

<b>3</b> 1300.20	<b>WÄRMEQUELLE-GRUNDWASSER</b>	<b>Ausgabe</b>	<b>Seite</b>
	<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>5/81</b>	<b>-</b>
<p><b>1.0.0 Allgemeines</b> <b>2.0.0 Planung</b> <b>3.0.0 Dimensionierung</b> <b>4.0.0 Erstellung der Anlagen</b> <b>5.0.0 Bedienung</b> <b>6.0.0 Wartung und Störung</b></p>			
Alle Angaben entsprechen dem heutigen technischen Stand. Quellenangaben nach Kapitel 6		<b>Küppersbusch</b>	

## 5.0.0 Bedienung

Eine sachgerecht erstellte Brunnenanlage **arbeitet selbsttätig**, eine besondere Bedienung ist nicht erforderlich.

Die Anlage sollte aber in regelmäßigen Abständen **überwacht werden**, um eventuelle Schäden bereits im Anfangszustand feststellen und dann mit meist geringem Aufwand abstellen zu können.

## 6.0.0 Wartung

### Überwacht werden sollten:

Der Niveaustand in Ruhe und bei maximaler Förderung im Förderbrunnen

Aus dem Niveaustand Ruhe lassen sich Veränderungen des Grundwasserspiegels selbst ablesen, aus einer erhöhten Absenkung bei voller Förderung gegebenenfalls beginnende Alterung.

der Niveaustand in Ruhe und bei maximaler Förderung im Schluckbrunnen

Aus einer erhöhten Differenz (der Förderspiegel liegt hier höher als der Ruhespiegel), kann gegebenenfalls auf beginnende Alterung geschlossen werden.

Druck und Druckdifferenz vor und hinter der Wärmepumpe

Hier kann gegebenenfalls auf einen veränderten Strömungswiderstand des Verdampfers, auf den Zustand der Brunnenpumpe, aber auch auf eine Veränderung der Brunnenfunktion geschlossen werden.

Die Temperaturen vor und nach der Wärmepumpe bei vollem Wärmepumpenbetrieb

Steigende Temperaturdifferenz weist im allgemeinen auf eine reduzierte Fördermenge hin.

Abschließend sollte, soweit dies möglich ist, auch die Dichtigkeit aller Rohrverbindungen und wasserführenden Bauteile mindestens optisch überprüft werden.

### Quellennachweis:

Handbuch der Kältetechnik  
Ausgabe 1969  
H.L. v. Cube

Enzyklopädie der mathemat. Wissenschaften,  
Hydraulik  
Verlag Teubner  
Forchheimer

Bilanzierung der Abwärme  
im Grund- und Abwasser  
Studie  
K.D. Balke, Universität Tübingen

Brunnenalterung  
Studie 1972  
G. Krems

Vorschriften und Richtlinien für Wärmepumpen  
bei der Nutzung der Wärmequellen Grundwasser  
und Oberflächenwasser  
Ausarbeitung  
FTA ad-hoc-Arbeitskreis

Bohrbrunnen  
Skripten  
Techn. Universität, Wien

Dimensionierung von Brunnenanlagen  
Vorträge 1980  
H. Duras

Zur Vermeidung lokaler hoher Filtergeschwindigkeiten darf nicht in der Filterzone gefördert werden

Bei geringer Höhe der grundwasserführenden Schicht sollte diese so weit als möglich genutzt werden

Auch im Schluckbrunnen dürfen keine überhöhten lokalen Filtergeschwindigkeiten auftreten

Die Brunnenpumpe wiegt bis zu 30 kg, beim Anlaufen entstehen darüber hinaus Torsionskräfte

Im Brunnenbereich können Bodensetzungen entstehen

Brunnenvorköpfe und die Zuleitungen zur Wärmepumpe führen relativ kaltes Wasser

Die Brunnenpumpe sollte möglichst oberhalb des Filterbereiches, jedoch mindestens 2 m unterhalb des abgesenkten Wasserspiegels eingebaut werden, falls dies nicht möglich ist, unterhalb der Filterzone in einem dafür verlängerten Sumpfrohr.

Das Sumpfrohr wird in solchen Fällen in den dichten Untergrund der wasserführenden Schicht gesetzt.

Das Fallrohr muß daher bis in das Sumpfrohr reichen

Bei der Dimensionierung des Förderrohres sind diese Punkte zu berücksichtigen

Es ist daher nicht zweckmäßig, den Brunnenabschlußkopf im Brunnenvorschacht zu verankern.

Die auftretende Schwitzwasserbildung ist zu berücksichtigen oder zu verhindern.

Das Schema eines Sickerschachtes zeigt Bild 2

**Bitte beachten Sie:**

Eine Reihe der angeführten Gründe sprechen gegen die Verwendung von Sickerschächten

Sickerschächte werden nur in den Ausnahmefällen eingesetzt werden können, wenn

- das Grundwasser weder zur Verockerung, noch zur Versinterung neigt und
- gegen die Wiedereinleitung von belüftetem Wasser in die oberste Grundwasserschicht von keiner Seite Bedenken bestehen.

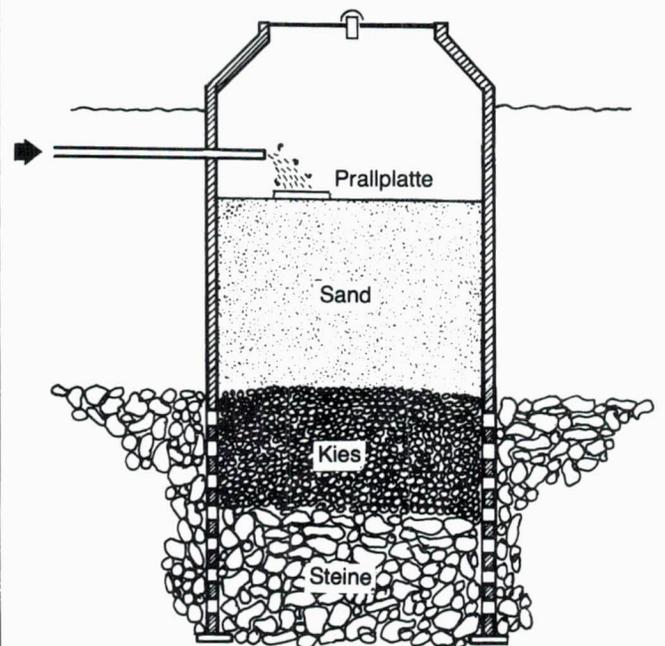


BILD 2

## 4.2 Kosten

Untersuchungen haben ergeben, daß in den Preisen verschiedener Anbieter gravierende Unterschiede bestehen.

Im allgemeinen zeigt sich, daß Anbieter, die bereits Erfahrung in der Erstellung von Brunnenanlagen für Wärmepumpen besitzen, günstig anbieten. Angebote, denen keine entsprechende Erfahrung zugrunde liegt, enthalten manchmal unverhältnismäßig hohe Risikozuschläge.

Für einen Überblick ist es daher zweckmäßig, den Durchschnitt der häufigsten Angebotspreise anzusetzen; diese sind nach drei Kostengruppen zu unterteilen.

### Erstellung von Förder- und Schluckbrunnen

Hier lassen sich für verschiedene Bohrtiefen (von Förder- und Schluckbrunnen zusammen) spezifische Brunnenpreise je m Brunnentiefe in standfesten und in nicht standfesten Böden angeben (Diagramm 6).

Bei Bohrungen durch massives Gestein können sich die Werte für „standfeste Böden“ um bis zu 100% erhöhen.

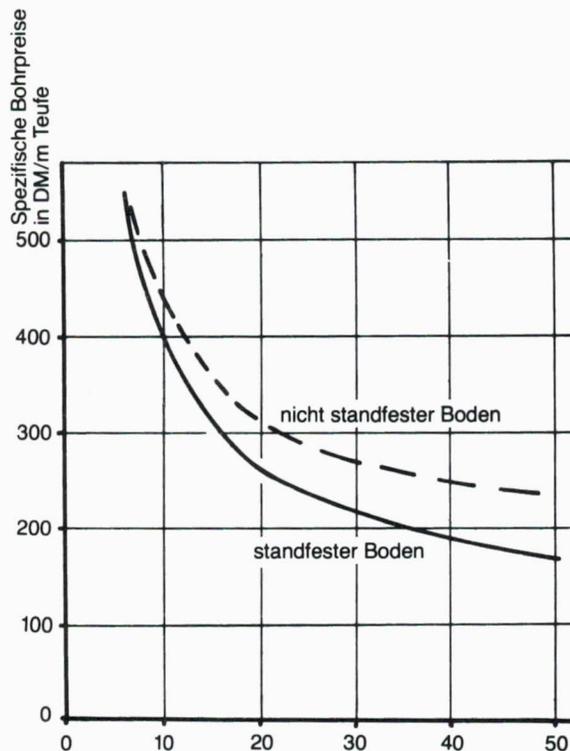


DIAGRAMM 6: Spezifische Brunnenpreise je m Teufe in Abhängigkeit von der Teufe für Förder- und Schluckbrunnen. (Stand 1979)

### Anschluß der Brunnen an die Wärmepumpenanlage

Hier kann, bei etwa 13 m Entfernung jedes Brunnens vom Aufstellungsort der Wärmepumpe, pauschal DM 4.000,- angesetzt werden.

### Pump- und Schluckversuch

Die Kosten für diesen grundsätzlich erforderlichen Versuch können ebenfalls pauschal mit DM 1.000,- angesetzt werden.

#### Beispiel:

Förder- und Schluckbrunnen in standfestem Boden  
Bohrtiefe 30 m

Aus Diagramm:

Spezifischer Brunnenpreis DM 215,-/m

Förder- und Schluckbrunnen 30 x 215	DM 6.450,-
Anschlußk. an die Wärmepumpe ca.	DM 4.000,-
Pump- und Schluckversuch ca.	DM 1.000,-

**Gesamt ca. DM 11.500,-**

## 4.3 Erlaubnis Antrag

Antrag auf Erlaubnis ist bei der „Unteren Wasserbehörde“ der Landkreise bzw. der kreisfreien Städte einzureichen. Eine Auflistung der Länderbestimmungen, soweit diese zur Zeit bekannt sind, ist in der Tabelle 3 (auf Seiten 4 und 5) zusammengefaßt.

Die Erlaubnis ist eine befristete und widerrufliche öffentlich-rechtliche Befugnis; sie hat keine zivilrechtliche Wirkung, d.h., sie schützt den Inhaber nicht vor zivilrechtlichen Schadensersatz- oder Unterlassungsansprüchen Dritter.

Der Antrag ist

- sowohl für die Entnahme (Förderbrunnen)
- als auch für die Wiedereinleitung (Schluckbrunnen, Sickerschacht) zu stellen.

Der Umfang der Antragsunterlagen muß im Einzelfall bei der Behörde erfragt werden, jedoch voraussichtlich mindestens enthalten:

- Lageplan
- Konstruktionszeichnung der Anlage
- Erläuterungsbericht über die Funktionsweise
- Korrosionsbeständigkeit des verwendeten Materials
- Art und Wassergefährlichkeit des Arbeitsstoffes
- Brunnendaten
- Entnahmemengen je Stunde, je Tag und je Jahr
- Nachweis über die Schluckfähigkeit des Schluckbrunnens bzw. des Untergrundes
- Vorgesehener Zeitpunkt der Errichtung und der Inbetriebnahme der Anlage.

Die wasserrechtliche Erlaubnis enthält nicht die baurechtliche Genehmigung. Ob eine solche erforderlich ist, muß ebenfalls von Fall zu Fall geprüft werden.

