



Schlussbericht 18. August 2006

Ermitteln der wichtigsten Vorgehensschritte und Massnahmen zur erfolgreichen Erstellung von Grundwasser-Wärme- und - Kältenutzungsanlagen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Geothermie
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

EBERHARD & Partner AG
General Guisan-Strasse 2
5000 Aarau
www.eberhard-partner.ch

Autoren:

Mark Eberhard, EBERHARD & Partner AG,
eberhard@eberhard-partner.ch

BFE-Bereichsleiter: Gunter Siddiqi

BFE-Programmleiter: Rudolf Minder

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 151'590 / 101'335

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	2
SUMMARY	2
1. AUFTRAG	2
2. AUSGANGSLAGE / ZIEL	2
3. GEOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHE UND HYDROCHEMISCHE VORAUSSETZUNGEN	3
3.1 Grundwasservorkommen und deren Mächtigkeit	3
3.2 Gewässerschutz	3
3.3 Bodendurchlässigkeit	4
3.4 Grundwasserfliessrichtung, Abstand Entnahme, Rückgabe	4
3.5 Druckverhältnisse	4
3.6 Hydrochemie	5
4. ZUR VERFÜGUNG STEHENDES INSTRUMENTARIUM ZUR ERMITTLUNG DIESER VORAUSSETZUNGEN	5
4.1 Kartenmaterial	5
4.2 Archivmaterial	5
4.3 Tests	6
5. AUF DIE JEWEILIGEN VORAUSSETZUNGEN ABGESTIMMTE MASSNAHMEN	6
5.1 Richtige Platzierung des Entnahme- und Rückgabebrunnens	6
5.2 Entnahmebrunnen	6
5.2.1 Bohrung (Kernbohrung, destruktive Bohrung, Durchmesser, Anzahl)	7
5.2.2 Ausbau (Durchmesser PVC-Rohre, Hinterfüllung, Rohreinsatz)	7
5.2.3 Weitere Vorbereitung	8
5.3 Rückgabebrunnen	9
5.3.1 Ausführung – Baggerschlitz	9
5.3.2 Ausführung – Bohrung	9
5.4 Vorlauf des Primärkreislaufes	10
5.4.1 Filtersysteme, Absetzbecken	10
5.4.2 Regeltechnische Einstellungen	10
5.5 Rücklauf des Primärkreislaufes	11
6 SCHLUSSFOLGERUNGEN	11
7 GRUNDLAGEN	11

Abbildungen

Abbildung 1: Aufbau und Lage eines Grundwasservorkommens mit Förderbrunnen

Abbildung 2: Ausschnitt aus einer Grundwasserkarte im Raum Aarau-Buchs-Suhr (AG) mit Beispiel einer korrekten Platzierung des Entnahme- und Rückgabebrunnens

Abbildung 3: Ausschnitt aus einer Gewässerschutzkarte im Raum Aarau-Buchs-Suhr (AG)

Abbildung 4: Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage, 1. Variante mit Rückgabeschacht, 2. Variante mit Rückgabebrunnen

Abbildung 5: Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage mit Zwischenkreislauf und Wärmetauscher

Abbildung 6: Übersicht über die notwendigen Vorgehensschritte, Untersuchungen und Massnahmen zur erfolgreichen Realisierung einer Grundwasser-Wärmepumpenanlage

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Planung und Realisierung von Grundwasser-Wärme- und -Kältenutzungsanlagen kommen einerseits der genauen Abklärung der vorliegenden geologisch-hydrogeologischen Voraussetzungen und andererseits den auf die jeweiligen Voraussetzungen abgestimmten Massnahmen wesentliche Bedeutung zu. Im vorliegenden Handbuch werden die einzelnen aufeinander folgenden Vorgehensschritte wie z.B. Konsultation schon vorhandener Unterlagen, richtige Platzierung der zu realisierenden Bohrung sowie die in der jeweiligen Bohrung durchzuführenden Tests aufgeführt. Die aus diesen Vorabklärungen jeweils resultierenden Massnahmen wie z.B. Realisierung eines rückspülbaren Filters in Folge ständig anfallenden Sandes werden anschliessend aufgeführt und erläutert. Mit diesem Vorgehens- und Massnahmenkonzept lässt sich unter Berücksichtigung der jeweiligen Voraussetzungen die optimalste Ausgangslage für die erfolgreiche Realisierung einer Grundwasser-Wärme- und, oder -Kältenutzungsanlage bewerkstelligen.

SUMMARY

With the planning and realisation of groundwater using heat- and cooling systems there is a good knowledge of the geological and hydrogeological preconditions required as well as suitable solutions which fit to these conditions. The hereby presented concept shows each step of a standard investigation as for example the consultation of already existing data, the accurate position of the borehole as well as the required tests which have to be carried out in the borehole. The resulting arrangements which follow from these investigations as for example the filters which have to be part of the system because of too much sand are mentioned here as well. With this manual it is possible to create the best solution for the successful realisation of groundwater using heat- and cooling systems.

1. AUFTRAG

Aufgrund unseres Gesuches vom 26. Mai 2005 wurde uns mit Verfügung vom 20. August 2005 vom Bundesamt für Energie (BFE) der Auftrag zur Erstellung eines Vorgehenskataloges zur Ermittlung der wichtigsten Vorgehensschritte und Massnahmen für die erfolgreiche Erstellung von Grundwasser-Wärme- und -Kältenutzungsanlagen (im Folgenden GWK genannt) erteilt.

2. AUSGANGSLAGE / ZIEL

Die diversen von unserem Büro realisierten GWK's haben aufgezeigt, dass hinsichtlich der Realisation und dem optimalen Betrieb einer solchen Anlage den Vorabklärungen und den sich daraus ergebenden Massnahmen eine entscheidende Bedeutung zukommt.

Da der Primärkreislauf der GWK im Gegensatz zu den Erdwärmesondenanlagen

ein offenes System ist, sind diese Systeme hinsichtlich Natureinflüssen wesentlich empfindlicher. Zusätzlich kommt hinzu, dass diese Anlagen bei vielen Kantonen nur in den Randbereichen der grossen Grundwasservorkommen erlaubt sind, dort also, wo das Grundwasservorkommen beschränkt, die Bodendurchlässigkeiten mässig, der Sand- und Siltanteil hoch und die Grundwasserchemie für einen störungsfreien Betrieb nicht mehr ideal sind.

Ziel dieses Handbuches ist die Erörterung einfacher lösungsorientierter Vorgehens- und Untersuchungsschritte sowie die Aufzeichnung der sich daraus ergebenden notwendigen Massnahmen (Abb. 6).

3. GEOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHE UND HYDROCHEMISCHE VORAUSSETZUNGEN

3.1 Grundwasservorkommen und deren Mächtigkeit

Die meisten Grundwasservorkommen befinden sich in den Tälern, dort, wo sich das Meteorwasser in den mächtigen, locker gelagerten und somit durchlässigen Kieskörnern ansammelt (Abbildung 1 und 2). Neben diesen Vorkommen gibt es noch jenes Grundwasser, welches sich in Schottervorkommen über den Tälern entlang von Schwächezonen im kompakten Fels ansammelt. Letzteres wird Kluft- oder, falls grössere Hohlräume im Fels bestehen, Karstwasser genannt. Die Mächtigkeit der Grundwasservorkommen in den Tälern bewegt sich im Schnitt zwischen 10 und 20 m und nimmt von der Talmitte hangaufwärts stetig ab. Nicht selten können diese Vorkommen in tiefen Taleinschnitten jedoch auch bis 40 m mächtig sein. Auf kantonalen Grundwasserkarten wird die Mächtigkeit solcher Grundwasservorkommen mittels verschiedener Farbgebungen aufgezeigt. Die tiefblaue Farbe im Zentrum des Vorkommens wird dabei, je geringer mächtig das Vorkommen wird, immer heller blau bis es mit einem bräunlichen Farbton, da der Untergrund durchschimmert, schliesslich auskeilt (Abbildung 1 und 2). Grundwasserhöhenlinien (Isohypsen) auf diesen Karten zeigen auf, auf welcher Höhe über Meer und somit wie tief unter dem Terrain das Grundwasservorkommen liegt. Pfeile, welche senkrecht zu diesen Linien stehen, geben die jeweilige Fliessrichtung des Grundwassers an.

3.2 Gewässerschutz

Wir beziehen unser Trinkwasser zu 83% aus den im vorherigen Kapitel aufgeführten Grundwasservorkommen. Daher werden sie durch unsere Gesetzgebung entsprechend geschützt. Dies bedeutet, dass man, bevor man eine solche Anlage realisieren kann, die entsprechenden Gesetzgebungen beachten muss. Für die Bewilligung GWK sind die kantonalen Behörden zuständig. Die Bewilligungspraxis der einzelnen Kantone ist sehr unterschiedlich. Neben den schon erwähnten Grund

wasserkarten liegen auch kantonale Gewässerschutzkarten vor, welche in verschiedenen Rottönen die jeweiligen Gewässerschutzbereiche ausweisen (Abbildung 3). Die zur Trinkwassernutzung geeigneten Grundwasservorkommen liegen alle im Gewässerschutzbereich A₀. In diesem Gewässerschutzbereich sind Grundwasserschutzzonen (S₁ – S₃) und -areale ausgeschieden, welche nur für die Trinkwasserförderung reserviert sind und somit unter Ausschluss von Ausnahmegewilligungen für die Wärme- bzw. Kältenutzung nicht geeignet sind (BUWAL, 2004).

3.3 Bodendurchlässigkeit

Die Bodendurchlässigkeiten in den grösseren Tälern sind im allgemeinen gut. Allenfalls können in den Schotterkörpern Zwischenlagen von Sand und Ton auftreten, welche geringere Durchlässigkeiten aufweisen, im Gesamtkontext jedoch nur eine untergeordnete Rolle spielen. Gegen die Ränder der Schottervorkommen hin oder in kleineren Tälern verschlechtern sich die Durchlässigkeiten jedoch, indem von den Anhöhen, welche sich oft aus tonreichen Gesteinen aufbauen, viel feinkörniges Verwitterungsmaterial in die Schottervorkommen eingeschwemmt wird (Abb. 1). In Tälern, in welchen sich während der Eiszeiten über längere Zeit ein See bildete, sind die Durchlässigkeiten ebenfalls schlecht, da sich in diesen Zeitperioden feinkörnige Seesedimente (Seeton) ablagerten.

3.4 Grundwasserfliessrichtung, Abstand Entnahme, Rückgabe

Bei der Realisierung von GWK's ist es sehr wichtig, die Fliessverhältnisse des Grundwassers genau zu ermitteln. Da bei diesen Anlagen immer sowohl ein Entnahme- wie auch ein Rückgabebrunnen gebaut werden muss, kann es bei unsachgemäsem Ausbau zu wesentlichen Beeinträchtigungen der Anlage kommen (Abbildung 4).

3.5 Druckverhältnisse

In den meisten Fällen steht das Grundwasser nicht unter Druck und fliesst somit frei im Untergrund (Abb. 1). Beim Abteufen einer Bohrung in einen solchen Grundwasserkörper fliesst das Grundwasser somit in das versetzte PVC-Rohr und verbleibt, abgesehen von normalen Grundwasserschwankungen, auf diesem Niveau. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen das Grundwasser gespannt ist, d.h. unter Druck steht. Dies ist dann der Fall, wenn über den mit Grundwasser gesättigten Bereichen undurchlässige Schichten wie z.B. Tone liegen und der natürliche Grundwasserstand über dem durch diese undurchlässigen Schichten begrenzten Horizont liegt. Beim Abteufen einer Bohrung in diese mit Grundwasser gesättigten Bereiche entspannt sich das Grundwasser und steigt in dem versetzten PVC-Rohr anschliessend auf

sein natürliches Niveau. Falls dieses Niveau über dem Terrain liegt, fliesst das Wasser aus der Bohrung aus.

3.6 Hydrochemie

Zur Betreibung von Grundwassernutzungsanlagen muss das Grundwasser gewisse chemische Voraussetzungen erfüllen, damit es sich ohne spezielle Vorkehrungen für die Wärmenutzung eignet. Für die Betreibung der Anlage ohne einen Zwischenkreislauf bzw. ohne einen zusätzlichen Wärmetauscher zwischen der Wärmepumpe und der Grundwasserförderung darf das Grundwasser nicht korrosiv sein und keine die Anlage verstopfende Substanzen enthalten.

4. ZUR VERFÜGUNG STEHENDES INSTRUMENTARIUM ZUR ERMITTLUNG DIESER VORAUSSETZUNGEN

Um die Voraussetzungen für die Realisation einer Grundwasser-Wärme- bzw. -Kältenutzungsanlage ermitteln zu können stehen verschiedene Instrumentarien zur Verfügung. Dieses Instrumentarium wird in der Folge aufgeführt und diskutiert.

4.1 Kartenmaterial

Wie schon unter den Kapiteln 3.1 und 3.2 erwähnt, steht dem Planer verschiedenes Kartenmaterial zur Verfügung, welches über die Grund- und Gewässerschutzverhältnisse im Planungsraum Auskunft gibt (Abbildungen 2 und 3). Neben diesen Karten gibt es geologische Karten, welche Auskunft über die vorliegenden Gesteine, deren Mächtigkeit und indirekt auch über die Durchlässigkeiten dieser Gesteine geben. Zusätzlich ist die Karte der Deponie- und Ablagerungsstandorte sowie jene der betrieblichen Altlasten zu konsultieren, da in solchen Bereichen GWK's nicht realisiert werden können. Weitere Karten wie Erdwärmesonden-, Baugrund- und Versickerungskarten können zusätzliche Hinweise liefern. Zusätzlich kann aus diesen Karten ermittelt werden wo in der Nähe der geplanten Anlage sich schon solche befinden und welche Vorkehrungen allenfalls bezüglich der idealen Platzierung der Brunnen getroffen werden müssen.

