

Bemessung von Grundwasserabsenkungsanlagen

Technische Akademie Esslingen

Dienstag, 17.11.2009

Dipl.-Ing. Peter Müller
BHG Brechtel GmbH,
Ludwigshafen



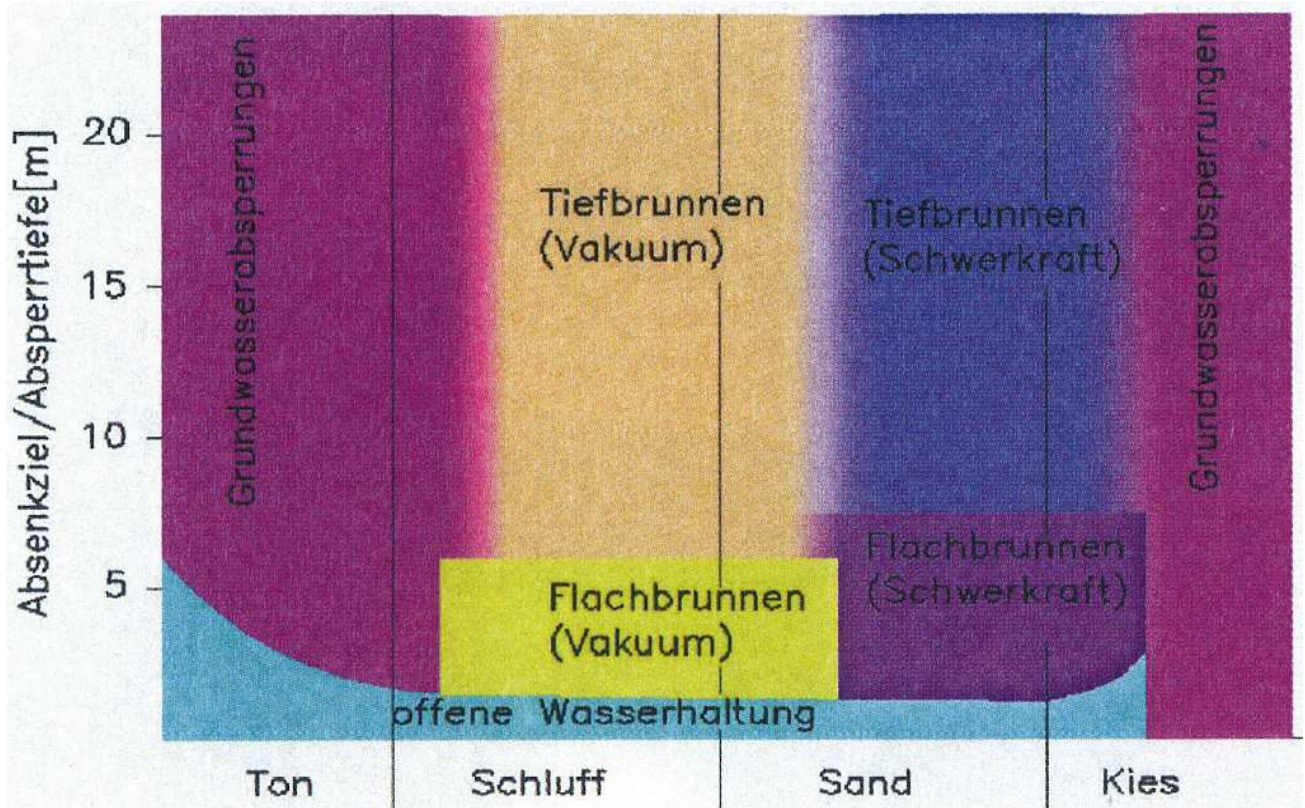
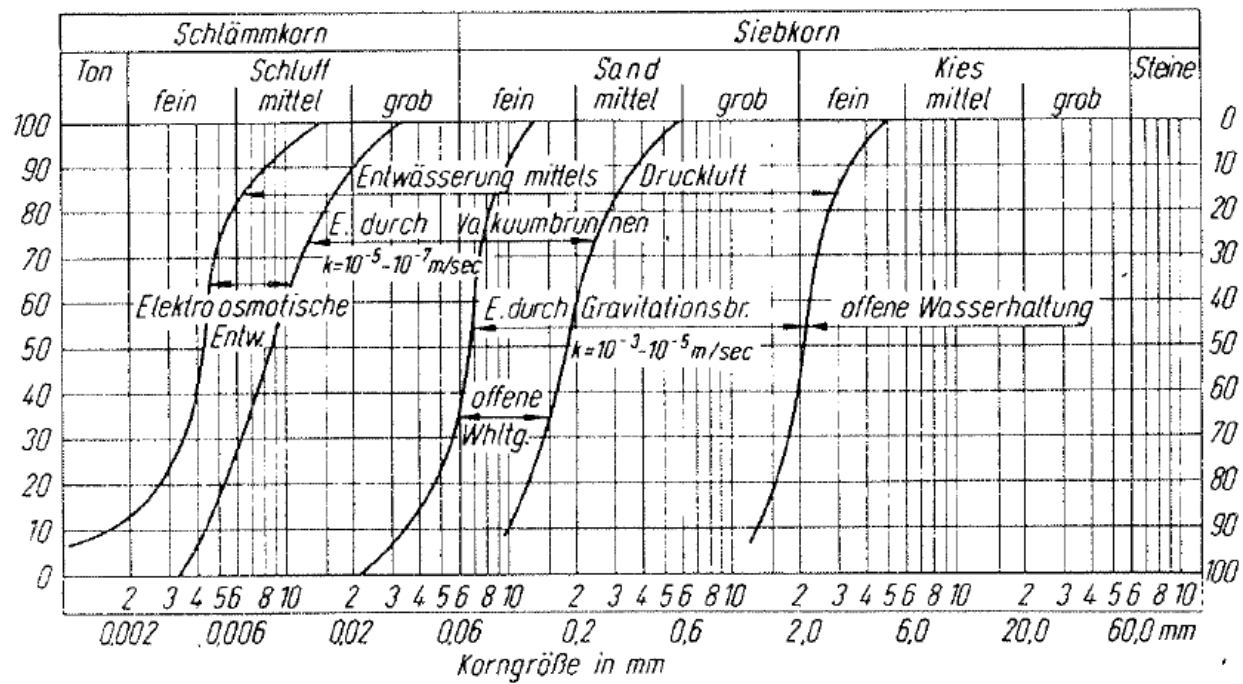




Grundwasserabsenkung – Viele Wege führen zum Ziel

Dr. Lothar Pfeiffer, Gelsenkirchen

Wasser, insbesondere Grundwasser, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Planung und die Ausführung von Maßnahmen im Erd- und Grundbau. Neben der Vorerkundung und Planung spielen insbesondere die Sorgfalt bei der Ausführung und deren Überwachung eine wesentliche Rolle zur Gewährleistung einer erfolgreichen Grundwasserabsenkung, die den projektspezifischen Erfordernissen optimal angepasst ist.



1. Probenauswahl

Es gibt keine repräsentative Probe eines kompletten GW-Leiters, ein GW-Leiter ist nicht mit einer Probe zu beschreiben.

Optimal wäre eine Siebliniendarstellung aller entnommenen Proben aus einem GW-Leiter, hilfreich auch bei späteren Maßnahmen.

Die Anzahl der zu entnehmenden Proben inkl. Sieblinien sollte definiert werden, zumindest sollte sie bei jeder Änderung der Kornzusammensetzung gefordert werden (evtl. grundsätzlich sollten mindetens fünf Proben innerhalb eines GW-Leites entnommen und gesiebt werden, um optisch nicht erkennbare Veränderungen zu berücksichtigen)!

Die heutige Probenentnahmetechnik gestattet es, in jeder Teufe weitgehend unverfälschte Lockergesteinskerne ohne großen Bohrtechnischen Aufwand zu entnehmen!

Bei nicht teufendifferenzierter Filterkiesschüttung muß die ungünstigste Siebkurve (größter Feinkornanteil) zur Filterkiesbestimmung herangezogen werden.

Grundsatz: Der Filterkies ist jeweils auf den ungünstigsten GWL-Bereich abzustimmen!

Bei ausreichend mächtigen und eindeutig ermittelten unterschiedlichen Körnungsbereichen eines GW-Leiters ist evtl. eine teufendifferenzierte Filterkiesschüttung einzubauen (s. W 123)

Voraussetzungen zum Einbau einer teufendifferenzierten Kiesschüttung sollten dem W123 bzw. den Arbeitshilfen für den Brunnenbauer entnommen werden!

Bei der Probennahme sind die Hinweise aus dem W 114 zu beachten. Da die Wirksamkeit der Filterkiesschüttung in erster Linie von der Entnahme und Auswahl der geeigneten Bohrprobe abhängt, sollte der Filterkiesbestimmung ein Probenentnahmeprotokoll beigefügt werden, welches Aussagen zuläßt zum ...

- Bohrverfahren
- Entnahmewerkzeug
- Spülungseinsatz
- Probenentnahmeverfahren
- Probenauswahl

Entsprechende Eintragungen sind im Kopfblatt der DIN 4022 und im Schichtenverzeichnis vorzunehmen!

Die Korngrößenverteilung wasserleitender Lockergesteine ist für die Geohydrologie und den Brunnenbau von großer Bedeutung. Die Korngrößenverteilung kann zur ungefähren Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes k_f , der Bestimmung des Porenraumes und zur objektiven Bodenansprache nach DIN 4023 herangezogen werden. Insbesondere wird die Sieblinie zur Ermittlung der erforderlichen Schüttkorngruppe D_5 bei der Filterkiesbestimmung eines Brunnens benötigt. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß der gewählte Filterkies gewährleisten muß ...

- die Filtereintrittsfläche bis zur Bohrlochwand hydraulisch optimal zu erweitern,
- das anstehende Grobkorngerüst hinter dem Filter zurückzuhalten
- den Feinstkornanteil beim Entsandern durchzulassen
- ein Stützkorn zwischen Filter und Bohrlochwand zu bilden.

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung aus Lockergesteinsproben, im folgenden als Bodenproben bezeichnet, muß deshalb zuverlässig sein.

Im Folgenden wird erläutert, ...

- was bei der Entnahme einer repräsentativen Probe zu beachten ist,
- wie die Korngrößenverteilung darzustellen ist
- wie der Durchlässigkeitsbeiwert näherungsweise ermittelt wird,
- **wie der Filterkies ermittelt wird.**

2. Probennahme und -auswahl

Die Genauigkeit und somit Aussagefähigkeit der Kornverteilungslinie hängt weitgehend von der Bodenprobe ab, die zur Siebung herangezogen wird. Die Entnahme einer repräsentativen Bodenprobe wird entscheidend beeinflusst durch ...

- das Bohrverfahren
- den Bohrdurchmesser
- das eingesetzte Bohrwerkzeug
- die Probenauswahl.

Bodenproben aus Spülbohrungen sind weitgehend vermischt, da feineres Bohrgut im Spülstrom schneller aufsteigt als grobes. Feine Bestandteile oder gar Schichten werden daher oft nicht erfasst. Abhilfe kann hier nur das Auffangen eines großen Spülvolumens in Rinnen oder Becken schaffen. Bohrproben, die bei indirekten Spülbohrungen entnommen werden, sind aufgrund der höheren Aufstiegsgeschwindigkeit der Spülung im Gestänge wesentlich teufengerechter und unvermischter als Bohrproben aus direkten Spülbohrungen.

Da bei Trockenbohrverfahren die Bodenproben in einem Bohrwerkzeug gefördert werden, ist die Gefahr der Vermischung weitaus geringer. Inzwischen ermöglichen neue Entnahmetechniken auch die Gewinnung von Bohrkernen aus Lockergesteinen bei Spülbohrungen.

Die Anzahl der zu entnehmenden Proben hängt von der Homogenität des jeweiligen Grundwasserleiters ab. In der Regel wird bei Brunnenbohrungen eine Bohrprobe je Bohrmeter entnommen. Soll nur eine Bodenprobe zur Siebung herangezogen werden, muß diese aus dem ungünstigsten (feinsten) Bereich des GW-Leiters genommen werden. Sinnvoller ist die Siebung mehrerer Bodenproben zur objektiven Beurteilung des ausbauwürdigen GW-Horizontes.

Außerdem ermöglicht dies eine Darstellung der k_f -Wert Verteilung, die später zum Vergleich mit einer Flow-Meter-Messung herangezogen werden kann bzw. bei der Entscheidung eines teufendifferenzierten Ausbaus (W 123) unerlässlich ist.

Bei der Probennahme sind die Hinweise aus dem W 114 zu beachten. Da die Wirksamkeit der Filterkiesschüttung in erster Linie von der Entnahme und Auswahl der geeigneten Bohrprobe abhängt, sollte der Filterkiesbestimmung ein Probenentnahmeprotokoll beigefügt werden, welches Aussagen zuläßt zum ...