Es ist hier auch darauf hinzuweisen, daß der elektrische Anschluß der Wärmepumpe selbst durch das zuständige Elektro-Versorgungsunternehmen genehmigt werden muß.

## Länderbestimmungen zur Nutzung von Wasser als Wärmequelle für Wärmepumpen (Stand 1979)

keine Angaben

Bundesland	Zuständige Behörde	Grundlagen zum Erlaubnisverfahren	Erlaubniserteilung empfohlen		Behandlung von Erlaubnisanträgen in Wasserschutz-zonen	Forderung der Wiedereinleitung in das Ursprungsgewässer	Besondere Baugenehmigung erforderlich
			Oberflächen-wasser	Grundwasser			
Baden-Württemberg	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt, Marienstr. 41, 7000 Stuttgart-West	nicht veröffentlichter Erlaß des Ministeriums vom 31. 7. 74, Nr. VII 2112/5, neu 75-8110	ja bevorzugt	Bedenken wegen indirekter Verschmutzung des Grundwassers bei der Wiedereinleitung	keine Erlaubnis	ja	nein
Bayern	Bayr. Staatsministerium, Oberste Baubehörde, Karl-Schmagerling-Ring 60, 8000 München 22	Merkblatt des Bayr. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Nr. II-4/76, vom Juni 76	ja mit Einschränkung	ja mit Einschränkung	keine Erlaubnis, Ausnahme in der erweiterten Schutzzone III B möglich	in der Regel Einleitung von Grundwasser in Oberflächengewässer ist möglich	nein
Berlin	Senator für Bau- und Wohnungswesen, Württembergische Str. 6-10, 1000 Berlin 31	Richtlinien anderer Bundesländer insbesondere Bayern werden berücksichtigt	ja	ja	*)	*)	*)
Bremen	Senator für das Bauwesen, Abt. 44, Wasserwirtschaft, Am Dom 4 a, 2800 Bremen 1	Bremisches Wassergesetz vom 13. 3. 62 keine weiteren Bestimmungen vorhanden	*)	*)	*)	*)	*)
Hamburg	Baubehörde, Amt für Ingenieurwesen I, Hauptabteilung Wasserwirtschaft, Neuer Wall 72, 2000 Hamburg 36	WHG in Verbindung mit dem Hamburgischen Wassergesetz vom 20. 6. 60 und § 99 der Hamburgischen Bauordnung vom 10. 12. 69	ja	ja mit Einschränkung	keine Erlaubnis in Schutz-zonen I, II, III A	in der Regel	ja für die Brunnenanlage gem. § 99 der Hamburgischen Bauordnung vom 10. 12. 69
Hessen	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt, Hölderlinstr. 1-3, 6200 Wiesbaden	Erlaß I C 2 - 79 g 18-640/76 vom 3. 2. 76 (MmLU), Erlaß VA 12-64 b 12/03-94/76 vom 19. 11. 76 (Mind. d. I.)	*)	ja mit Einschränkung	keine Erlaubnis	ja	nein Unterrichtung der Unteren Wasserbehörde durch das Ministerium des Innern (zust. Bauaufsicht)
Niedersachsen	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Calenbergerstr. 2, 3000 Hannover 1	Vorläufige Hinweise lt. Erlaß vom 1. 10. 76	*)	ja mit Einschränkung	keine Erlaubnis, Ausnahme für Schutzzone III im Einvernehmen mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt	ja	keine
Nordrhein-Westfalen	Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Roßstr. 135, 4000 Düsseldorf 30	Erlaß III A 2-605/1-24565 (MinELF) und VA 4-200,14-vom 22. 1. 78 (Min. d. I.)	*)	ja mit Einschränkung	keine Erlaubnis in den Zonen I, II und III A	ja	keine für ein Antriebsl. d. Wärmepumpe bis 50 kW, Mitteilungspflicht nach Fertigstellung a. d. Untere Bauaufsichtsbehörde
Rheinland-Pfalz	Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Umweltschutz, Abt. Wasserwirtschaft, Große Bleiche 55, 6500 Mainz 1	WHG in Verbindung mit dem Rheinland-Pfälzischen Wassergesetz (RPWG) ansonsten keine besonderen Bestimmungen	*)	*)	*)	*)	*)
Saarland	Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Bauwesen, Landesamt für Wasserwirtschaft und Abfallbeseitigung, Hellwigstr. 14, 6600 Saarbrücken	WHG in Verbindung mit dem Saarl. Wassergesetz (SWG), ansonsten keine besonderen Bestimmungen	ja	ja mit Einschränkung	Erlaubnis außerhalb der Schutzzone III	ja	keine
Schleswig-Holstein	Ministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten, Düsterbrookker Weg 104-108, 2300 Kiel 1	WHG in Verbindung mit dem Schleswig-Holsteinischen Wassergesetz (SchWG), ansonsten keine besonderen Bestimmungen	*)	*)	*)	*)	keine mit Einschränkungen

TABELLE 3

Alle Angaben entsprechen dem heutigen technischen Stand.  
Quellenangaben nach Kapitel 6

Bundesland	Auflagen zur Erlaubnis					Besondere Einschränkungen		
	Temperaturmessung	Wassermengenmessung	Hydrologisches Gutachten	Wasseranalyse	Sicherheitsabschaltungen gegen Kältemittelaustritt	Kältemittel	Mengenbegrenzung	Zulassung max. Änderung der Wassertemperatur
Baden-Württemberg	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	keine	keine	keine
Bayern	für $\Delta T = 5 \text{ K}$ bei NNE gefordert für Oberfl.-Wassernutzung und große Grundwasserentnahmen (kontinuierliche Messung), bei kleinen Wassermengen nicht erforderlich	erforderlich für Oberflächenwassernutzung und große Grundwasserentnahmen (kontinuierliche Messung), bei kleinen Wassermengen nicht erforderlich	erforderlich	für große Grundwasserentnahmen erforderlich, sonst nicht erforderlich	erforderlich	Sicherheitskältemittel, die keine Stoffe mit schädigenden Auswirkungen beinhalten	keine	$\Delta T = 2 \text{ bis } 6 \text{ K}$ ausgehend von der natürlichen Temperatur von Oberflächenwasser, Grundwasser. Begrenzung von K und °C
Berlin	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)
Bremen	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)
Hamburg	erforderlich	erforderlich	erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	keine Aussage	keine	keine
Hessen	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)
Niedersachsen	nicht erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich	keine	keine	keine
Nordrhein-Westfalen	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	keine	keine	Temperatur des eingetretenen Wassers darf 4 °C nicht unterschreiten
Rheinland-Pfalz	nicht erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	keine	keine	Abkühlung von Oberflächenwasser bis auf natürliche Temperaturnorm
Saarland	*)	*)	erforderlich	*)	*)	*)	*)	Abkühlung von Oberflächenwasser bis auf natürliche Temperaturnorm
Schleswig-Holstein	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)	*)

TABELLE 3

**4.4 Ausschreibung**

Eine Preisanfrage könnte etwa dem Text der Tabelle 3 (s. S. 3) entsprechen.

Es ist daher empfehlenswert das für die Gesamtverantwortung ein Unternehmer, der über entsprechende Erfahrungen verfügt und für die Erstellung und die Funktion der Gesamtanlage zeichnet, den Auftrag durchführt.

Die einwandfreie Funktion der Gesamtanlage einschließlich der Wärmepumpe auch über einen langen Zeitraum erfordert eine Abstimmung aller Anlagenteile und Arbeiten.

**Tabelle 4**

**Titel I: Bohrbrunnen in nicht standfesten Böden**

Pos. 1	Vorrichten auf dem Werkshof sowie An- und Abtransport zu und von der Baustelle Pauschal		.....	.....
Pos. 2	Auf- und Abbau der Bohranlage über den Bohransatzpunkt einschl. Erstellen der Spülgrube ohne Verfüllen derselben Pauschal		.....	.....
Pos. 3	Abteufen einer Bohrung im Saug- oder Spülverfahren durch Sande und Kiese mit einem Bohrdurchmesser von mindestens 220 mm in den Tiefen von: 0,00 – 15,00 m	a/m	.....	.....
Pos. 3a	wie Pos. 3 jedoch in den Tiefen 15,00 – 30,00 m	a/m	.....	.....
	30,00 – 60,00 m	a/m	.....	.....
Pos. 3b	Zulage für Bohrung durch Schichten von Ton und Mergel auf die Einheitspreise der Pos. 3 + 3a	..... %	.....	.....
Pos. 3c	Zulage wie Pos. 3b, jedoch durch Festgestein	..... %	.....	.....
Pos. 4	4,00 m Kunststoff-Filter Pumpen-Boese-Kunststoff-glatt oder gleichwertiges Material mit einer Wandstärke von 5 mm und einem $\varnothing$ von 115 mm liefern und zentriert einbauen	a/m	.....	.....
Pos. 4a	4 m Kunststoff-Filter wie vor, jedoch Ausführung (KR) Kunststoff-Ripprohr	a/m	.....	.....
Pos. 5	1 m Filteraufsatzrohr mit Gewindeverbindungen $\varnothing$ 115 mm, Material wie Pos. 4 als Sumpfrohr mit Bodenstück	a/m	.....	.....
Pos. 6	10 m Filteraufsatzrohr $\varnothing$ 115 mm Material wie Pos. 4 + 5 liefern und zentriert einbauen. Die Gewinde müssen luftdicht verbunden sein	a/m	.....	.....
Pos. 7	7 m Verfüllen des Ringraumes mit Filtersand (gewaschener Quarzsand) Korngröße den vorgefundenen Bodenschichten angepaßt	a/m	.....	.....
Pos. 8	Auffüllen des Ringraumes mit quellfähigem Tonmehl Bentonit, mit Schwerspatzusatz, ab einer möglichst wasserundurchlässigen Schicht einbauen		.....	.....
Pos. 9	Abtransport des für die Bohrung erforderlichen Spülwassers Pauschal		.....	.....
Pos. 10	2 Stunden Klarpumpen bzw. Entsandern des Brunnens mit Aufzeichnung der Brunnenleistung und der Wasserspiegelabsenkung, Stromanschluß und Stromkosten bauseits Pauschal		.....	.....
Summe	1. Bohrung (Förderbrunnen)		.....	.....
Summe	2. Bohrung (ohne Pos. 1 und 9) (Schluckbrunnen)		.....	.....
Summe	Titel I		.....	.....
	+ gesetzl. MwSt.		.....	.....

**Titel II: Bohrbrunnen in standfesten Böden**

Pos. 11	wie Pos. 1, Titel I	.....	.....
Pos. 12	wie Pos. 2, Titel I	.....	.....
Pos. 13	10 m Abteufen einer Bohrung im Spülverfahren durch Sande, Kiese und Ton mit einem ø von mindestens 220 mm	a/m	.....
Pos. 14	10 m Filteraufsatzrohr ø 150 mm, Wandstärke 5 mm, Material PB oder gleichwertig. Die Gewinde müssen luftdicht verbunden sein. Liefern und einbauen	a/m	.....
Pos. 15	wie Pos. 8, Titel I	.....	.....
Pos. 16	20 m weiteres Abteufen der Bohrung durch Tone und Mergel mit einem ø von 150 mm	a/m	.....
Pos. 17	Zulage für Bohrung durch hartes Gestein (Festgestein) zu Pos. 15	..... %	.....
	Pauschal	.....	.....
Pos. 18	Abtransport des für die Bohrung erforderlichen Spülwassers	.....	.....
	Pauschal	.....	.....
Pos. 19	2 Stunden Klarpumpen bzw. Entsandern des Brunnens und Aufzeichnung der Brunnenleistung und Wasserspiegelabsenkung, Stromanschluß und Stromkosten bauseits	.....	.....
	Pauschal	.....	.....
Summe	1. Bohrung	.....	.....
Summe	2. Bohrung (ohne Pos. 11 + 18)	.....	.....
Summe	Titel II	.....	.....
	+ gesetzl. MwSt.	.....	.....