4.2 Archivmaterial

Neben den diversen Karten steht mit zunehmender Dichte der schon realisierten Bohrungen ein stetig grösser werdendes Bohrarchiv zur Verfügung, welches ein immer detaillierteres Bild des Untergrundes vermittelt. Der Verlauf der geologischen Schichten, deren Eigenschaften und die Grundwasserverhältnisse können so immer exakter prognostiziert werden.

4.3 Tests

Nach Konsultierung des bis jetzt aufgeführten Instrumentariums verbleiben allenfalls immer noch Zweifel, ob und falls ja wie viel Grundwasser zur Verfügung stehen wird. Um vollständigen Aufschluss über die Realisierungsmöglichkeiten einer GWK zu erhalten verbleibt nur die Realisierung einer Bohrung. Neben dem auf den geologischen Aufbau des Untergrundes und die jeweiligen Grundwasserverhältnisse ausgerichteten Ausbau der Bohrungen müssen zur Ermittlung der natürlichen Voraussetzungen verschiedene Tests durchgeführt werden. Hierzu gehören ein längerer Pumpversuch zur Ermittlung der maximal möglichen Grundwasserfördermenge, die Ermittlung des Anteils an Schwebfracht, d.h. der Sand- und Siltförderung, sowie eine chemische Grundwasseranalyse zur Feststellung der Zusammensetzung der gelösten Fracht.

5. AUF DIE JEWEILIGEN VORAUSSETZUNGEN ABGESTIMMTE MASSNAHMEN

Betrachtet man die in den vorherigen Kapiteln aufgeführten Voraussetzungen für die erfolgreiche Realisation von GWK's so wird erkenntlich, dass im einen oder anderen Fall diese Voraussetzungen nicht ideal sind. Die geplante Anlage kann somit ohne entsprechende Massnahmen nicht erfolgreich betrieben werden. Im Folgenden werden die für verschiedene Voraussetzungen notwendigen Massnahmen aufgeführt und diskutiert.

5.1 Richtige Platzierung des Entnahme- und Rückgabebrunnens

Die Entnahme des Grundwassers muss entweder im Anstrom und die Rückgabe im Abstrom des Grundwassers oder seitlich versetzt zueinander liegen, da sich ansonsten das Grundwasser im Anlagebereich stetig abkühlt (Wärmenutzungsanlage) respektive erwärmt (Kältenutzungsanlage) und somit die Effizienz der Anlage wesentlich beeinträchtigt wird.

Generell sollte zwischen Entnahme- und Rückgabebrunnen ein Mindestabstand von 20 m eingehalten werden, da bei kleinerem Abstand die Gefahr einer Rezirkulation, d.h. einer Rückkopplung besteht und sich das Grundwasser im Anlagebereich stetig abkühlt oder erwärmt. Je nach Grundwasserfördermenge, Grundwassermächtigkeits-, und Durchlässigkeitsverhältnissen kann von dieser Aussage abgewichen werden.

5.2 Entnahmebrunnen

Als Entnahmebrunnen bezeichnet man jene Bohrung, in welcher das zur Beheizung

bzw. Kühlung eines Gebäudes benötigte Grundwasser gefördert und anschliessend zur Wärmepumpe bzw. zum Kühlsystem geführt wird.

5.2.1 Bohrung (Kernbohrung, destruktive Bohrung, Durchmesser, Anzahl)

Die zur Förderung des Grundwassers benötigte Bohrung muss entsprechend der jeweiligen benötigten Heizleistung und der geologisch-hydrogeologischen Voraussetzungen realisiert werden.

Falls betreffend des geologischen Aufbaus des Untergrundes noch wenig bekannt ist, sollte unbedingt eine **Kernbohrung** realisiert werden, d.h. eine Bohrung bei welcher der ganze Bohrkern ausgelegt und vom Geologen hinsichtlich seiner Gesteinszusammensetzung und Durchlässigkeit beurteilt werden kann. Anschliessend kann der Ausbau gezielt auf die gut durchlässigen und wenig Sand bzw. Silt enthaltenden Schichten ausgerichtet werden. Es wird dadurch verhindert, dass in der Folge bei der Förderung ständig viel Sand oder Silt mitgefördert wird, welche die Anlage verstopfen kann (Abb. 1).

In Gegenden, in welchen der Aufbau des Untergrundes gut bekannt ist, kann eine **destruktive Bohrung** realisiert werden. Durch dieses Bohrverfahren wird das Gestein zusätzlich aufgelockert und mit viel Wasser durchsetzt, so dass sich die Durchlässigkeit der Schichten noch erhöht.

Der benötigte **Bohrdurchmesser** ist von der jeweiligen Heiz- bzw. Kühlleistung sowie von der Durchlässigkeit des Bodens abhängig. Generell kann ausgesagt werden, dass bei grosser Heiz- bzw. Kühlleistung oder bei schlechter Bodendurchlässigkeit ein möglichst grosser Bohrdurchmesser gewählt werden muss während bei kleiner Heiz- bzw. Kühlleistung oder guter Durchlässigkeit auch ein kleinerer Bohrdurchmesser genügt.

Falls die Durchlässigkeit für die benötigte Heiz- bzw. Kühlleistung gerade genügt, jedoch befürchtet werden muss, dass bei niedrigem Wasserstand viel Sand oder Silt mitgefördert wird, sind allenfalls **zwei oder mehrere Bohrungen** vorzusehen, da die Förderleistung dann auf diese verteilt wird und somit die einzelnen Bohrungen weniger gestresst werden.

5.2.2 Ausbau (Durchmesser PVC-Rohre, Hinterfüllung, Rohreinsatz)

Der Ausbau der Bohrung erfolgt wiederum je nach Heiz-, Kühlleistung bzw. Durchlässigkeitsverhältnissen mit 8“, 7“, 6“ oder 4.5“ PVC-Rohren. Der Ringraum zwischen PVC-Rohr und Bohrlochwand wird mit Feinkies (3/4 – 6/8 mm) hinterfüllt und die letzten 2 m UK Schacht werden mit Ton (Bentonitkugeln) abgedichtet. Die PVC-Rohre sind generell im mit Grundwasser gesättigten Teil der Bohrung geschlitzt, so

dass das Grundwasser in das PVC-Rohr eindringen kann. Sandige oder siltige Partien werden jedoch mit Vollrohren ausgestattet, so dass eine Förderung dieser Materialien wenn immer möglich verhindert wird (Abb. 1). Ferner ist zu beachten, dass der natürliche Schwankungsbereich des Grundwassers mit Vollrohren ausgestattet ist, so dass bei Niederwasserstand keine zusätzlichen Schwebstoffe ins PVC-Rohr eingeschwemmt werden sowie ein unnötiger Luftaustausch mit dem Grundwasser erfolgt und dadurch allenfalls eine frühzeitige Verockerung des Brunnens verursacht wird.

Bei der Lagerung der PVC-Rohre ist zu beachten, dass diese nicht dem Sonnenlicht ausgesetzt werden, da sich dabei der Weichmacher Talk verflüchtigt (weissliche Stellen auf den ansonsten blauen Rohren), die Rohre dadurch spröde werden und beim Einbau allenfalls brechen können.