- Bohrverfahren
- Entnahmewerkzeug
- Spülungseinsatz
- Probenentnahmeverfahren
- Probenauswahl

Entsprechende Eintragungen sind im Kopfblatt der DIN 4022 und im Schichtenverzeichnis vorzunehmen!

3 Sieblinienermittlung

Zur Ermittlung ist eine getrocknete Bodenprobenmenge von ca. 1000 – 2000g notwendig. Sollten Körner größer 20mm, also Grobkies und gröber, enthalten, werden diese vorher entfernt. Der Rest wird gewogen (= Gesamtmenge) und in das obere Sieb auf der Siebmaschine geschüttet. Nach einer Siebungszeit von ca. 10min werden die Rückstände in den einzelnen Sieben gewogen (Einzelgewicht) und in die Tabelle zur Sieblinienermittlung eingetragen (Spalte 1)

Anschließend wird der jeweilige Siebrückstand in % in Spalte 2 mit folgender Formel errechnet:

$$\text{Siebrückstand} = \frac{\text{Einzelgewicht} \cdot 100}{\text{Gesamtmenge}}$$

Abschließend werden die Siebdurchgänge in % in Spalte 3 ermittelt, indem von den anfangs 100% jeweils die Siebrückstände aus Spalte 2 abgezogen werden. Am Ende muß immer 0% erscheinen!

Die Siebdurchgänge in % werden jetzt im Siebliniendiagramm jeweils dem entsprechenden Korndurchmesser zugeordnet. Auf diese Weise erhält man die s-förmig geschwungene Sieblinie = Kornverteilungslinie, die immer bei 100% oben rechts beginnen muß und bei 0% unten links endet.

4 Filterkiesbestimmung

Die Ermittlung des erforderlichen Schüttkorndurchmessers D_S erfolgt in mehreren Schritten:

4.1 Ungleichförmigkeitsgrad

Der Ungleichförmigkeitsgrad U gibt an, ob ein Boden eher einkörnig ($U < 3$) oder gemischtkörnig ($U > 3$) ist. Er errechnet sich nach ...

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

wobei ...

U	=	Ungleichförmigkeitsfaktor
d_{60}	=	Korndurchmesser bei 60%- Siebdurchgang in mm
d_{10}	=	Korndurchmesser bei 10%-Siebdurchgang in mm

4.2 Ermittlung des maßgebenden Korndurchmessers d_g :

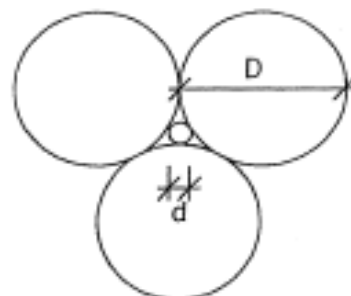
Bei der Schüttkornbestimmung ist d_g derjenige Korndurchmesser, der die Grenze zwischen dem zu entsandenden Korn und dem Stützkorn bildet. Alle Körner $< d_g$ sollen beim Entsandn aus der Brunnenumgebung entfernt werden, die Körner $> d_g$ verbleiben als „natürliches Filterkorn“ im Boden.

Bei der S-förmig verlaufenden Siebkurve ist d_g der dem Wendepunkt entsprechende Korndurchmesser, also der Wechsel von der anfänglichen Linkskurve in die Rechtskurve der Kornverteilungslinie. Er ist optisch zu bestimmen.

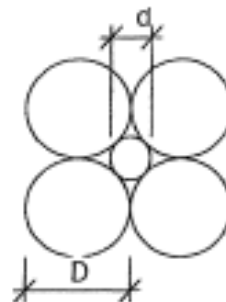
4.3 Filterfaktor F_g

Der Filterfaktor F_g ergibt sich aus folgender Überlegung: Die etwa gleich großen Filterkieskörner werden sich zwischen der dichtesten und lockersten Lagerung im Ringraum verteilen.

Wie groß muß nun ein Filterkorn D_S sein, welches das zu entsandende Bodenkorn d_g durchlassen kann?



dichteste Lagerung



lockerste Lagerung

Das Verhältnis des Filterkieskorndurchmessers D_S zum maßgebenden Korndurchmesser d_g ist...

- bei der dichtesten Lagerung $D_S = 6,5 \times d_g$
- bei der lockersten Lagerung $D_S = 2,5 \times d_g$
- Der Mittelwert liegt also bei ca $D_S = 4,5 \times d_g$

Da im o.a. Beispiel von optimal runden und gleichförmigen Filterkieskörnern ausgegangen wird, muß je nach Ungleichförmigkeitsgrad U der Bodenprobe dieser Wert nach oben korrigiert werden.

So ergibt sich der Filterfaktor F_g für den normalen Brunnenbetrieb, bei dem die Fließvorgänge instationär sind, zu

$$F_g = 5 + U \quad \text{für } U < 5$$

$$F_g = 10 \quad \text{für } U > 5$$

4.4 Schüttkorndurchmesser D_S

Der erforderliche Schüttkorndurchmesser D_S läßt sich nun in Abhängigkeit vom maßgebenden Korndurchmessers d_g und vom Filterfaktor F_g bestimmt werden:

$$D_S = d_g \times F_g$$

Aus den zur Verfügung stehenden Filterkieskörnungen (s. Tab.) ist die entsprechende auszuwählen:

	Korngrößengrenzen des Filterkieses	innere Filterkiesschüttung	Ringraumdicke
Filtersande	0,25 – 0,50		50 mm mind. 40 mm
	0,50 – 1,00	2,0 – 3,1	
	0,70 – 1,40	3,1 – 5,6	
	1,00 – 2,00	5,6 – 8,0	
Filterkiese	2,0 – 3,1	8,0 - 16	80 mm mind. 60 mm
	3,1 – 5,6		
	5,6 – 8,0		
	8,0 - 16		

Der Filtersand 0,25 – 0,50 ist allenfalls als Gegenfilter einzusetzen, der Filterkies 8,0 – 16 mm ist als Stützkorn bei Brunnen im Festgestein geeignet.

Der Filterkies für die innere Schüttung gilt für 2-fach abgestufte Filterkiesschüttungen, die immer dann notwendig sind, wenn der am Boden anliegende Filtersand / -kies zu klein ist für die lieferbaren Filterschlitzweiten.

4.5 Filterschlitzweite

Die Filterschlitzweite ist auf den am Filter anliegenden Filterkies abzustimmen. Sie sollte etwa halb so groß sein, wie das mittlere Filterkieskorn:

$$sw = \frac{1}{2} \times D_S$$

Wobei ...

sw = Filterschlitzweite

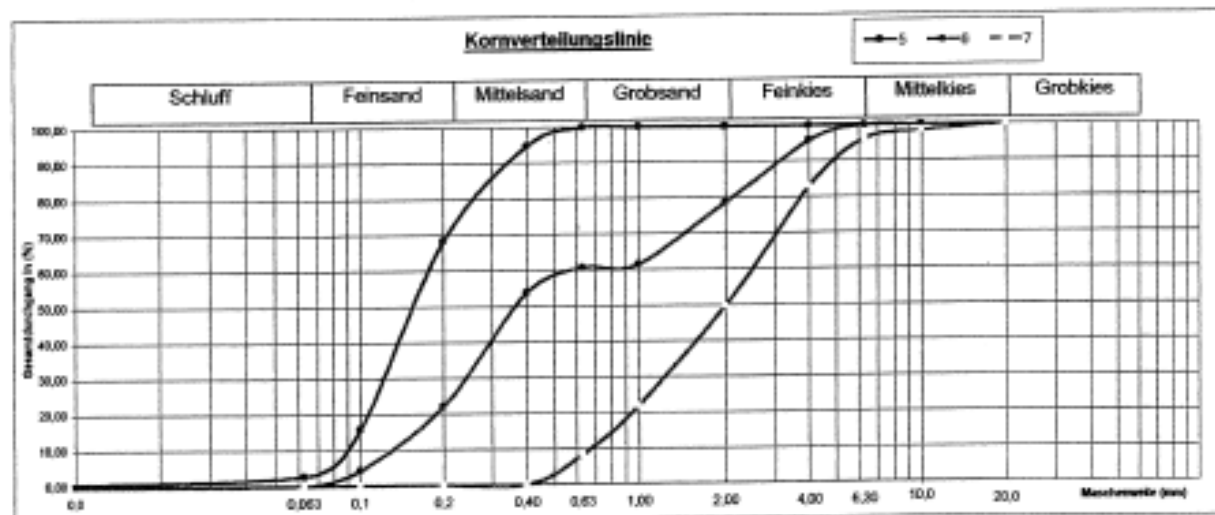
D_S = Schüttkorndurchmesser des am Filter anliegenden Filterkieses

Siebanalyse mit Kieskornbestimmung nach DVGW MB W 113

Baustelle:		Wasserwerk Oldenburg		Bezeichnung der Bohrung:		TB 17		Datum:		28/9/99		Siebanalyse ausgeführt durch:		MW	
Proben-Nr.:	Teufe				Bohrverfahren	Probenart	Kf-Wert nach Beyer	Porosität n	Bezeichnung nach: DIN 4022						
	von:	m	bis:	m											
5	27		28		Trockenbohrung	Rammkernrohr									
6	35		36		Trockenbohrung	Rammkernrohr									
7	40		41		Trockenbohrung	Rammkernrohr									

Proben-Nr.:	Siebdurchgang		Druckverlustkoeffizient $U = d_{50}/d_{10}$	d_{10} mm	F_{5+U}	Schüttkorndurchmesser D_{50}, d_{50}, F_{50}	Gewählte Korngröße nach DIN 4824
	d_{10}	d_{50}					
5	0,156	0,08	1,95	0,17	6,95	1,18	1-2 mm
6	1,4	0,19	7,37	0,3	12,37	3,71	3,15-5,6 mm
7	2,6	0,7	3,71	3	8,71	26,14	16-32 mm

Maschenweite	Korngrößen	Proben-Nr.: 5			Proben-Nr.: 6			Proben-Nr.: 7		
		Einzelbestand (%)	Einzelbestand (%)	Siebungsgrad (Gesamt - %)	Einzelbestand (%)	Einzelbestand (%)	Siebungsgrad (Gesamt - %)	Einzelbestand (%)	Einzelbestand (%)	Siebungsgrad (Gesamt - %)
20,0	-	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00
10,00	10,0 - 20,0	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00	30	1,66	98,34
6,30	6,3 - 10,0	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00	40	2,21	97,79
4,00	4,00 - 6,30	0	0,00	100,00	50	4,27	95,73	240	13,26	86,74
2,00	2,00 - 4,00	0	0,00	100,00	200	17,09	82,91	600	33,15	66,85
1,00	1,00 - 2,00	0	0,00	100,00	200	17,09	82,91	500	27,62	72,38
0,63	0,63 - 1,00	0	0,00	100,00	10	0,85	99,15	250	13,81	86,19
0,40	0,40 - 0,63	80	5,28	94,72	80	6,84	93,16	150	8,29	91,71
0,2	0,20 - 0,40	400	26,32	68,68	370	31,62	38,38	0	0,00	100,00
0,1	0,10 - 0,20	800	52,63	15,37	210	17,95	82,05	0	0,00	100,00
0,075	0,075 - 0,10	200	13,16	2,63	50	4,27	95,73	0	0,00	100,00
Im Boden	0,0 - 0,075	40	2,63	0,00	0	0,00	100,00	0	0,00	100,00
Summe:		1520	100		1170	100		1810	100	



Wasserhaltung

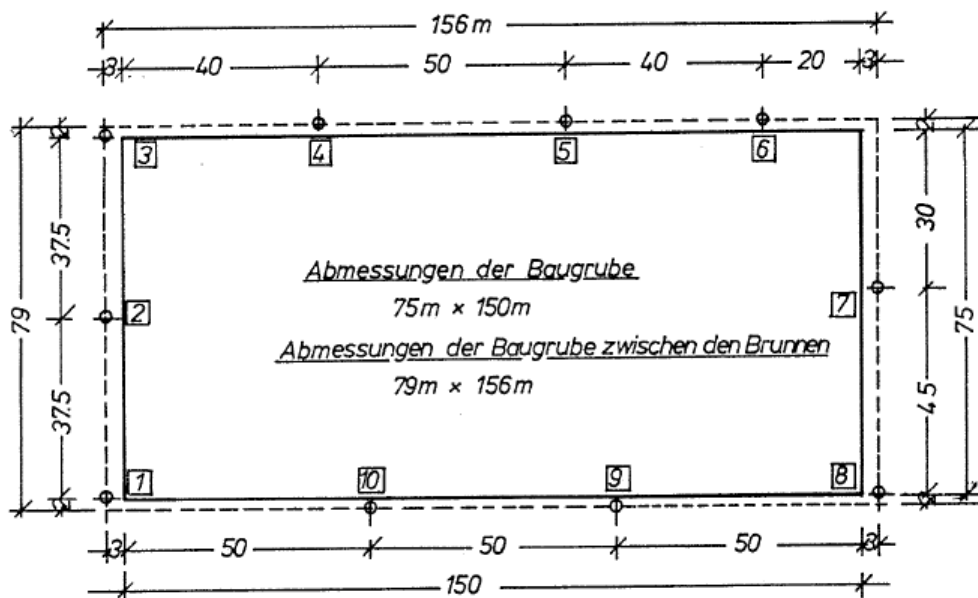
Beispiel einer Grundwasserabsenkung

Aufgabenstellung:

Für die in der Skizze dargestellte Baugrube ist eine Grundwasserabsenkung zu berechnen. Der Durchlässigkeitsbeiwert beträgt $k = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s (Sand).