**Titel III: Weitere Pump- und Schluckversuche**

Pos. 20	Sollten weitere Pumpversuche zur Entsandung bzw. zur Feststellung der Ergiebigkeit erforderlich sein, so werden hierfür berechnet: Für An- und Abtransport der Pumpanlage, Vorhaltung für 3 Tage sowie Montage und Demontage derselben. Die Funktion der Anlage wird täglich bauseits überprüft. Stromanschluß und Stromkosten bauseits.	.....	.....
	Pauschal	.....	.....
Pos. 21	Durchführung eines Schluckversuches. Montage und Demontage von 2 Stück Brunnenabschlußköpfen. Einbau und Ausbau einer Unterwasserpumpe in den Förderbrunnen sowie einer Tauchleitung in den Versickerungsbrunnen, Verbinden der beiden Brunnen mit einer PE-Leitung 1 1/4" sowie Einbau eines Wasserzählers einschl. Vorhaltung der Anlage für 3 Tage. Die Funktion der Anlage wird täglich bauseits geprüft. Stromanschluß und Stromkosten bauseits. Das Ergebnis der Versickerungsmenge und der Wasserspiegelstand müssen schriftlich bestätigt werden.	.....	.....
	Pauschal	.....	.....

Darüber hinaus haftet der Brunnenbauer gemäß VOB/DIN 18302 Abs. 1,1  
 – nicht für die Wasserqualität,  
 – nicht für die Brunnenergiebigkeit und  
 – nicht für die Grundwasserabsenkung.  
 Diese Risiken gehen zu Lasten des Auftraggebers.

**Es wird daher empfohlen:**

- den Gesamtauftrag einem Unternehmer zu übertragen, der über die entsprechende Erfahrung verfügt und für Erstellung und Funktion der Gesamtanlage voll verantwortlich zeichnet,
- sowie Garantien über Sicherheit, Leistung und Lebensdauer der Anlage schriftlich zu vereinbaren.

**Beispiel**

Gegeben	Diagramm	Ergebnis
Fördermenge 4 m <sup>3</sup> /h k-Wert 0,0002 m/sec. (feiner Sand) Gewählt wird Mittelwert zwischen „Sichardt“ und $V_{\text{Brunnen}} = k$	2	Erforderliche Brunnenfläche 4 m <sup>2</sup>
Erforderliche Brunnenfläche 4 m <sup>2</sup> Höhe der wasserführenden Schicht 7 m	3 (A)	Theoretischer Brunnendurchmesser (ohne Absenkung) 0,18 m
k-Wert 0,0002 m/sec. Höhe der wasserführenden Schicht 7 m Theoretischer Brunnendurchmesser ca. 0,2 m	4	Absenkung 0,26 m je m <sup>3</sup> /h
Fördermenge 4 m <sup>3</sup> /h		Gesamtabsenkung 0,26 · 4 = 1 m
Erforderliche Brunnenfläche 4 m <sup>2</sup> Wirksame Höhe 7 – 1 = 6 m	3 (B)	Erforderlicher Brunnendurchmesser (mit Absenkung) 0,22 m
Durchmesser Brunnenpumpe 95 mm + Ringspalt 10 mm	–	Innerer Filterdurchmesser 0,115 m
Gewählte Filtergeschwindigkeit 1,5 m <sup>3</sup> /h je m <sup>2</sup> Fördermenge 4 m <sup>3</sup> /h	5	Erforderliche Filterfläche 2,65 m <sup>2</sup>
Erforderliche Filterfläche 2,65 m <sup>2</sup> Wirksame Höhe 6 m – 0,5 m (Sicherheit) = Filterhöhe 5,5 m	3 (C)	Erforderlicher Filterdurchmesser 0,155 m ist größer, als der durch die Einbauten bedingte Minstdurchmesser – damit endgültig
Erforderlicher Filterdurchmesser 155 mm + Wandstärke 5 mm + Schüttung 60 mm	–	Minstdurchmesser Brunnen 0,285 m ist größer, als der erforderliche Brunnendurchmesser – damit endgültig

**4.1 Ausführungen**

Den Gesamtaufbau einer Brunnenanlage mit Förder- und Schluckbrunnen zeigt Bild 1. Verschiedene Maßnahmen und Vorkehrungen, die zur Erstellung oder zum Betrieb der Anlage erforderlich sind, wurden bereits in den vorhergehenden Kapiteln abgeleitet und begründet,

**bitte stellen Sie jedenfalls sicher:**

Grundwässer sind oft korrosiv	Für alle Teile, die mit dem Grundwasser in Berührung kommen, darf nur korrosions-sicheres Material verwendet werden.
Das Eindringen von Luft in die Anlage kann erhebliche Schäden verursachen	Sämtliche wasserführenden Leitungen, Bauteile und dgl. müssen auch bei Unterdruck, dicht und dicht verbunden, das Eindringen von Luft verhindern.

Brunnenalterung beginnt normalerweise im Schluckbrunnen

Die Brunnenpumpe muß problemlos ein- und ausbaubar sein

In kalten Wintermonaten besteht Einfriergefahr

Förder- und Schluckbrunnen sollten identisch ausgebildet werden, um die Funktionen wechseln zu können; dazu sollte gleich bei der Brunnen-erstellung ein Erdkabel für die Brunnenpumpe auch zum Schluckbrunnen verlegt werden.

Möglich ist auch, die Filterfläche des Schluckbrunnens von vornherein größer auszu-legen, dies empfiehlt sich auch wegen der höheren dynamischen Viskosität des abgekühlten Wassers.

Filter-, Filteraufsatz- und Sumpfrohre sollten daher gleichen Durchmesser haben.

Brunnenabschlußkopf und die Zuleitungen zur Wärmepumpe müssen frostsicher verlegt werden.

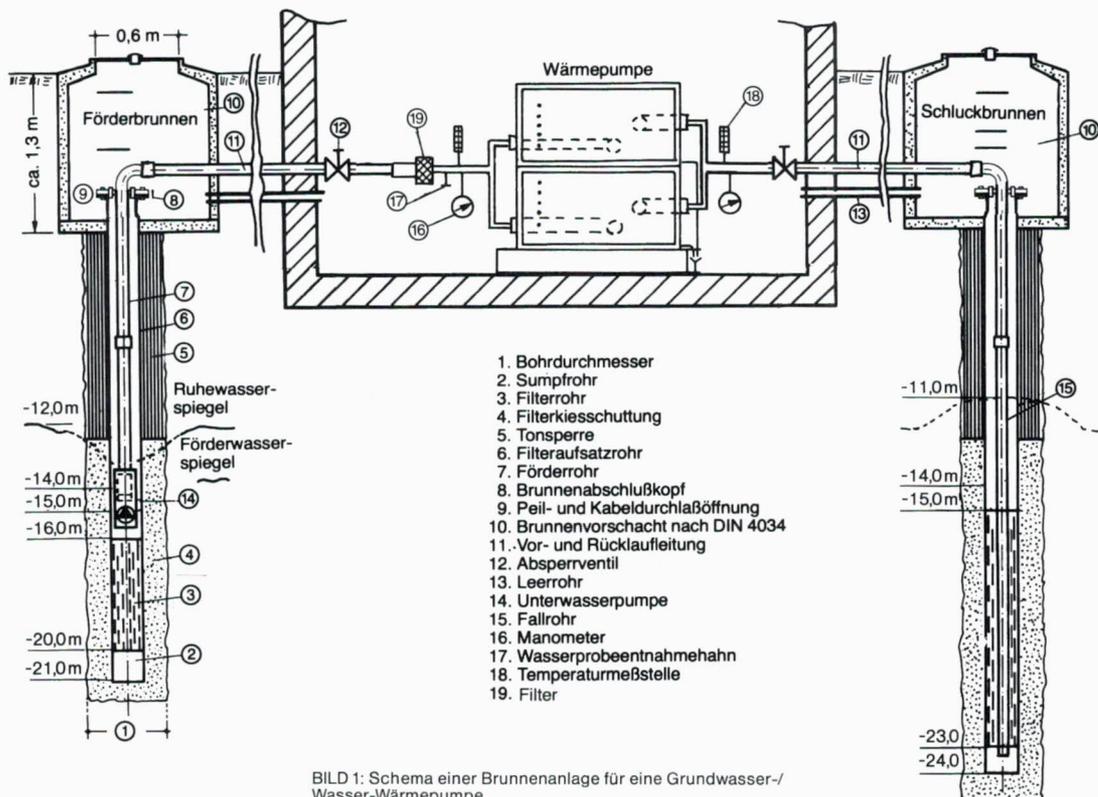
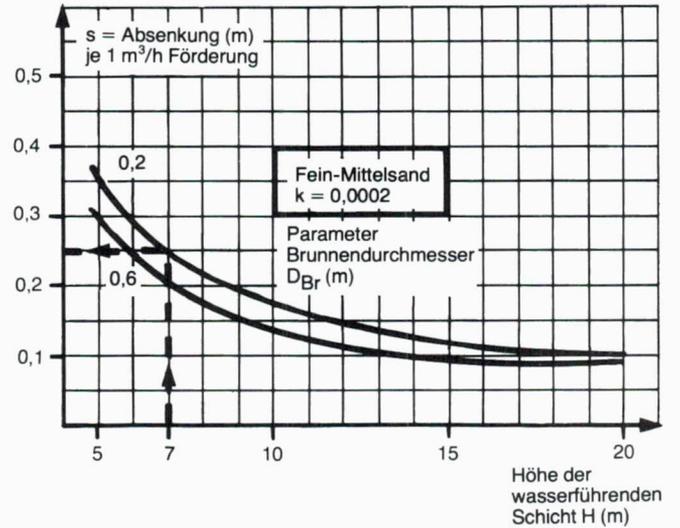
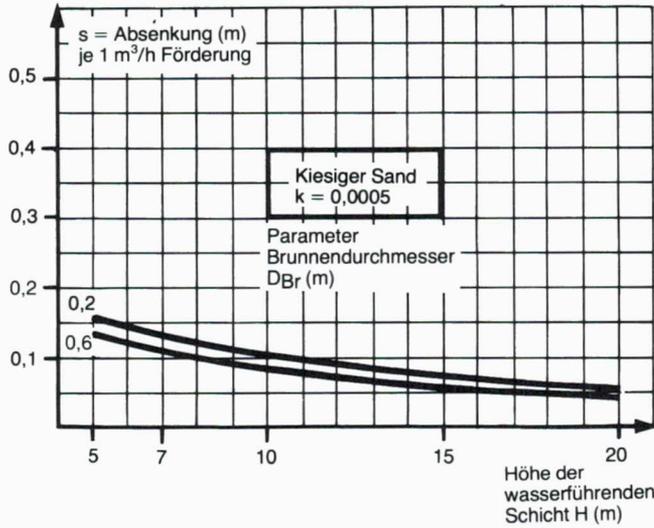