5.2.3 Weitere Vorbereitung

Nach dem Versetzen der PVC-Rohre und dem Hinterfüllen mit Feinkies ist die Bohrung bzw. der gesättigte Schotterbereich um die Bohrung mindestens 2 Stunden zu entsanden. Je nach Situation muss jedoch allenfalls mehrere Stunden lang entsandet werden, bevor in der Folge der eigentliche Pumpversuch durchgeführt werden kann, durch welchen man die maximal mögliche Entnahmemenge ermittelt. Für die weitere Planung der Anlage ist es wichtig zu wissen wie viel Sand bzw. Silt auch nach dem Entsanden und dem Pumpversuch noch immer mitgefördert wird. Bei fortwährender Trübung des Wassers wird mittels Absetztrichter eine quantitative Ermittlung des Sand und Siltanteils vorgenommen. Wie schon unter den Tests Kapitel 4.3 erwähnt ist neben der Schwebfrachtförderung auch die gelöste Fracht sowie die Sauerstoff- und Gleichgewichtsverhältnisse von Bedeutung, indem das Grundwasser allenfalls korrosiv wirkt oder aber zur Ausfällung von Stoffen wie Kalk, Eisen und Mangan neigt. Um diese Voraussetzungen vor dem definitiven Ausbau der Anlage zu erkennen, wird die chemische Zusammensetzung des Grundwassers durch eine Analyse ermittelt.

Im Zusammenhang mit den geologisch-hydrogeologischen Voraussetzungen muss auch dem in der Wegleitung Grundwasserschutz (Vollzug Umwelt - BUWAL, 2004) aufgeführten Aspekt, dass das Grundwasser nur im Umkreis von 100 m eine Temperaturveränderung von mehr als 3°C, im weiteren Umkreis jedoch keine grössere Veränderung als 3°C erfahren darf, Rechnung getragen werden. Die Grundwassertemperaturen müssen somit vor Ort während des Pumpversuches ermittelt werden und der maximal mögliche Wärmeentzug bzw. die maximal mögliche Wärmeabgabe aus dem bzw. ans Grundwasser muss im Zusammenhang mit den geologisch-hydrogeologischen Verhältnissen festgelegt werden (ΔT).

5.3 Rückgabebrunnen

Das von der Wärmepumpe kommende, abgekühlte bzw. erwärmte Grundwasser muss wie schon erwähnt mittels eines zusätzlichen Brunnens dem Grundwasserkörper zurückgegeben werden. Hierbei gibt es je nach vorliegenden Bodenverhältnissen zwei Möglichkeiten.

5.3.1 Ausführung – Baggerschlitz

Im Falle einer guten Durchlässigkeit der oberflächennahen Gesteinsschichten kann das abgekühlte bzw. erwärmte Grundwasser in einem mit Betonrohren (\varnothing 0.8 bis 1 m) ausgebauten Baggerschlitz, welcher je nach Sickerfähigkeit zwischen 3 bis 5 m tief ist an die Bodenschichten zurückgegeben werden (Abb. 4). Die Betonrohre werden dabei tief in die durchlässigen Schichten eingelassen. Im Durchschnitt ist mit drei 1 m Betonrohren zu rechnen auf denen ein 0.5 m Konusschacht (\varnothing 0.6 m) liegt. Das unterste Rohr ist gelocht. Das Rückgabewasser fliesst nach Fertigstellung 1 m UKT (Frosttiefe) in den Schacht und fällt anschliessend über eine Gartenplatte auf die sickerfähigen Schichten. In einigen Kantonen kann in diesen Schacht auch das Dachwasser zur Versickerung gelangen. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die Anlage neben der Grundwasserfördermenge auch die ausgewiesenen Dachflächen versickern kann. Eine Dimensionierung der Versickerungsanlage ist somit erforderlich. Gemäss der schon erwähnten Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL, 2004) wird eine solche Kombination nicht empfohlen, da Schwermetalle (z.B. Kupfer) nicht wie bei einer Versickerungsmulde in einer belebten Bodenschicht zurückgehalten werden.

5.3.2 Ausführung – Bohrung

Im Falle einer schlechten Durchlässigkeit der oberflächennahen Gesteinsschichten muss das abgekühlte bzw. erwärmte Grundwasser über eine zusätzliche Bohrung ans Grundwasser zurückgegeben werden (Abb. 4). Zur Sicherstellung einer genügend grossen Schluckfähigkeit für das anfallende Rückgabewasser muss genügend tief in die vorliegenden sickerfähigen Schichten hineingebohrt werden. Bei schlechten oder zweifelhaften Verhältnissen empfiehlt es sich wiederum so tief zu bohren wie beim Entnahmebrunnen. Wenn das Grundwasser vom Grundwasserkörper über die Wärmepumpe bzw. das Kühlsystem direkt in den Grundwasserkörper zurückgeführt wird, entsteht ein quasi geschlossener Kreislauf, durch welchen verbesserte hydraulische Verhältnisse und somit weniger Stromverbrauch bzw. eine Effizienzsteigerung der Anlage resultiert. Falls das Grundwasser unter Druck bzw. gespannt ist, muss das System allenfalls luftdicht gefahren werden.

5.4 Vorlauf des Primärkreislaufes

Mit Ausnahme des Falls eines beschränkten Grundwasserreservoirs und der Verockerung sind die folgenden Ausführungen bei der Wärmenutzung vorzusehen.

5.4.1 Filtersysteme, Absetzbecken

Falls trotz eines auf die entsprechende Gesteinszusammensetzung ausgerichteten Ausbaus der Bohrung sowie einer intensiven Entsandung immer noch viel Sand mit dem Grundwasser mitgefördert wird, sind weitere Massnahmen vor der Einleitung des Grundwassers in die Wärmepumpe zu treffen. Falls die Sandförderung sich nach einer längeren Unterbrechungsdauer (Sommerpause) auf einen kurzfristigen Zeitraum nach dem Wiedereinschalten der Förderpumpe beschränkt, kann dies über einen Bypass geregelt werden, indem das geförderte Grundwasser z.B. zuerst eine Viertelstunde lang in die Kanalisation geleitet wird und anschliessend auf den Wärmepumpenbetrieb umgeschaltet wird. Falls die Sandförderung jedoch permanent erfolgt, ist je nach Sandmenge entweder ein einfaches Filtersystem, ein automatisch rückspülbarer Filter oder ein Absetzbecken zu empfehlen. Falls die Kornfraktion des Sandes sehr klein oder sogar Silt mitgefördert wird, ist ein Zyklonfilter oder ein Zwischenkreislauf mit Wärmetauscher vorzusehen, so dass das Grundwasser erst gar nicht in die Wärmepumpe gelangt (Abbildung 5).

5.4.2 Regeltechnische Einstellungen

Falls sich die Sand- oder Siltförderung und somit das Verstopfen der Anlage auf das ruckartige Anschalten der Pumpe beschränkt, während des Betriebes jedoch wegfällt, sollte die Pumpe drehzahlregelt betrieben werden, indem anfänglich nur wenig Grundwasser gefördert und erst allmählich eine Steigerung der Förderrate erfolgt.