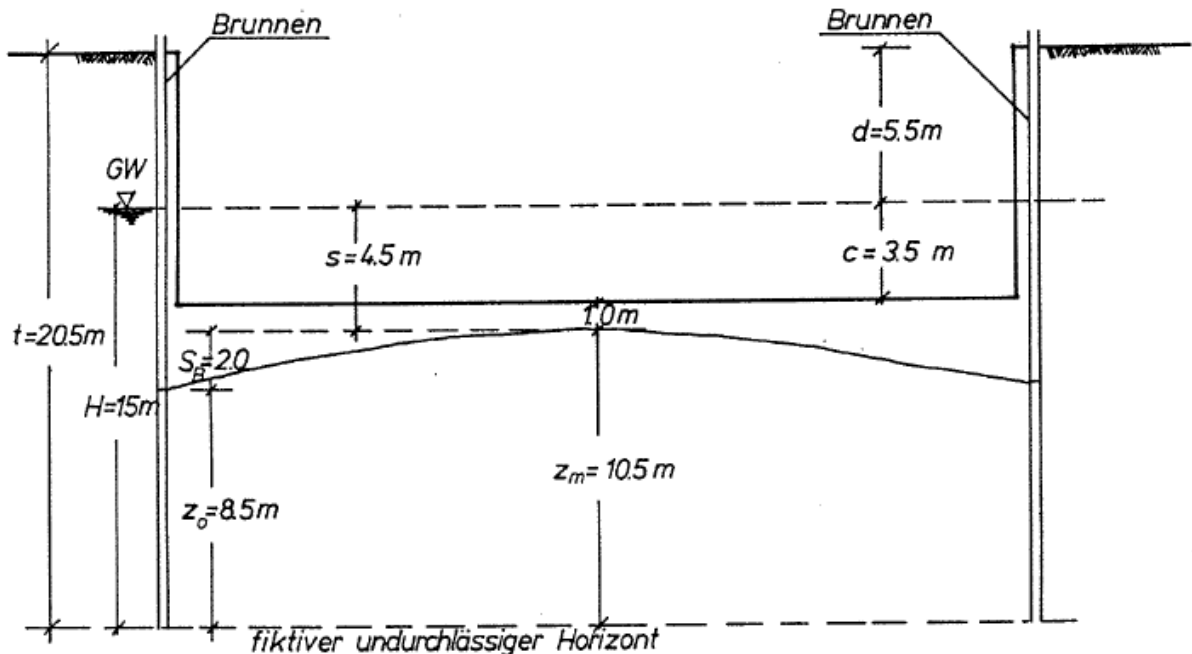
Es sind folgende Punkte zu beachten:

- 1) Berechnung des Ersatzradius
- 2) Berechnung der Reichweite R
- 3) Berechnung der Gesamtwassermenge
- 4) Berechnung der Wassermenge je Brunnen
- 5) Wahl des Brunnendurchmessers
- 6) Kontrolle der Absenkung im Brunnen **10**
- 7) Kontrolle des Wasserstandes im ungünstigen Punkt der Baugrube



Lösung

Schätzen des Absenktrichters



S - gewünschte Absenktiefe des Grundwassers.

Setzt sich zusammen aus der Differenz zwischen Baugrubensohle und Grundwasserspiegel zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 1,0 m.

Es sind Sicherheitszuschläge in der Größenordnung zwischen 1,0 und 0,5 m üblich.

S_B - Abfallen der Absenkkurven von Baugrubenmitte bis zum Brunnenrand. S_B muß geschätzt werden.

Es ist abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens und liegt im allgemeinen zwischen 2 und 7 m. Bei durchlässigen Böden bilden sich flachere Absenktrichter aus als bei weniger durchlässigen Böden.

hier gewählt $S_B = 2,0$ m

Bestimmung der Tiefe t des Brunnens:

Wenn eine undurchlässige Schicht unterhalb der Baugrube vorhanden ist, abteufen bis zu dieser Schicht (vollkommener Brunnen).

Wenn keine undurchlässige Schicht unterhalb der Baugrube vorhanden oder eine solche Schicht erst in großer Tiefe vorliegt → Annahme eines fiktiven undurchlässigen Horizontes

$$\underline{t} = 5,5 + 3,5 + 1,0 + 8,5 + 2,0 = \underline{20,5 \text{ m}} \text{ (unvollkommener Brunnen)}$$

$$\underline{H} = t - 5,5 \text{ m} = \underline{15 \text{ m}}$$

zu 1) Bestimmung des Ersatzradius

Man denkt sich die Fläche, die von dem am Baugrubenrand angeordneten Absenkungsbrunnen eingeschlossen wird, flächengleich in einen Brunnen mit dem Radius A verwandelt.

$$\begin{aligned} F_{\text{Kreis}} &= F_{\text{Rechteck}} \\ \pi A^2 &= a \cdot b + A = \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}} \\ A &= \sqrt{\frac{156,79}{\pi}} = \underline{62,63 \text{ m}} \end{aligned}$$

zu 2) Bestimmung der Reichweite R

Die Reichweite R begrenzt den Bereich, von wo noch Wasser dem Brunnen zufließt, d.h. der Bereich, in dem die Spiegellinie abgesenkt wird. Außerhalb R findet keine Absenkung statt.

Ermittlung nach empirischer Formel:

$$\begin{aligned} R &= 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}, \quad (\text{nach Sichardt}) \\ &\quad \text{Gleichung ist nicht dimensionstreu!} \\ &\quad \quad k \text{ in [m/s] ; } s \text{ in [m]} \\ R &= 3000 \cdot 4,5 \cdot \sqrt{5 \cdot 10^{-4}} = \underline{302 \text{ m}} \end{aligned}$$

zu 3)

Abschätzen der gesamten Wassermenge, die der Baugrube zufließt:

$$Q = \pi \cdot k \cdot \frac{H^2 - z_m^2}{\ln R - \ln A} = \pi \cdot 0,0005 \cdot \frac{15^2 - 10,5^2}{\ln 302 - \ln 62,6}$$

$$Q = \pi \cdot 0,0005 \cdot \frac{225 - 110,25}{5,71 - 4,14}$$

$$Q_{\text{ges}} = 0,115 \text{ m}^3/\text{s} \hat{=} \underline{115 \text{ l/sec}}$$

zu 4) Wassermenge pro Brunnen

$$q' = \frac{Q}{n} = \frac{115}{10} = 11,5 \text{ l/s}$$

zu 5) Wahl des Brunnendurchmessers:

Fassungsvermögen = Zulauf

$$q = q' = 11,5 \text{ l/sec}$$

$$q' = 2\pi r_0 \cdot z_0 \cdot \frac{\sqrt{k}}{15} \quad k[\text{m/s}] + q[\text{m}^3/\text{s}]$$

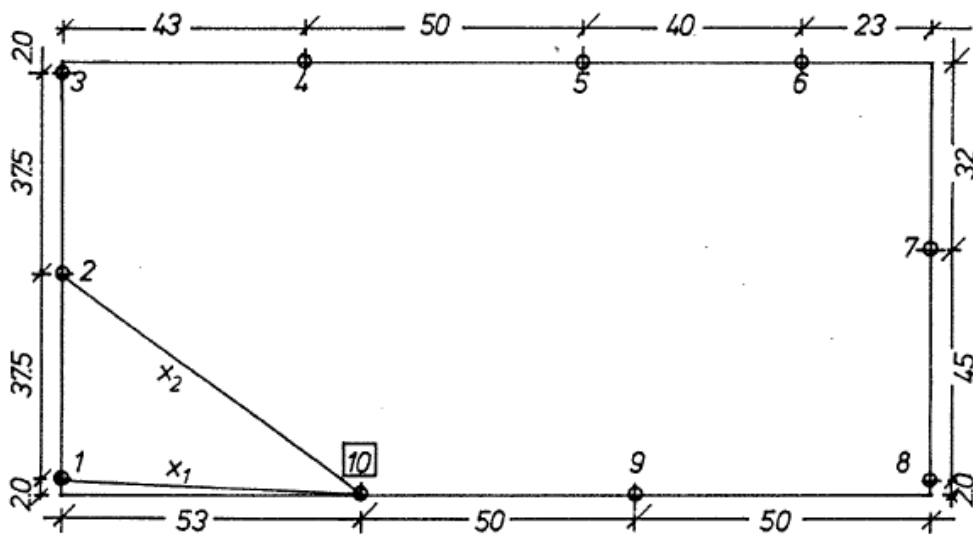
$$r_0 = \frac{q \cdot 15}{z_0 \cdot 2\pi \sqrt{k}} = \frac{0,0115 \cdot 15}{8,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{0,0005}} = 0,144 \text{ m}$$

gewählt: Rohr \varnothing 400 m

Kontrolle der Absenkung im Brunnen 10

$$z_0^2 = H^2 - \frac{Q}{\pi \cdot k} \left(\ln R - \frac{1}{n} \cdot \ln(x_1 \dots x_n) \right)$$

Die Absenkung wird auf den Brunnenrand bezogen



$$\begin{aligned} x_1 &= \sqrt{53^2 + 2^2} = 53,04 \text{ m} \\ x_2 &= \sqrt{39,5^2 + 53^2} = 66,10 \text{ m} \\ x_3 &= \sqrt{77^2 + 53^2} = 93,47 \text{ m} \\ x_4 &= \sqrt{79^2 + 10^2} = 79,63 \text{ m} \\ x_5 &= \sqrt{79^2 + 40^2} = 88,55 \text{ m} \\ x_6 &= \sqrt{79^2 + 80^2} = 112,43 \text{ m} \\ x_7 &= \sqrt{103^2 + 47^2} = 113,22 \text{ m} \\ x_8 &= \sqrt{2^2 + 107^2} = 107,02 \text{ m} \\ x_9 &= 50,0 \text{ m} \\ x_{10} &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + \ln(x_1 \dots x_{10}) &= \ln(3,03 \cdot 10^{16}) \\ &= \underline{\underline{37,95}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{10}^2 &= H^2 - \frac{Q}{\pi \cdot k} \left(\ln R - \frac{1}{n} \cdot \ln(x_1 \dots x_n) \right) \\ &= 15^2 - \frac{0,115}{\pi \cdot 0,0005} \left(\ln 302 - \frac{1}{10} \cdot 37,95 \right) \end{aligned}$$

$$z_{10}^2 = 15^2 - \frac{0,115}{\pi \cdot 0,0005} (5,71 - 3,795)$$

$$z_{10}^2 = 84,76$$

$$z = 9,20 \text{ m} > 8,5 \text{ m (geschätzt)}$$

+ Fassungsvermögen des Brunnens

$$q' = 2\pi \cdot r_0 \cdot h \cdot \frac{\sqrt{k}}{15}$$

$$q' = 2\pi \cdot 0,2 \cdot 9,2 \cdot \frac{\sqrt{0,0005}}{15} = 0,017 \text{ m}^3/\text{s} = 17 \text{ l/sec}$$

$$q' > q_{\text{erf}} = 11,5 \text{ l/sec} \quad \text{Der Brunnen liefert genügend Wasser}$$

Hätte sich bei der Berechnung ergeben, daß das Fassungsvermögen kleiner als der Zulauf ist, dann hätte entweder der Radius der Brunnen vergrößert werden oder die Anzahl der Brunnen erhöht werden müssen.