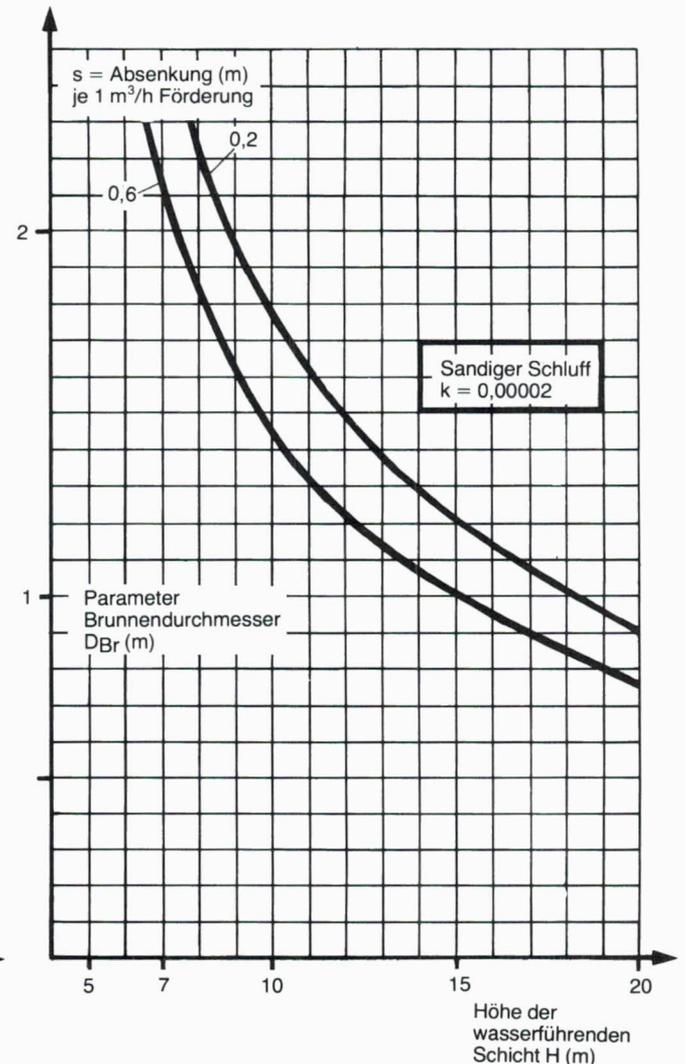
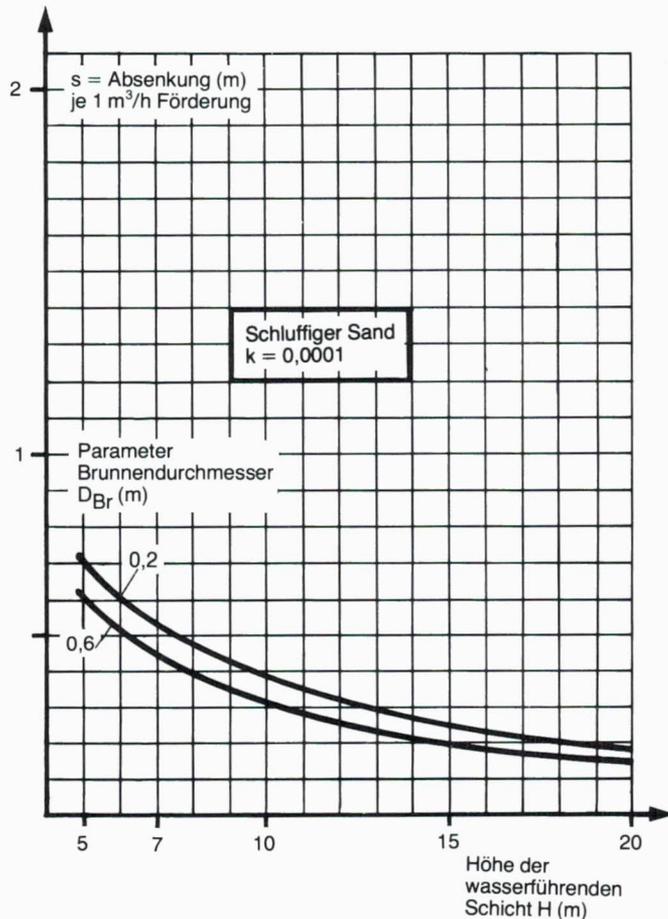
BILD 1: Schema einer Brunnenanlage für eine Grundwasser-/Wasser-Wärmepumpe

DIAGRAMME 4



BESTIMMUNG DER ABSENKUNG

$$(2H - s) \cdot s = \frac{Q_{Br}}{3.600 \cdot \pi \cdot k} \cdot \ln \frac{3.000 \cdot H \cdot \sqrt{k}}{\frac{D}{2} \text{ Brunnen}}$$



WAHL DER FILTERFLÄCHE

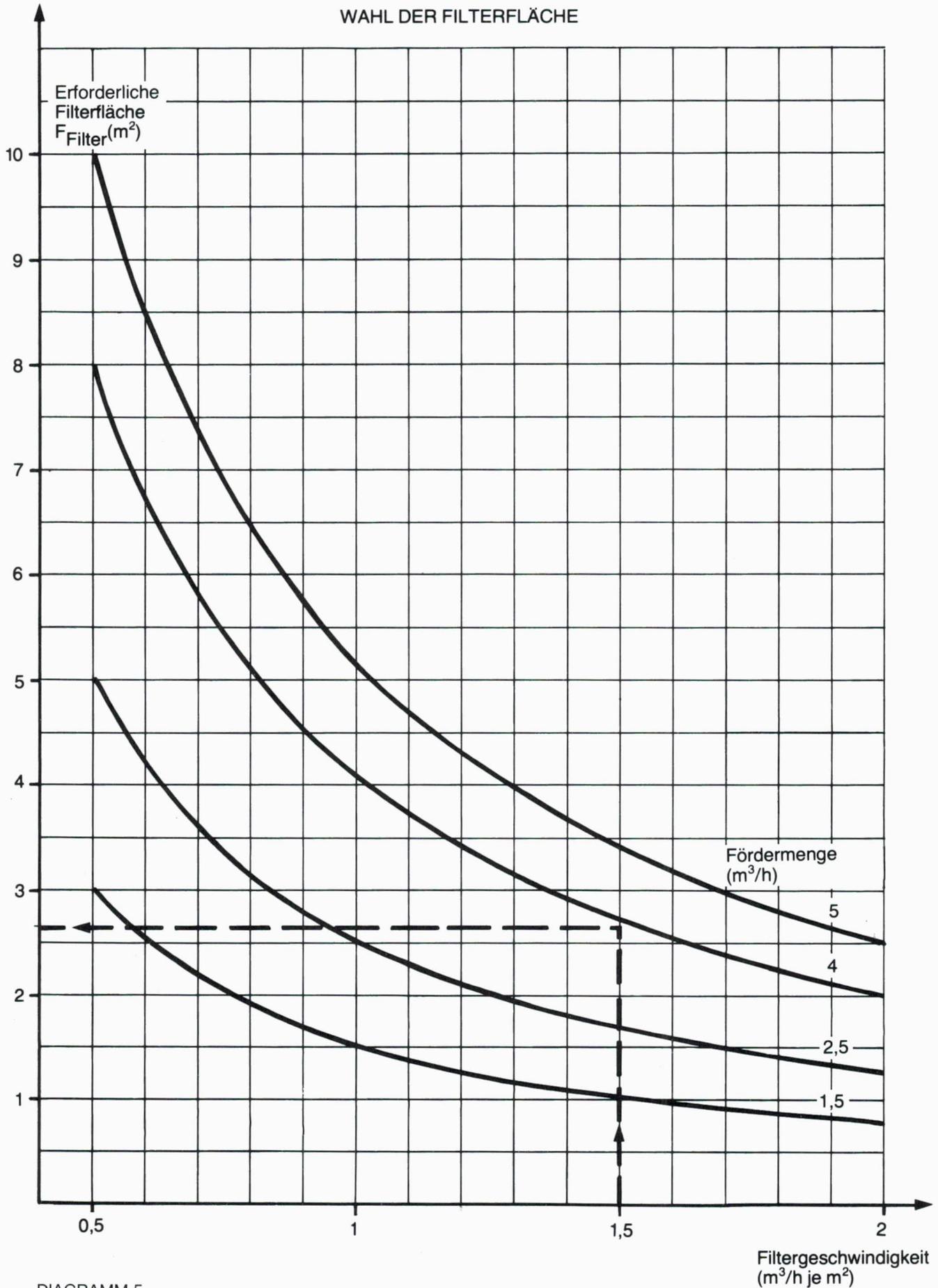
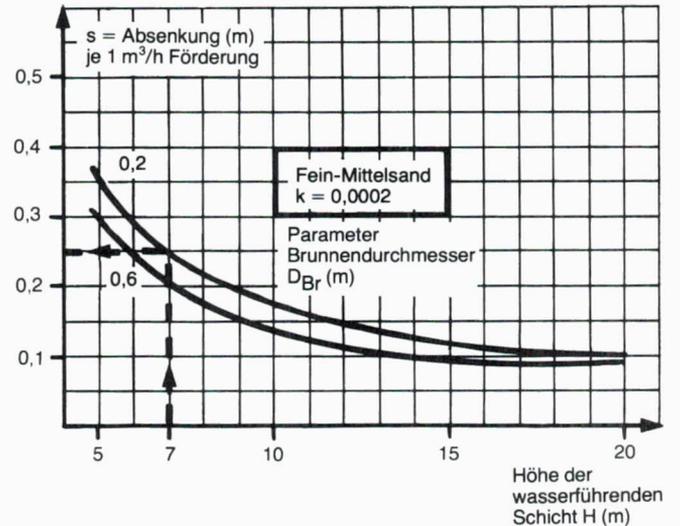
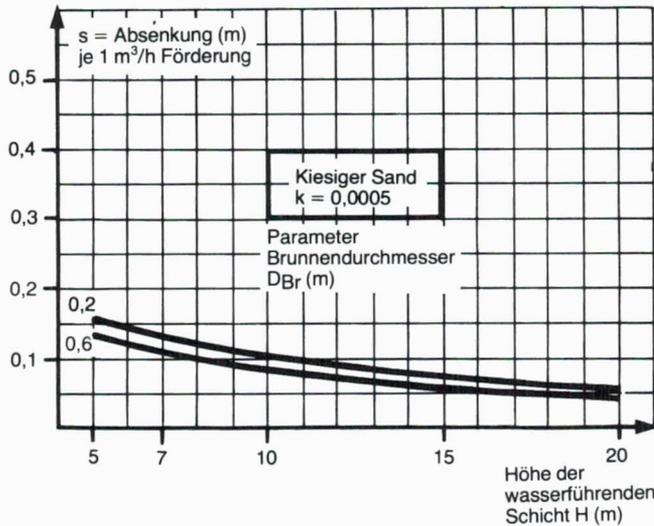


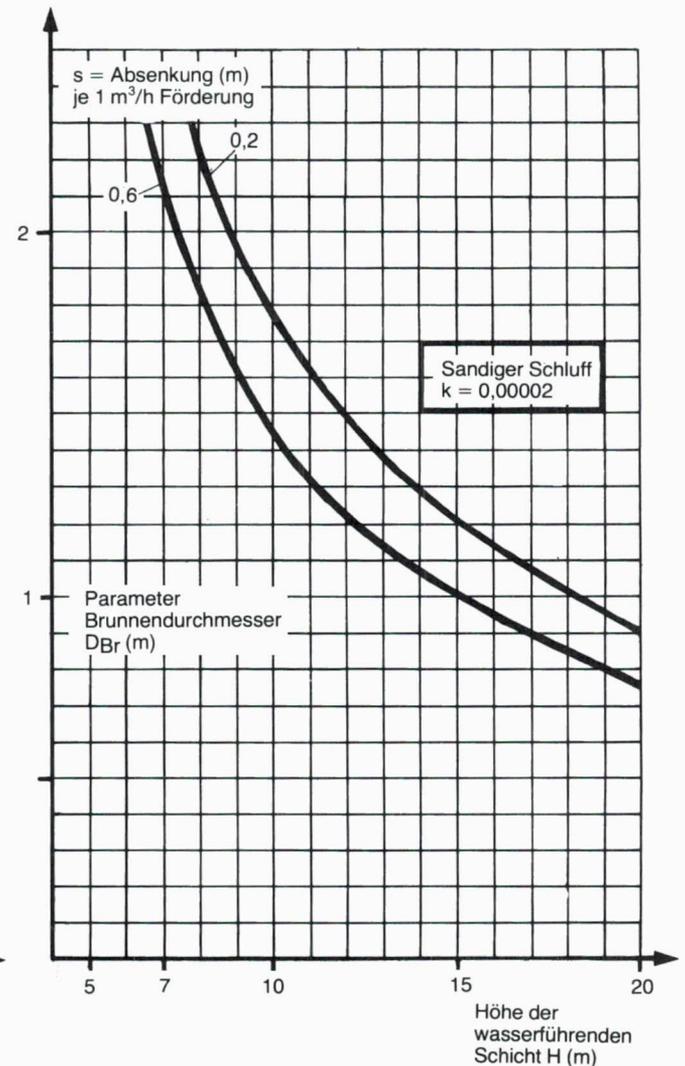
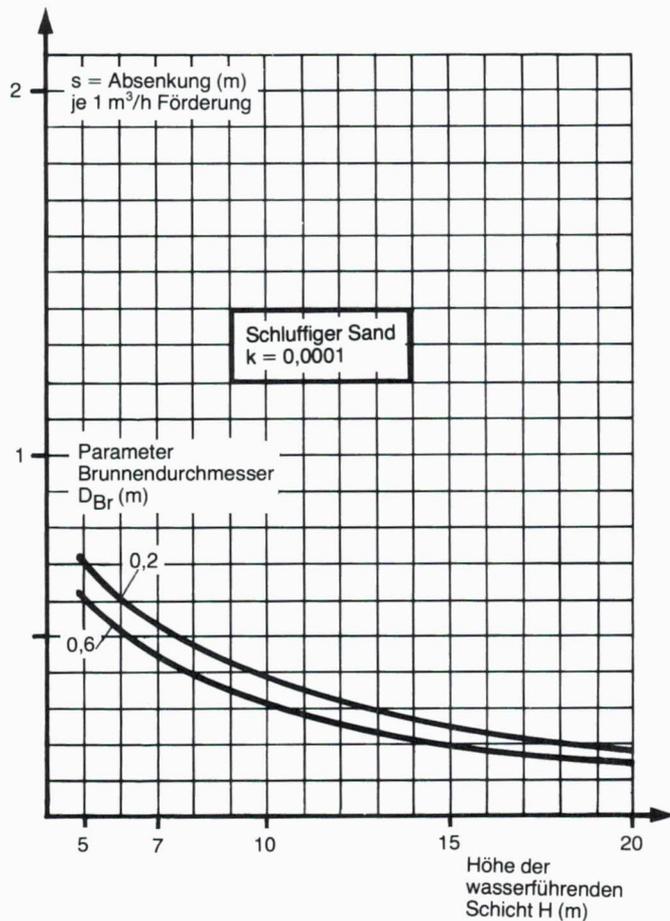
DIAGRAMM 5

DIAGRAMME 4



BESTIMMUNG DER ABSENKUNG

$$(2H - s) \cdot s = \frac{Q_{Br}}{3.600 \cdot \pi \cdot k} \cdot \ln \frac{3.000 \cdot H \cdot \sqrt{k}}{\frac{D}{2} \text{ Brunnen}}$$



WAHL DER FILTERFLÄCHE

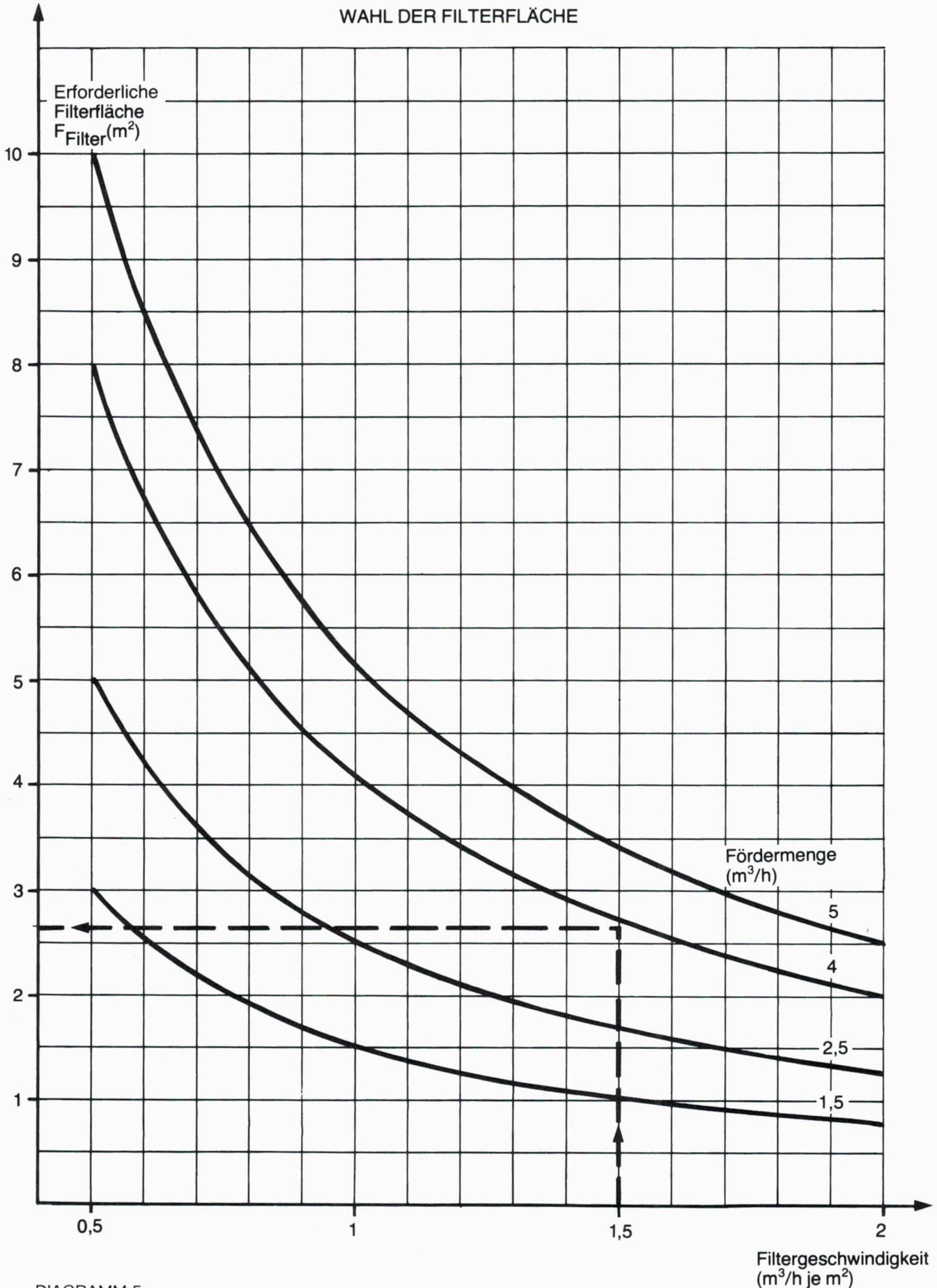


DIAGRAMM 5

BESTIMMUNG DER ERFORDERLICHEN BRUNNENFLÄCHE

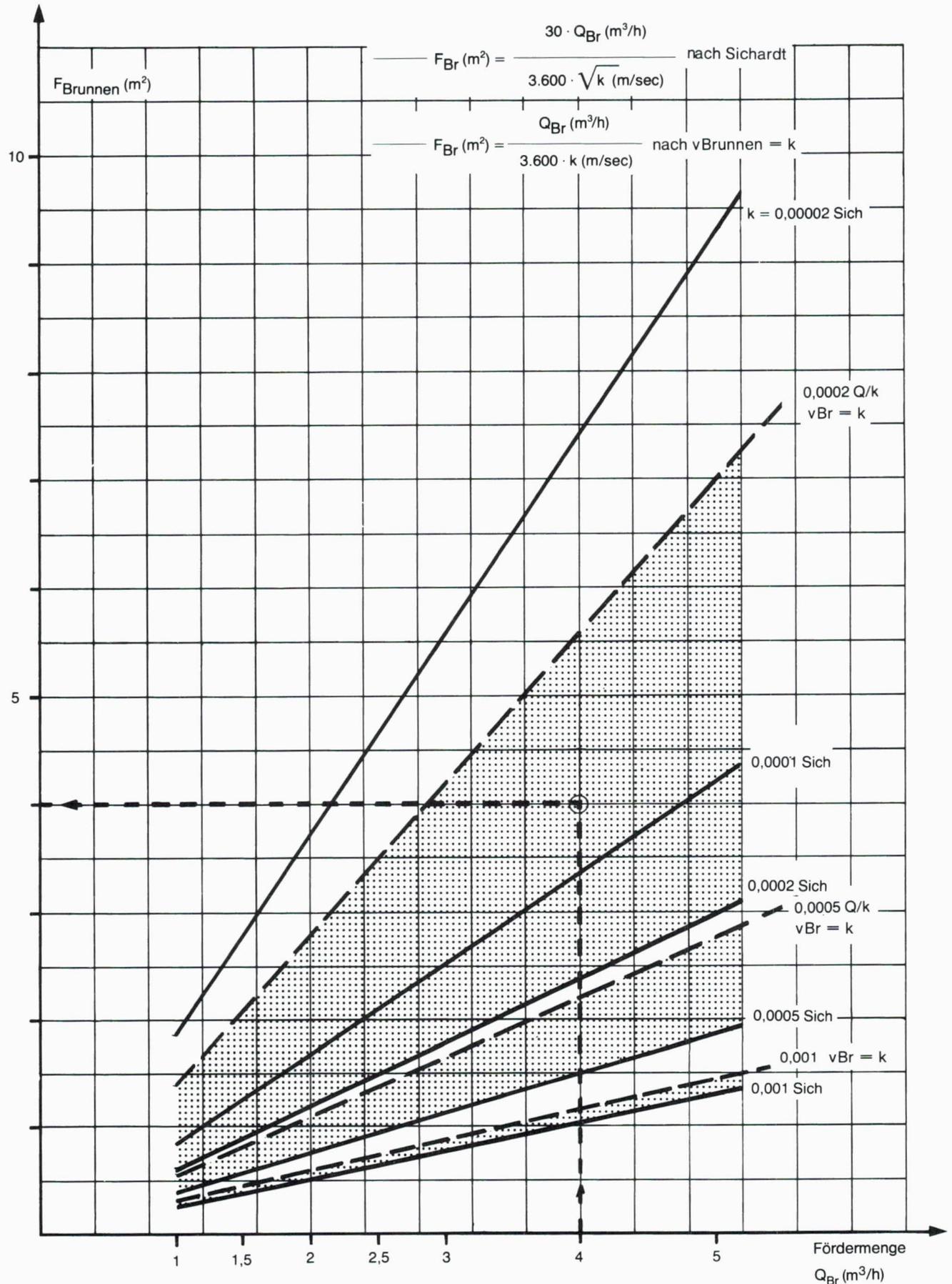


DIAGRAMM 2

WAHL DES DURCHMESSERS

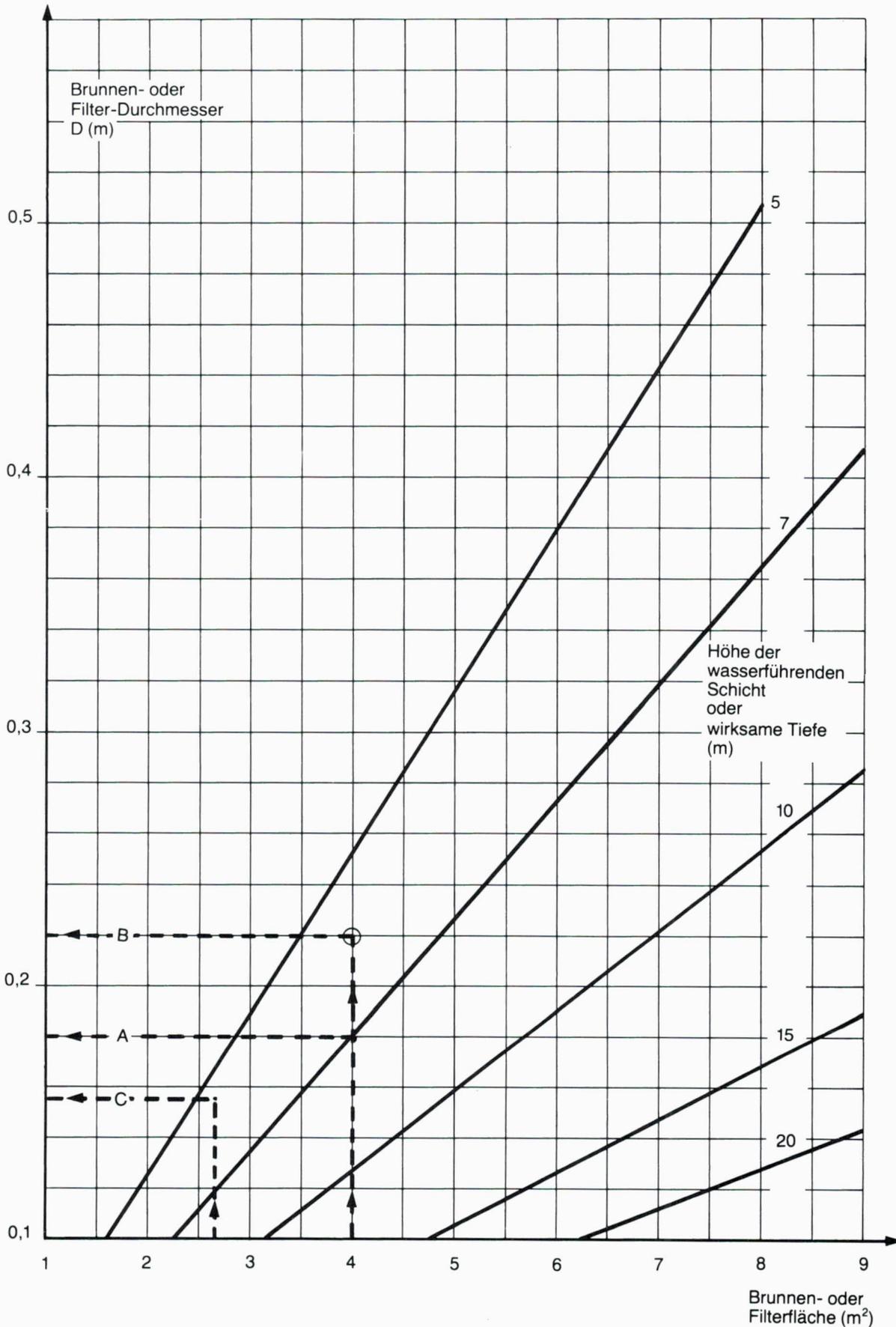


DIAGRAMM 3

Grundlage für die Dimensionierung der Brunnen sind die in den Technischen Daten der Wärmepumpen für die verschiedenen Typen angegeben:

- Nenn-Wassermengen und
- Mindest-Eintrittstemperaturen.

Grundsatz sollte sein, daß Wassermenge und Eintrittstemperatur auch für lange Betriebszeiträume umso eher sichergestellt sind, je tiefer der Brunnen ist und je größer Brunnen- und Filterflächen ausgelegt sind. Es wird z.B. immer richtiger sein, die gesamte Höhe der wasserführenden Schicht auch dann zu nutzen, wenn die Rechnung dies nicht erfordert.

Die wasserführende Schicht besitzt, abhängig von ihrer Zusammensetzung, einen Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  (m/sec.). Richtwertbereiche für verschiedene Zusammensetzungen der Grundwasserschicht sind in der Tabelle 1 angegeben, die tatsächlichen Durchlässigkeitsbeiwerte können jedoch, da sie von lokalen Gegebenheiten zusätzlich abhängig sind, stark abweichen.

Schichtmaterial	k-Wert (m/sec.)
Reine Kiese	0,035 – 0,025
Sandiger Kies	0,003 – 0,0005
Kiesiger Sand	0,001 – 0,0002
Fein-Mittelsand	0,0004 – 0,0001
Schluffiger Sand	0,0002 – 0,00001
Sandiger Schluff	0,00005 – 0,000001

TABELLE 1

Die Ermittlungsdiagramme auf den folgenden Seiten zur Dimensionierung sind auf Mittelwerte bezogen; es ist jedoch möglich, zu interpolieren, wenn der tatsächliche lokale  $k$ -Wert bekannt ist. Aus der erforderlichen Fördermenge  $Q_{\text{Brunnen}}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) und dem Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  (m/sec.) der wasserführenden Schicht ergibt sich nach Diagramm 2 (Seite 3) eine erforderliche wirksame Brunnenfläche  $F_{\text{Brunnen}}$  ( $\text{m}^2$ ) und daraus nach Diagramm 3 (Seite 4) zunächst in Abhängigkeit von der

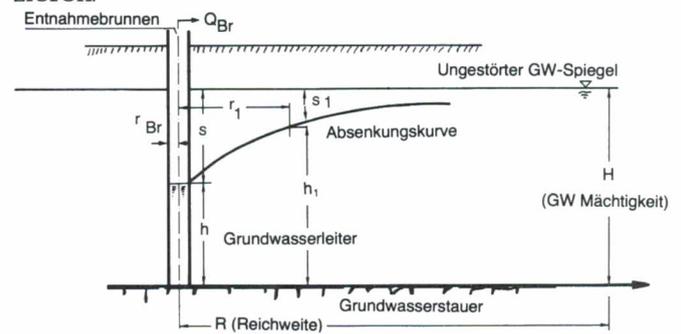
Tiefe der wasserführenden Schicht  $H$  (m) ein theoretischer Brunnendurchmesser, bezogen auf den nicht abgesenkten Grundwasserspiegel.

Zum Diagramm 2 ist anzumerken, daß es sowohl Linien nach der empirischen **Sichardt'schen Formel** enthält, als auch Linien nach der Auffassung, daß die **Eintrittsgeschwindigkeit** des Grundwassers in die Brunnenzone, d.h. in die Kies-schüttung zwischen der wasserführenden Schicht und dem Brunnen nicht größer sein soll, als der **Durchlässigkeitsbeiwert  $k$**  der Schicht selbst. Diese Auffassung stimmt mit der Sichardt'schen Formel für  $k$ -Werte um 0,001 m/sec. gut überein; für kleinere  $k$ -Werte gibt die Sichardt'sche Formel jedoch erheblich geringere erforderliche Flächen. Es hängt hier sehr stark von den lokalen Gegebenheiten ab, z.B. vom Vorhandensein ausschwemmbarer Feinstanteile der wasserführenden Schicht, ob nach „Sichardt“, oder nach „Eintrittsgeschwindigkeit = Durchlässigkeitsbeiwert“ gerechnet wird. Der Wasserspiegel im Förderbrunnen stellt sich nur in Ruhe, d.h., wenn nicht gefördert wird, auf das Niveau des Grundwasserspiegels ein. Bei der Förderung können jedoch, abhängig

- von der Fördermenge,
- der Höhe der grundwasserführenden Schicht,
- von Brunnendurchmesser, und vor allem
- vom Durchlässigkeitsbeiwert

Absenkungen auftreten.

Eine Abschätzung dieser Absenkungen ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Tabellenwerte sind auf eine Förderung von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  bezogen und noch mit der gewünschten Fördermenge zu multiplizieren.



Höhe Schicht (m)	20				10				7				5			
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,1	0,15	0,2	0,3	0,1	0,15	0,2	0,3	0,1	0,15	0,2	0,3
Absenkung $s$ (m) je $1 \text{ m}^3/\text{h}$ Förderung																
$k = 0,03$ reine Kiese	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
$k = 0,001$ sandiger Kies	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,035	0,055	0,053	0,051	0,049	0,08	0,07	0,07	0,065
$k = 0,0005$ kiesiger Sand	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,075	0,07	0,07	0,1	0,1	0,098	0,094	0,145	0,14	0,13	0,125
$k = 0,0002$ Fein-Mittelsand	0,1	0,095	0,09	0,09	0,19	0,18	0,17	0,16	0,26	0,24	0,23	0,22	0,335	0,33	0,32	0,30
$k = 0,0001$ schluffiger Sand	0,19	0,185	0,18	0,17	0,36	0,34	0,33	0,31	0,5	0,47	0,45	0,43	0,69	0,65	0,62	0,58
$k = 0,00002$ sandiger Schluff	0,89	0,85	0,81	0,77	1,74	1,64	1,56	1,45	2,67	2,47	2,33	2,14	negativ	negativ	negativ	negativ

TABELLE 2

Die Ermittlungsgleichung für die Absenkung ist exakt bis auf den Abstand vom Brunnen bis zum ungestörten Wasserspiegel  $R$  (m), der mit dem empirischen Wert

$R = 3.000 \cdot H \cdot \sqrt{k}$  (für Förderbrunnen) substituiert wurde.

Die Absenkung ist bedeutungslos für  $k = 0,03$  (reine Kiese) und bleibt bei Kiesen mit geringen Sandanteilen auch bei wasserführenden Schichten von nur 5 m und Fördermengen von  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  unter 0,4 m. Sie kann jedoch bei kleineren  $k$ -Werten beträchtliche Größen erreichen und eine sinnvolle Nutzung der Grundwasserschicht sogar ausschließen.

Aus den Diagrammen 4 (auf Seite 5) kann für mittlere  $k$ -Werte die spezifische Absenkung je  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  Förderung in Abhängigkeit von der Höhe der grundwasserführenden Schicht und dem bereits ermittelten theoretischen Brunnendurchmesser abgelesen werden; auch hier ist der abgelesene spezifische Wert noch mit der gewünschten Fördermenge zu multiplizieren, um die rechnerische Absenkung  $s$  (m) zu erhalten.

Die tatsächliche Absenkung kann durch die Rückstauwirkung des Schluckbrunnens etwas geringer ausfallen, als errechnet; für die Dimensionierung sollte aber jedenfalls der errechnete Wert der Absenkung eingesetzt werden.

Die Diagramme 4 beziehen sich auf „**freie Grundwasserspiegel**“; in der Praxis können jedoch auch sogenannte „**gespannte Grundwasserspiegel**“ auftreten, wenn das Grundwasser unter einer dichten Deckschicht unter Druck steht; dies ergibt jedoch für den Brunnen günstigere Verhältnisse.

Es muß jetzt nochmals aus Diagramm 3 über der erforderlichen Brunnenfläche bei einer um die Absenkung  $s$  reduzierten Höhe der wasserführenden Schicht  $H$ , d. h. für  $H-s$  ein „erforderlicher Brunnendurchmesser“, der den Verhältnissen von Schicht und Förderung entspricht, abgelesen werden.

Vor einer Festlegung ist jedoch noch der Filterdurchmesser zu bestimmen, da auch dieser den endgültigen Brunnendurchmesser beeinflussen kann.

Es bestehen aber auch für den Filterdurchmesser zwei unterschiedliche Abhängigkeiten. Zunächst muß der lichte Filterdurchmesser groß genug sein, um die Brunnenpumpe einbauen zu können. Zwischen Brunnenpumpe und lichtem Filterdurchmesser muß ein Ringspalt vorgesehen werden, durch den das Wasser mit einer Geschwindigkeit von unter  $1 \text{ m}/\text{sec}$  fließen kann; im allgemeinen reichen hier  $10 \text{ mm}$  Spaltbreite aus.

Zum anderen soll auch in der Filterzone eine bestimmte Filtergeschwindigkeit, das ist

- Fördermenge/Filterfläche ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), nicht überschritten werden; sie beträgt bei
- Wässern, die nicht zur Verockerung neigen,  $1,5-2 \text{ m}^3/\text{h je m}^2$  und bei
- Wässern, die zur Verockerung neigen, maximal  $0,4 \text{ m}^3/\text{h je m}^2$ .

Die „erforderliche Filterfläche“ ergibt sich, abhängig von

- der Filtergeschwindigkeit und
  - der Fördermenge
- aus Diagramm 5 (auf Seite 6), der zugehörige Filterdurchmesser aus Diagramm 3, wobei für die wirk-same Brunnentiefe wiederum
- die Höhe der wasserführenden Schicht  $H$
  - abzüglich der Absenkung bei Förderung  $s$ ,
  - jedoch weiter abzüglich einer Sicherheitsstrecke anzusetzen ist, da unter allen Bedingungen sicher-gestellt sein muß, daß der oberste Punkt der Filter-strecke stets unterhalb des Wasserspiegels bleibt, um eine Belüftung des Filters zu verhindern.
- Ist der aus den Diagrammen 5 und 3 ermittelte Filterdurchmesser größer als der Filterdurch-messer, der sich aus den Brunneneinbauten ergibt, ist er als endgültig zu betrachten, ist der aus den Diagrammen ermittelte Durchmesser kleiner, gilt selbstverständlich der Filterdurchmesser, der durch die Einbauten bedingt ist.

Zur Festlegung des endgültigen Brunnen- und somit Bohrdurchmessers gilt ähnliches:

Ist der äußere Filterdurchmesser plus einem Ring-spalt von  $50-70 \text{ mm}$  für die Schüttung zwischen der wasserführenden Schicht und dem Filterrohr klei-ner als der aus den Diagrammen 2, 4 und 3 ermittelte „erforderliche Brunnendurchmesser“, gilt dieser erforderliche Brunnendurchmesser „endgültig“, ist der aus den Diagrammen ermittelte „erforder-liche Brunnendurchmesser“ kleiner als äußerer Filterdurchmesser plus Schüttung, gilt ebenso äußerer Filterdurchmesser plus Schüttung als „endgültiger Bohrdurchmesser“.

### Es ist noch anzumerken:

- Die Wandstärke des Filterrohres muß dem zu er-wartenden Erddruck standhalten können.
- Die Durchtrittsquerschnitte des Filterrohres müssen auf die Kiesschüttung, die Kiesschüttung muß auf die Zusammensetzung der grundwasserführenden Schicht und auf die Fördermenge abgestimmt sein.

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge wird ein Beispiel gerechnet, die Ermittlungslinien zu diesem Beispiel sind in den Diagrammen strich-liert eingetragen.

Alle ermittelten Werte sind Mindestwerte. Für das Filterrohr wird in der Praxis das nächst-größere handelsübliche Rohr eingesetzt werden, ebenso für den Bohrdurchmesser die jeweils nächstgrößere Bohreinrichtung, über die der Brun-nenbauer verfügt.

## 2.1 Technik der Erschließung

Die Grundwassergewinnung und -rückführung erfolgt im allgemeinen über Bohrbrunnen.

Eine Rückführung über Sickerschacht kann nur in Sonderfällen, auf die noch eingegangen wird, empfohlen werden. Der Förderbrunnen darf, in Fließrichtung des Grundwassers gesehen, nicht hinter dem Schluckbrunnen liegen, um einen Kurzschluß mit dem abgekühlten Wasser zu vermeiden. Die richtigste Lösung ist es jedoch, Förder- und Schluckbrunnen identisch auszuführen und beide auf einer Linie, rechtwinklig zur Fließrichtung des Grundwassers anzuordnen. Es ist dann möglich, die Funktion von Förder- und Schluckbrunnen zu vertauschen.

Falls Bodenprofil, sichere Grundwassermenge und -qualität nicht von vornherein feststehen, empfiehlt es sich, eine Probebohrung durchzuführen, die jedoch einen so großen Durchmesser haben sollte, um sie später zu einem Brunnen ausbauen zu können.

**Bei Neubauten** sollten die Brunnen vor dem Einbau der Heizungsanlage erstellt und auf Funktion geprüft werden, um sicherzustellen, daß die Wärmequellen-Anlage den Forderungen des Heizungssystems und dem Wärmebedarf auch voll genügt.

Für das Einsetzen von Wärmetauschern direkt in die grundwasserführende Schicht werden Bohrlöcher nach gleichen Verfahren erstellt; es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß hier

- entweder Bohrlöcher größeren Durchmessers oder
- eine größere Anzahl von Bohrlöchern erforderlich sind, als bei der Grundwassergewinnung.

Die Bohrungen selbst können nach zwei Verfahren durchgeführt werden.

- Bei der **Trockenbohrung** wird mit einem Bohrrohr, dessen Stirnseite eine Bohrverzahnung besitzt, mit einem etwas geringeren Durchmesser als der Brunnendurchmesser, gebohrt. Der Bohrkern, das heißt das ausgebohrte Material, wird von Zeit zu Zeit gezogen und gibt, aneinandergereiht, einen exakten Aufschluß über die Schichtung des Bodens. Die Bohrlochwandung muß bei diesem Verfahren zunächst mittels einer Bohrloch-Verrohrung auf Brunnendurchmesser abgestützt und gesichert werden. Ist die erforderliche Tiefe erreicht, wird nach Herausnehmen der Bohrröhre das komplette Brunnenrohr aus Sumpf-, Filter- und Filteraufsatzrohr, gegen die Bohrloch-Verrohrung mit Abstandsschellen zentriert, komplett eingesetzt. Anschließend wird die Bohrloch-Verrohrung unter gleichzeitigem Einfüllen der Schüttung zwischen Bohrloch-Verrohrung und Brunnenrohr schrittweise herausgezogen.

- Bei der **Spülbohrung** wird mittels eines Bohrmeißels auf vollen Brunnendurchmesser gebohrt, das Bohrloch jedoch ständig unter Spülung, das ist Wasser mit Schwerspat oder anderen Zusätzen, gehalten. Das Bohrgestänge ist hohl und besitzt einen wesentlich geringeren Durchmesser als der Bohrmeißel bzw. das Bohrloch. Die Spülung wird durch das Bohrgestänge und den Bohrmeißel in die Bohrung gepumpt, steigt unter Mitnahme des abgebohrten Materials im Bohrloch auf und fließt in ein Absetzbecken neben der Bohrung zurück. Der Druck der Spülung stützt das Bohrloch ab, es muß im allgemeinen nicht zusätzlich verrohrt werden.

Dieses Verfahren ermöglicht erheblich kürzere Bohrzeiten, erfordert jedoch einen hohen maschinellen Aufwand und bietet auch keinen so exakten Überblick über die Schichtung des Bodens wie die Trockenbohrung.

Wesentlich ist, daß **nach beiden Verfahren ein Klarpumpen der Brunnen** erfolgen muß, um die Poren der Schüttung und der umliegenden wasserführenden Schicht zu entsanden und im Falle der Spülbohrung auch die Spülungszusätze auszuwaschen.

**Wärmetauscher** werden in den gebohrten Brunnen ebenso eingesetzt wie die Brunnenrohre. Grundwasser wird hier nicht gefördert, es muß daher nur sichergestellt werden, daß der ungestörte Grundwasserstrom auch bis an die Wärmetauscher gelangt. Ein Entsanden der grundwasserführenden Schicht ist nicht erforderlich, jedenfalls aber ein Freispülen des Bohrloches von porenverstopfenden Zusätzen im Falle einer Spülbohrung.

## 2.2 Erforderliche Qualität des Wärmeträgers

Bei der Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle wird lediglich der Wärmeinhalt des Wassers genutzt; Wasserqualität ist daher nur soweit erforderlich, um sicherzustellen, daß keine Schäden an der Anlage auftreten; hier bestehen folgende Möglichkeiten:

- Teile der Brunnenverrohrung oder der Anlage können **korrodieren**.

Diese Erscheinung kann absolut verhindert werden, wenn für die Brunneneinbauten korrosionssicheres Material, soweit möglich Kunststoff, verwendet wird, ebenso für alle Rohrleitungen.

Auch für Pumpen, Absperrschieber, Wärmepumpen-Verdampfer oder Wärmetauscher gibt es korrosionssichere Ausführungen.

- Teile des Brunnens oder der Anlage können **versintern**.

Vor der Brunnenpumpe entsteht im Förderbrunnen Unterdruck; damit können im Wasser gelöste Gase, unter anderem auch Kohlendioxyde, entweichen. Das Kohlensäure-/Kalk-Gleichgewicht wird gestört, es fallen Carbonate aus, die sich vorzugsweise in der Kiesschüttung und im Filterbereich des Förderbrunnens aber auch im Verdampfer der Wärmepumpe ablagern.

In der Praxis tritt diese Erscheinung selten auf, sie kann bei Wässern, die zum Verkalken neigen, durch die Wahl einer geringeren Strömungsgeschwindigkeit im Filterbereich reduziert werden.

- Teile der Anlage können **verockern**.

Voraussetzung für eine Verockerung sind höhere Eisen- oder Mangankonzentrationen im Grundwasser.

Verockerung entsteht durch chemische, physikalische, aber auch durch biologische Prozesse, sie tritt vorzugsweise im Schluckbrunnen auf und führt dort zu vorzeitiger Alterung.

Chemische Verockerung entsteht durch die Oxidation von Eisen und Mangan.

Physikalische Verockerung wird durch kritische Strömungszustände ausgelöst, Voraussetzung ist jedoch, ebenso wie bei der chemischen Verockerung, die Anwesenheit von Sauerstoff.

Chemische und physikalische Verockerung kann durch die Verhinderung von Luftzutritt im gesamten Kreislauf vermieden werden, sofern das Redoxpotential des Grundwassers negativ ist. Bei positivem Redoxpotential, d. h., wenn das Wasser selbst bereits oxydierende Eigenschaften besitzt, ist jedenfalls mit Verockerung zu rechnen.

Physikalische Verockerung kann aber auch hier durch die Wahl geringerer Strömungsgeschwindigkeiten in der Anlage reduziert werden.

Biologische Verockerung wird durch Bakterien verursacht, die selbst unbeweglich sind, in strömendem Wasser jedoch zur Wirkung kommen können. Eine Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeiten verringert auch diesen Einfluß.

### Grundwasser mit folgenden Analysenwerten wird als unbedenklich angesehen:

Freie Kohlensäure	unter 10 mg/l
Mangan	unter 1 mg/l
Eisenoxyd	unter 1 mg/l
Redoxpotential	negativ

## 2.3 Potential und Wärmeinhalt

Bei ausreichenden Grundwasservorkommen und Fließgeschwindigkeiten von 1–3 m/Tag wird sich, bezogen auf den Wärmebedarf eines Einfamilienhauses, der Bereich merkbarer Temperaturabsenkung um den Schluckbrunnen auf

- 20 m in Grundwasser-Fließrichtung und
- 10 m in allen anderen Richtungen erstrecken.

Die Wärmepumpe kühlt das Grundwasser um etwa 4 K ab. Wird davon ausgegangen, daß das rückgeführte Wasser nicht kälter sein darf als 4 °C, muß also sichergestellt sein, daß das eintretende Grundwasser zu keinem Zeitpunkt kälter ist als 8 °C.

Unter Berücksichtigung von Diagramm 1 ist zu erwarten, daß diese Temperatur nicht unterschritten wird

- für die Klimazonen I–II  
in Tiefen von 5–6 m
- für die Klimazonen II–III  
in Tiefen von 6–7 m.

Ab diesen Tiefen bis zu etwa 30 m kann aus heutiger Sicht Grundwasser wirtschaftlich genutzt werden.

Für die Größe der Wärmeentnahme ist zu berücksichtigen, daß nicht die gesamte Wärmeleistung der Wärmepumpe dem Grundwasser entnommen wird.

Die Wärmepumpe entnimmt dem Grundwasser bei 4 K Abkühlung je m<sup>3</sup> Durchsatz 4,65 kW und gibt diese Leistung, in erster Näherung vermehrt um die Leistungsaufnahme des Kompressors, als Wärmeleistung ab.

## 1.1 Prinzip

Grundwasser ist für Wärmepumpen eine sehr günstige Wärmequelle, da im allgemeinen über den gesamten Jahresverlauf mit Grundwasser-Eintrittstemperaturen zwischen 8 und 12 °C gerechnet werden kann. Monovalenter Betrieb der Wärmepumpe mit günstigen Leistungszahlen ist damit über die gesamte Heizperiode möglich. Grundwasser als Wärmequelle kann **über Brunnen** genutzt werden. Grundwasser aus einem Förderbrunnen fließt durch die Wärmepumpe, wird dort abgekühlt und über einen Schluckbrunnen oder Sickerschacht wieder in die gleiche Grundwasserschicht zurückgeleitet.

Alternativ können auch **Wärmetauscher** direkt in die Grundwasserschicht eingesetzt werden. Dieses System arbeitet ähnlich wie Erdreich-Wärmetauscher, entnimmt jedoch hier die Wärme dem Grundwasser und führt diese über den geschlossenen Kreislauf eines sekundären Wärmeträgers, z.B. Sole in die Wärmepumpe.

Das System Förderbrunnen-Sluckbrunnen ist seit mehr als zehn Jahren erprobt und ausgereift, das System Wärmetauscher im Grundwasser kann in bestimmten Fällen, z.B. bei schlechter Wasserqualität, auch Vorteile bieten, ist aber erst neueren Datums.

## 1.2 Verfügbarkeit

Ausreichende Grundwasservorkommen sind nur in bestimmten Gebieten sicher vorhanden,

- im norddeutschen Tiefland und
- in Tälern und Wassereinzugsgebieten von Flüssen.

Grundwasservorkommen sind in der Bundesrepublik Deutschland zum Teil karthographisch erfasst,

- lokale Wasserwirtschaftsämter und
  - Brunnenbau-Unternehmen, aber auch einige
  - Elektro-Versorgungsunternehmen
- sind jedoch meistens in der Lage, für ihren Bereich Auskünfte geben zu können.

Neben der ausreichenden Menge ist jedoch auch eine ausreichende Temperatur des Grundwassers erforderlich, um über die gesamte Betriebszeit der Wärmepumpe eine Vereisung des Verdampfers zu verhindern.

Die Temperatur des Grundwassers wird im wesentlichen von 3 Faktoren beeinflusst:

- Von der Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche im Jahresmittel  $10^{-2} \text{ W/cm}^2$ ,
- durch Wärmeleitung aus dem heißen Erdkern mit  $5-8 \cdot 10^{-6} \text{ W/cm}^2$  und
- in Ballungsgebieten oder Industriezonen durch die Wärmeabgabe von Gebäuden, Leitungen und Kanälen.

Schon der Vergleich der Größenordnungen der beiden ersten Einflüsse zeigt, daß der Anteil Wärme aus dem Erdinneren für Tiefen, in denen Grundwasser genutzt wird, praktisch zu vernachlässigen ist.

**Der entscheidende Anteil kommt von der Sonneneinstrahlung**, wobei die unmittelbare Erdoberfläche weitgehend der jahreszeitlichen Änderung dieser Einstrahlung und damit auch den durchschnittlichen Tageslufttemperaturen folgt. Je tiefer die Grundwasserschicht liegt, umso mehr gleichen sich dort Sommer- und Wintertemperaturen an; **ab etwa 15 m Tiefe bleibt die Temperatur und damit auch die Grundwassertemperatur über das gesamte Jahr konstant.**

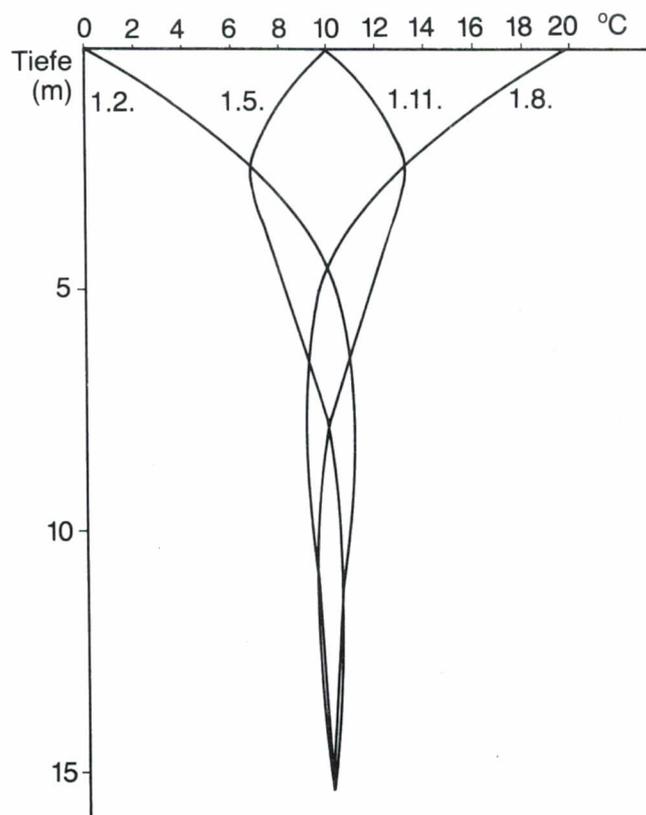


DIAGRAMM 1  
Schema des Temperatur-Jahresganges

Das Institut für Geologie der Universität Tübingen hat diesen Effekt anschaulich durch entsprechende Temperaturkurven dargestellt. Das Diagramm (1) zeigt jeweils zum 1. Februar, 1. Mai, 1. August und 1. November die in verschiedenen Tiefen zu erwartenden Temperaturen. Der Einfluß von Ballungsgebieten und größeren Industrieanlagen kann in diesen Bereichen Temperaturerhöhungen des Grundwassers bis zu 4 K bewirken.

### 1.3 Auswirkungen auf die Umgebung

Bei Betrieb von Wärmepumpen mit der Wärmequelle Grundwasser wird Grundwasser eines bestimmten Temperaturniveaus gefördert, in der Wärmepumpe abgekühlt und in diesem abgekühlten Zustand in die Grundwasserschicht zurückgeleitet. Auswirkungen auf die Umgebung beziehen sich daher ausschließlich auf die Temperaturabsenkung des Grundwassers selbst, sonstige Auswirkungen sind nicht zu erwarten, sofern die Anlage richtig aufgebaut ist.

Die Temperaturabsenkung könnte bei sehr hoher Nutzungsdichte nachteilige Folgen für das Selbstreinigungsvermögen des Grundwassers haben; im allgemeinen geht jedoch auch die Wasserbehörde davon aus, daß eine Abkühlung des Grundwassers bis auf 4 °C die Selbstreinigung nicht beeinträchtigt. Untersuchungen über die Reichweiten der Temperaturabsenkungen sind sowohl über Modellrechnungen, als auch über praktische Felderprobungen im Gange, erste Ergebnisse zeigen als Richtwert, daß auch nach mehrwöchigem Wärmepumpenbetrieb in Grundwasser-Fließrichtung

- 10 m vor und
- 20 m hinter

dem Schluckbrunnen im Grundwasser keine Temperaturabsenkung mehr festzustellen ist.

Im Einzelfall wird jedoch, abhängig von

- der entnommenen Wassermenge,
- der Temperaturabsenkung,
- der Grundwasser-Fließgeschwindigkeit und
- der Tiefe und Mächtigkeit der wasserführenden Schicht

abzuschätzen sein, wie groß der Mindestabstand zu einem benachbarten Schluckbrunnen bzw. auch zwischen Förder- und Schluckbrunnen einer Anlage sein muß, um eine gegenseitige Beeinflussung oder zu hohe Abkühlung des Grundwassers zu vermeiden.

#### Weiter zu beachten ist:

- Grundwasser ist heute bereits in verschiedenen Gebieten knapp geworden, dem natürlichen Grundwasser-Haushalt darf daher kein Wasser entzogen werden. Für die Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle bedeutet dies, daß das geförderte Wasser wieder in die gleiche Grundwasserschicht eingeleitet werden muß, aus der es entnommen wurde und keinesfalls oberirdisch abgeleitet werden darf.
- Bei der Erstellung der Brunnen werden gegebenenfalls dichte Deckschichten oberhalb des Grundwassers durchstoßen. Damit entsteht die Gefahr des Eindringens von Verunreinigungen. Dies ist mit ein Grund, weshalb in den Grundwasser-Schutzzonen I-III Wärmeentnahme nicht gestattet wird.

- Eine Anlage kann aber auch durch Korrosion undicht werden, damit könnte z. B. Schmieröl aus der Wärmepumpe oder auch Sole aus Sekundärkreisläufen in das Grundwasser gelangen. Es muß daher gefordert werden, sowohl für die Verdampfer der Wärmepumpen, als auch alternativ für Wärmetauscher im Grundwasser nur **hochwertige und korrosionssichere Materialien** einzusetzen, **wie dies bei KÜPPERSBUSCH-Wärmepumpen der Fall ist.** (Chrom-Nickel Stahl, Werkstoff Nr. 4571)

### 1.4 Rechtliche Bestimmungen

Grundlage für die Regelung der Benutzung von Grund- und Oberflächenwasser ist:

- das Wasserhaushaltsgesetz WHG in Verbindung mit

- den Landeswassergesetzen LWG.

Nach WHG gelten als „erlaubnispflichtige Benutzungstatbestände“ gemäß § 3 (1):

- Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern,
- Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser,

darüber hinaus gemäß § 3 (2), Nr. 2

- Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen.

Damit sind Wärmequellenanlagen

- sowohl mit Oberflächenwasser,
- als auch mit Grundwasser (§ 3 [1]) ebenso grundsätzlich wasserrechtlich erlaubnispflichtig, wie
- die direkte Wärmeentnahme über Wärmetauscher und Sekundärkreislauf (§ 3 [2], Nr. 2).

Darüber hinaus sind auch die teilweise noch weitergehenden Landeswassergesetze und deren Auflagen zu beachten.