Falls das Grundwasser nur in beschränktem Umfang zur Verfügung steht und jahreszeitlich stark schwankt, ist ein Wärmetauscher mit Zwischenkreislauf zwischen der Grundwasserförderung (Primärkreislauf) und der Wärmepumpe bzw. des Kühlsystems einzuschalten (Abb. 5). Hierdurch ergibt sich trotz stark schwankender Grundwasserförderung die Möglichkeit, einen konstanten Betrieb zu fahren, indem man je nach möglicher Grundwasserförderungsrate den Wärmeentzug bzw. die Wärmerückgabe verändert, d.h. dass bei grosser Grundwasserförderrate das ΔT kleiner und bei kleiner Grundwasserförderrate das ΔT grösser ausfällt. Im Zwischenkreislauf zwischen der Wärmepumpe bzw. dem Kühlsystem und dem Primärkreislauf liegen jedoch konstante Durchflussverhältnisse vor. Von hier aus wird an die Wärmepumpe immer dasselbe ΔT weitergegeben bzw. dem Raum entzogen (Abb. 5).

Je nach Wärmepumpenfabrikat schwankt die Effizienz der Anlage mit der Einstellung des jeweiligen ΔT . Im Hinblick auf eine möglichst hohe Effizienz der Anlage kommt der Einstellung des jeweiligen ΔT somit grosse Bedeutung zu.

5.5 Rücklauf des Primärkreislaufes

Beim Rückgabebrunnen ist zu beachten, dass, falls sich ein grosser Anteil an verockerungsfähigen Substanzen wie Eisen_{gelöst} und Mangan_{gelöst} im Grundwasser befindet, entsprechende Vorkehrungen wie geeignete Filtersysteme bzw. ein Zwischenkreislauf vor der Rückgabe des Grundwassers platziert werden oder ein möglichst sauerstofffreier Betrieb der Anlage eingerichtet wird. Dadurch kann verhindert werden, dass der Sickerbrunnen nicht vorzeitig verstopft.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird ersichtlich, dass für die erfolgreiche Realisierung einer GWK ein schrittweises Vorgehen resultiert. In erster Linie müssen hierbei alle Voraussetzungen genau abgeklärt und aufgrund dieser Voraussetzungen entsprechende anlagenspezifische Massnahmen getroffen werden.

Nur in seltenen Fällen wie z.B. falls zu wenig Grundwasser vorliegt oder die Anlage in die Grundwasserschutzzone I oder II zu liegen kommt ist die geplante Anlage nicht realisierbar. Ebenso kann es vorkommen, dass kantonale Vorschriften die Realisation einer solchen Anlage verhindern indem z.B. nur Grossanlagen über 100 kW Kälteleistung zugelassen werden.

7 GRUNDLAGEN

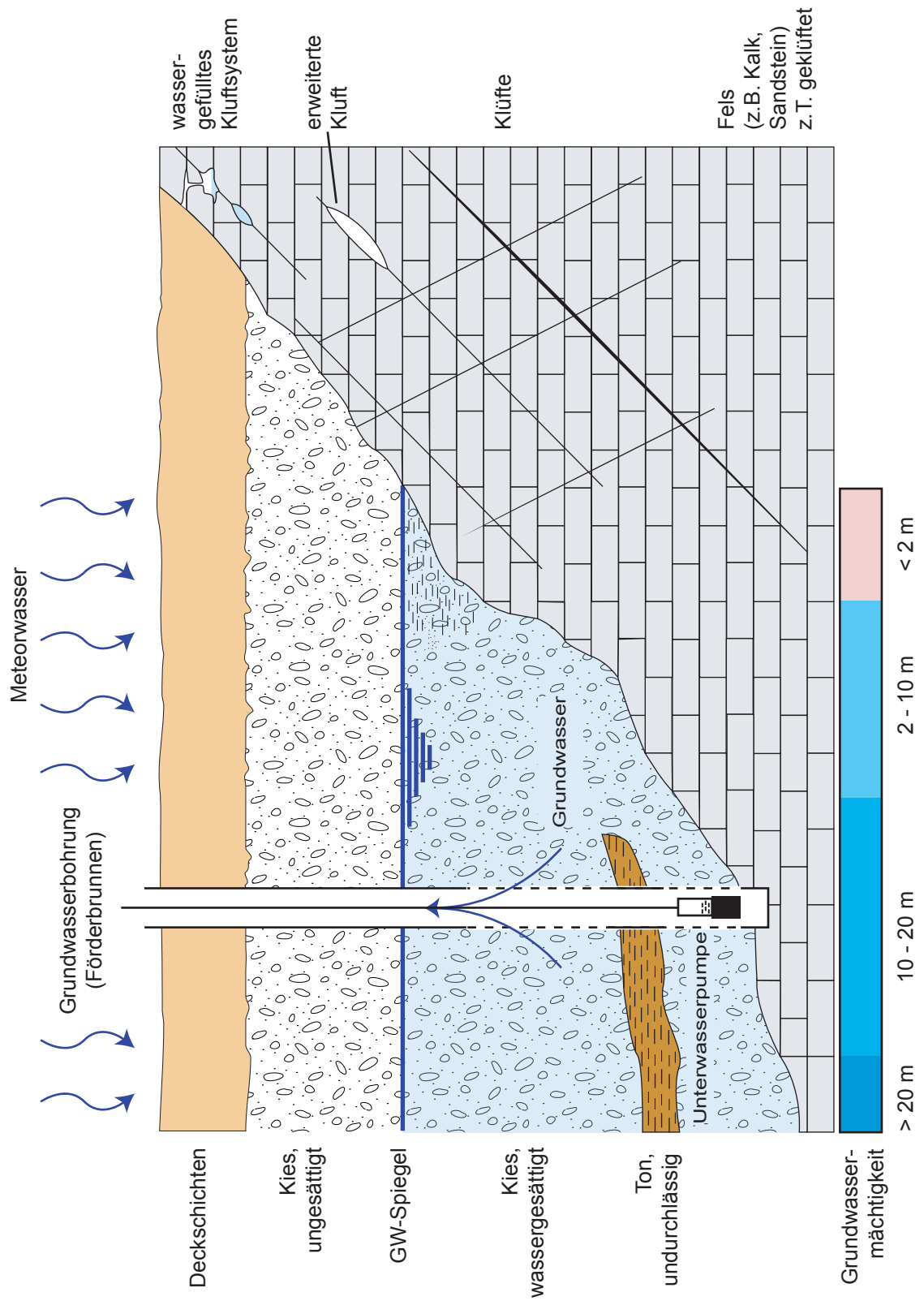
- BUWAL, Wegleitung Grundwasserschutz, Bern, 2004
- Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Aarau; Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Aarau, 1 : 25'000, Stand 1994
- Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Aarau; Gewässerschutzkarte des Kantons Aargau, Blatt Aarau, 1 : 25'000, Stand 1996

