei verschiedene Transmissivitäten (Annahmen: homogene Parameter, Bohrdurchmesser 300 mm)

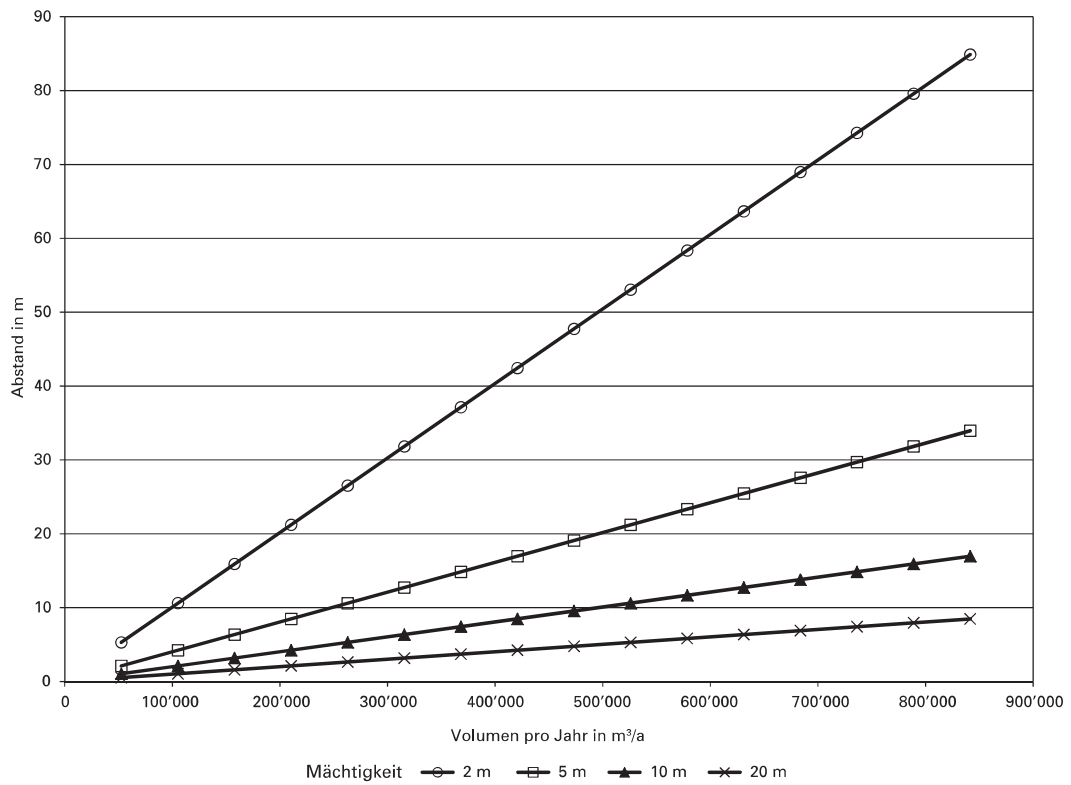


F.3.4 Abstände zur Vermeidung von Rezirkulation

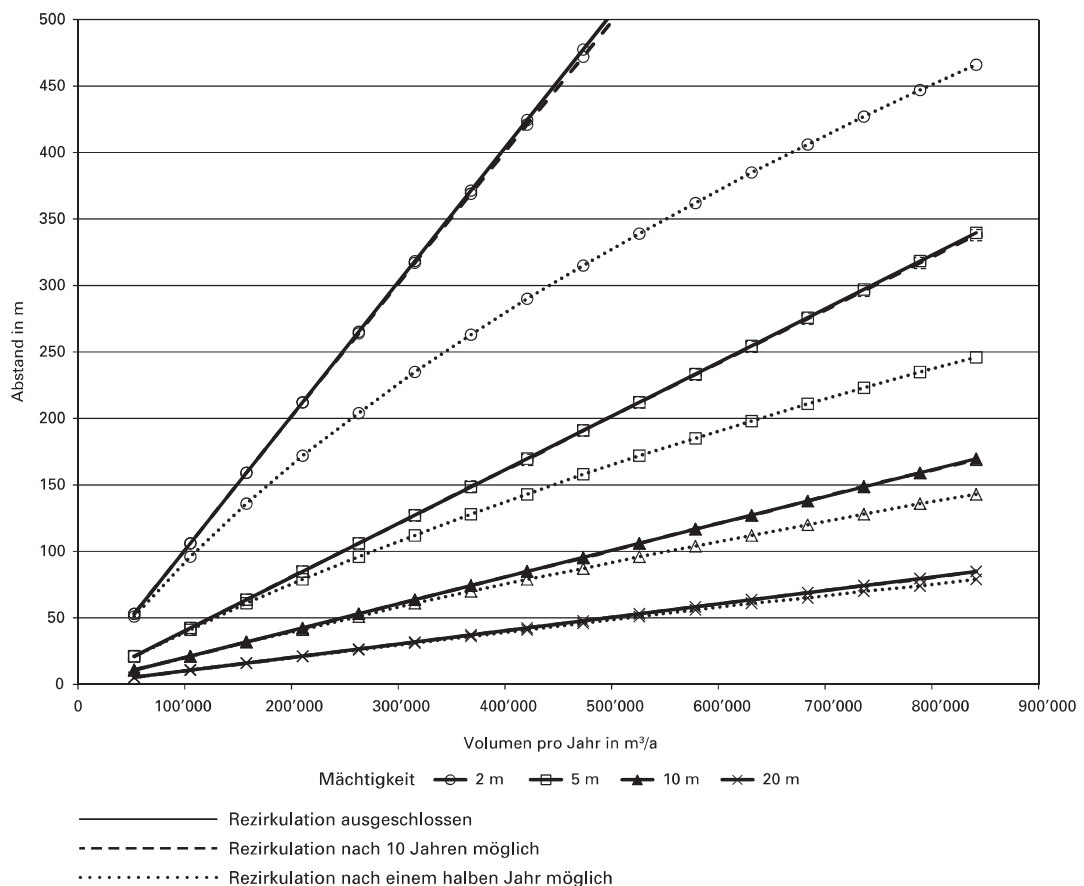
Bei den nachfolgenden Diagrammen (Figuren 16 bis 19) sind minimale Abstände ausgewiesen, bei denen eine Rezirkulation entweder ausgeschlossen werden kann (F.2.4.1) oder in einem Zeitraum von 10 Jahren ununterbrochener Betriebszeit bzw. nach einem halben Jahr Betrieb nicht auszuschliessen ist. Aufgetragen sind diese Abstände in Abhängigkeit der jährlich zirkulierenden Wassermenge.

Hinweis: Selbst im Falle einer Rezirkulation (Durchbruch) ist danach nicht sofort mit einer Beeinträchtigung der Fördertemperatur zu rechnen.

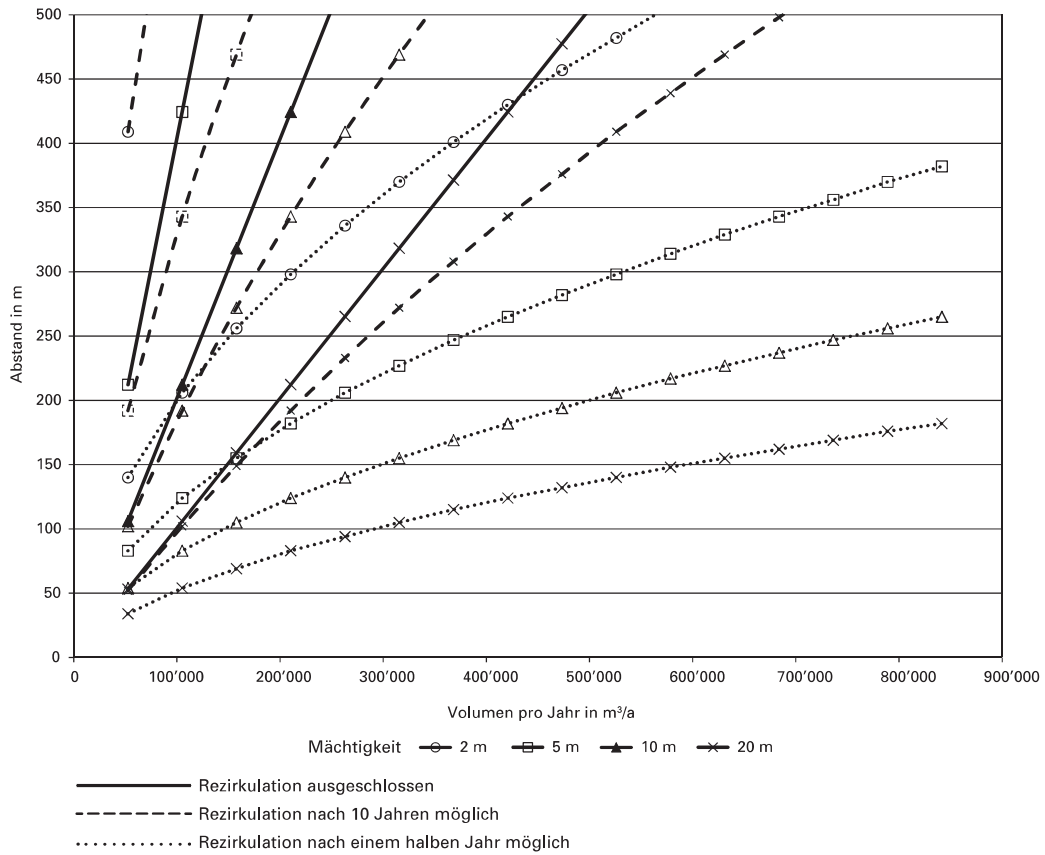
Figur 16 Abstand der Rückgabe von Entnahme zur Vermeidung von Rezirkulation bei einer Darcygeschwindigkeit $V_D = 10^{-4}$ m/s als Funktion des jährlich zirkulierten Volumens, z.B. $K = 10^{-2}$ m/s; grad (h) = 1%



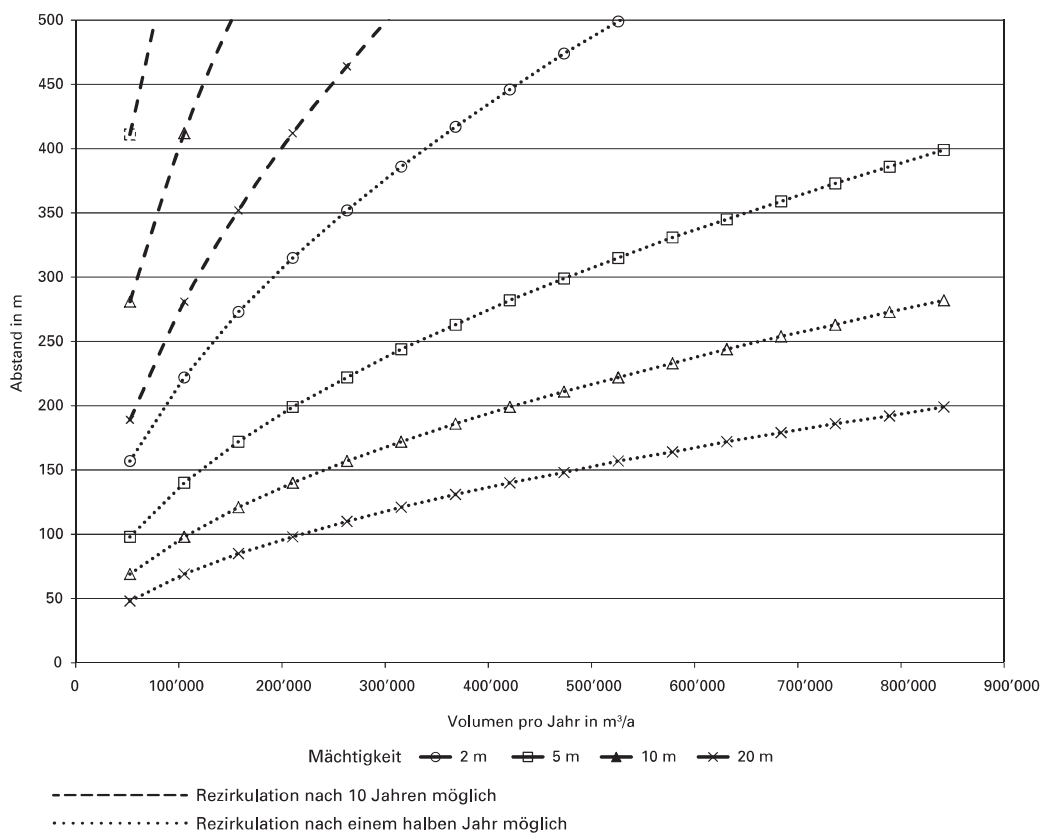
Figur 17 Abstand der Rückgabe von Entnahme zur Vermeidung von Rezirkulation bei einer Darcygeschwindigkeit $V_D = 10^{-5}$ m/s als Funktion des jährlich zirkulierten Volumens, z.B. $K = 10^{-2}$ m/s; grad (h) = 0,1% oder $K = 10^{-3}$ m/s; grad (h) = 1%



Figur 18 Abstand der Rückgabe von Entnahme zur Vermeidung von Rezirkulation bei einer Darcygeschwindigkeit $V_D = 10^{-6}$ m/s und z.B. $K = 10^{-3}$ m/s; grad (h) = 0,1% oder $K = 10^{-4}$ m/s; grad (h) = 1%



Figur 19 Abstand der Rückgabe von Entnahme zur Vermeidung von Rezirkulation bei einer Darcygeschwindigkeit $V_D = 10^{-7}$ m/s und z.B. $K = 10^{-4}$ m/s; grad (h) = 0,1% oder $K = 10^{-8}$ m/s; grad (h) = 1%



F.3.5 Vereinfachtes Beispiel der Temperaturänderung im Abstrom der Rückgabe

Das nachfolgende Diagramm zeigt als Beispiel den Einfluss der Grundwasserfließgeschwindigkeit auf die Temperaturänderung im Abstrom der Rückgabe. Betrachtet wird ein «temperaturbeladenes» Wasserteilchen, das mit einer vom Abstand der Rückgabe unabhängigen, konstanten Abstandsgeschwindigkeit transportiert wird und durch Wärmeaustausch mit der Matrix und Wärmeleitung mit der Deckschicht (unendlich mächtig mit Wärmeleitfähigkeit λ) einen Wärmeaustausch erfährt (Lösung nach F.2.5.2). Die Fließzeit des Teilchens im Abstand y ergibt sich unter dieser Voraussetzung zu

$$\tau = n \frac{y}{v_D} \tag{17}$$

Die in Figur 20 dargestellte relative Temperaturänderung $\Delta\theta$ ist die Änderung der Temperatur am Ort y zur Zeit t , $\theta(y,t)$, gegenüber der ungestörten Temperatur θ_0 im Verhältnis zur Differenz der Rückgabetemperatur θ_i und der ungestörten Temperatur des Grundwasserleiters θ_0 :

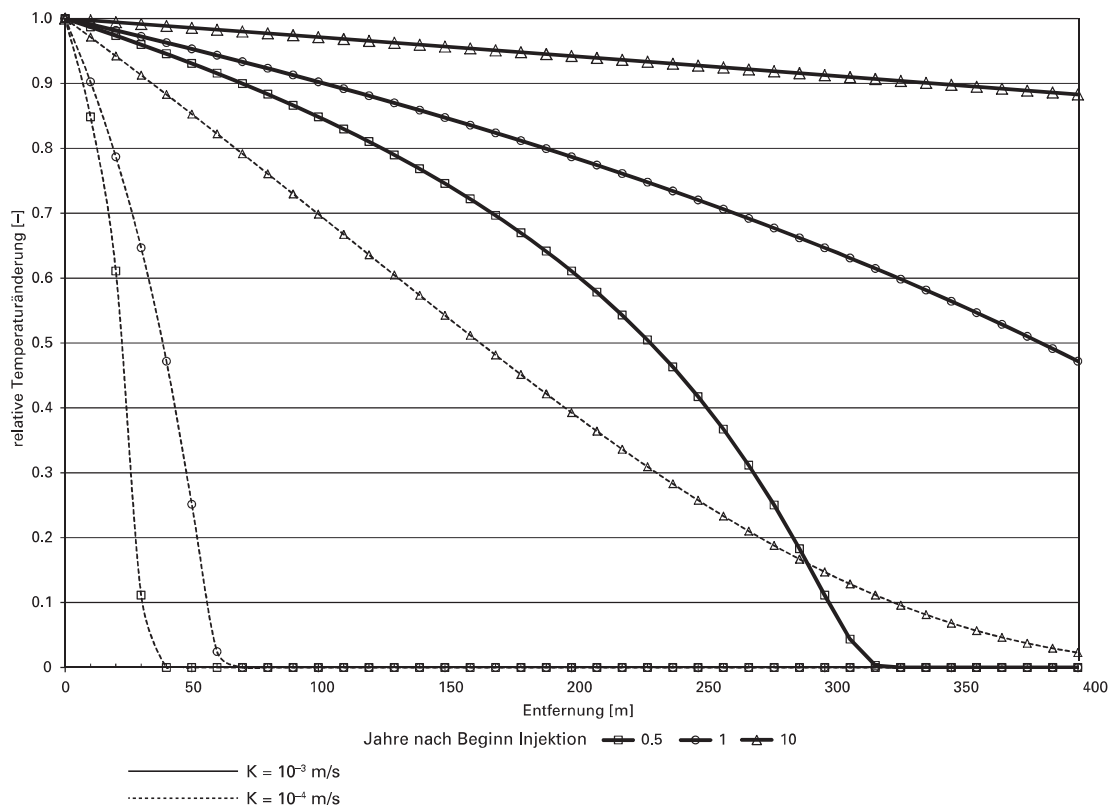
$$\Delta\theta = \frac{\theta(y,t) - \theta_0}{\theta_i - \theta_0} \tag{18}$$

Für die Temperatur am Ort y zur Zeit t gilt somit

$$\theta(y,t) = \theta_0 + \Delta\theta \cdot (\theta_i - \theta_0) \tag{19}$$

Figur 20 Beispiel für die Reichweite der thermischen Beeinflussung in Abströmrichtung: relative Temperaturänderung

Modellparameter: Mächtigkeit 10 m; Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht 2 W/mK; Porosität 10%, hydraulischer Gradient 0,1 m/100 m (oder 0,1%), hydraulische Durchlässigkeit 10^{-3} bzw. 10^{-4} m/s



Beispiel: Wasser wird mit 5°C in einen Grundwasserleiter von 10°C eingeleitet. Der Grundwasserleiter hat einen Durchlässigkeitsbeiwert K von 10^{-3} m/s bzw. 10^{-4} m/s, einen hydraulischen Gradienten von 0,1% und eine Porosität von 10%. Die Abstandsgeschwindigkeit des mit dem fließenden Grundwasser transportierten «Teilchens» beträgt:

$$10^{-3} \text{ m/s} \cdot 0,1\% \cdot 10\% = 10^{-5} \text{ m/s} \text{ bzw.}$$

$$10^{-4} \text{ m/s} \cdot 0,1\% \cdot 10\% = 10^{-6} \text{ m/s} \text{ analog}$$

Die relative Temperaturänderung $\Delta\theta$ in einer Entfernung von 300 m von der Rückgabe beträgt nach 10 Jahren gemäss Figur 20 bei a) ca. 0,92 (bei $K = 10^{-3}$ m/s) oder b) 0,15 (bei $K = 10^{-4}$ m/s).

Die Temperatur im Abstand von 300 m nach 10 Jahren beträgt demnach (rund):

$$a) \theta(300 \text{ m}, 10 \text{ a}) = 10^\circ\text{C} + 0,92 \cdot (5^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 5,4^\circ\text{C}$$

Im gleichen Fall, jedoch mit einem geringeren Durchlässigkeitsbeiwert von 10^{-4} m/s, ergibt sich die Temperatur zu:

$$b) \theta(300 \text{ m}, 10 \text{ a}) = 10^\circ\text{C} + 0,15 \cdot (5^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 9,2^\circ\text{C}$$

Im ersten Fall (a) einer hier als permanent über einen Zeitraum von 10 Jahren angenommenen Einleitung hat die Temperatur im Abstrom fast die Rückgabetemperatur angenommen, im zweiten Fall (b) ist sie nur gering beeinflusst.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf verwiesen, dass der hier verwendete Lösungsansatz von zahlreichen Vereinfachungen ausgeht. Das obige Beispiel soll daher nur zur Illustration dienen. Die hier verwendete Gleichung ist jedoch die einfachste analytische und mathematisch exakte Lösung des Wärmetransportproblems im fliessenden Grundwasser. Dies illustriert die Notwendigkeit numerischer Modelle, auf die nachfolgend eingegangen wird.

F.4 Anforderungen an die hydraulisch-thermische Modellierung

F.4.1 Grundlagen

F.4.1.1 Grundwassermodelle bilden die komplexen und zum Teil komplizierten Verhältnisse vereinfacht ab. Der Grad der Vereinfachung muss den lokalen hydrogeologischen Verhältnissen und dem Nutzungsszenario ausreichend gerecht werden.

F.4.1.2 Mit vereinfachten, häufig analytischen oder halbanalytischen Modellansätzen lassen sich übersichtliche Aussagen – z.B. Abschätzungen der thermischen und hydraulischen Reichweite – ableiten, die für eine erste Prüfung der Machbarkeit in der Regel ausreichend sind.

F.4.1.3 Derartige Modellansätze vernachlässigen oder vereinfachen sehr stark

- dreidimensionale Verhältnisse,
- zeitabhängige Änderungen (z.B. Betriebsregime),
- Heterogenität und Inhomogenität des Grundwasserleiters und angrenzender Schichten,
- Wechselwirkungen mit Oberflächengewässern, anthropogener Beeinflussung und Überlagerungen mehrerer Nutzungen oder Eingriffe.

F.4.1.4 Modellanwender und -nutzer haben sich der gemachten Voraussetzungen und Vereinfachungen bewusst zu sein.

F.4.1.5 Alle Programme, welche die in F.4 aufgelisteten Anforderungen erfüllen, können verwendet werden. Beispiele von Berechnungsprogrammen sind in K.2 aufgelistet.

F.4.2 Modellkonzept

F.4.2.1 Das Modellkonzept ist die Grundlage der Modellierung. Die Qualität des Modells wird an der Umsetzung des Modellkonzeptes gemessen.

F.4.2.2 Das Modellkonzept umfasst

- die Formulierung der Zielstellung des Modells,
- zu berücksichtigende und ggf. vernachlässigbare Prozesse,
- die Festlegung des räumlichen Modellgebietes in Ausdehnung und Tiefe,
- die Formulierung von äusseren Randbedingungen an den Modellrändern,
- Anforderungen an die räumliche und zeitliche Diskretisierung (Auflösung),
- Anforderungen an die Genauigkeit der Simulationsergebnisse,
- Vorgehen bezüglich Datenerhebung, Kalibration und Validierung des Modells.

F.4.2.3 Das Modellkonzept setzt auch eine Abschätzung der räumlichen und zeitlichen Reichweite der als relevant zu erachtenden Prozesse voraus.

- F.4.2.4 Wesentliche Transportprozesse von Wärme im Grundwasser sind:
- Advektion,
 - Wärmeaustausch zwischen Gestein und Wasser,
 - Wärmeleitung (Konduktion).

Konvektion durch Wind und Wärmestrahlung an der Terrainoberfläche kann in der Regel vereinfacht durch einen Wärmeübergang abgebildet werden.

- F.4.2.5 Der advective Wärmetransport mit fließendem Wasser ist insbesondere in hochdurchlässigen Grundwasserleitern der dominierende Transportprozess. Der genauen Abbildung der Strömung des Grundwassers kommt daher eine wesentliche Bedeutung zu.

- F.4.2.6 Der Wärmetransport mit fließendem Wasser wird gegenüber der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers durch den Wärmeaustausch zwischen Wasser und Gestein und Wärmespeicherung um einen Faktor 2 bis 3 retardiert.

- F.4.2.7 Wärmeleitung in hydraulisch weniger durchlässigen Zwischen- und Deckschichten dämpft und verlangsamt die thermische Front.

- F.4.2.8 Hydrodynamische Dispersion hat meist einen untergeordneten Einfluss auf die Ausbreitung von Wärme in Grundwasserleitern.

F.4.3 **Modellumsetzung und -eichung**

- F.4.3.1 Die im Modellkonzept formulierten Modellgrundlagen werden in ein mathematisches Modell umgesetzt. In einem numerischen Modell wird das Modellgebiet – je nach Lösungsverfahren – in Finite Bereiche, Elemente oder Volumina diskretisiert, für die das Anfangs-Randwert-Problem der Strömungsgleichung und der Energiebilanzgleichung zu lösen ist.

- F.4.3.2 Strömung und Transport können zur Berechnung entkoppelt werden, da die Temperaturabhängigkeit von Dichte und Viskosität im hier zu betrachtenden Bereich vernachlässigbar ist.

- F.4.3.3 Die räumliche Diskretisierung muss mindestens die Verbreitung hydrogeologisch zu differenzierender Verhältnisse abbilden. In der unmittelbaren Umgebung von Rückgabebauwerken muss sie hinreichend klein sein, um die Prozesse im Meterbereich abzubilden.

- F.4.3.4 Der konduktive Wärmeaustausch mit hydraulisch gering durchlässigen Schichten hat in der Regel Eindringtiefen von wenigen Metern. Es genügt daher, um diesen Prozess zu erfassen, nur die an den Grundwasserleiter angrenzenden Schichten bis zu einer Mächtigkeit von etwa 10 m im Modell abzubilden.

- F.4.3.5 Sind die natürlichen Schwankungen der Grundwassertemperatur am Standort gering, genügen zur Betrachtung mittlere Jahrestemperaturen. Die Beeinflussung durch die thermische Nutzung wird dann gegenüber der ungestörten, mittleren Temperatur berechnet.

- F.4.3.6 Bei saisonal veränderlicher Nutzung, insbesondere bei Nutzung zum Heizen und Kühlen an einem Standort, muss die zeitliche Auflösung so gewählt werden, dass die Prozesse innerhalb einer Saison berechnet und dargestellt werden können.

- F.4.3.7 Für die thermophysikalischen Parameter des Wassers und der Gesteine (Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) genügen in der Regel globale, mittlere Parameter.

- F.4.3.8 Liegen Temperaturmessungen am Standort vor, sind diese anhand des Modells zu verifizieren.

F.4.4 **Modelldokumentation**

- F.4.4.1 Modellgrundlagen, Modellszenarien und Simulationsergebnisse sind nachvollziehbar und vollständig zu dokumentieren.

- F.4.4.2 Die Modellbeschreibung muss Aussagen zur Genauigkeit, Belastbarkeit und Robustheit der Ergebnisse umfassen.

- F.4.4.3 Modellergebnisse (z.B. die Beeinflussung des thermischen Grundwasserfließregimes an definierten Standorten oder Profilschnitten, die zeitliche und räumliche Ausdehnung von Warmwasser- oder Kaltwasserfahnen) müssen sich nachvollziehbar den entsprechenden Modellrechnungen und diese wiederum den zugrundeliegenden Modellannahmen zuordnen lassen.
- F.4.4.4 Modellgrundlagen, Rechenfiles und Ergebnisse sind über einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren zu archivieren.

Anhang G (normativ)

Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit

Tabelle 6 Wasserinhaltsstoffe (persönliche Mitteilung M. Faller, Empa, 2012)

Als Grundlage für die angegebenen Mindestanforderungen dient die Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit von kupfergelöteten Wärmeübertragern aus nicht rostendem Stahl¹. Die Werte stellen Richtwerte dar. Beim Überschreiten der Werte ist ein Werkstoffingenieur beizuziehen. Die spezifischen Herstellervorgaben sind zu beachten.

Parameter	Einheit	Mindestanforderung
pH-Wert	–	7 – 9,5
Gesamthärte	°fH	6 – 27
elektrische Leitfähigkeit	µ/cm	< 1000
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	< 30
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	< 200
freies Chlor (Cl ₂)	mg/l	< 0,5
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	mg/l	< 0,05
Ammonium (NH ₄ ⁺), Ammoniak (NH ₃)	mg/l	< 2
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	< 100
Hydrogencarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/l	< 300
Verhältnis Hydrogencarbonat/Sulfat	–	< 1
Sulfid (S ²⁻)	mg/l	< 1
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	< 100
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	< 0,1
Eisen gelöst (Fe ²⁺)	mg/l	< 0,2
Mangan gelöst (Mn ²⁺)	mg/l	< 0,1
freie Kohlensäure (CO ₂)	mg/l	< 20
TOC	mg/l	< 1,5

¹ Verockerung und Versinterung im Brunnen werden hier nicht betrachtet.

Anhang H (informativ)

Hinweise zur Filter- und Bohrtechnik

H.1 Hinweise zur Filtertechnik

Für den mechanischen Schutz des Wärmetauschers können folgende Filtertechniken zur Anwendung kommen:

- Schmutzfänger mit einfachem Filtersieb. Die Porenöffnung des Filtersiebs ist wählbar; als Faustregel gilt ca. 500 µm.
- Filter mit Taschen (relativ grosses Auffangvolumen von Sand und Ablagerungen).
- Rückspülbare Filter (automatische Reinigung möglich, bedingt Stillstand der Anlage).
- Selbstreinigende Filter (automatische Reinigung möglich, Weiterbetrieb der Anlage möglich).
- Sandfilter (automatische Reinigung möglich, Reinigung auch von organischen Verunreinigungen möglich).
- Absetzbecken bei sehr starker Sandführung (Belüftung des Grundwassers nur bei geeigneter chemischer Wasserbeschaffenheit verträglich).

Tabelle 7 Übersicht Filtertechnik

	Schmutzfänger	Filter mit Taschen	Filter selbstreinigend	Rückspülfilter	Sandfilter
Druckverlust	Abhängig von Verschmutzung	Abhängig von Verschmutzung	Abhängig von Verschmutzung	Abhängig von Verschmutzung	Abhängig von Verschmutzung
Min. Druck	Nein	Ja, 1,5 bar	Ja, 1,5 bar	Ja, 1,5 bar	Ja, 2,0 bar
Sand	Ja, Filtergrösse ca. 0,1 Liter manuell reinigen	Ja, Filtergrösse ca. 17 Liter manuell reinigen	Ja, automatisch möglich, Rückspülzeit kurz	Ja, automatisch möglich, Rückspülzeit kurz	Ja, automatisch möglich, Rückspülzeit lang
Organische Stoffe	Nein	Mit Spezialfilter und Nachfilter möglich	Nein	Nein	Ja, weitere möglich
Vorteile	Günstig	<ul style="list-style-type: none"> - Preiswert - Kann viel Sand aufnehmen - Grosse Auswahl Filterbeutel - Grosse Filterfläche 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatische Reinigung - 10% Wasserverlust während Reinigung 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatische Reinigung 	<ul style="list-style-type: none"> - Filter für organische Stoffe, Eisen, Arsen, Mangan, Chlor ... - Keine Regeneration - Keine Chemikalien - Lange Lebensdauer - Geringe Wartung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Wenig Platz für Sandaufnahme - Reinigung manuell - Kleine Filterfläche 	<ul style="list-style-type: none"> - Reinigung manuell 	<ul style="list-style-type: none"> - Regulierung (Reinigungszyklus) notwendig - Kleine Filterfläche - Teuer 	<ul style="list-style-type: none"> - Regulierung (Reinigungszyklus) notwendig - 30% Wasserverlust bei Reinigung - Kleine Filterfläche - Teuer 	<ul style="list-style-type: none"> - Regulierung - Platzbedarf - Sehr teuer

H.2 Bohrmethoden

Die erreichbare Bohr- und Verrohrungstiefe und der maximal mögliche Verrohrungsdurchmesser hängen wesentlich von der Beschaffenheit des Untergrunds und der Grösse und Leistungsfähigkeit des Bohrgeräts ab.

In Tabelle 8 sind die für schweizerische Verhältnisse gängigen Bohrmethoden aufgeführt. Abweichende spezielle Bohrverfahren (Seilschlagbohrungen, Kiespumpe usw.) sind möglich.

Tabelle 8 In der Schweiz übliche Bohrmethoden

	Eignung	Vorteile	Nachteile
Verrohrte Rotationskernbohrung	<ul style="list-style-type: none"> • für Kleinfiterbrunnen • in Lockergesteinen • für untiefe Brunnen bis ca. 25 m 	<ul style="list-style-type: none"> • gute Aufschlussqualität (tiefengenaue Kerngewinnung) • geringe Verdichtung des Untergrunds 	<ul style="list-style-type: none"> • beschränkte Tiefe und Durchmesser • für grössere Bohrtiefen (bis ca. 50 m) kostspielig • im Fels kostspielig
Verrohrte destruktive Bohrung ohne Spülungszusätze	<ul style="list-style-type: none"> • für Kleinfiterbrunnen • für mittlere Bohrtiefen bis ca. 40 m • in grobkörnigen oder steifen bis festen feinkörnigen Lockergesteinen • im Fels (unverrohrt) 	<ul style="list-style-type: none"> • in grobkörnigen Böden rascher Bohrfortschritt • im Fels rascher Bohrfortschritt 	<ul style="list-style-type: none"> • schlechte Vertikalität • mässige bis schlechte Aufschlussqualität (nur Bohrklein, Tiefenlage unsicher) • mässige bis starke Auflockerung oder Verdichtung des Untergrunds (Imloch-Hammer) • in feinkörnigen, weichen Lockergesteinen ungeeignet
Destruktive Bohrung mit Spülungszusätzen	<ul style="list-style-type: none"> • für Kleinfiter- oder grosskalibrige Brunnen • für grosse Bohrtiefen mit unverrohrtem Bohrloch 	<ul style="list-style-type: none"> • für grosse Bohrtiefen in Lockergesteinen 	<ul style="list-style-type: none"> • schlechte Vertikalität • mässige bis schlechte Aufschlussqualität (nur Bohrklein, Tiefenlage unsicher) • Kolmatierung der brunnennahen Zone • Zulässigkeit von Bohrspülungszusätzen eingeschränkt
Greiferbohrung	<ul style="list-style-type: none"> • für grosskalibrige Brunnen • in Lockergesteinen 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Verdichtung des Untergrunds • mässige bis gute Aufschlussqualität 	<ul style="list-style-type: none"> • grosser Platzbedarf • im Fels nur bedingt geeignet
Drehbohrung	<ul style="list-style-type: none"> • für grosskalibrige Brunnen • in Lockergesteinen 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Verdichtung des Untergrunds 	<ul style="list-style-type: none"> • mässige bis schlechte Aufschlussqualität • Abdichtung der brunnennahen Zone • im Fels nur bedingt geeignet

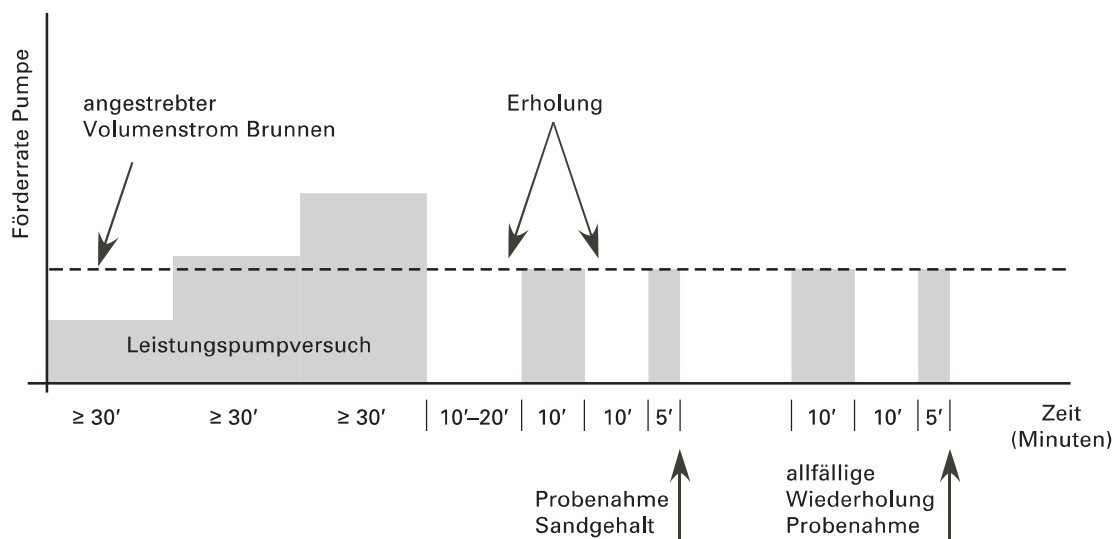
Anhang J (normativ)

Nachweis der Sandfreiheit

J.1 Eine mögliche Durchführung zur Messung des Sandgehalts

- J.1.1 Die Wasserprobe wird bei grossem Volumenstrom je nach der gewählten Messmethode aus einem kontrollierten Teilvolumenstrom entnommen [14].
- J.1.2 Die Eignung der Messmethode ist nachzuweisen.
- J.1.3 Die Wasserentnahme muss unter betriebsnahen Bedingungen erfolgen (vgl. 5.2.1.1). Die Dauern der Förder- und Erholungsphasen der Pumpe richten sich nach dem hydraulischen Verhalten des Brunnens (Wiederanstiegszeit des Wasserspiegels), der angestrebten Förderleistung des Brunnens und dem Betriebsregime der Anlage. Vor der Probenahme sollen mindestens 2 Einschaltzyklen und Ruhephasen gemäss nachfolgendem Schema erfolgen. Bei der dargestellten Dauer der Förder- und Erholungsphasen handelt es sich um allgemeine Richtwerte; das definitive Vorgehen muss anlagenspezifisch festgelegt werden.

Figur 21 Zeitlicher Ablauf zur Messung des Sandgehalts



J.2 Bestimmung des Sandgehalts

- J.2.1 Für die Messung des Nasssandgehalts wird ein Volumen von mindestens 3-mal 10 Liter in 3 Eimern gesammelt. Nach einer Absetzzeit von ca. 5 Minuten wird der Klarwasseranteil von ca. 9 Litern in den drei Eimern vorsichtig abgeschüttet. Die 3 Restvolumen werden nacheinander vollständig in einen Imhofftrichter (Ablesegenauigkeit 0,1 ml) geschüttet und die Sandmengen nach Absetzzeit gemessen. Weichen die drei gemessenen Sandvolumina um mehr als 20% voneinander ab, sind die Probenahme und die Messung zu wiederholen.
- J.2.2 Für präzisere Messungen oder bei hohen Sandgehalten wird der Sandgehalt mit einem Sandmengenmessbehälter oder mit einem Sandmengenmessgerät gemessen [14].

Anhang K (informativ) Publikationen

K.1 Zitierte Publikationen

- [1] *Wegleitung Grundwasserschutz*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, heute Bundesamt für Umwelt BAFU), Bern, 2004
- [2] *Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen für Ein- und Zweifamilienhäuser oder Anlagen mit Energieentzug bis zirka 45'000 kWh pro Jahr*, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 2009
- [3] *Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden*, Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 2005
- [4] *Praxishilfe Grundwasserprobenahme*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, heute Bundesamt für Umwelt BAFU), Bern, 2003
- [5] *Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung*, Bundesamt für Energie, Bern, 2008
- [6] Dupuit, J., *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables* (2^e éd.), Paris, Dunod, 1863
- [7] Sichardt, W., *Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, insbesondere für grössere Absenkungstiefen*, Springerverlag, Berlin, 1928
- [8] *Regenwasserentsorgung*, Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA, Zürich, 2002
- [9] DVGW W 130, *Brunnenregenerierung*, Technische Regel, Arbeitsblatt, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [10] *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund*, Vollzugshilfe für Behörden und Fachleute im Bereich Erdwärmenutzung, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2009
- [11] Schulz, R., *Analytical model calculations for heat exchange in confined aquifer*, J. Geophys. 61, 1987, 12–20
- [12] Theis, C.V., *The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage*, American Geophysical Union Transactions, vol. 16, 1935, 519–524
- [13] Alisaev, M.G. et al., *Neisotermiceskaja filtracia pri razrabotke neftjanych mestoroshdenii* (Nichtisotherme Filtration beim Abbau von Erdöllagerstätten, russ.), Verlag Nedra, Moskau, 1985
- [14] DVGW W 119, *Entwickeln von Brunnen durch Entsandern – Anforderungen, Verfahren, Restsandgehalte*, Technische Regel, Arbeitsblatt, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn

K.2 Berechnungsprogramme

- [15] Rauch, W., Kinzel, H., *Energie aus Geothermischer Grundwasser-Nutzung*, Manual, EGON Version 1.0, 2010
- [16] Poppei, J. et al., *Groundwater Energy Designer*, GEOTHERMIE.CH, Zeitschrift der Schweizerischen Vereinigung für Geothermie, 17, 2007, Nr. 43, S. 8

K.3 Internationale Normen und Leitfäden

DIN 18302	<i>VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Arbeiten zum Ausbau von Brunnen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin</i>
AFNOR NF X 10-999	<i>Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages, norme française, Association Française de Normalisation, Paris, 2007</i>
VDI 4640	<i>Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 1–4, Verein Deutscher Ingenieure VDI – Gesellschaft Energie und Umwelt, 2010</i>
ÖWAV Regelblatt 207	<i>Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 2009</i>
LAWA 2/87	<i>Grundwasser: Richtlinien für Beobachtung und Auswertung; Teil 2 – Grundwassertemperatur, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Magdeburg, 1987</i>
DVGW	Publikationen des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. sind unter www.dvgw.de erhältlich

In der Kommission SIA 384/7 vertretene Organisationen

BAFU	Bundesamt für Umwelt
FWS	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz
SVG	GEO THERMIE.CH – Schweizerische Vereinigung für Geothermie
SVGW	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
SWKI	Schweizerischer Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren

Kommission SIA 384/7

		Vertreter von
Präsident	Adrian Altenburger, dipl. HLK. Ing. HTL/SIA, Zürich	Planer, SWKI
Mitglieder	Christophe Badertscher, dipl. Hydrogeol. UNINE/SIA Peter Brühwiler Jean-Pierre Clément, Dr. rer. nat., dipl. Geologe, Hydrogeologe CHYN, Bern Hanspeter Gehring, dipl. Ing. ETH, Zürich Peter Hubacher, dipl. Ing. HTL/HLK Michel Marrel, Géologue dipl. UNIL, Hydrogéologue CHYN, Lausanne Bernard Matthey, Dr ès sc., dipl. hydrogéol. SIA Raphael Reiner Jürg Wanner, Dr. phil. nat., dipl. Geologe Roland Wyss, Dr., Geol. SIA	Canton Unternehmung Kanton Kanton FWS, SWKI Canton Bureau d'ingénieur Contractor Ingenieurbüro SVG
Experten	Raeto M. Conrad, dipl. Bau-Ing, ETH/SIA Benjamin Meylan, Dr. phil. nat., dipl. Geologe	SVGW BAFU
Sachbearbeiter	Pascal Mettauert, dipl. HLK-Ing. FH, Mellingen Kaspar Papritz, dipl. Hydrogeologe, Sargans Joachim Poppei, Dr. rer. nat., dipl. Phys., Baden Sarah Signorelli, Dr. sc. ETHZ, Zürich	

Genehmigung und Gültigkeit

Die Zentralkommission für Normen des SIA hat die vorliegende Norm SIA 384/7 am 9. September 2014 genehmigt.

Sie ist gültig ab 1. April 2015.

Copyright © 2015 by SIA Zurich

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie, CD-ROM usw.), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, sind vorbehalten.