Kontrolle für den ungünstigsten Punkt der Baugrube

Dies ist der Punkt, der von allen Brunnen am weitesten entfernt liegt. EX = Maximum
Hier gewählt Baugrubenmitte

$$x_1 = x_3 = \sqrt{37,5^2 + 78^2} = 86,59$$

$$x_2 = 78$$

$$x_4 = \sqrt{35^2 + 39,5^2} = 52,78$$

$$x_5 = \sqrt{39,5^2 + 15^2} = 42,25$$

$$x_6 = \sqrt{39,5^2 + 55^2} = 67,71$$

$$x_7 = \sqrt{7,5^2 + 78^2} = 78,36$$

$$x_8 = \sqrt{78^2 + 375^2} = 86,55$$

$$x_9 = \sqrt{395^2 + 25^2} = 46,75$$

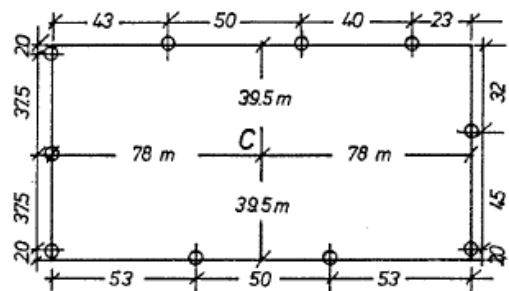
$$x_{10} = \sqrt{39,5^2 + 25^2} = 46,75$$

$$z_c^2 = H^2 - \frac{Q}{\pi \cdot k} \left(\ln R - \frac{1}{n} \cdot \ln(x_1 \dots x_n) \right)$$

$$= 15^2 - \frac{0,115}{\pi \cdot 0,0005} \cdot \left(\ln 302 - \frac{1}{10} \cdot 41,71 \right)$$

$$= 225 - \frac{0,115}{\pi \cdot 0,0005} (5,71 - 4,17)$$

$$z_c^2 = 112,26 \rightarrow z_c = 10,60 \text{ m} > 10,5 \text{ m}$$



Absenkziel noch nicht erreicht. Da aber immer noch ein Sicherheitsabstand von 90 cm vorhanden ist, kann für den ungünstigsten Punkt diese Überschreitung hingenommen werden. Wenn man das Absenkziel von 10,5 m erreichen will, dann müßte man die Zahl der Brunnen erhöhen. Da hier mit einem fiktiven undurchlässigen Horizont gerechnet wurde, muß das von unten dem Brunnen zuströmende Wasser zur Ermittlung der zu fördernden Wassermenge hinzugezählt werden. Je nach Lage einer undurchlässigen Schicht ist es üblich, 10 bis 30% zuzuschlagen.

$$Q_{\text{ges}} = 115 \text{ l/sec} \cdot 1,1 = 126 \text{ l/s}$$

Für den einzelnen Brunnen gilt:

$$\underline{q = 12,65 \text{ l/sec.}}$$

Beachte: Die Pumpanlage muß zu Beginn jedoch $2 \cdot Q$ fördern, da auch der Inhalt des Absenktrichters abgepumpt werden muß.

An diesem Meßpegel wurden folgende Extremwasserstände gemessen:

HGW = 95,74 mNN Mai 1953, Mai 1958

NGW = 92,40 mNN November 1977

Im Mai 1983 lag der Pegelwasserstand etwa auf 95,3 mNN. Wir gehen von einem Grundwasserhöchststand

HGW = 95,74 mNN

aus. Oberkante Kellerboden (Rohboden) liegt auf 94,67 mNN. Das bedeutet, daß eine Fundamentplatte in WU-Beton (Begrenzung der Rißbreite) auszuführen ist. Die Kelleraußenwände müssen wasserdicht an die Fundamentplatte angeschlossen werden und bis zur Kote 95,74 mNN ebenfalls in WU-Beton ausgeführt werden, so daß bis zur Kote 95,74 mNN eine weiße Wanne entsteht. Es ist Auftrieb bis zur Kote 95,74 mNN anzusetzen. Brüstungen von Kellerfenster müssen oberhalb der Kote 95,8 mNN liegen. Die weiße Wanne muß ingenieurmäßig geplant und ausgeführt werden (z. B. Fabrikat Zementol oder Rascor).

Bei gegenwärtigem Grundwasserstand ist zur Ausführung der Gründung eine Grundwasserabsenkung erforderlich. Diese ist genehmigungspflichtig. Für den Sand kann ein geschätzter Wasserdurchlässigkeitskoeffizient $k_f = 1 - 3 \cdot 10^{-4}$ m/s angesetzt werden.

Es ist eine Grundwasserabsenkungsanlage mit geringem Absenkungsradius zu wählen (Wellpointanlage). Damit soll ein Bodenentzug unter den Nachbarhäusern verhindert werden.

Sofern die Arbeitsraumverfüllung mit Sand/Kiessand erfolgt kann auf die Verlegung einer Ringdränage verzichtet werden.

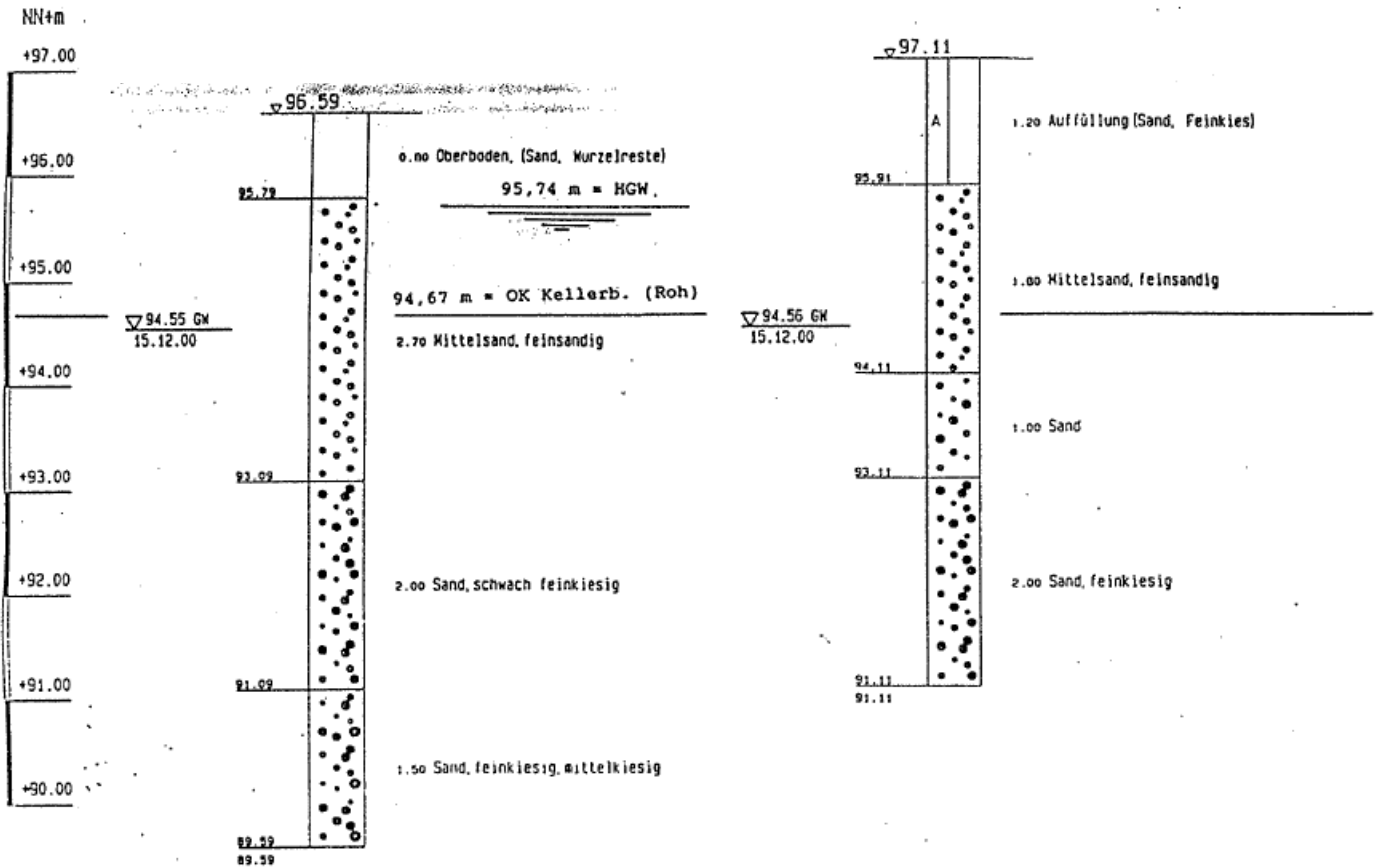
In der Nähe von Sondierbohrung BS 1 befindet sich ein Brunnen. Die Oberkante des Pegelrohres liegt ca. 30 cm über Gelände-OK und damit auf 96,82 mNN. Der Grundwasserstand in diesem Pegelrohr lag am 15.12.2000 2,27 m unter OK Pegel und damit auf 94,55 mNN. Wenn dieser Pegel bei den Abbrucharbeiten nicht zerstört wird, läßt sich hier auf einfache Weise jederzeit der Grundwasserstand messen.

5.) Bauwerk

Das geplante Wohnhaus erhält ein mehrfach abgewinkelten Grundriß wie aus Anlage 1 ersichtlich ist.

BS 1

BS 2



BAUVORHABEN:		
Wohnhausneubau der Eheleute Werlé in Hüttenfeld, Waldstraße 22.		
PLANBEZEICHNUNG:		
Bohrprofile M 1 : 50		
PLAN-NR.: 1	MAßSTAB: 1 : 50	
Bearbeiter:	Ga	Datum:
Gezeichnet:	Ga	9.1.2001
Geändert:		
Gesehen:		
PROJEKT-NR.: 778/2001 Anlage 2		

Auftrag : lam
 Datum : 31.05.2001
 Projekt : lam
 Kurzbez.: lam

Vordimensionierung der Grundwasserabsenkungsanlage

(Programm GRUWA0)

E i n g a b e d a t e n
 ++++++

Folgende Daten wurden eingelesen:

Berechnung einer Brunnengruppe (FRAM\$=B)

Abmessungen der Baugrube	A	(m)	=	15
	B	(m)	=	10
Anzahl der Durchlaess.beiwerte	NK	(1)	=	1
Kleinster Durchlaessigkeitsbeiwert	KMIN	(m/s)	=	0.0003000
Multipl.faktor f. Durchläss.beiwert	MF	(1)	=	1
Tiefe der Brunnensohle u. Gel.	TH	(m)	=	4
Tiefe der Baugrube u. Gel.	TK	(m)	=	2
Tiefe d.urspr.GW-Spiegel u. Gel.	TW	(m)	=	.2
Wirksamer Radius der Brunnen	RD	(m)	=	.05
Wasserstand im Brunnen ueb. der Sohle	H0	(m)	=	1
Es wird der Wert H0 insgesamt 3 - mal variiert mit der Schrittweite .2				
Sicherh.abstand Sohle-GW-Spiegel	TS	(m)	=	.5
Zuschlag für schnelles Absenken	ZUSL	(1)	=	1
Unvollkommene Brunnen	BR\$		=	U

Auftrag : lam
 Datum : 31.05.2001
 Projekt : lam
 Kurzbez.: lam

T a b e l l e d e r E r g e b n i s s e

Daten- satz IK/IL	Durchl.- beiw. k (m/s)	Variable H0	Reich- weite R (m)	Förd.d.Br. (FORCHH) Q (m ³ /s)	Fass.v. (SICHARD) qs (m ³ /s)	Verh.z. Q/qs (1)	Anz.d Brunne NERF (1)
1 / 1	0.0003000	1.00	119.5	0.00524	0.00036	14.4440	15
1 / 2	0.0003000	1.20	119.5	0.00524	0.00044	12.0366	15
1 / 3	0.0003000	1.40	119.5	0.00524	0.00051	10.3171	15

$$Q_f = 18,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

Probe:	RKS 1/6	D 10 =	Ergebnis	0,4 mm
		D 50 =		9 mm
Projektnr.:	2331476 Plankstadt	D 60 =		10 mm
Gesamtmasse:	150,00 g	U =		25,00
Siebverlust:	0,70 g	Kf-Wert	(Hazen):	0,00E+00
Feinfraktion:	5,25 g	Kf-Wert	(Beyer):	9,60E-04