Sachbearbeiter: Dr. M. Eberhard

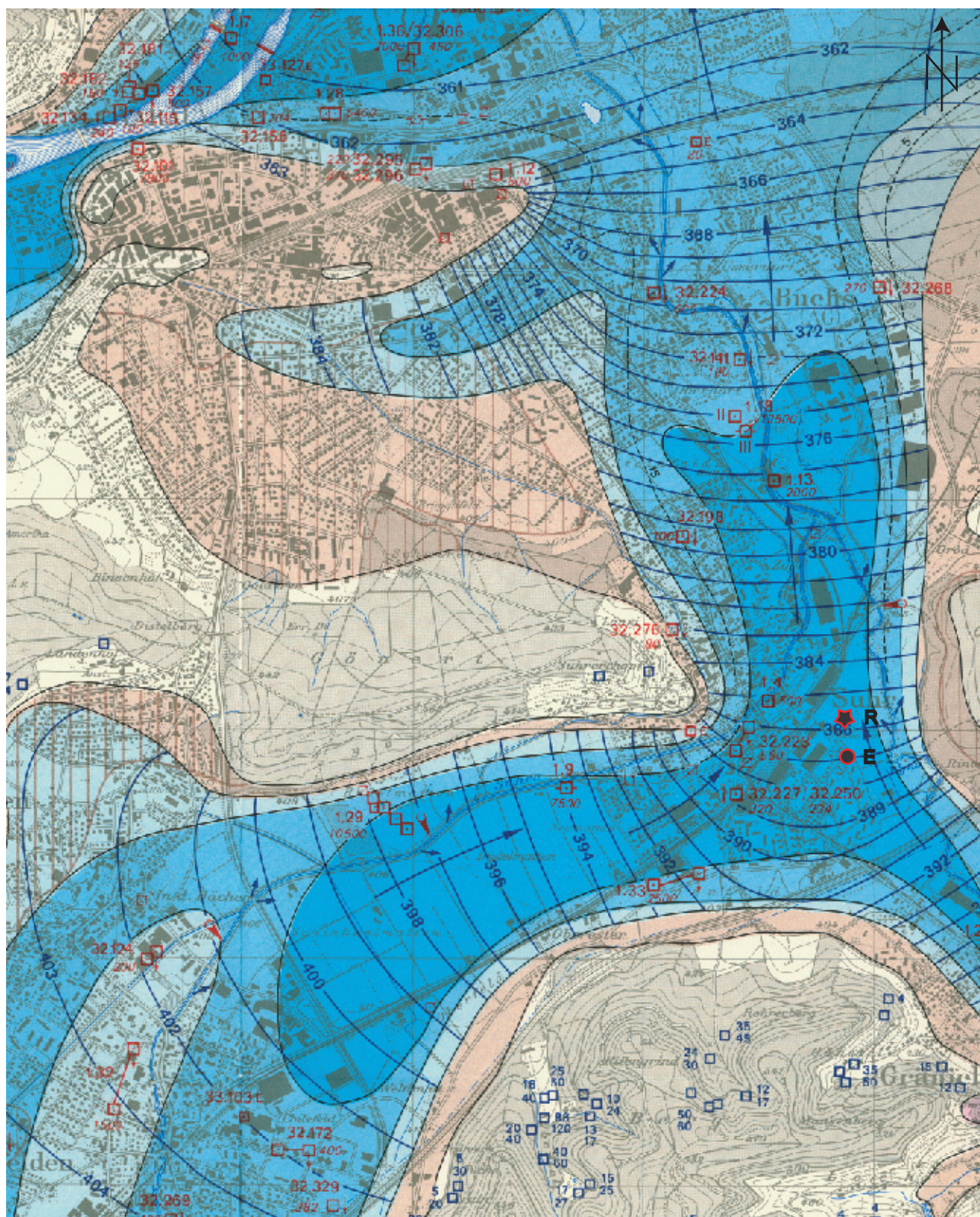
Aarau, 14. August 2006

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Aufbau und Lage eines Grundwasservorkommens mit Förderbrunnen



Ausschnitt aus einer Grundwasserkarte im Raum Aarau-Buchs-Suhr (AG)
mit Beispiel einer korrekten Platzierung des Entnahme- und Rückgabebrunnens



	Gebiet sehr grosser Grundwassermächtigkeit (>20 m)		Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (<2 m)		Grundwassersfassung mit Nummer und Entnahmemenge in l/min
	Gebiet grosser Grundwassermächtigkeit (10-20 m)		Grundwasserisohypse (m ü. M.) bei Mittelwasserstand		Quellfassung (min./max in l/min)
	Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2-10 m)		Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (<2 m) Schotter-GW-Leiter über den Tälern		Entnahmebrunnen
					Rückgabebrunnen

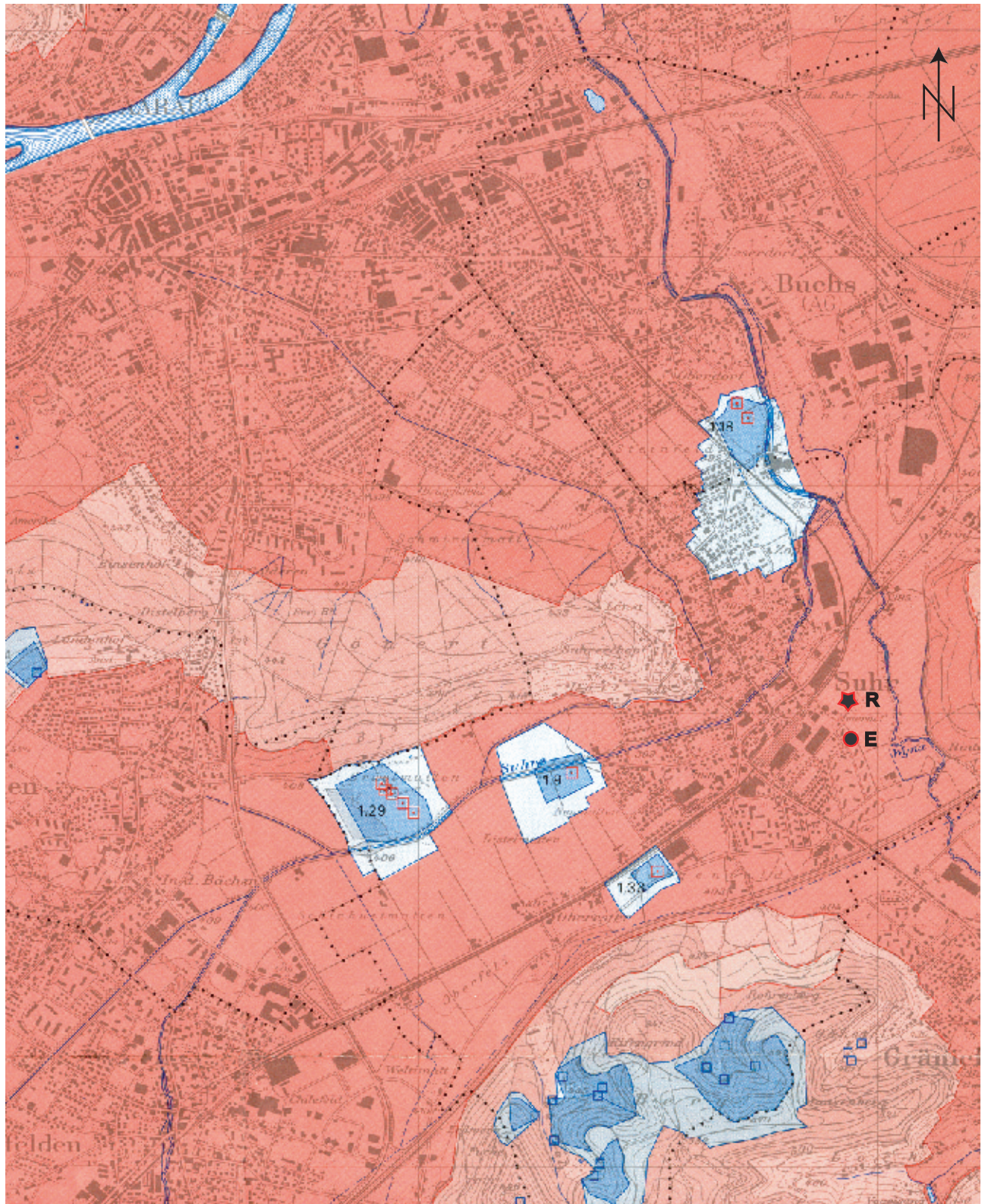
Aarau, 16.08.06

Beispielprojekt, Suhr

Massstab
1 : 25'000

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Ausschnitt aus einer Gewässerschutzkarte im Raum Aarau-Buchs-Suhr (AG)



Bereich A (Au): Gebiete mit für die Nutzung wichtigen Grundwasservorkommen



Bereich B: Gebiete mit Grundwasservorkommen, welche für die Versorgung von kleiner Bedeutung sind



Bereich C: Gebiete welche keine nutzbaren Grundwasservorkommen aufweisen



Geplante oder verfügte Grundwasserschutz-zonen unterteilt in SI und SII (dunkelblau) und SII (hellblau) mit Grundwasserfassung und Bewilligungsnummer



Geplante oder verfügte Grundwasserschutz-zonen unterteilt in SI und SII (dunkelblau) und SII (hellblau) mit gefasster Quelle