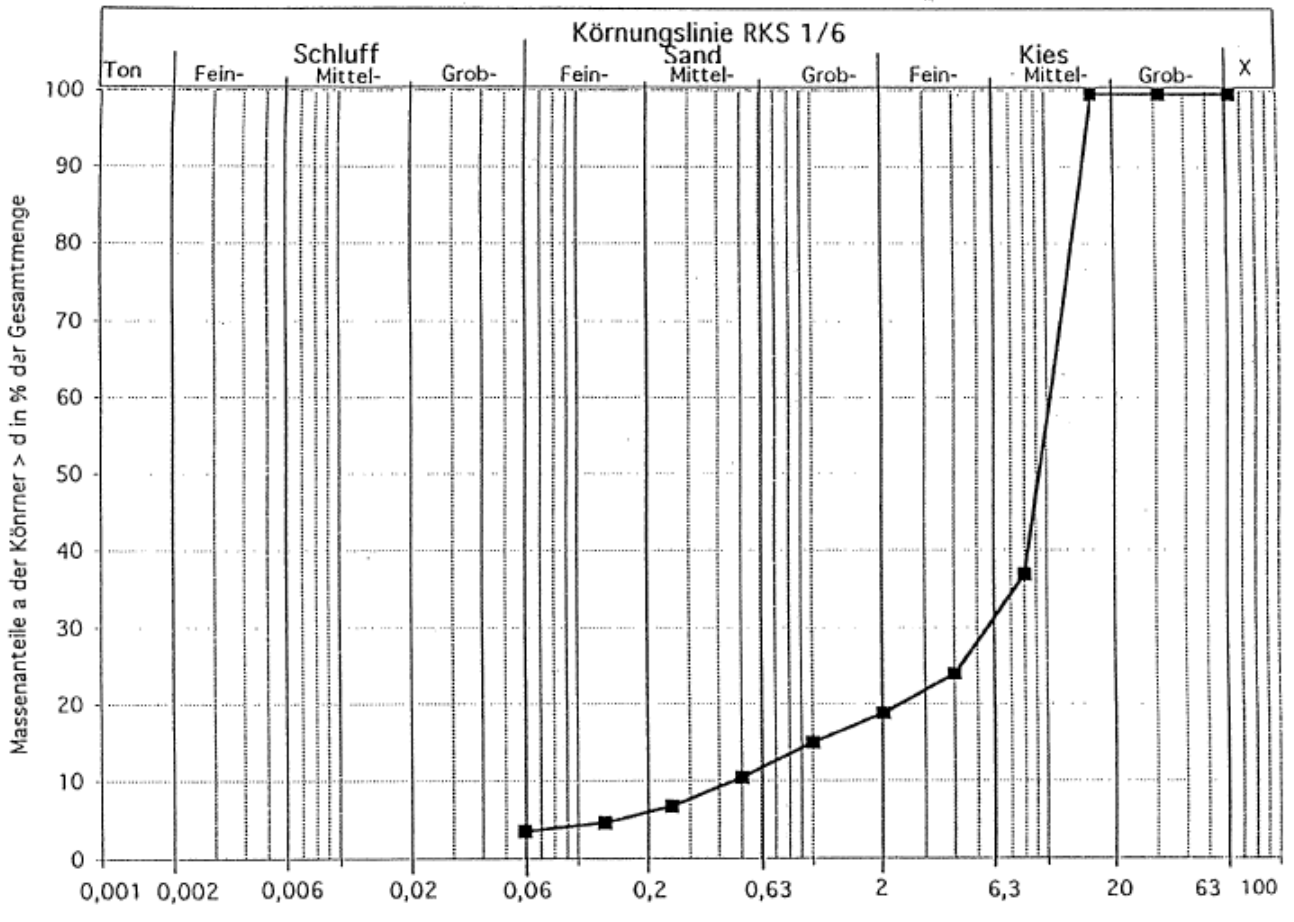
	Korndruch.[mm]	Auswaage[g]	Gew.-%	Sum.-%
S				
I	63,00	0,00	0,00	99,53
E	31,50	0,00	0,00	99,53
B	16,00	0,00	0,00	99,53
A	8,00	94,03	62,69	36,85
N	4,00	19,33	12,89	23,96
A	2,00	7,82	5,21	18,75
L	1,00	5,78	3,85	14,89
Y	0,50	6,74	4,49	10,40
S	0,25	5,49	3,66	6,74
E	0,13	3,15	2,10	4,64
	0,06	1,71	1,14	3,50
	Feinfraktion	5,25	3,50	0,00
	Siebverlust	0,7		
	Gesamt	150,00	99,5	

Probe:	RKS 3/4	D 10 =	<u>Ergebnis</u>	
		D 50 =	0,42 mm	
		D 60 =	9 mm	
Projektnr.:	2331476 Plankstadt		10 mm	
Gesamtmasse:	150,00 g	U =	23,81	
Siebverlust:	0,60 g	Kf-Wert	(Hazen):	0,00E+00
Feinfraktion:	5,35 g	Kf-Wert	(Beyer):	1,06E-03

	Korndruch.[mm]	Auswaage[g]	Gew.-%	Sum.-%
S				
I	63,00	0,00	0,00	99,60
E	31,50	0,00	0,00	99,60
B	16,00	0,00	0,00	99,60
A	8,00	94,03	62,69	36,91
N	4,00	19,33	12,89	24,03
A	2,00	7,82	5,21	18,81
L	1,00	5,78	3,85	14,96
Y	0,50	6,74	4,49	10,47
S	0,25	5,49	3,66	6,81
E	0,13	3,15	2,10	4,71
	0,06	1,71	1,14	3,57
	Feinfraktion	5,35	3,57	0,00
	Siebverlust	0,6		
	Gesamt	150,00	99,6	

Probe:	RKS 4/3	D 10 =	<u>Ergebnis</u>
		D 50 =	0,3 mm
Projektnr.:	2331476 Plankstadt	D 60 =	5 mm
Gesamtmasse:	150,00 g	U =	6,5 mm
Siebverlust:	0,80 g	Kf-Wert	21,67
Feinfraktion:	8,66 g	Kf-Wert	(Hazen): 0,00E+00
			(Beyer): 5,-0E-04

S I E B A N A L Y S E	Korndruch.[mm]	Auswaage[g]	Gew.-%	Sum.-%
	63,00	0,00	0,00	99,47
	31,50	0,00	0,00	99,47
	16,00	0,00	0,00	99,47
	8,00	45,50	30,33	69,13
	4,00	47,51	31,67	37,46
	2,00	18,62	12,41	25,05
	1,00	9,94	6,63	18,42
	0,50	8,72	5,81	12,61
	0,25	5,18	3,45	9,15
	0,13	2,71	1,81	7,35
	0,06	2,36	1,57	5,77
	Feinfraktion	8,66	5,77	0,00
	Siebverlust	0,8		
	Gesamt	150,00	99,5	



Massenanteile a der Körner > d in % der Gesamtmenge

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

0,001 0,002 0,006 0,02 0,06 0,2 0,63 2 6,3 20 63 100

Ton Fein- Schluff Mittel- Grob- Fein- Sand Mittel- Grob- Fein- Kies Mittel- Grob- X

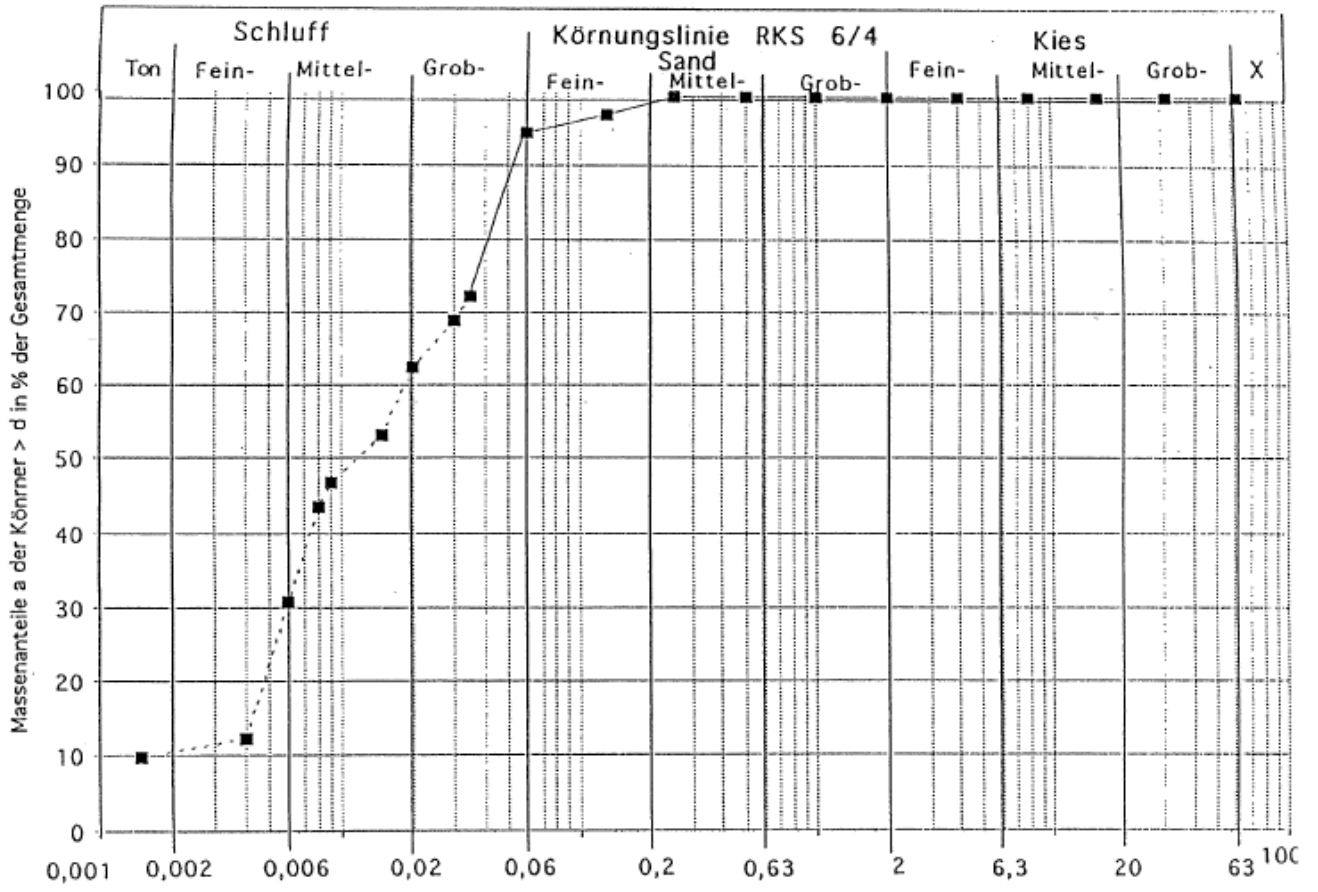


Tabelle 2.2: Entnahmefrünnen mit HGW-Stand + 0,50 m 96,50 m ü NN

Brunnen-durchmesser	Eintauchtiefe Brunnen in Grundwasser	Brunnen-sole in m ü NN	Zufluss Q max zur Baugrube	erforderliche Brunnen-anzahl	max. Brunnenabstand zur Baugrubenmitte	max. Brunnenabstand untereinander
0,30 m	8 m	88,5	0,0552 m ³ /s	14 Stück	30 m	30 m
0,30 m	10 m	86,5	0,0715 m ³ /s	10 Stück	30 m	30 m
0,60 m	8 m	88,5	0,0552 m ³ /s	7 Stück	30-35 m	30 m

Bei der Ermittlung des Wasserzuflusses und der erforderlichen Brunnenanzahl ist nur ein Sicherheitszuschlag mit 10% berücksichtigt.

3.3 Ausgehend von den derzeitigen Wasserständen bei ca. 95,20 m ü NN ermitteln sich je nach Ausführung der Brunnen die max. Zuflussmengen zur Baugrube auf ca. 0,0445 bis 0,0565 m³/s.

3.3.1 Aufgrund der natürlichen Grundwasserschwankungen, ist die Wasserhaltung allerdings auch auf höhere Wasserstände zu dimensionieren. Aufgrund wirtschaftlicher (Brunnenanzahl) und grundwasserschonender (Entnahmemenge) Betrachtungsweise wird die vorgesehene Wasserhaltung auf den bisher gemessenen, interpolierten HGW-Stand mit **96,00 m ü NN** dimensioniert. Für den Katastrophenfall HGW + Sicherheitszuschlag wird eine Flutung der Baugrube vorgesehen.

3.4 Anhand o.g. k-Wertes und den verschiedenen Absenkzielen können die Reichweiten des Absenktrichters nach SICHARDT ermittelt werden. Bei Mehrfachbrunnenanlagen überlagern sich die einzelnen Absenktrichter und sind nach der Formel von WEBER

$$R_0 = \sqrt{R^2 + A_{RE}^2}$$

zu ermitteln.

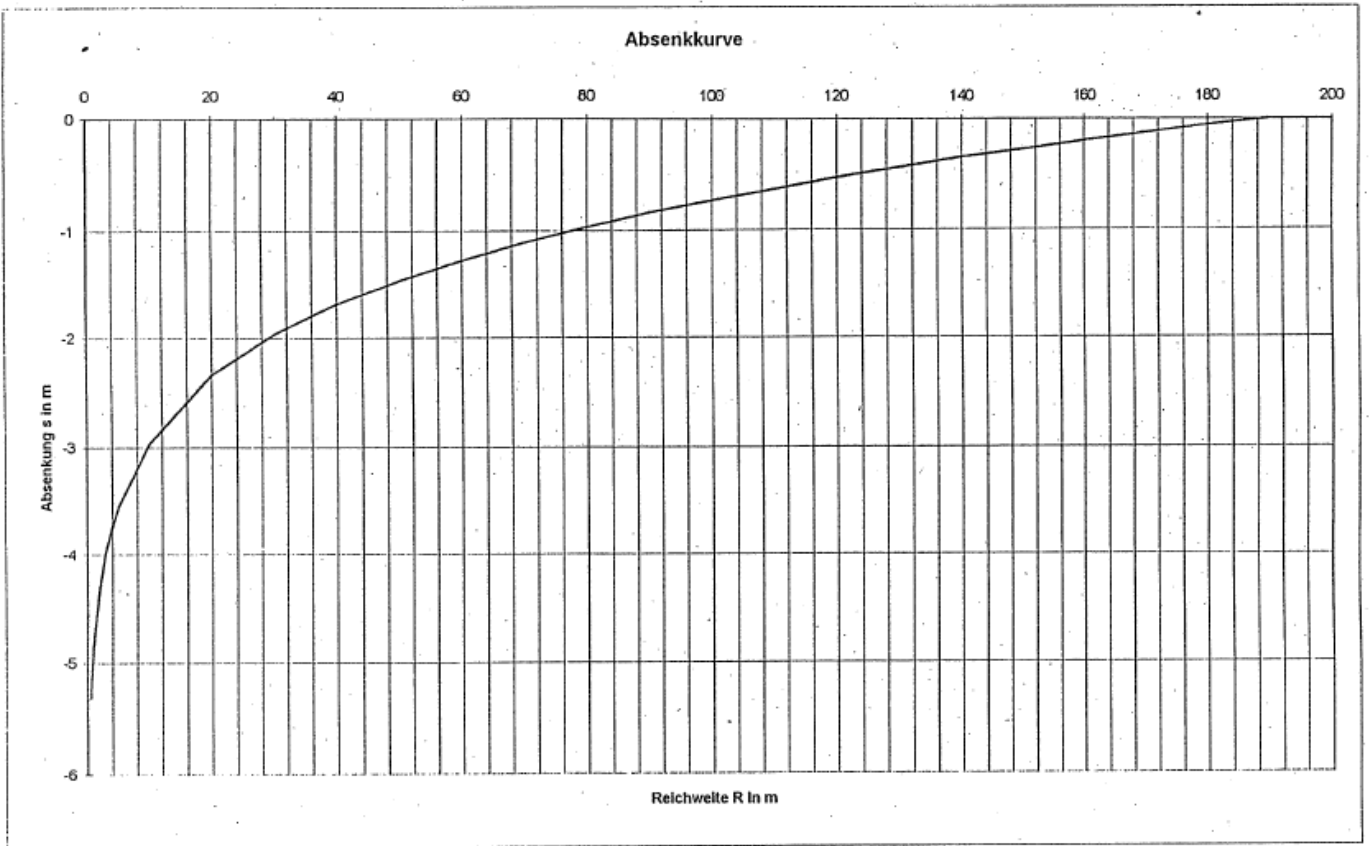
Es ergeben sich hierdurch folgende Radien (s. a. Anlage 2).

Tabelle 3: Reichweite der Absenktrichter

angesetzter GW-Stand	Absenkung	Reichweite nach SICHARDT	Reichweite nach WEBER
96,00 m ü NN	2,00 m	189,7 m	191,0 m

3.4.1 In der Anlage Nr. 2 sind die Reichweite des Absenkungstrichters und verschiedene Restabsenkungen gegenüber dem Ausgangswasserstand aufgezeichnet. Der natürliche Grundwasserschwankungszyklus bewegt sich in vorwiegend nichtbindigen Flussböden, die als setzungsunempfindlich bei Wasserentzug reagieren. Auch bei der vorgesehenen Grundwasserentnahme werden vorwiegend diese nichtbindigen Böden innerhalb des Absenkungstrichters entwässert, da die darüber lagernden, bindigen und setzungsempfindlichen Decklehme sich nicht im Grundwasserschwankungsbereich befinden.

Absenkung Diagramm 2



Wasserhaltung

Projekt: Regenrückhaltebecken Plankstadt
Projekt Nr. PI 00 125
Datum: 24.10.2000
Anlage Nr. 1 3 HGW 96,00 m ü NN

Freies Grundwasser, unvollkommene Brunnen

Eintauchtiefe H m h = m
Absenkung s m r = m
Durchlässigkeit k m/s
Bohrdurchmesser m

Ermittlung des Ersatzradius A

1. Fall	gedrungene Baugrubenform	A = <input type="text" value="28,6572767"/> m
Länge	<input type="text" value="43"/> m	
Breite	<input type="text" value="60"/> m	
2. Fall	lange, schmale Baugrubenform	A = <input type="text" value="0"/> m
Länge	<input type="text"/> m	
3. Fall	runde Baugrubenform	A = <input type="text" value="0"/> m
Durchmesser	<input type="text"/> m	

A = m

Ermittlung der Reichweite R

LN R/A =

1. Fall wenn LN R/A ≥ 1 gilt die Formel nach SICHARDT: R = 3000 x s x Wurzel (k)	
R =	<input type="text" value="189,73666"/> m
2. Fall bei $1 > LN R/A \geq 0,7$ gilt nach WEBER: R ₀ = Wurzel (R ² +A ²)	
R ₀ =	<input type="text" value="191,888612"/> m
3. Fall bei LN R/A < 0,7 gilt nach WEYRAUCH Q = $\pi \times k (H^2 - h^2) (2 \times A/R + 0.25)$ = <input type="text" value="0,04856298"/> m ³ /s	

Es gilt der Ansatz nach SICHARDT

R = m

Zusammenfassung:

Projekt:	Regenrückhaltebecken Plankstadt
Projekt Nr.	PI 00 125
Datum:	24.10.2000
Anlage Nr.	1 3 HGW 96,00 m ü NN

Brunneneintauchtiefe H	8 m
Bohrradius r	0,3 m
Durchlässigkeit k	1,00E-03 m/s
Absenkziel s	2 m
Druckhöhe im Brunnen s_{EB}	3 m
Grundwasserzufluß zur Baugrube Q_{max} .	0,0512 m ³ /s
Reichweite des Absenktrichters R	189,74 m
Leistung des Einzelbrunnens q	0,0119 m ³ /s
Anzahl der Brunnen (ohne Sicherheitswert)	5 Stück
erforderliche Brunnenleistungen q gesamt <small>erforderlich</small>	0,0502 m ³ /s
vorhandene Brunnenleistungen q gesamt <small>vorhanden</small>	0,0596 m ³ /s
Anordnung der Brunnen:	radial um Baugrube

Anmerkung

Die für die Wasserhaltung notwendige Brunnenanzahl ist ohne Sicherheitszuschlag.
Der ermittelte Grundwasserzufluß in die Baugrube Q_{max} . enthält lediglich einen Zuschlag von 10%.

Grundwasserzufluß zur Baugrube

$$Q = (\pi \times k \times (H^2 - h^2)) / \ln R - \ln A \quad 0$$

$$Q_{\max} = Q + 10\%$$

$Q = 0,04653646 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\max} = 0,0511901 \text{ m}^3/\text{s}$
---------------------------------------	---

Brunnenbemessung

Druckhöhe s_{EB} geschätzt m $h' =$ m

$$q = 2 \times \pi \times r \times h' \times (\text{Wurzel } k) / 15$$

$q = 0,01192151 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\text{Brunnenanzahl } n = Q_{\max} / q$$

$$n = 4,29392925 = \text{ }$$

Überprüfung von s_{EB}

Zuschlag Alpha für für ungleichmäßige Strömung

halber Brunnenabstand $b =$ m

$$15 \times r = 4,5 \text{ m}$$

Zuschlagsfaktor Alpha = 1,5

$$s_{EB \text{ erford.}} = h - \{ \text{Wurzel} (h^2 - (\text{Alpha} \times q / \pi \times k \times \ln b/r)) \}$$

$s_{EB \text{ erford.}} = 2,60112599 \text{ m}$

Es muss gelten: $s_{EB \text{ geschätzt}} \geq s_{EB \text{ erforderlich}}$

Forderung ist erfüllt

Ermittlung der hinreichenden Absenkung für ungünstige Stellen der Baugrube

$$q_{\text{gesamt erforderlich}} = \pi \times k \times (H^2 - h^2) / \ln R - 1/n \text{ Summe } \ln a$$

$\text{gesamt } q_{\text{erforderlich}} = 0,05020955 \text{ m}^3/\text{s}$
$\text{gesamt } q_{\text{vorhanden}} = 0,05960753 \text{ m}^3/\text{s}$

Abstände der Brunnen vom Punkt x

$a_1 =$ m
 $a_2 =$ m
 $a_3 =$ m
 $a_4 =$ m
 $a_5 =$ m

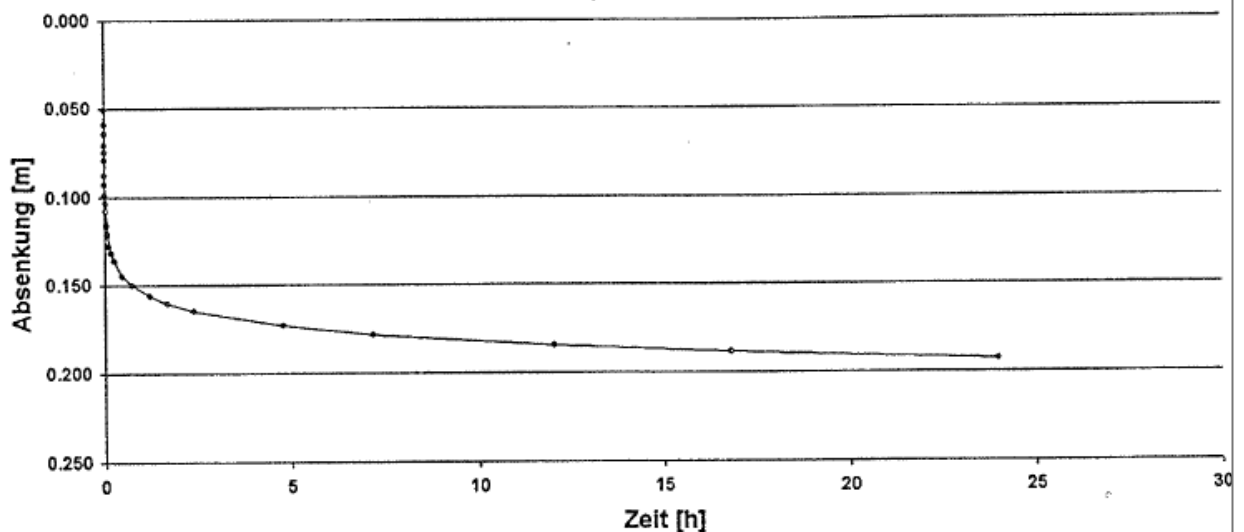
$a_6 =$ m
 $a_7 =$ m
 $a_8 =$ m
 $a_9 =$ m
 $a_{10} =$ m

Berechnung der Absenkung im Brunnen nach THEIS

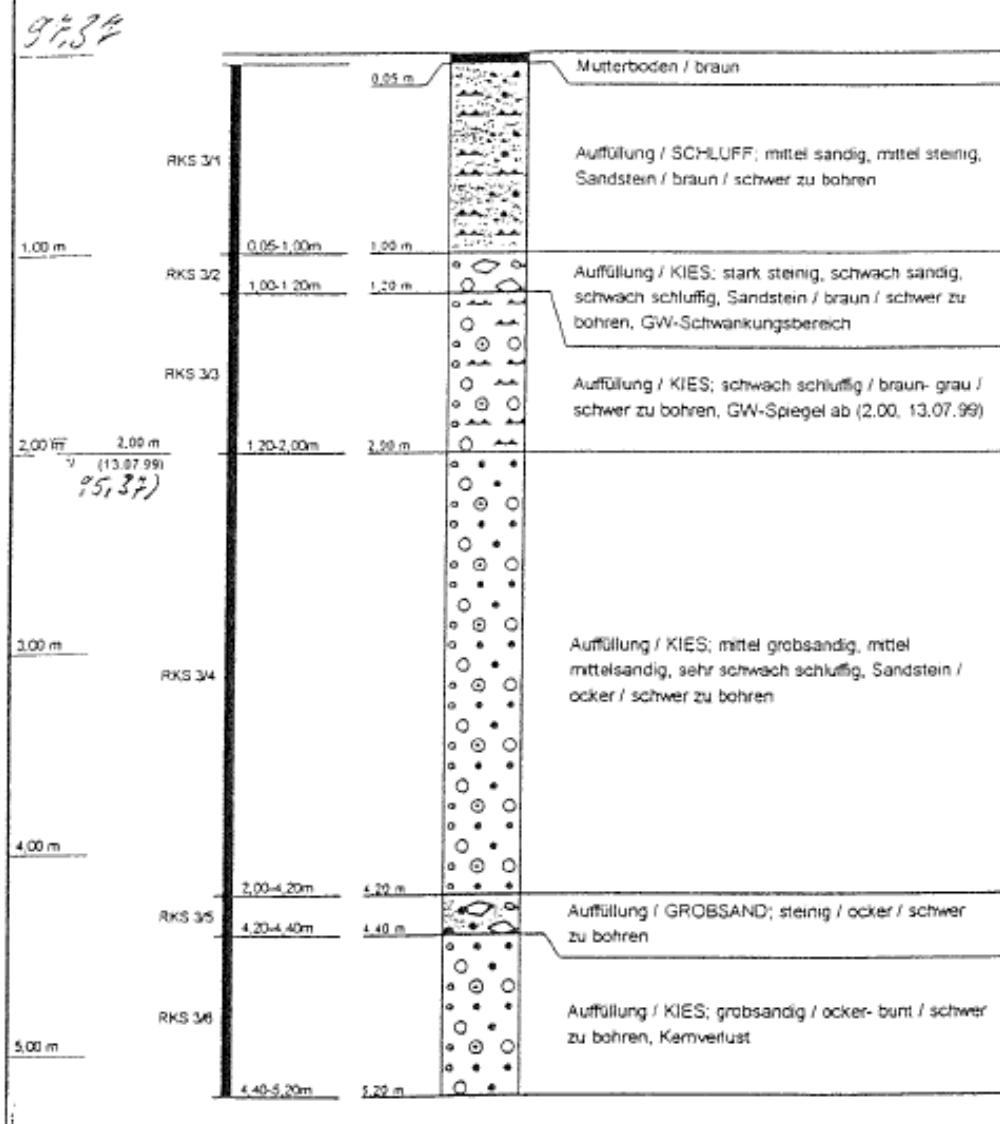
Meßstellenradius [m]	0.17 m	errechneter Speicherkoeffizient	1.00E-01
maximale Pumpzeit	24 h	realistischer Speicherkoeffizient	1.00E-04
Förderrate	14 l/s	Förderrate [l/s]	1.40E+01
Transmissivität	9.00E-02 m ² /s	Transmissivität	9.00E-02
Speicherkoeffizient	1.00E-01 -		
Messstellentiefe	m	Skin-Faktor	-3.5
Ruhewasserspiegel	m	zusätzliche Absenkung	-0.086

Zeit			Absenkung
[s]	u	[h]	[m]
1	9.291E-03	0.000	0.05
2	4.646E-03	0.000	0.06
3	3.097E-03	0.001	0.06
4	1.858E-03	0.001	0.07
6	1.327E-03	0.002	0.07
9	9.291E-04	0.002	0.08
17	4.646E-04	0.005	0.09
26	3.097E-04	0.007	0.09
43	1.858E-04	0.012	0.10
60	1.327E-04	0.017	0.10
86	9.291E-05	0.024	0.11
173	4.646E-05	0.048	0.12
259	3.097E-05	0.072	0.12
432	1.858E-05	0.120	0.13
605	1.327E-05	0.168	0.13
864	9.291E-06	0.240	0.14
1728	4.646E-06	0.480	0.14
2592	3.097E-06	0.720	0.15
4320	1.858E-06	1.200	0.16
6048	1.327E-06	1.680	0.16
8640	9.291E-07	2.400	0.16
17280	4.646E-07	4.800	0.17
25920	3.097E-07	7.200	0.18
43200	1.858E-07	12.000	0.18
60480	1.327E-07	16.800	0.19
86400	9.291E-08	24.000	0.19

Absenkung im Brunnen nach THEIS

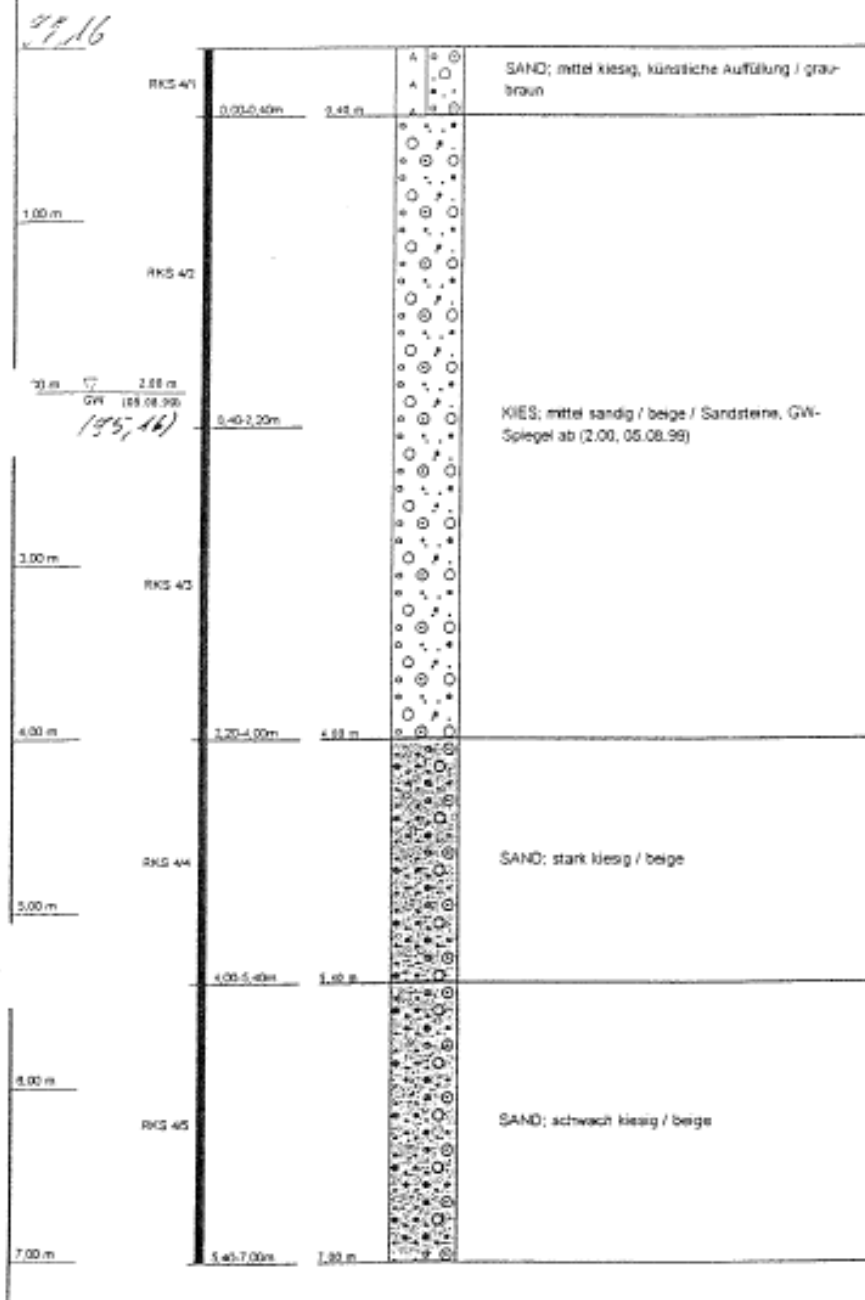


Rammkernsondierung 3



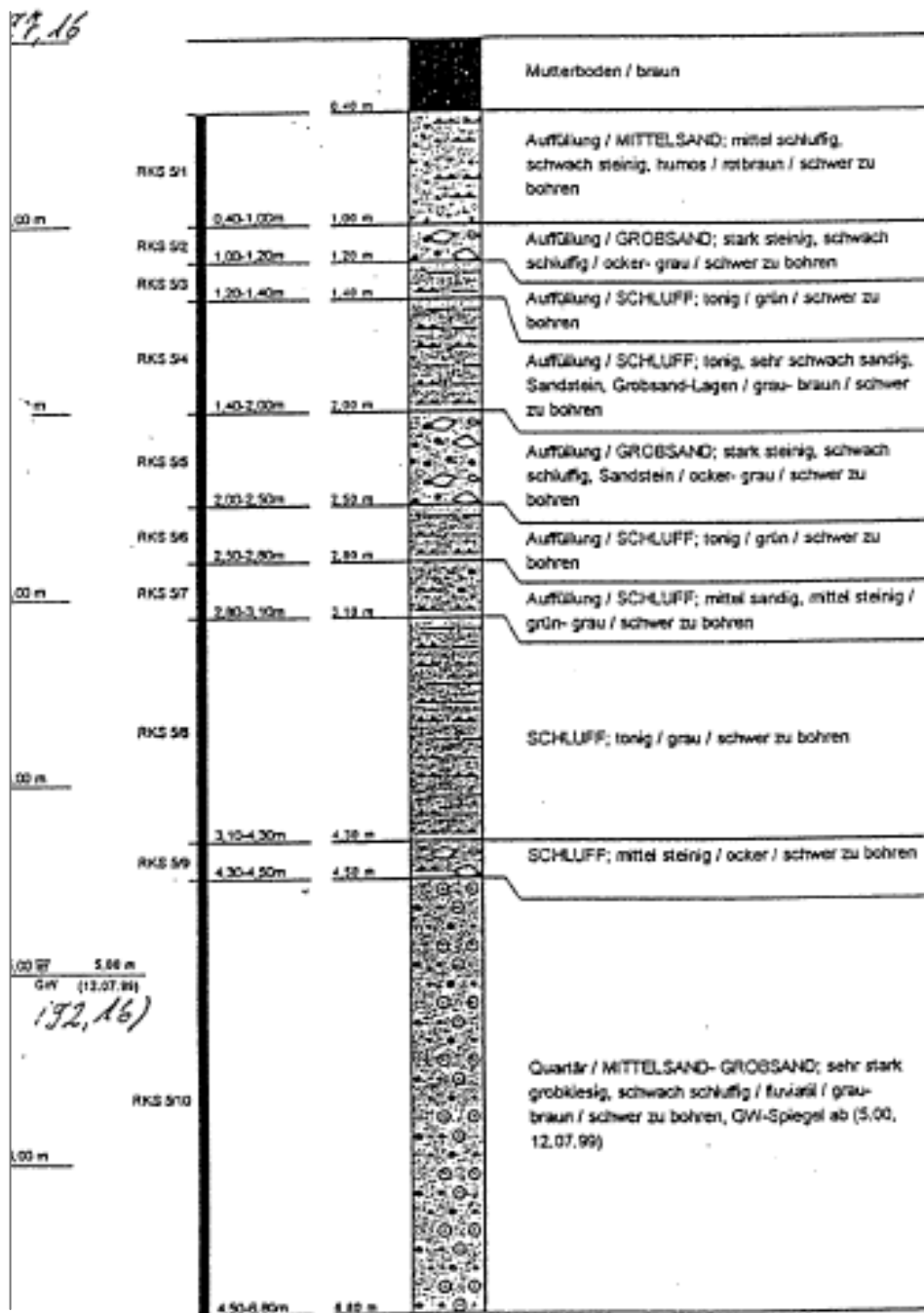
Rammkernsondierung 3 P 2331476			
Ort d. Bohrg.	: Plankstadt, "Gänsweid"		Anlage:
Auftraggeber	: Stadtverwaltung Plankstadt		Seite: 1 von 1
Bohrfirma	: clayton GbR		Maßstab: 1:40
Bearbeiter	: J. Haid	Datum: 16.07.99	

Rammkernsondierung 4



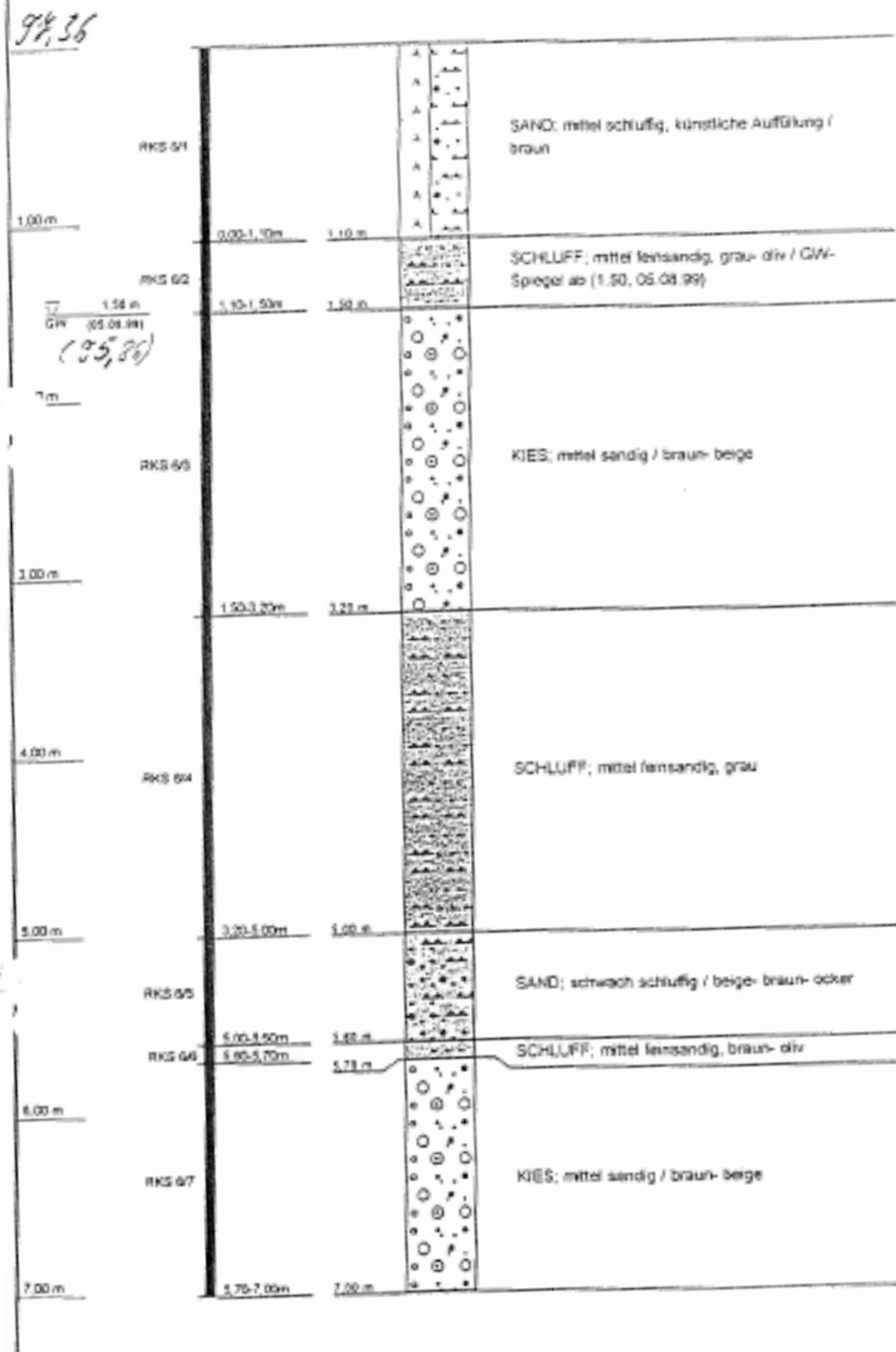
Rammkernsondierung 4 P 2331476			
Ort d. Bohrg.	: Plankstadt "Gänsweid"		Anlage:
Auftraggeber	: Stadtverwaltung Plankstadt		Seite: 1 von 1
Bohrfirma	: clayton GbR		Maßstab: 1:40
Bearbeiter	: T. Schröder	Datum: 12.08.99	

Rammkernsondierung 5



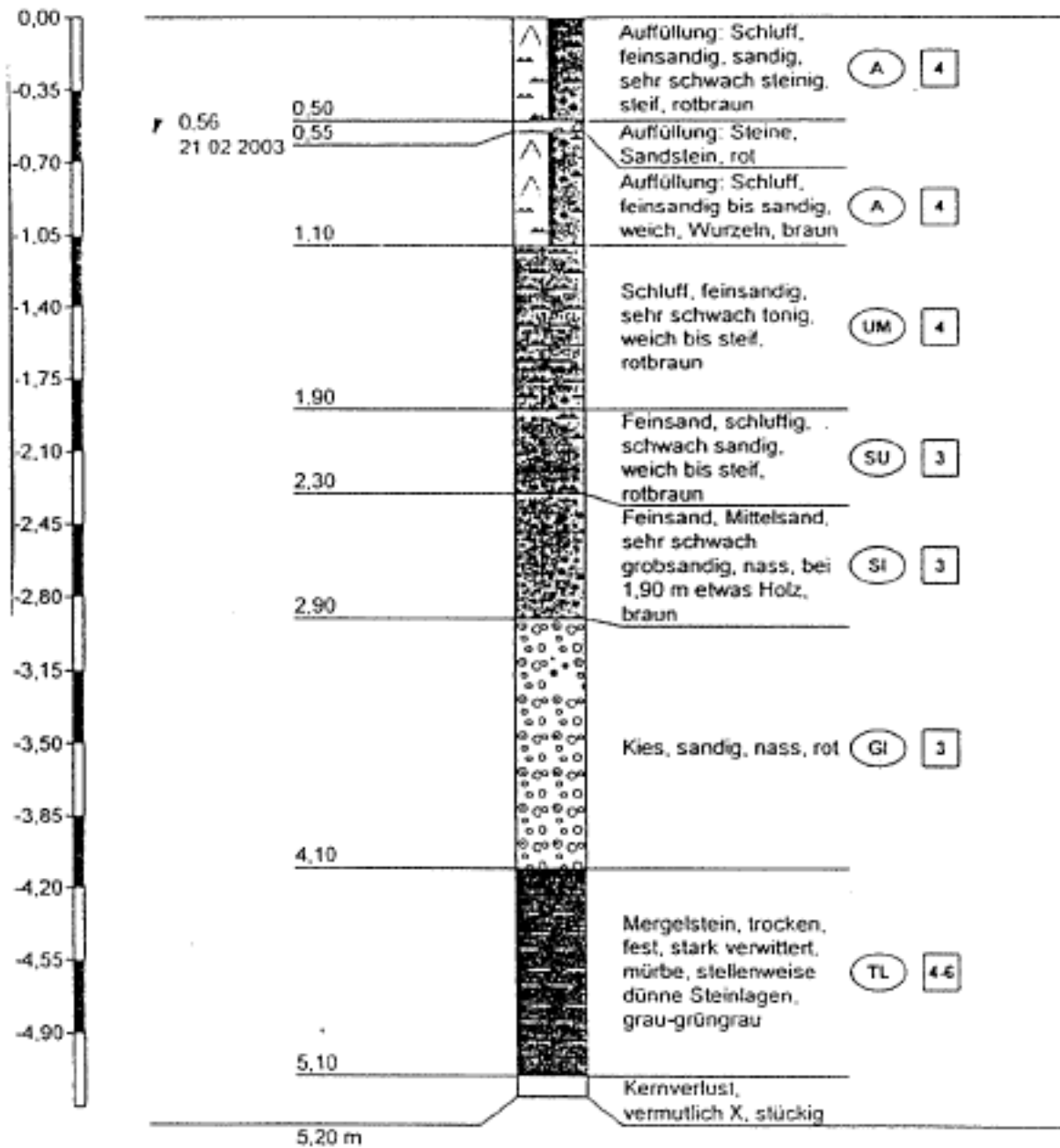
Rammkernsondierung 5		
P 2331476		
Ort d. Bohrg.	: Plankstadt, "Gänsweid"	Anlage:
Auftraggeber	: Stadtverwaltung Plankstadt	Seite: 1 von 1
Bohrfirma	: clayton GbR	Maßstab: 1:40
Bearbeiter	: J. Haid	Datum: 16.07.99

Rammkernsondierung 6

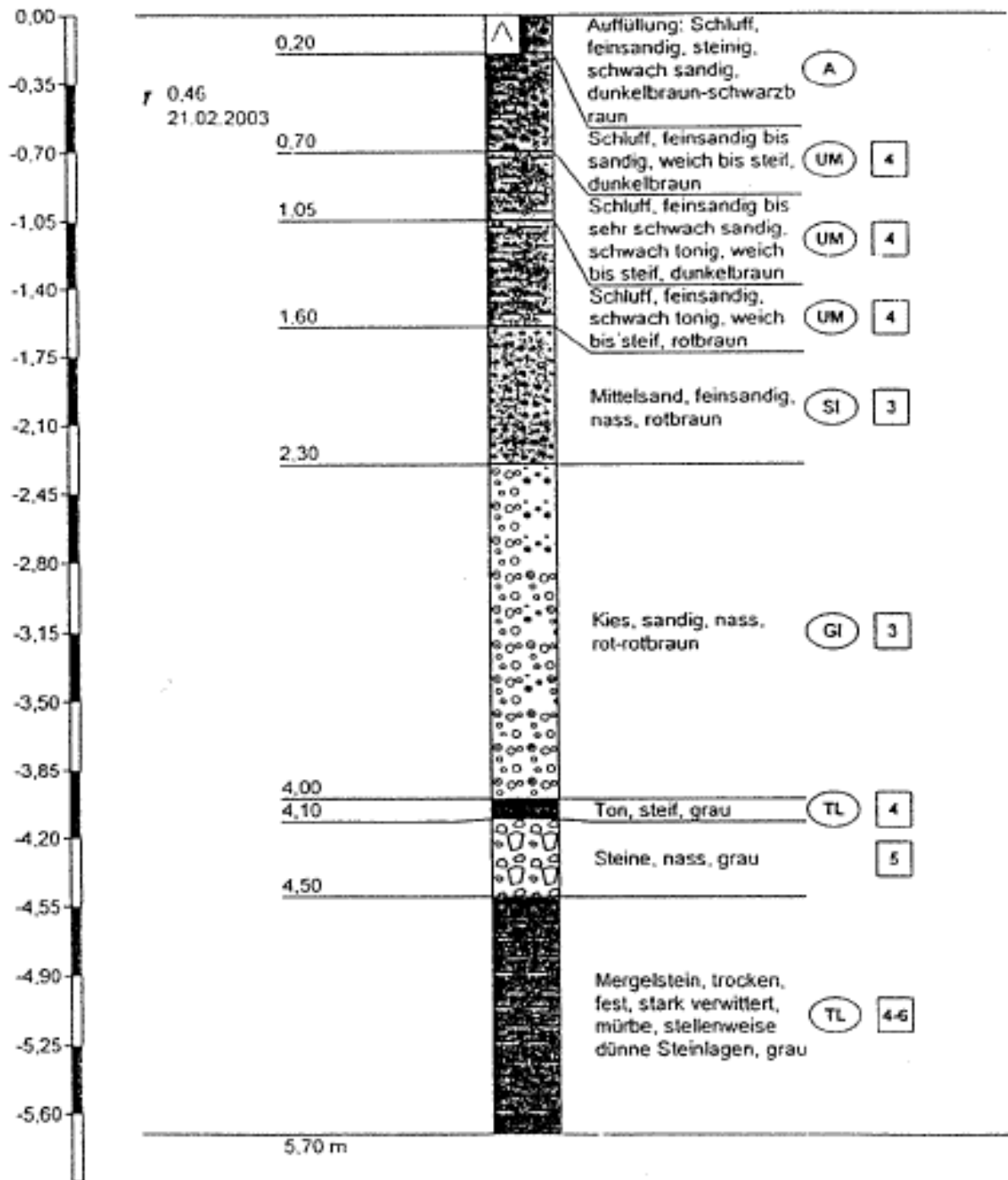


Rammkernsondierung 6			
P 2331475			
Ort d. Bohrgr.	: Plankstadt "Gänswald"		Anlage:
Auftraggeber	: Stadtverwaltung Plankstadt		Seite: 1 von 1
Bohrfirma	: clayton GbR		Maßstab: 1:40
Bearbeiter	: T. Schröder	Datum: 12.08.99	

RKS 1



RKS 2



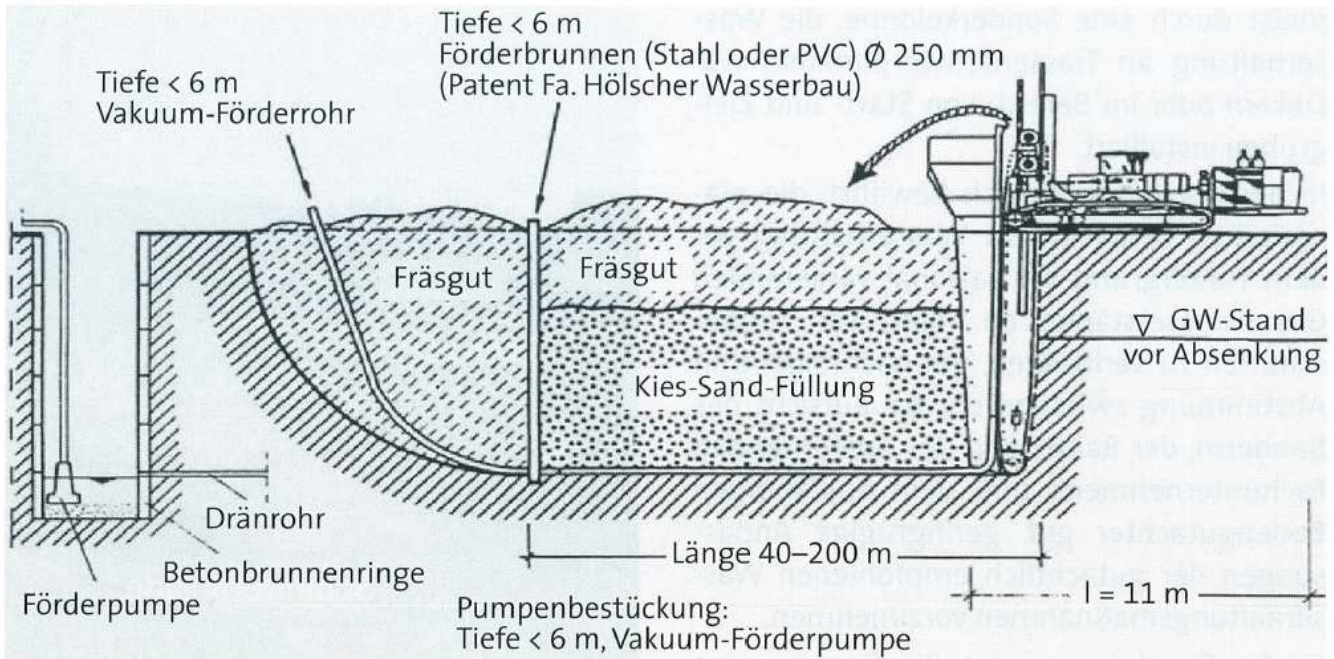


Abb. 7: Prinzip des Horizontaldräns (Meyer & Tietje, 1992, S. 2)

Abb. 8: Dränfräse mit Kiesschütter im Einsatz



Ende der Präsentation

**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**