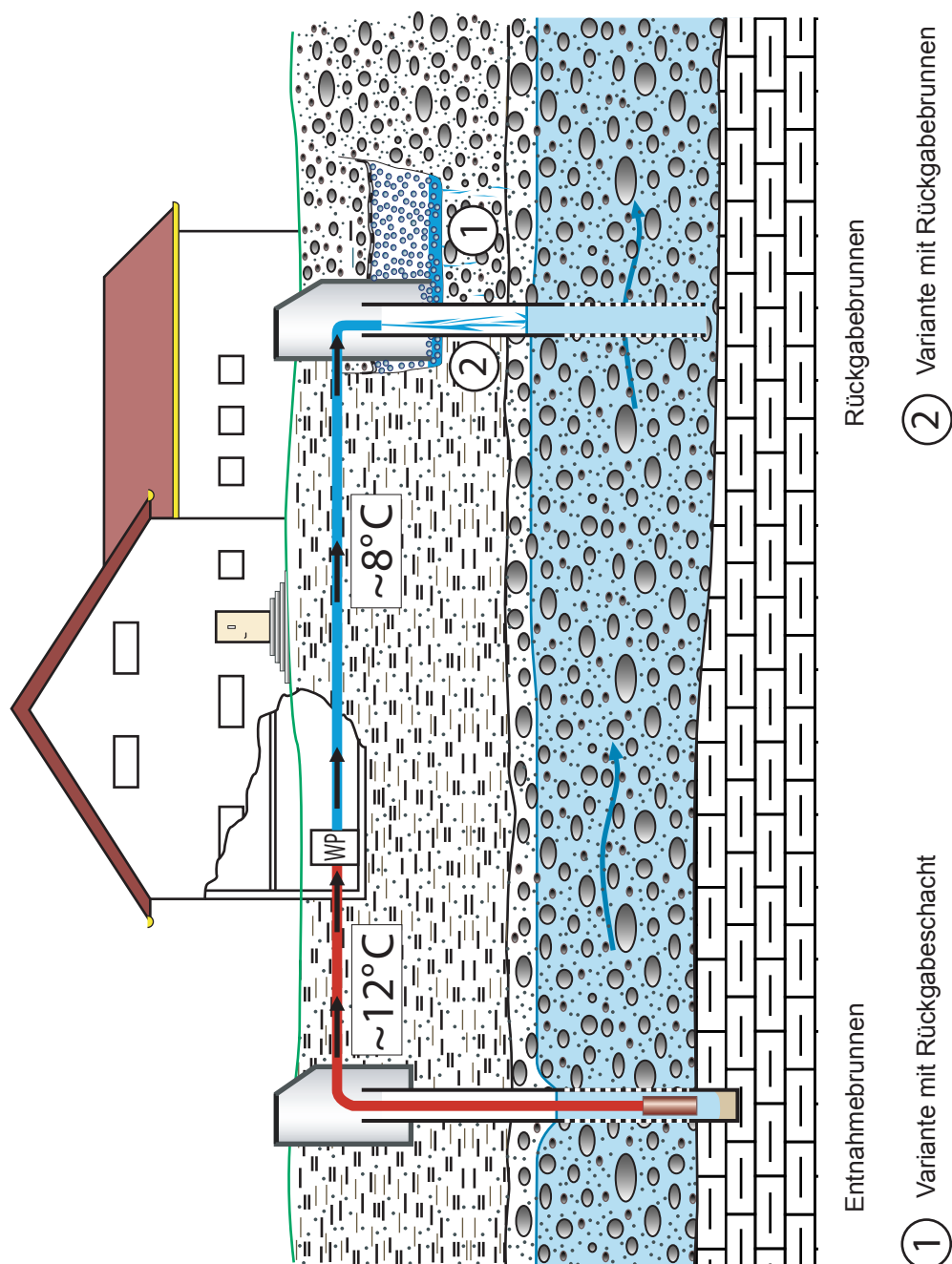


E Entnahmebrunnen

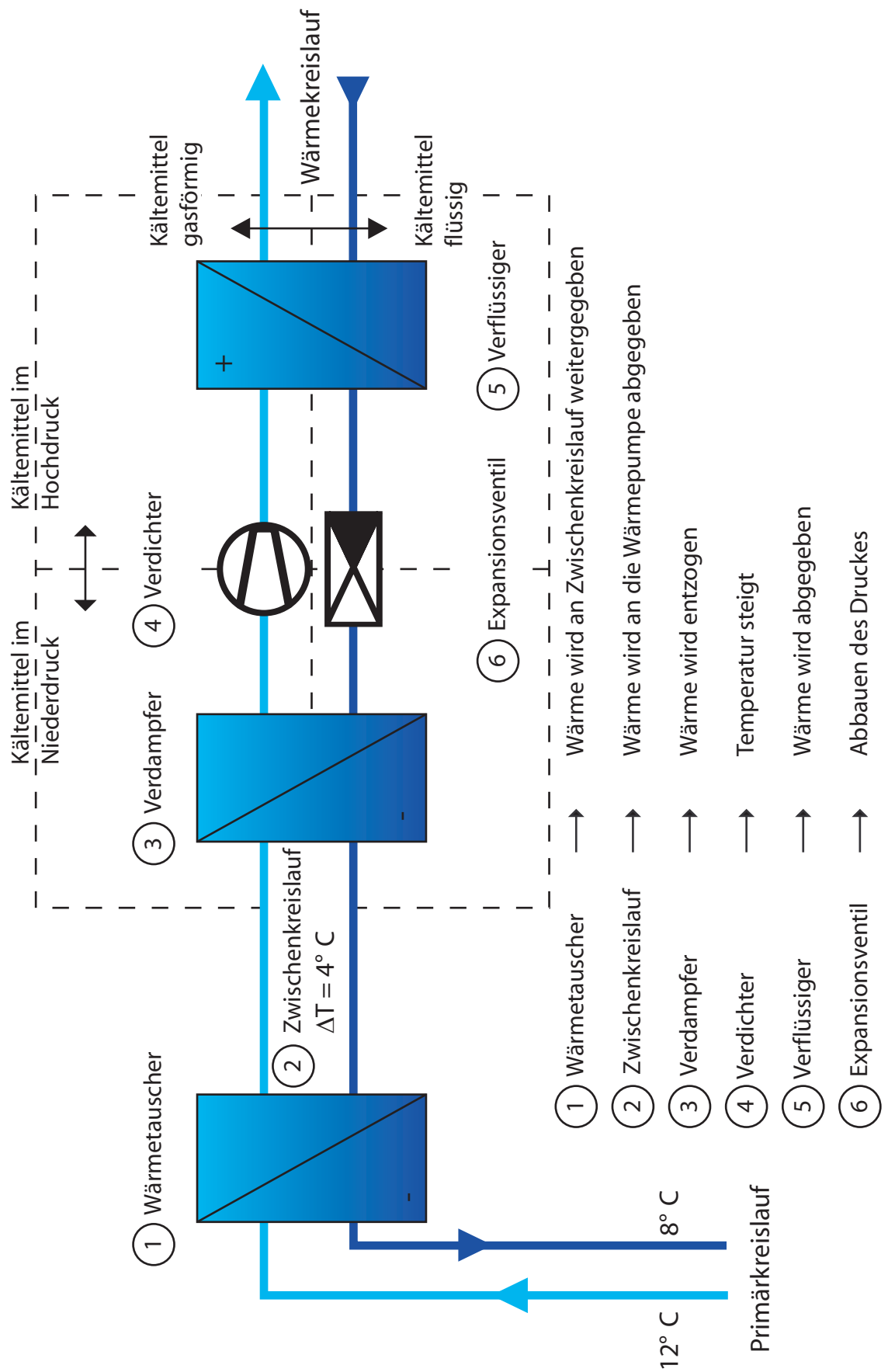


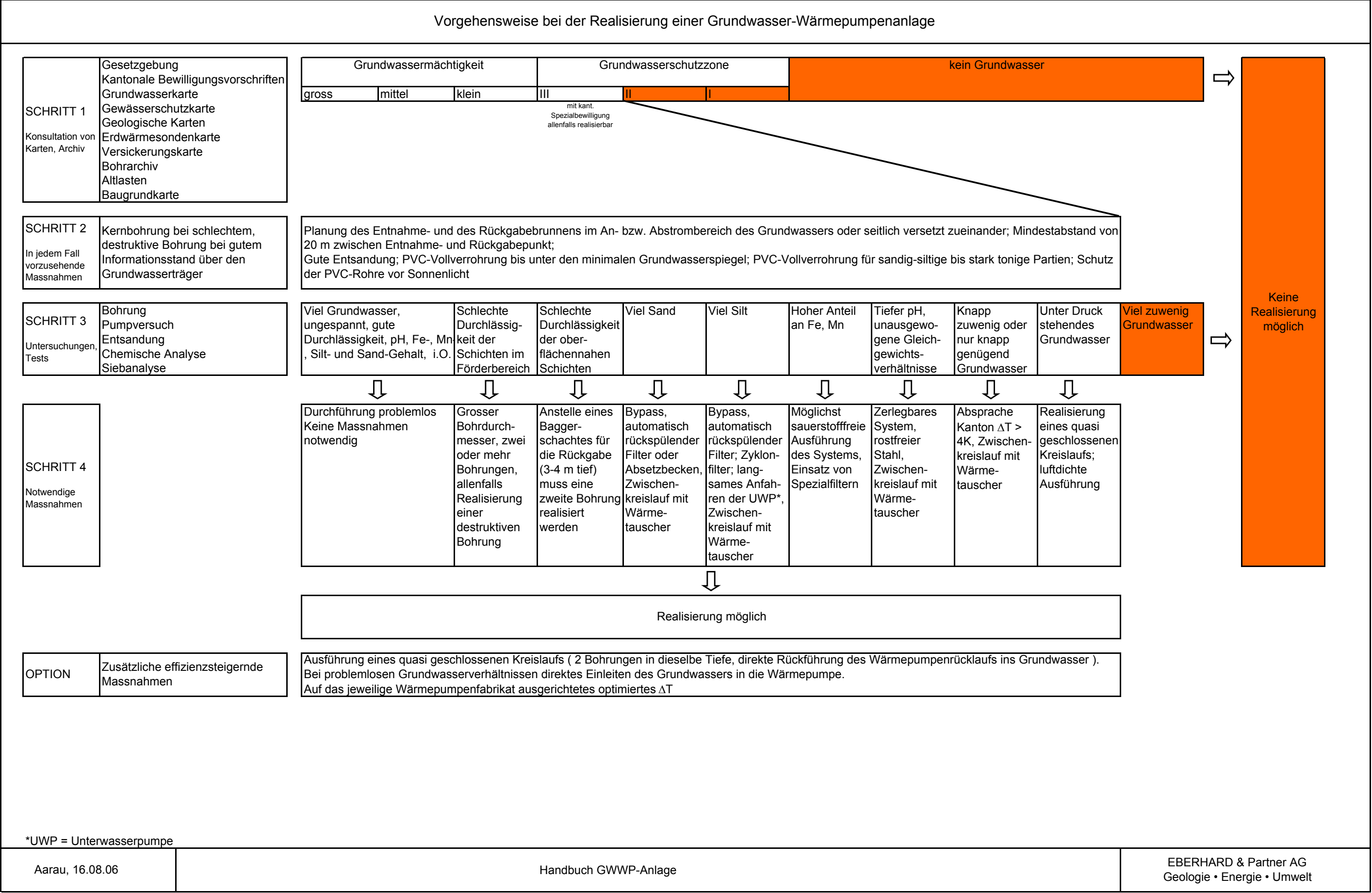
R Rückgabebrunnen

Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage, 1. Variante mit Rückgabeschacht,
2. Variante mit Rückgabebrunnen



Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage mit Zwischenkreislauf und Wärmetauscher





*UWP = Unterwasserpumpe

Aarau, 16.08.06

Handbuch GWWP-Anlage

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt