

Werkstandard

August 1986

VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft	Wassergewinnung Vertikalfilterbrunnen Verfahrensweg und Berechnungsbeispiele	WAPRO 142/04
--	---	-----------------

Deskriptoren: Wassergewinnung, Vertikalfilterbrunnen
Umfang: 37 Seiten
Verantwortlich: VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Betriebsteil Magdeburg
Bestätigt: 13. 8. 1986, VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft Halle/Saale
Verbindlich ab: 1. 12. 1986

Maße in m

1. Verfahrensweg

1.1. Analytische Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse im Entnahmegebiet

1.1.1. Formulierung der Aufgabenstellung durch den Nutzer

- Vorgabe der Entnahmeganglinie oder Festlegung, daß die maximal mögliche Entnahme zu bestimmen ist
- Angabe der möglichen Fassungsgebiete
- Angabe der Restriktionen, z. B. maximal zulässige Absenkungen an bestimmten Punkten; Angabe der Schäden, die bei einer bestimmten Absenkung - Landwirtschaft - oder durch Verschieben der Einzugsgebietsgrenzen - andere Nutzer - eintreten.

1.1.2. Ableitung der geohydraulischen Aufgabenstellung aus Abschnitt 1.1.1.

- Festlegung der Punkte und der Zeiten, für welche die Berechnung des Grundwasserspiegels und der Druckhöhe erfolgen soll - siehe auch WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.1., letzter Absatz, und Abschnitt 2.3., zweiter Absatz.
- Festlegung, welche daraus ableitbaren Werte wie beispielsweise Gefälle, Fließzeiten oder Isohypsenpläne zu ermitteln sind.

1.1.3. Abgrenzung des Untersuchungsgebietes, basierend auf den morphologischen, geologischen und hydrologischen Verhältnissen, vorwiegend unter Verwendung von Spezialkarten und Archivmaterial.

1.1.4. Festlegung der Geometrie des räumlichen Grundwasserströmungsfeldes - im Grundriß und vertikaler Aufbau -, basierend auf Archivmaterial und/oder der hydrogeologischen Erkundung.

1.1.5. Festlegung der geohydraulischen Bedingungen, die entlang dieser Berandungen auftreten, basierend auf den geologischen und hydrologischen Verhältnissen - Wasserstände und/oder Zuflüsse aus dem Fremdgebiet

- a) im ungestörten natürlichen Zustand
- b) im gestörten Zustand - während des Brunnenbetriebes -.

1.1.6. Erfassung der Unvollkommenheit und der Kolmation der äußeren Berandung - vergleiche WAPRO 1.42./02, Abschnitt 5. -, basierend auf der hydrogeologischen Erkundung und Berücksichtigung dieser Erscheinungen durch Fließwegverlängerung bei stationären Strömungsverhältnissen.

1.1.7. Approximation des schichtenförmigen Aufbaues des Grundwasserströmungsfeldes, basierend auf der hydrogeologischen Erkundung entspr. WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. b) - Ersetzen des realen Grundwasserleiters durch einen homogenen oder geschichteten Grundwasserleiter.

Für gespannte Verhältnisse sind nachfolgend die repräsentativen hydrogeologischen Werte - k-Wert, M-Wert, eventuell der B- und der a-Wert - und für ungespannte Verhältnisse ist der repräsentative k-Wert, die Lage der fiktiven horizontalen Sohle, eventuell der B- und der a-Wert, basierend auf den Ergebnissen der hydrogeologischen Erkundung und der Wahl des Fassungsstandortes, entsprechend WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. c) und 2.4. d) sowie WAPRO 1.42./02, Bild 6, festzulegen und entsprechend Abschnitt 1.1.4. mittlere, maximale und minimale Bedingungen zu berücksichtigen.

1.1.8. Ermittlung der Speisungsverhältnisse entsprechend WAPRO 1.42./02, Bild 6, und der Änderung der Grundwasserneubildung - siehe auch WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.3., vierter Absatz.

1.1.9. Erarbeitung repräsentativer Isohypsenpläne für niedrige, mittlere und hohe Wasserstände des ungestörten natürlichen Zustandes, basierend auf langjährigen hydrologischen Beobachtungen.

1.1.10. Auswahl eines idealisierten geohydraulischen Schemas entsprechend WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.1., 4.3., 4.4., 4.5., 4.6. oder 4.7., das die örtliche Lage der realen Berandungen und die Änderung der dort herrschenden Bedingungen infolge des Brunnenbetriebes am besten widerspiegelt.

- Oftmals ist es zweckmäßig, ein idealisiertes Schema, das den realen Verhältnissen mit größter Wahrscheinlichkeit am nächsten kommt, und je ein Schema, das mit Sicherheit ungünstigere und/oder günstigere Werte für die zu ermittelten geohydraulischen Verhältnisse liefert - siehe WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. a) -, zu wählen. Ausgehend von den erzielten Ergebnissen lassen sich oftmals kompliziertere Schemata auf einfachere zurückführen.

1.1.11. Konkretisierung der geohydraulischen Aufgabenstellung - siehe Abschnitt 1.1.2. - durch Festlegung der

- Brunnenzahl

- ihrer geometrischen Anordnung

- der Förderleistungen der einzelnen Brunnen als Funktion der Zeit einschließlich der Ermittlung der entsprechenden Stufenfunktionen - siehe auch WAPRO 1.42./02, Abschnitt 1.3. -

- im Ausnahmefall die Festlegung einer vorgegebenen Absenkung - WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.2. -

- des Bohrdurchmessers sowie des Ausbaugrades - WAPRO 1.42./02, Abschnitt 3.1. oder 3.2. - wenn bei vorgegebener Entnahmelistung die Berechnung der Absenkung in den entsprechenden Brunnen erfolgen soll.

1.1.12. Berechnung der entsprechend Abschnitt 1.1.2. festgelegten Größen mit Hilfe der Gl. (1) bis (4) und der für die einzelnen Schemata geltenden α -Werte der WAPRO 1.42./02 für die verschiedenen Varianten.

1.1.13. Bewertung der Ergebnisse, ausgehend von der Übereinstimmung der tatsächlichen Verhältnisse mit den gewählten Schemata und den Abweichungen der wahrscheinlichsten Variante von den Grenzvarianten - siehe Abschnitt 1.1.10. Entscheidung, ob ergänzende Untersuchungen entsprechend WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.2., notwendig sind.

1.2. Konstruktive Gestaltung des Brunnenfilters entsprechend WAPRO 1.25/01.

1.3. Bemessung des Brunnenfilters

1.3.1. Ermittlung der Größen d_{10} , d_{60} , $U_d = d_{60}/d_{10}$, d_{17} , d_{50} und - falls möglich - die Angabe der Porosität n oder der Porenzahl e für die Erdstoffe derjenigen Schichten des Grundwasserleiters, die entsprechend Abschnitt 1.2. ausgebaut werden sollen.

1.3.2. Ermittlung der Werte D_{10} , D_{60} , $U_D = D_{60}/D_{10}$ und D_{50} der angebotenen Filtersande und -kiese.

1.3.3. Berechnung der Suffosionssicherheit der Erdstoffe des Grundwasserleiters und des maximalen Suffosionskornes d_g nach WAPRO 4.04./02 oder überschläglich nach Regel 5 des WAPRO 1.42./03.

1.3.4. Bestimmung des zulässigen Grenzbereiches für D_{50} nach Regel 14 des WAPRO 1.42./03 und Auswahl des Filterkieses oder -sandens unter Berücksichtigung von WAPRO 1.42./03, Abschnitt 3.6.

1.3.5. Bestimmung der Öffnungsweiten im Filterrohr nach Regel 1 bis 3 des WAPRO 1.42./03.

1.3.6. Bemessung und Kontrolle der Länge und des Durchmessers des Filterrohres entsprechend WAPRO 1.42./03.

1.3.7. Ermittlung hydraulischer Verluste im Brunnenfilter entsprechend WAPRO 1.42./02, Abschnitt 2.

1.3.8. Festlegung der endgültigen konstruktiven Gestaltung unter Berücksichtigung von WAPRO 1.42./01, Abschnitt 3.3. und WAPRO 1.25/01.

1.4. Nachweis der effektiven Gestaltung der zu betreibenden Anlage entsprechend WAPRO 1.42./01, Abschnitt 4.

2. Berechnungsbeispiele

Aufgabe 1

Zu Abschnitt 1.1.1.

Geforderte Entnahmeganglinie

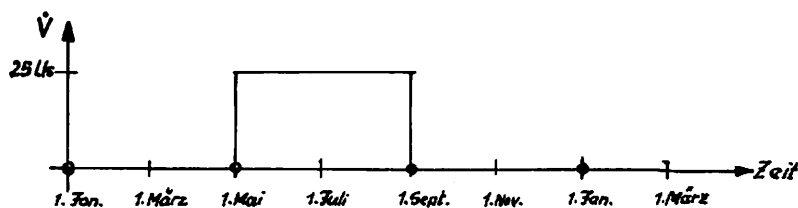


Bild 1

Zu Abschnitt 1.1.2.

- Wie groß ist die Absenkung am Punkt P am 1.9., am 1.1. und am 1.3. eines jeden Jahres?
- Wann wird der stationäre Zustand annähernd erreicht?
- Absenkungsleistungsdiagramm des Brunnens als Funktion der Unvollkommenheit für den stationären Endzustand mit $\dot{V} = 25 \text{ l/s}$.

Zu Abschnitt 1.1.4.

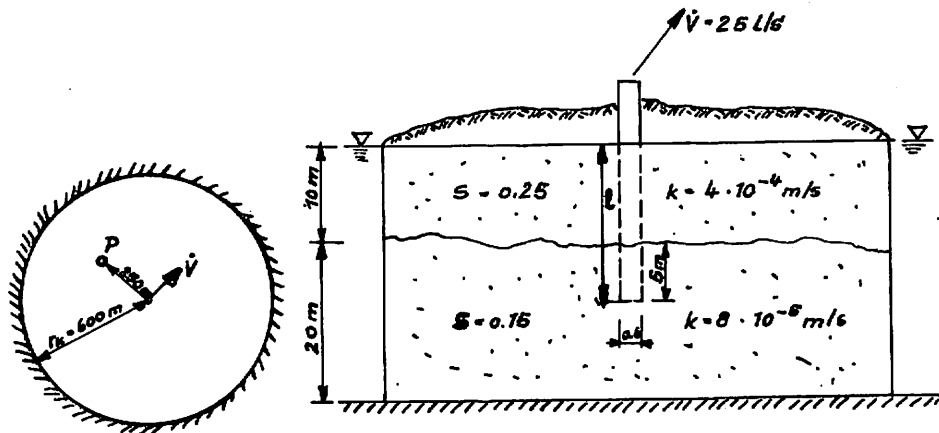


Bild 2

Zu Abschnitt 1.1.5.

Bei $r_k = 600$ m ist $h = 30,0$ m im ungestörten und im gestörten Zustand - $h = \text{const.}$

Zu Abschnitt 1.1.6.

Es wird eine vollkommene äußere Berandung vorausgesetzt.

Zu Abschnitt 1.1.7.

Fall A:

Approximation des schichtenförmigen Aufbaus zu einem fiktiven homogenen Grundwasserleiter - siehe WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. b).

2. Schicht approximiert:

$$T = k \cdot M$$

$$= 20 \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} = 160 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} = 16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$= 4 \text{ m} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1. \text{ Schicht: } 10 \text{ m mit } k = 4 \cdot 10^{-4} \\ 2. \text{ Schicht: } 4 \text{ m mit } k = 4 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 14 \text{ m mit } k = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

20 m mit $k = 8 \cdot 10^{-5}$ m/s reduzieren sich auf 4 m mit $k = 4 \cdot 10^{-4}$ m/s. Dieses Verfahren liefert nur dann richtige Ergebnisse, wenn die Absenkung die zweite Schicht noch nicht erreicht hat - s 10 m.

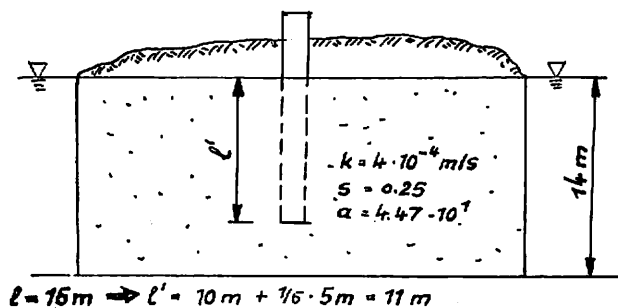


Bild 3

Fall B: -

Wenn die Absenkung bis in die zweite Schicht reicht - $s > 10$ m -, muß der schichtenförmige Aufbau des GW-Leiters berücksichtigt werden. Dabei erhält man für stationäre Strömungsverhältnisse exakte Ergebnisse, wenn das Girinskij-Potential ϕ für den Fall des horizontal geschichteten GW-Leiters interpretiert wird - WAPRO 1.42./02, Abschnitt 1.1.

Für nichtstationäre Verhältnisse ist darüber hinaus für alle Schichten ein einheitlicher S-Wert zu wählen.

Für das vorliegende Beispiel ist $S = 0,25$, da nur während einer kurzen Zeitspanne ein kleines Gebiet mit $S = 0,15$ vom Absenkungstrichter erfaßt wird.

Zu Abschnitt 1.1.10.

Die Verhältnisse entsprechen dem Schema Abschnitt 4.6. in WAPRO 1.42./02, Typ A, Brunnen in zentrischer Lage.

Zu Abschnitt 1.1.11.

Bohrdurchmesser 600 mm

Ausbaugrad $l = 15$ m entspricht $l' = 11$ m im fiktiven homogenen GW-Leiter. Die Berechnungen des Absenkungs-Leistungsdiagrammes in Abhängigkeit von der Unvollkommenheit des Brunnens erfolgt für $l' = 11$ m, $l' = 9$ m, $l' = 7$ m und $l' = 5$ m nach Fall A. Vergleichsweise wird ein vollkommener Brunnen nach Fall A sowie Fall B berechnet.

Zu Abschnitt 1.1.12. - Berechnung

Es gilt WAPRO 1.42./02, Gl. (3), für Einzelbrunnen mit $\dot{V} = \dot{V}(t)$

$$\phi_n - \phi = \frac{1}{4\pi k} \sum_{j=1}^m (\dot{V}_j - \dot{V}_{j-1}) \mathcal{J}(x, t - t_{j-1})$$

Bestimmung der Absenkung im Punkt P:

Schema der Entnahmeganglinie - siehe auch WAPRO 1.42./02, Abschnitt 1.3.

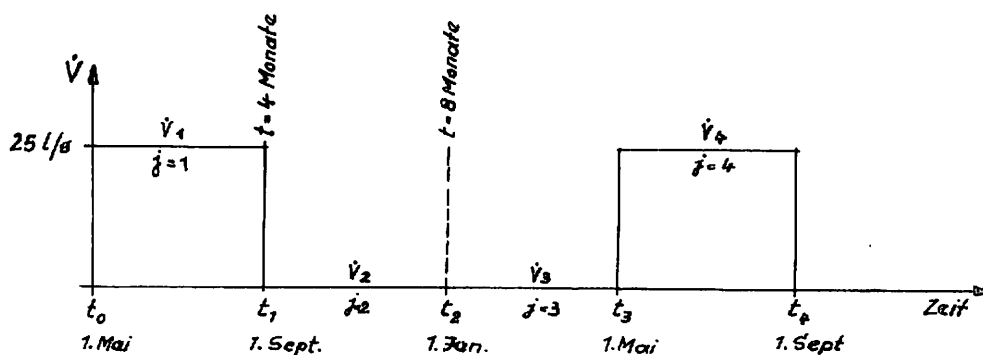


Bild 4

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_1 + \mathcal{J}_2$$

Für die Bestimmung der Absenkung im Punkt P gilt:

$\mathcal{J}_1 = 0$ - siehe WAPRO 1.42./02, Abschnitt 3., erster Satz -

\mathcal{J}_2 wird nach WAPRO 1.42./02, Schema Abschnitt 4.6., Typ A, Gl. (21a), berechnet.

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_2 = 2 \ln \frac{r_K}{r} - f\left(\frac{r}{r_K}, B\right) \quad \text{mit } B = \frac{t}{ar_K^2}$$

Absenkung zur Zeit $t = 4 \text{ Monate} = 1,05 \cdot 10^7 \text{ s}$:

$$\phi_n - \phi = \frac{1}{4\pi k} \left\{ (\dot{v}_1 - \dot{v}_0) \left[2 \ln \frac{r_K}{r} - f \left(\frac{r}{r_K}, B \right) \right] \right\}$$

$$\text{mit } B = \frac{14 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 1,05 \cdot 10^7}{0,25 \cdot 600^2} = 0,65$$

Nach WAPRO 1.42./02, Bild 15, folgt für $B = 0,65$:

$$f \left(\frac{r}{r_K}, B \right) = 2,8 \cdot 10^{-2} \approx 0 \implies \mathcal{J} = 2 \ln \frac{r_K}{r} = 2 \cdot \ln 2,4 = 1,75$$

Der stationäre Zustand wird nach etwa $t \approx 0,7 \cdot r_K^2 \cdot a = 130 \text{ Tagen}$ erreicht - siehe WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.6., Typ A, Gl. (21b). Am Ende einer Pumpperiode ist der stationäre Zustand annähernd erreicht.

$$\phi - \phi = \frac{1}{4\pi k} \cdot \dot{v}_1 \cdot 2 \ln \frac{r_K}{r} = 8,72$$

$$\frac{h_n^2}{2} - \frac{h^2}{2} = 8,72$$

Die Ermittlung von h erfolgt durch nachfolgendes Iterationsverfahren, bei dem die mittlere durchflossene Höhe $(h_n - h)/2$ in erster Näherung gleich h_n gesetzt wird.

$$(h_n - h) = \frac{2 \cdot 8,72}{h_n + h} = \frac{17,44}{14 + 14} = 0,63$$

$$h = 13,37 \text{ m}$$

$$(h_n - h) = \frac{17,44}{27,37} = 0,64$$

Die Absenkung im Punkt P beträgt im stationären Zustand 0,64 m.

Absenkung zum Zeitpunkt $t = 8 \text{ Monate} = 2,1 \cdot 10^7 \text{ s}$:

$$\phi_n - \phi = \frac{1}{4\pi k} \left\{ [(\dot{v}_1 - \dot{v}_0) (2 \ln \frac{r_K}{r} - f(\frac{r}{r_K}, B_1))] + [(\dot{v}_2 - \dot{v}_1) (2 \ln \frac{r_K}{r} - f(\frac{r}{r_K}, B_2))] \right\}$$

$$\text{mit } B_1 = \frac{(t - 0)}{a \cdot r_K^2} = 1,30 \quad B_2 = \frac{(t - t_1)}{a \cdot r_K^2} = 0,65$$

ergibt sich nach WAPRO 1.42./02, Bild 15, unter Beachtung von Abschnitt 1.3. im gleichen Standard

$$f \left(\frac{r}{r_K}, B_1 \right) \approx 0 \quad f \left(\frac{r}{r_K}, B_2 \right) = 2,8 \cdot 10^{-2} \approx 0$$

$$\phi_n - \phi = \frac{1}{4\pi k} (25 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \ln \frac{r_K}{r} - 25 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \ln \frac{r_K}{r})$$

$$\phi_n - \phi = 0$$

Zur Zeit $t = 8 \text{ Monate}$ ist der Ausgangswasserspiegel nahezu wieder erreicht.

Zeit-Absenkungsdiagramm für den Punkt P:

t	0	1 M	2 M	3 M	4 M	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
s	0	0,25	0,50	0,59	0,64	0,39	0,14	0,05	0	0

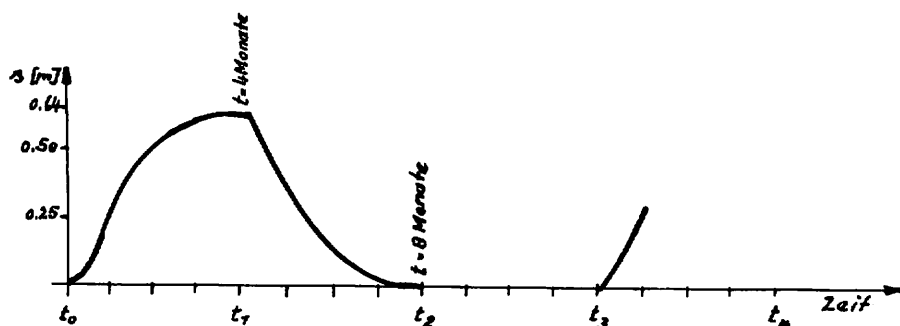


Bild 5

Aufstellen des Absenkungs-Leistungsdiagramms für den stationären Endzustand:
Vollkommener Brunnen

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{(\varnothing_n - \varnothing_o) 4\pi k}{2 \ln \frac{r_k}{r_o}} = (\varnothing_n - \varnothing_o) \frac{4\pi \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot \ln \frac{600}{0,3}} && - \text{WAPRO 1.42./02, Gl. (1) mit Gl. (21b)} \\ &= (\varnothing_n - \varnothing_o) \frac{5,03 \cdot 10^{-3}}{15,2} \end{aligned}$$

$$\dot{V} = (\varnothing_n - \varnothing_o) 3,31 \cdot 10^{-4}$$

Berechnung nach Fall A:

$$s_{Br} = 2 \text{ m} \quad \dot{V} = \left(\frac{14^2}{2} - \frac{12^2}{2} \right) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 4 \text{ m} \quad \dot{V} = \left(\frac{14^2}{2} - \frac{10^2}{2} \right) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 15,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 8 \text{ m} \quad \dot{V} = \left(\frac{14^2}{2} - \frac{6^2}{2} \right) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 26,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 10 \text{ m} \quad \dot{V} = \left(\frac{14^2}{2} - \frac{4^2}{2} \right) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 29,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 12 \text{ m} \quad \dot{V} = \left(\frac{14^2}{2} - \frac{2^2}{2} \right) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 31,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 14 \text{ m} \quad \dot{V} = \left(\frac{14^2}{2} - 0 \right) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 32,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Berechnung nach Fall B:

$$k^* \text{ frei wählbar} \quad k^* = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\varnothing = 1/k^* \int_0^h k_B (h - z) dz \quad - \text{siehe WAPRO 1.42./02, Abschnitt 1.1.}$$

$$\varnothing_n \hat{=} s = 0 \text{ bzw. } h = 30 \text{ m:}$$

$$\begin{aligned} \varnothing_n &= 1/4 \cdot 10^{-4} \left\{ [8 \cdot 10^{-5} (hz - \frac{z^2}{2})] \Big|_{z=0}^{z=20} + [4 \cdot 10^{-4} (hz - \frac{z^2}{2})] \Big|_{z=20}^{z=30} \right\} \\ &= \frac{1}{5} (600 - 200) + 1 (900 - 450 - 600 + 200) \\ &= 80 \quad + 50 \quad = 130 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Für $s = 2$ m bzw. $h = 28$ m:

$$\begin{aligned} \phi &= 1/4 \cdot 10^{-4} \left\{ [8 \cdot 10^{-5} (hs - \frac{s^2}{2})]_{s=0}^{s=20} + [4 \cdot 10^{-4} (hs - \frac{s^2}{2})]_{s=20}^{s=28} \right\} \\ &= \frac{1}{5} (560 - 200) + 1 (784 - 392 - 560 + 200) \\ &= 72 + 32 = 104 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Für $s = 4$ m bzw. $h = 26$ m:

$$\phi = \frac{1}{5} (520 - 200) + 1 (676 - 338 - 520 + 200) = 82 \text{ m}^2$$

Für $s = 8$ m bzw. $h = 22$ m:

$$\phi = \frac{1}{5} (440 - 200) + 1 (484 - 242 - 440 + 200) = 50 \text{ m}^2$$

Für $s = 10$ m bzw. $h = 20$ m:

$$\phi = \frac{1}{5} (400 - 200) = 40 \text{ m}^2$$

Für $s = 20$ m bzw. $h = 10$ m ($\hat{=} s = 12$ m im reduzierten System):

$$\phi = \frac{1}{5} (100 - 50) = 10 \text{ m}^2$$

Für $s = 30$ m bzw. $h = 0$ ($\hat{=} s = 14$ m im reduzierten System):

$$\phi = 0 \text{ m}^2$$

$$s_{Br} = 2 \text{ m} \quad \dot{V} = (130 - 104) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 4 \text{ m} \quad \dot{V} = (130 - 82) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 15,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 8 \text{ m} \quad \dot{V} = (130 - 50) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 26,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 10 \text{ m} \quad \dot{V} = (130 - 40) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 29,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 20 \text{ m} \quad \dot{V} = (130 - 10) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 39,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$s_{Br} = 30 \text{ m} \quad \dot{V} = (130 - 0) \cdot 3,31 \cdot 10^{-4} = 43,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Bis zu einer Absenkung von $s = 10$ m liefern beide Fälle die gleichen Ergebnisse. Bei $s > 10$ m liegen die Ergebnisse nach Fall A zu niedrig. Die Berechnung der Absenkung in einem unvollkommenen Brunnen ist nur nach Fall A möglich!

Unvollkommener Brunnen $l' = 11$ m

- Siehe WAPRO 1.42./02, Gl. (1) mit \mathcal{J}_1 nach Abschnitt 3.1. und Gl. (21b) mit \mathcal{J}_2 nach Abschnitt 4.6.

$$\begin{aligned} s_0 = 2 \text{ m} \quad M^* = H - 0,5 s_0 = 14 - 1 = 13 \text{ m}; \quad \frac{M^*}{r_0} = \frac{13}{0,3} = 43,5 \\ l^* = 1 - 0,5 s_0 = 11 - 1 = 10 \text{ m}; \quad \frac{l^*}{M^*} = \frac{10}{13} = 0,77 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} s_0 = 2 \text{ m} \\ l^* = 1 - 0,5 s_0 \end{aligned}} \right\} \begin{array}{l} \text{nach WAPRO 1.42./02, Tab. 1:} \\ \mathcal{J}_1 = 1,3 \end{array}$$

$$\dot{V} = \frac{(\phi_1 - \phi_0) 4\pi k}{2 \ln \frac{r_k}{r_0} + \mathcal{J}_1} = \frac{(196 - 144) 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{15,2 - 1,3} = 7,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{array}{l}
 s_0 = 4 \text{ m} \quad M^* = 14 - 2 = 12 \text{ m}; \quad \frac{M^*}{F_0} = \frac{12}{0,3} = 40 \\
 l^* = 11 - 2 = 9 \text{ m}; \quad \frac{l^*}{M^*} = \frac{9}{12} = 0,75
 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} s_0 = 4 \text{ m} \\ l^* = 11 - 2 = 9 \text{ m} \end{array}} \right\} \mathcal{S}_1 = 1,5$$

$$\dot{V} = \frac{(196 - 100) 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{15,2 + 1,5} = 14,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{array}{l}
 s_0 = 8 \text{ m} \quad M^* = 14 - 4 = 10 \text{ m}; \quad \frac{M^*}{F_0} = \frac{10}{0,3} = 33 \\
 l^* = 11 - 4 = 7 \text{ m}; \quad \frac{l^*}{M^*} = \frac{7}{10} = 0,7
 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} s_0 = 8 \text{ m} \\ l^* = 11 - 4 = 7 \text{ m} \end{array}} \right\} \mathcal{S}_1 = 1,8$$

$$\dot{V} = \frac{(196 - 36) 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{15,2 + 1,8} = 23,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{array}{l}
 s_0 = 10 \text{ m} \quad M^* = 14 - 5 = 9 \text{ m}; \quad \frac{M^*}{F_0} = \frac{9}{0,3} = 30 \\
 l^* = 11 - 5 = 6 \text{ m}; \quad \frac{l^*}{M^*} = \frac{6}{9} = 0,66
 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} s_0 = 10 \text{ m} \\ l^* = 11 - 5 = 6 \text{ m} \end{array}} \right\} \mathcal{S}_1 = 2,1$$

$$\dot{V} = \frac{(196 - 16) 2 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{15,2 + 2,1} = 26,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Die Förderleistung für $l' = 11 \text{ m}$, $l' = 9 \text{ m}$, $l' = 7 \text{ m}$, $l' = 5 \text{ m}$ wurde in nachfolgende Abbildung eingetragen.

Berechnung für $l' = 9 \text{ m}$, $l' = 7 \text{ m}$, $l' = 5 \text{ m}$ erfolgt genau nur für $l' = 11 \text{ m}$.

Die Größe \mathcal{S}_1 läßt sich nur im ungeschichteten GW-Leiter berechnen. Deshalb erfolgt die Bestimmung der Wassermenge für den Brunnen mit $l' = 11 \text{ m} \hat{=} l = 15 \text{ m}$ nur bis zu einer Absenkung $s_0 = 10 \text{ m}$.

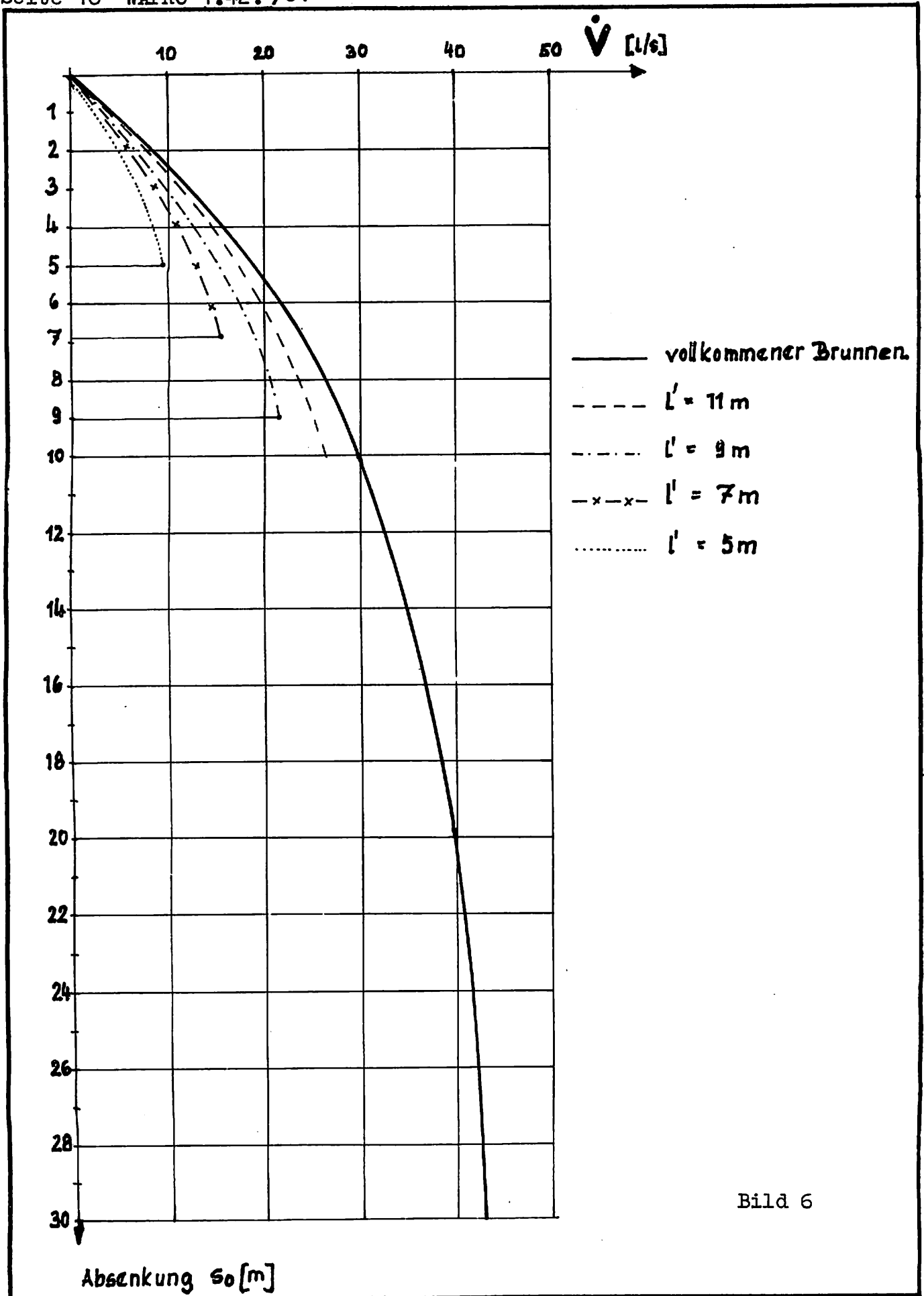


Bild 6

Aufgabe 2

Zu Abschnitt 1.1.1.

Entnahmemenge: 40 l/s

Pumpenbetrieb: 24 h/d ganzjährig

Zu Abschnitt 1.1.2.

- Aufstellen des neuen Isohypsenplanes
- Bestimmung des Uferfiltratanteiles
- Aufenthaltszeit des Uferfiltrats im Boden.

Alle Untersuchungen sind für den stationären Endzustand durchzuführen.

Zu Abschnitt 1.1.4.

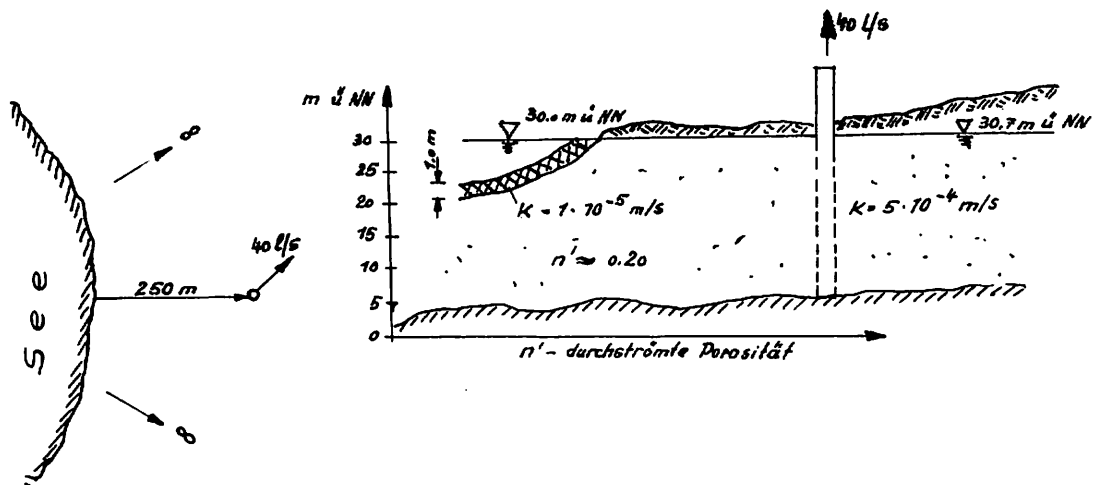


Bild 7

Zu Abschnitt 1.1.5.

Die Randbedingungen sind im ungestörten und im gestörten Zustand gleich - Wasserstand im See ist konstant.

Zu Abschnitt 1.1.6.

Die Berandung des Sees ist unvollkommen und die Sohle kolmatiert. Es tritt somit eine Fließwegverlängerung von $\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$ auf.

Berechnung von ΔL_1 Nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 5.2., Bild 13, ergibt sich für $b/M > 1$:

$$\frac{\Delta L_1}{M} = 0,43 \quad \text{und daraus} \quad \Delta L_1 = 0,43 \cdot M = 0,43 \cdot 25 = 11 \text{ m}$$

Berechnung von ΔL_2 Nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 5.3., gilt bei $b \rightarrow \infty$ und $k_u \geq 50 k_v$:

$$\Delta L_2 = \sqrt{\frac{k_u \cdot M \cdot d}{k_v}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 25 \cdot 1}{1 \cdot 10^{-5}}} = 35 \text{ m}$$

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = 46 \text{ m}$$

Um diesen Betrag muß die Berandung des Sees vom Brunnen weggerückt werden.

Zu Abschnitt 1.1.7.

Die fiktive horizontale Sohle liegt bei 5 m über NN - vergleiche auch WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. c).

Zu Abschnitt 1.1.9.

Bild 12 zeigt den repräsentativen Isohypsenplan.

Zu Abschnitt 1.1.10.

Die Verhältnisse entsprechen WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.7., Typ B, parabolische Berandung. Dementsprechend lautet die Gleichung der Randkurve

$$r_R = \frac{D}{1 + \cos \alpha}$$

Durch Variation von p wird eine Parabel konstruiert, die möglichst genau der natürlichen Berandung entspricht. Im vorliegenden Fall bildet die Parabel mit dem Parameter $p = 280$ m eine gute Näherung.

Das idealisierte Berechnungsschema hat nun folgendes Aussehen:

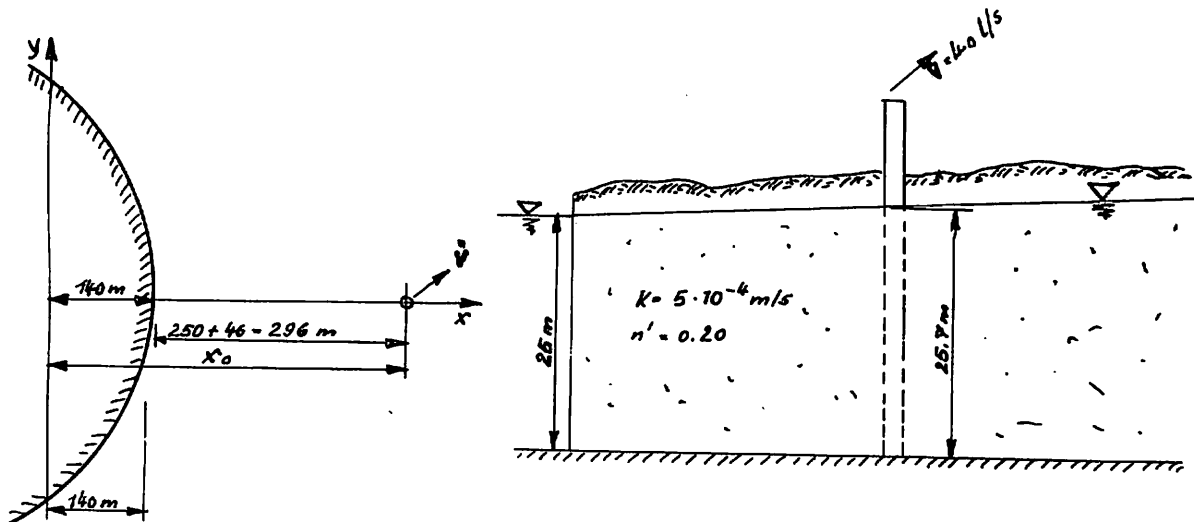


Bild 8

$$x_0 = \frac{280}{2} + 296,0 = 436,0 \text{ m}$$

Zu Abschnitt 1.1.11.

Bohrdurchmesser des Brunnens 800 mm - vollkommener Brunnen.

Zu Abschnitt 1.1.12. - Berechnungen

Aufstellen des neuen Isohypsenplanes

Der Isohypsenplan - Bezugswerte - im ungestörten Zustand ist gegeben - siehe Bild 12.

Die Absenkungen infolge des Pumpbetriebes werden punktweise im gesamten Untersuchungsgebiet bestimmt und von den Wasserständen des Bezugsisohypsenplanes abgezogen, - die Berechnung an drei Punkten dient als Beispiel -. Danach kann der neue Isohypsenplan aufgestellt werden - siehe Bild 13.

Die Berechnung der Absenkung erfolgt nach WAPRO 1.42./02, Gl. (1), für Einzelbrunnen mit $\dot{V} = \text{const.}$

$$s_n - s = \frac{\dot{V}}{4\pi k} \cdot \mathcal{J}(r, t)$$

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_1 + \mathcal{J}_2$$

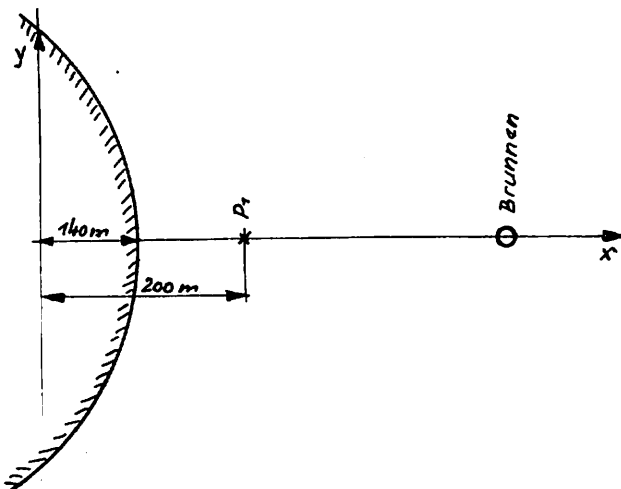
$\mathcal{J}_1 = 0$, da der Brunnen vollkommen ist

\mathcal{J}_2 ergibt sich nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.7., Typ B, Gl. (26a) und (26b) zu:

$$\mathcal{J}_2 = \ln \frac{(\sqrt{2p} - \sqrt{x_0})^2 - 2(\sqrt{2p} - \sqrt{x_0})\sqrt{r} \cos(\alpha/2) + r}{x_0 - 2\sqrt{x_0}\sqrt{r} \cos(\alpha/2) + r}$$

$$\mathcal{J}_2(x_0) = 2 \ln \frac{4x_0 - 2\sqrt{2px_0}}{r_0}$$

Ermittlung der Absenkung im Punkt P_1 :



Gegeben:

r	=	200 m
x_0	=	436 m
p	=	280 m
h_n	=	25,15 m - nach Bild 12
α	=	0°

Bild 9

$$s_n - s = \frac{\dot{V}}{4\pi k} \cdot \ln \frac{(\sqrt{2p} - \sqrt{x_0})^2 - 2(\sqrt{2p} - \sqrt{x_0})\sqrt{r} \cos(\alpha/2) + r}{x_0 - 2\sqrt{x_0}\sqrt{r} \cos(\alpha/2) + r}$$

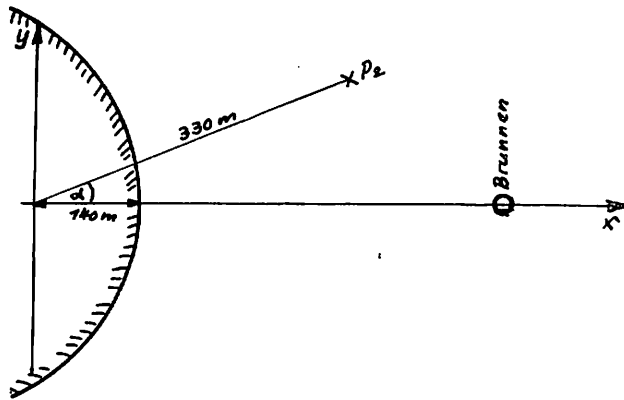
$$= \frac{0,040}{4 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-4}} \ln 2,4 = 6,38 \cdot 0,87 = 5,55$$

$$\frac{h_n^2}{2} - \frac{h^2}{2} = 5,55$$

$$(h_n - h) = \frac{2 \cdot 5,55}{(h_n + h)} \approx \frac{11,1}{50} = 0,22 \text{ m}$$

$$h = 24,93$$

$$h_n - h = \frac{11,68}{50,08} = 0,22 \text{ m}$$

Ermittlung der Absenkung im Punkt P_2 :

Gegeben:

r	=	330 m
x_0	=	436 m
p	=	280 m
h_n	=	25,4 m - nach Bild 12
α	=	34^\circ

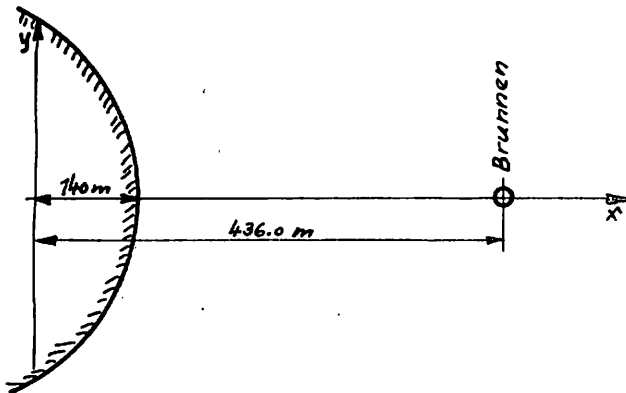
Bild 10

$$\phi_n - \phi = \frac{\dot{v}}{4\pi k} \cdot \ln \frac{(\sqrt{2p} - \sqrt{x_0})^2 - 2(\sqrt{2p} - \sqrt{x_0}) \cdot \sqrt{r} \cos(\alpha/2) + r}{x_0 - 2\sqrt{x_0} \sqrt{r} \cos(\alpha/2) + r}$$

$$= 6,38 \cdot \ln 5,8 = 6,38 \cdot 1,75 = 11,2$$

$$h_n^2 - h^2 = 2 \cdot 11,2$$

$$h_n - h = 0,44 \text{ m}$$

Ermittlung der Absenkung im Brunnen P_3 :

Gegeben:

x_0	=	436 m
p	=	280 m
r_0	=	0,4 m
h_n	=	25,7 m - nach Bild 12

Bild 11

$$\phi_n - \phi = \frac{\dot{v}}{4\pi k} \cdot 2 \ln \frac{4x_0 - 2\sqrt{2px_0}}{r_0} = 6,38 \cdot 2 \cdot \ln 1890 = 96,3$$

$$h_n - h = 4,08 \text{ m}$$

Ischyepsenplan im ungestörten Zustand

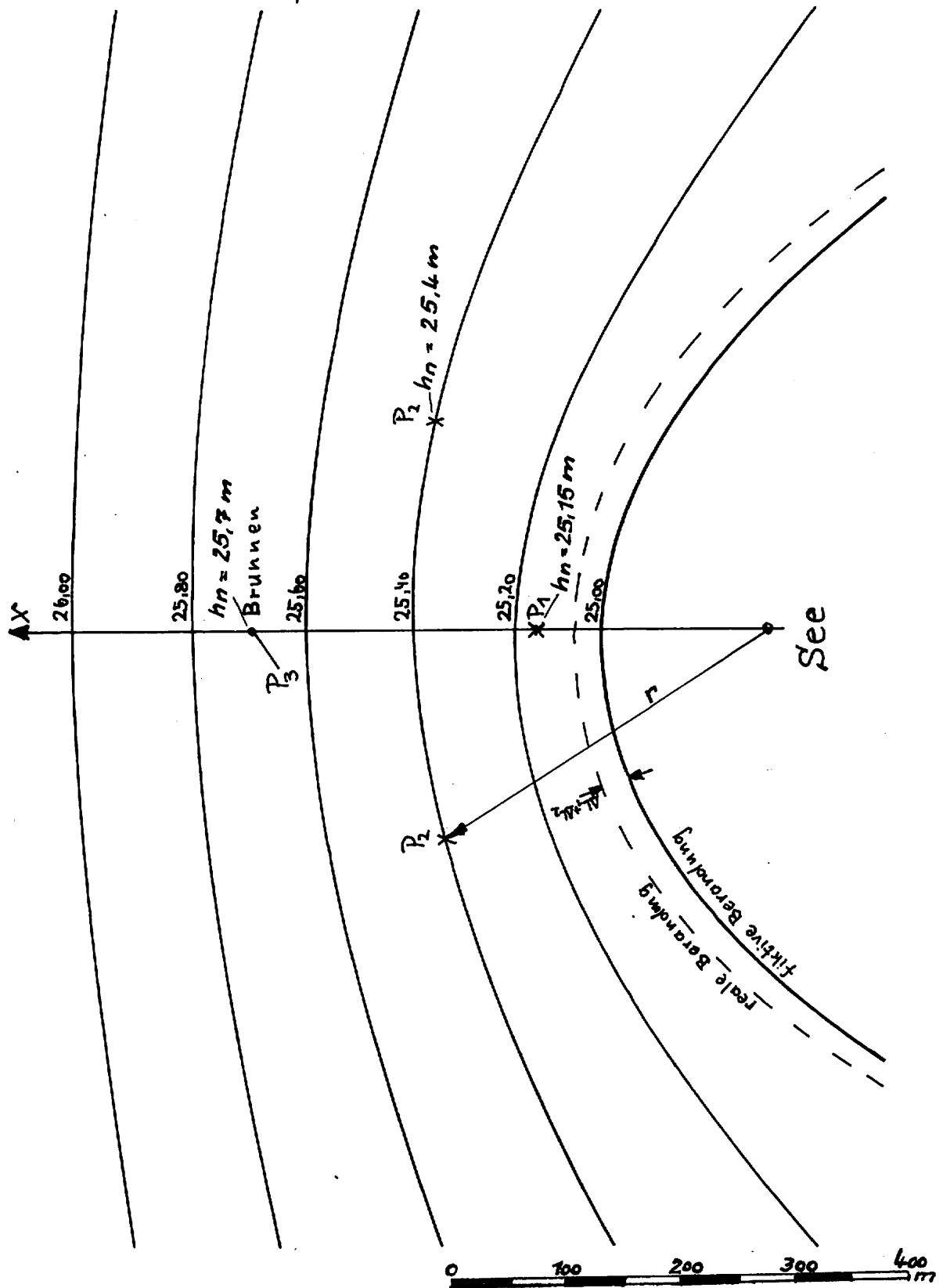


Bild 12

Isohypsenplan bei Pumpbetrieb

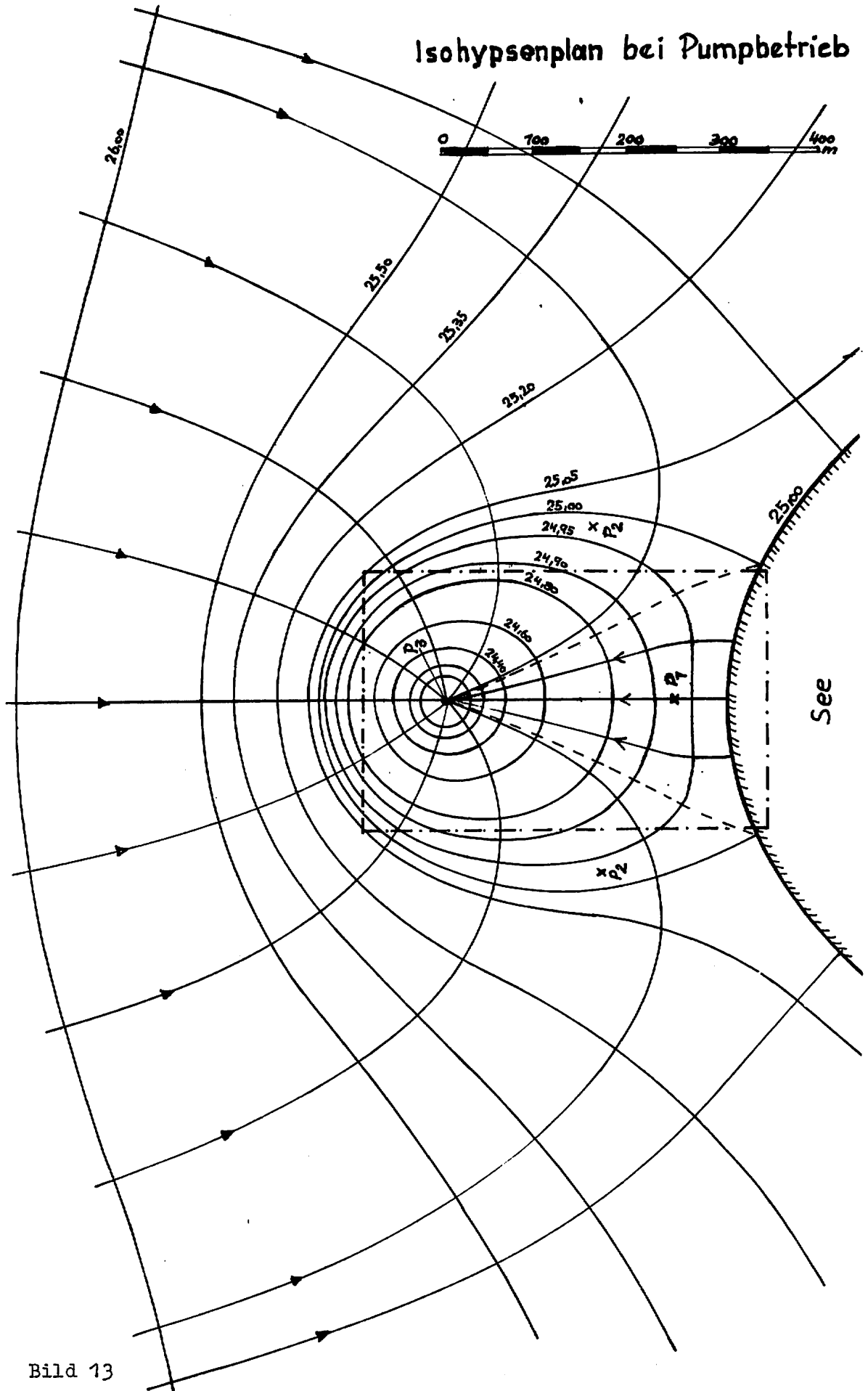


Bild 13

Isohypsenplan bei Pumpbetrieb (Ausschnitt aus Bild 13)

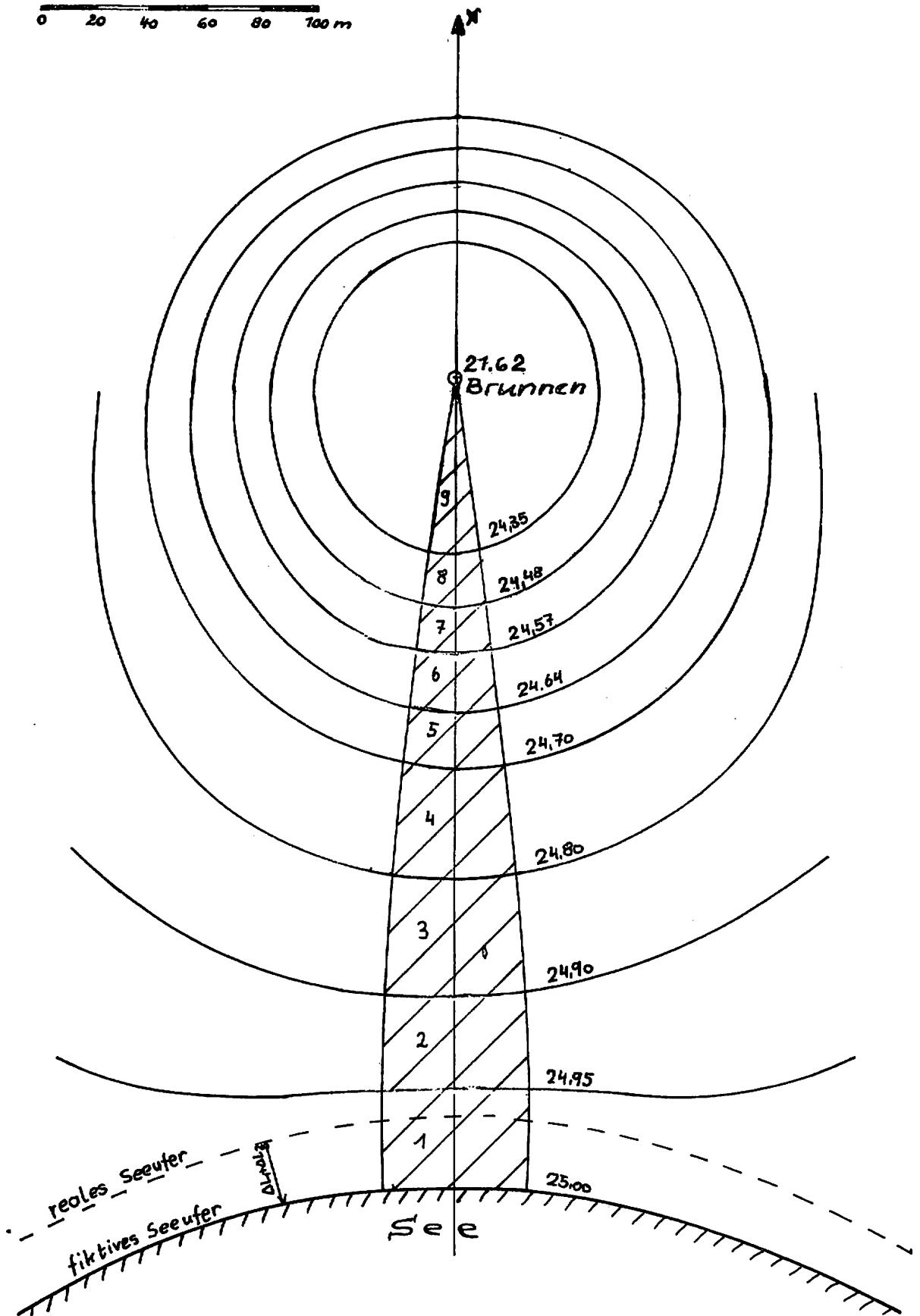


Bild 14

Bestimmung des Uferfiltratanteiles

Der Uferfiltratanteil an der Gesamtförderung ist aus dem Verlauf der Stromlinien bei Pumpbetrieb bestimmbar. Die Stromlinie - siehe Bild 13 - bildet die Grenze zwischen Uferfiltrat und dem natürlichen Grundwasserzufluß. Der Brunnen fördert etwa 15 % uferfiltriertes Seewasser - siehe auch Bild 13.

Ermittlung der Aufenthaltszeit des Uferfiltrates im Boden

Die Aufenthaltszeit des Uferfiltrates ist indirekt proportional der Abstandsgeschwindigkeit v_a . Die Berechnung erfolgt für die kürzeste Stromröhre - siehe Bild 14.

Es gilt:

$$v = k \cdot \frac{dh}{dl}$$

v - Filtergeschwindigkeit

$\frac{dh}{ds}$ - Spiegelgefälle

$\frac{dh}{dl} \approx \frac{\Delta h}{\Delta l}$ - siehe Bild 15

$$v_a = \frac{v}{n'}$$

v_a - Abstandsgeschwindigkeit

n' - durchströmte Porosität

Die stetige Funktion der Geschwindigkeit wird in eine Stufenfunktion mit Δh_i und Δl_i überführt - siehe Bild 15. Die Aufenthaltszeit ergibt sich damit zu:

$$t = \int_{s=0}^{s_{Br}} \frac{dl}{v_a} \sum_{i=1}^9 \frac{1}{v_{a_i}} \cdot \Delta l_i \quad - \text{siehe Bild 16}$$

Der Wert von $\frac{1}{v_a}$ für die einzelnen Abschnitte wird durch graphischen Ausgleich ermittelt. Hierbei auftretende Fehler haben nur sehr geringen Einfluß auf das Gesamtergebnis - siehe Tabelle 1.

Tabelle 1

Feld	k	Δh	Δl	$\frac{\Delta h}{\Delta l}$	$v = k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta l}$	$v_a = \frac{v}{n'}$	$\frac{1}{v_a}$	$\frac{1}{v_a} \cdot \Delta l$
	$m \cdot s^{-1}$	m	m	./.	$m \cdot s^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$	$s \cdot m^{-1}$	s
1	$5 \cdot 10^{-4}$	0,05	37	0,00135	$6,75 \cdot 10^{-7}$	$3,38 \cdot 10^{-6}$	$2,95 \cdot 10^5$	$1,095 \cdot 10^7$
2		0,05	34	0,00147	$7,35 \cdot 10^{-7}$	$3,68 \cdot 10^{-6}$	$2,72 \cdot 10^5$	$9,250 \cdot 10^6$
3		0,10	42	0,00238	$1,19 \cdot 10^{-6}$	$5,95 \cdot 10^{-6}$	$1,68 \cdot 10^5$	$7,060 \cdot 10^6$
4		0,10	40	0,00250	$1,25 \cdot 10^{-6}$	$6,25 \cdot 10^{-6}$	$1,60 \cdot 10^5$	$6,400 \cdot 10^6$
5		0,06	20	0,00300	$1,50 \cdot 10^{-6}$	$7,50 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^5$	$2,660 \cdot 10^6$
6		0,07	22	0,00318	$1,59 \cdot 10^{-6}$	$7,95 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^5$	$2,770 \cdot 10^6$
7		0,09	16	0,00562	$2,71 \cdot 10^{-6}$	$1,36 \cdot 10^{-5}$	$7,35 \cdot 10^4$	$1,180 \cdot 10^6$
8		0,13	20	0,00650	$3,25 \cdot 10^{-6}$	$1,63 \cdot 10^{-5}$	$6,13 \cdot 10^4$	$1,230 \cdot 10^6$
9		2,73	65				$1,60 \cdot 10^3*$	$0,104 \cdot 10^6$
		3,38	296					

*graphisch ermittelter Wert

$$= 4,16 \cdot 10^7$$

$$4,16 \cdot 10^7 \text{ s} = 482 \text{ Tage}$$

Die Aufenthaltszeit des Uferfiltrates beträgt für die kürzeste Stromröhre 482 Tage.

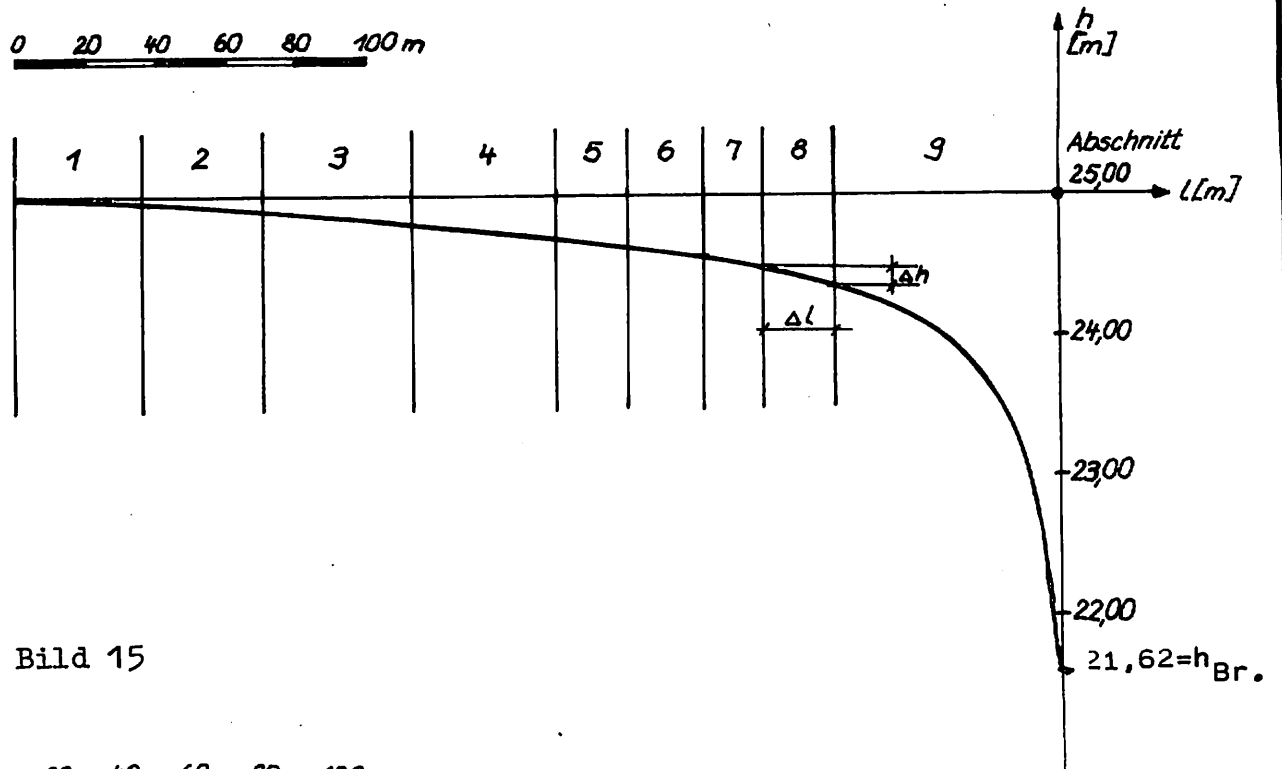


Bild 15

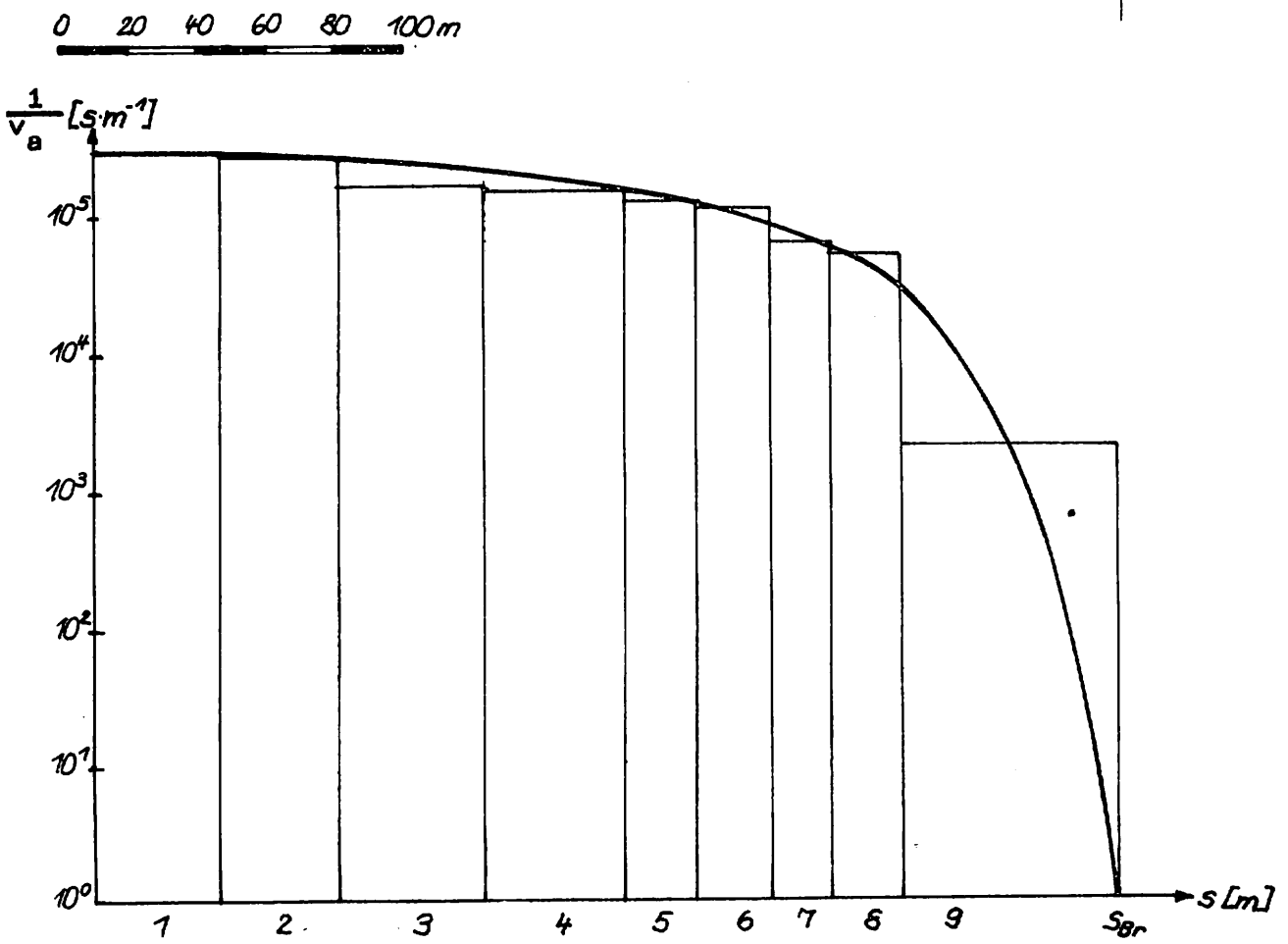


Bild.16

Aufgabe 3

Zu Abschnitt 1.1.1.

Entnahmemenge: $\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = 25 \text{ l/s}$

Pumpenbetrieb: 24 h/d ganzjährig

Zu Abschnitt 1.1.2.

- a) Berechnung der Absenkung im Punkt P nach 1 Monat, 1 Jahr und im stationären Endzustand
- b) Berechnung der Absenkung im Brunnen 1 nach 1 Monat, 1 Jahr und im stationären Endzustand.

Zu Abschnitt 1.1.4.

Die Brunnengruppe liegt in einem einseitig begrenzten GW-Leiter.

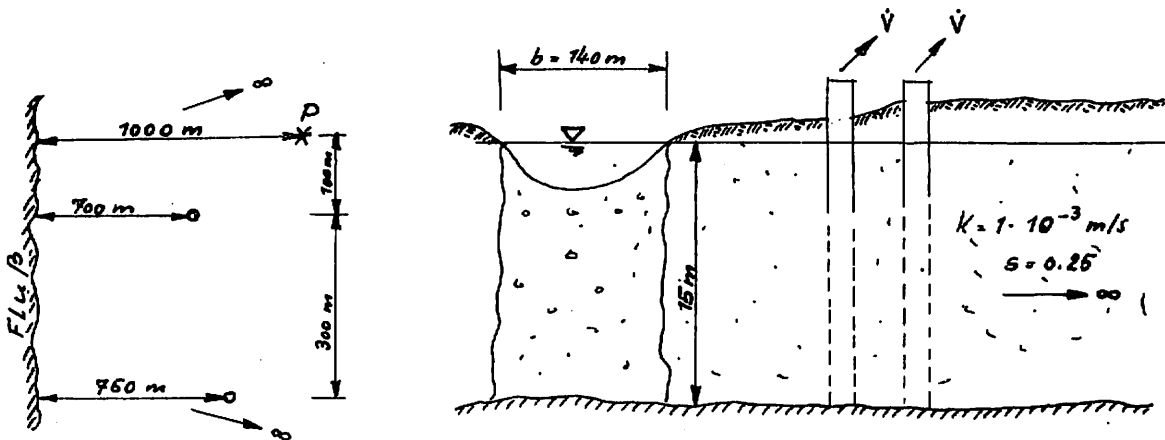


Bild 17

Zu Abschnitt 1.1.5.

Im ungestörten und im gestörten Zustand bleiben die Randbedingungen gleich. Der Fluß entspricht der Randbedingung $\varphi_2 = 0$.

Zu Abschnitt 1.1.6.

Der Fluß ist nicht kolmatiert. Der Untergrund besteht aus Flußschotter. Die Berandung ist daher vollkommen - siehe Studie zum Standard, Abschnitt 1.5.1.

Zu Abschnitt 1.1.7.

Die fiktive horizontale Sohle wird bei 15 m unter Flußwasserspiegel festgelegt - siehe WAPRO 2.42./01, Abschnitt 2.4. c).

Zu Abschnitt 1.1.10.

Die Verhältnisse entsprechen WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.3., Typ A.

Absenkung im Punkt P nach 1 Jahr:

$$\vartheta_n - \vartheta = \frac{1}{4\pi k} \left\{ \dot{v}_1 [W(\sigma_{r1}) - W(\sigma_{g1})] + \dot{v}_2 [W(\sigma_{r2}) - W(\sigma_{g2})] \right\}$$

$$\sigma_{r1} = 3 \cdot 10^{-2} \Rightarrow W(\sigma) = 2,96$$

$$\sigma_{g1} = 0,43 \Rightarrow W(\sigma) = 0,63$$

$$\sigma_{r2} = 13 \cdot 10^{-2} \Rightarrow W(\sigma) = 3,85$$

$$\sigma_{g2} = 0,39 \Rightarrow W(\sigma) = 0,72$$

$$h_n^2 - h^2 = 2 \cdot 10,74$$

$$h_n - h = s = 15,00 - 14,25 = 0,75 \text{ m}$$

Absenkung im Punkt P stationär:

Nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.3., gilt für $t \geq 5 \cdot g^2 \cdot a$

$$t \geq \frac{1795^2 \cdot 5 \cdot 0,25}{15 \cdot 10^{-3}} = 2,68 \cdot 10^8 \text{ [s]} = 8,5 \text{ Jahre}$$

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_2 = 2 \ln \frac{S}{r}$$

$$\vartheta_n - \vartheta = \frac{1}{4\pi k} [\dot{v}_1 \cdot 2 \ln \frac{S_1}{r_1} + \dot{v}_2 \cdot 2 \ln \frac{S_2}{r_2}] = 12,05$$

$$h_n - h = \frac{2 \cdot 12,05}{h_n + h} = \frac{2 \cdot 12,05}{30} = 0,80 \text{ m}$$

$$h_n - h = s = \frac{2 \cdot 12,05}{29,20} = 0,825 \text{ m}$$

Absenkung im Brunnen 1 nach 1 Monat:

$$r = r_0 \quad \mathcal{J}_0 = 2 \lambda_1$$

$$\vartheta_n - \vartheta = \frac{1}{4\pi k} \left\{ \dot{v}_1 [W(\sigma_{r0}) - W(\sigma_{g0})] + \dot{v}_2 [W(\sigma_{r12}) - W(\sigma_{g12})] \right\}$$

$$\sigma_{r0} = 1,98 \cdot 10^{-7} \Rightarrow W(\sigma) = 14,85$$

$$\sigma_{g0} = 3,6 \Rightarrow W(\sigma) = 7 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_{r12} = 0,149 \Rightarrow W(\sigma) = 1,51$$

$$\sigma_{g12} = 3,5 \Rightarrow W(\sigma) = 7,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\vartheta_n - \vartheta = 32,5$$

$$h = \sqrt{h_n^2 - 2 \cdot 32,5} = \sqrt{225 - 65} = 12,65$$

$$h_n - h = s = 15,00 - 12,65 = 2,35 \text{ m}$$

Absenkung im Brunnen 1 nach 1 Jahr:

$$s_n - s = \frac{1}{4\pi k} \left\{ \dot{V}_1 [w(\sigma_{r_0}) - w(\sigma_{s_0})] + \dot{V}_2 [w(\sigma_{r_{12}}) - w(\sigma_{s_{12}})] \right\}$$

$$\sigma_{r_0} = 1,63 \cdot 10^{-8} \Rightarrow w(\sigma) = 17,30$$

$$\sigma_{s_0} = 0,3 \Rightarrow w(\sigma) = 0,91$$

$$\sigma_{r_{12}} = 1,23 \cdot 10^{-2} \Rightarrow w(\sigma) = 3,86$$

$$\sigma_{s_{12}} = 0,29 \Rightarrow w(\sigma) = 0,94$$

$$= 38,4$$

$$h = \sqrt{h_n^2 - 2 \cdot 38,4} = \sqrt{225 - 76,8} = 12,18 \text{ m}$$

$$h_n - h = s = 15,00 - 12,18 = 2,82 \text{ m}$$

=====

Absenkung im Brunnen 1 stationär:

$$s = s_2 = 2 \cdot \ln \frac{S}{r_1} \quad \text{gilt bei } t \geq 5 \cdot S^2 \cdot a \quad \text{mit } S = 2\lambda_1$$

$$t \geq \frac{1500^2 \cdot 5 \cdot 0,25}{15 \cdot 10^{-3}} = 1,88 \cdot 10^8 \text{ [s]}$$

$$= 6 \text{ Jahre}$$

$$s_n - s = \frac{1}{4\pi k} [V_1 \cdot 2 \ln \frac{S_0}{r_0} + V_2 \cdot 2 \ln \frac{S_{12}}{r_{12}}] = 39,5$$

$$h_n - h = 2,90 \text{ m}$$

=====

Aufgabe 4

Zu Abschnitt 1.1.1.

Entnahmemenge: $\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \text{bis } \dot{V}_1 = 10 \text{ l/s; } 25 \text{ Brunnen}$

Zu Abschnitt 1.1.2.

- Absenkung im mittleren Brunnen der Reihe
- Wieviel Wasser fließt aus GW-Neubildung?
- Wieviel Wasser fließt aus Fluß 1 zu?
- Wieviel Wasser fließt aus Fluß 2 zu?

Alle Untersuchungen sind für den stationären Endzustand durchzuführen.

Zu Abschnitt 1.1.4.

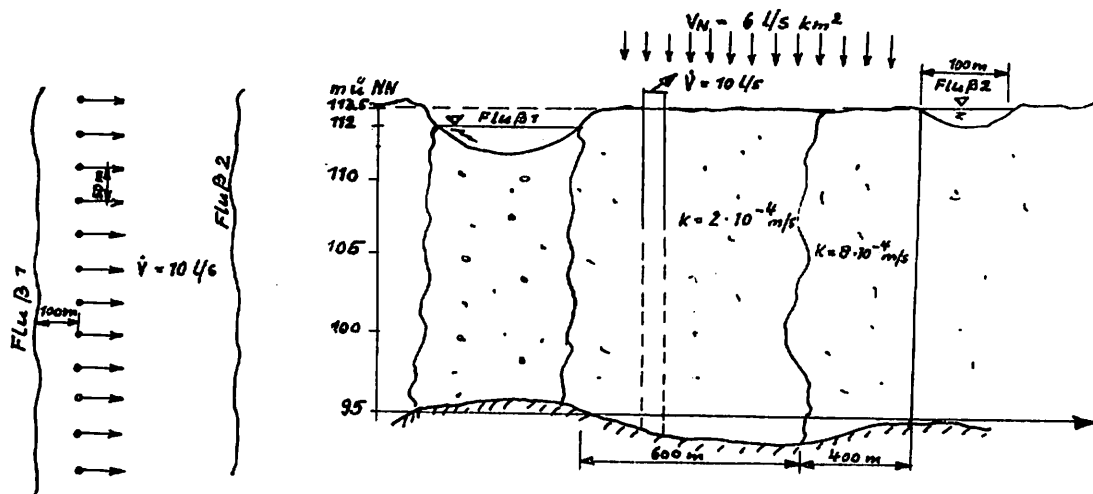


Bild 19

Zu Abschnitt 1.1.5.

Die Randbedingungen sind im gestörten und im ungestörten Zustand gleich, - Flußwasserspiegel konstant -.

Zu Abschnitt 1.1.6.

Der Fluß 1 wird als vollkommene Berandung vorausgesetzt. Der Fluß 2 entspricht einer unvollkommenen Berandung, die durch eine zusätzliche Fließlänge ΔL_1 berücksichtigt wird.

Nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 5.2., Bild 12, ergibt sich bei $b/M \gg 1$

$$\frac{\Delta L_1}{M} = 0,43 \implies \Delta L_1 = 0,43 \cdot 18,5 = 8 \text{ m}$$

Zu Abschnitt 1.1.7.

Die fiktive horizontale Sohle wird bei 95 m über NN festgelegt - siehe WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. c).

400 m mit $k = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ entsprechen 100 m mit $k = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ - siehe WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. b). - 8 ist für die stationäre Strömung nicht zu berücksichtigen.

Zu Abschnitt 1.1.9.

Grundwasserspiegel im ungestörten Zustand:

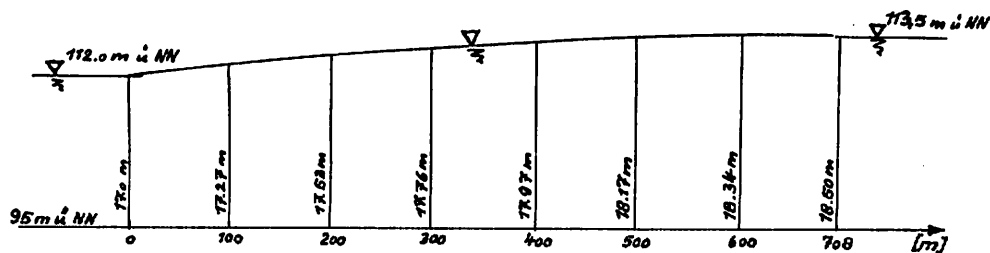


Bild 20

Zu Abschnitt 1.1.10.

Die Verhältnisse entsprechen dem WAPRO 1.42./02, Schema Abschnitt 4.5., Typ A, mit Brunnengruppen im rechteckig begrenzten Grundwasserleiter. Vernachlässigt man die Randbedingung, die durch den Fluß 2 hervorgerufen wird, so entsprechen die Verhältnisse der einseitig angeströmten unendlichen Brunnenreihe des WAPRO 1.42./02, Schema Abschnitt 4.5., Typ C, wenn man von den äußersten Brunnen der Reihe absieht.

Zu Abschnitt 1.1.11.

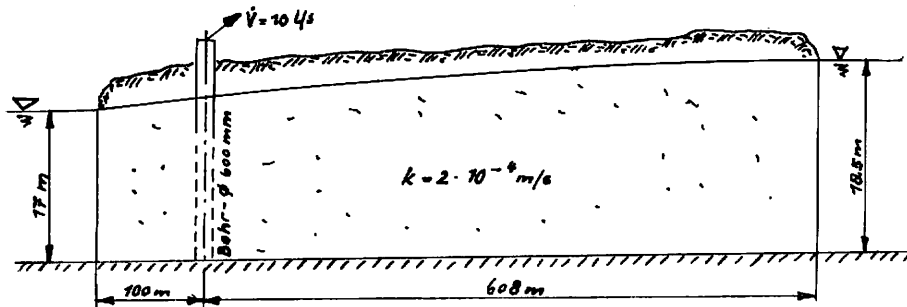


Bild 21

Zu Abschnitt 1.1.12.

Berechnung nach Typ A:

Es gilt WAPRO 1.42./02, Gl. (2), für Brunnengruppe und $\dot{V}_i = \text{const.}$

$$\phi_n - \phi = \frac{1}{4\pi k} \sum_{i=1}^n \dot{V}_i \cdot \mathcal{S}(x_i, t)$$

$$\mathcal{S} = \mathcal{S}_1 + \mathcal{S}_2$$

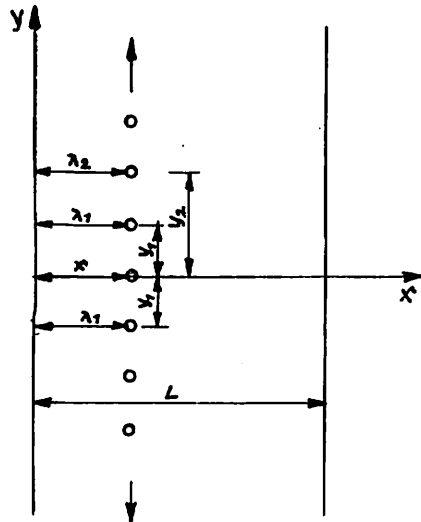
Vollkommener Brunnen $\Rightarrow \mathcal{S}_1 = 0.$

\mathcal{S}_2 ergibt sich nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.5., Typ A, zu:

Anteil des i-ten Brunnens einer Gruppe

$$\mathcal{S}_2(x_{iP}) = \ln \frac{\text{ch} \frac{\pi \cdot y_{iP}}{L} - \cos \frac{\pi(x + \lambda_{iP})}{L}}{\text{ch} \frac{\pi \cdot y_{iP}}{L} - \cos \frac{\pi(x - \lambda_{iP})}{L}}$$

- für Brunnen selbst: $\mathcal{S}_2(r_0) = 2 \ln \left[\frac{2L}{r_0\pi} \sin \frac{\pi\lambda}{L} \right]$



Absenkung im mittleren Brunnen

λ_1 bis λ_{11}	=	100 m
x	=	100 m
L	=	708 m
$y_n - y_{n-1}$	=	50 m

Bild 22

$$\begin{aligned}
 \phi_n - \phi &= \frac{\dot{V}}{4\pi k} \left[2 \ln \left(\frac{2L}{r_0 \pi} \cdot \sin \frac{\pi \lambda}{L} \right) + 2 \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi y_1}{L} - \cos \frac{\pi(x + \lambda_1)}{L}}{\operatorname{ch} \frac{\pi y_1}{L} - \cos \frac{\pi(x - \lambda_1)}{L}} \right. \\
 &+ 2 \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi y_2}{L} - \cos \frac{\pi(x + \lambda_2)}{L}}{\operatorname{ch} \frac{\pi y_2}{L} - \cos \frac{\pi(x - \lambda_2)}{L}} + \dots + \\
 &\left. + 2 \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi y_{12}}{L} - \cos \frac{\pi(x + \lambda_{12})}{L}}{\operatorname{ch} \frac{\pi y_{12}}{L} - \cos \frac{\pi(x - \lambda_{12})}{L}} \right] \\
 &= \frac{1 \cdot 10^{-2}}{4 \pi \cdot 2 \cdot 10^{-4}} (2 \cdot 6,46 + 2 \cdot 2,76 + 2 \cdot 1,55 + 2 \cdot 0,96 + 2 \cdot 0,63 + 2 \cdot 0,44 + 2 \cdot 0,31 + \\
 &\quad + 2 \cdot 0,22 + 2 \cdot 0,17 + 2 \cdot 0,12 + 2 \cdot 0,09 + 2 \cdot 0,075 + 2 \cdot 0,06) = 110,5
 \end{aligned}$$

$$\frac{h_n^2}{2} - \frac{h^2}{2} = 110,5 \quad h_n = 17,27 \text{ m} \quad - \text{siehe Bild 20} -$$

$$h = \sqrt{h_n^2 - 2 \cdot 110,5}$$

$$h = \sqrt{77,0} = 8,77 \text{ m}$$

$$h_n - h = s = 17,27 - 8,77 = 8,50 \text{ m}$$

Die Absenkung im mittleren Brunnen ergibt sich unter Berücksichtigung aller Brunnen - 12 Brunnen nach jeder Seite - zu 8,50 m.

Berechnung nach Typ C:

Es gilt WAPRO 1.42./02, Gl. (1) $\phi_n - \phi = \frac{\dot{V}}{4\pi k} \cdot \mathcal{J}(x, t)$

Mit \mathcal{J} nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.5., Typ C, unter der Bedingung $2R > L$

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_2(x_0) = 2 \left[2\pi \frac{R}{L} + \ln \frac{L}{2\pi r_0} \right]$$

$$\begin{aligned} \phi_n - \phi &= \frac{\dot{V}}{4 \pi k} \left[2 \left[2 \pi \frac{R}{L} + \ln \frac{L}{2 \pi r_0} \right] \right. \\ &= \frac{0,010}{4 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \cdot 2 \left[2 \cdot \pi \cdot \frac{100}{50} + \ln \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 0,3} \right] = 126,8 \end{aligned}$$

$$h = \sqrt{h_n^2 - 2 \cdot 126,8} = \sqrt{17,27^2 - 253,6} = 6,66 \text{ m}$$

$$h_n - h = \underline{\underline{10,61 \text{ m}}}$$

Bei Vernachlässigung des Zustromes aus Fluß 2 ergibt sich eine zu große Absenkung.

Berechnung nach Typ C mit Korrektur:

Typ C liefert richtige Ergebnisse, wenn die Randbedingungen am Fluß 2 ($Z_2 = 0$) durch Superposition erzwungen wird.

Nach Typ C ergibt sich folgender Absenkungsverlauf ($Z = \phi_n - \phi$):

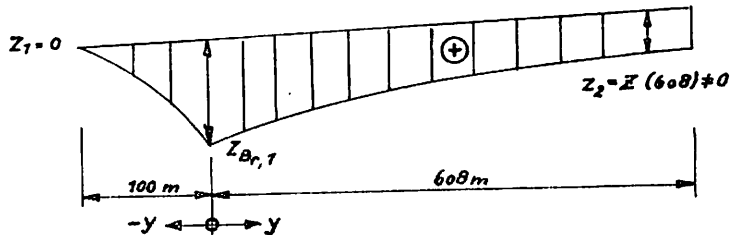


Bild 23

Bild 23 zeigt, daß der Wert $Z_1 = 0$ (Fluß 1) vorhanden ist. Bei $y = 608 \text{ m}$ (Fluß 2) hat Z_2 eine endliche Größe, was aber nicht den realen Verhältnissen entspricht. Durch Überlagerung mit dem nachfolgenden Strömungsbild kann die Randbedingung $Z_2 = 0$ aber erfüllt werden.

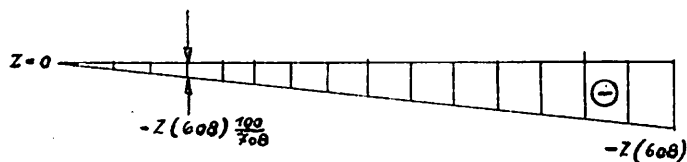


Bild 24

Als endgültiges Strömungsbild ergibt sich somit:

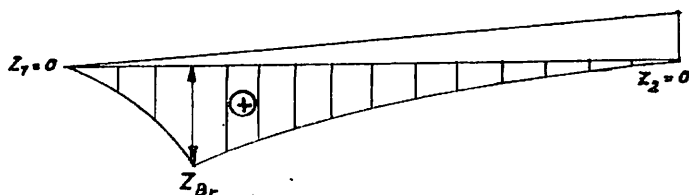


Bild 25

Berechnung von Z (608) [$x = 0$; $y = 608$]:

$$Z(0; 608) = \phi_n - \phi = \frac{\dot{V}}{4 \pi k} \cdot \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{2 \pi (y + 2R)}{L} - \cos \frac{2 \pi x}{L}}{\operatorname{ch} \frac{2 \pi y}{L} - \cos \frac{2 \pi x}{L}} =$$

$$= \frac{1 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \cdot \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{2 \pi (608 + 200)}{50} - \cos 0}{\operatorname{ch} \frac{2 \pi 608}{50} - \cos 0} = 100 \text{ m}^2$$

Bei Berechnung nach Typ C war $Z_{\text{Br},1} = \phi_n - \phi = 126,8 \text{ m}^2$ (siehe oben)

Als realer Wert Z_{Br} ergibt sich nun

$$Z_{\text{Br}} = Z_{\text{Br},1} - Z(0; 608) \cdot \frac{100}{708}$$

$$Z_{\text{Br}} = 126,8 - 100 \cdot \frac{100}{708}$$

$$Z_{\text{Br}} = 112,7$$

$$Z_{\text{Br}} = \phi_n - \phi = \frac{h_n^2}{2} - \frac{h^2}{2} = 112,7$$

$$h = \sqrt{h_n^2 - 2 Z_{\text{Br}}} = \sqrt{17,27^2 - 225,4}$$

$$h = 8,53 \text{ m}$$

$$h_n - h = s = 17,27 - 8,53 = 8,74 \text{ m}$$

Die Berechnungen nach Typ A - Überlagerung aller 25 Brunnen - und nach Typ C mit Korrektur stimmen weitestgehend überein. Letzterer Weg erfordert weniger Aufwand.

Berechnung der Wassermenge, die aus der GW-Neubildung stammt

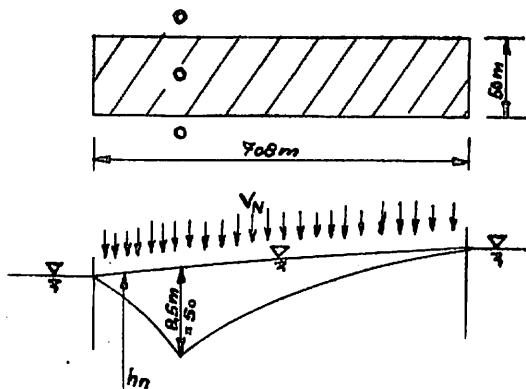


Bild 26

Das gesamte durch einen Brunnen beeinflusste Gebiet - schraffiert - hat ein Spiegelgefälle zum Brunnen. Somit fließt alles Wasser aus der GW-Neubildung dem Brunnen zu.

$$\dot{V}_{V_N} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 50 \cdot 708 = 2,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{V_N} = 0,212 \text{ l/s}$$

0,212 l/s = 2,17 % der Fördermenge von 10 l/s stammen aus der GW-Neubildung.

Berechnung des Wasseranteils des Flusses 1 und Flusses 2

Die dem Brunnen zufließende Wassermenge wird aus dem Spiegelgefälle Δh im gestörten Zustand abgeleitet. Die Punkte werden in Höhe der Berandung gewählt, da hier der Einfluß der GW-Neubildung gering ist und die Potentiallinien nahezu parallel zur Berandung verlaufen.

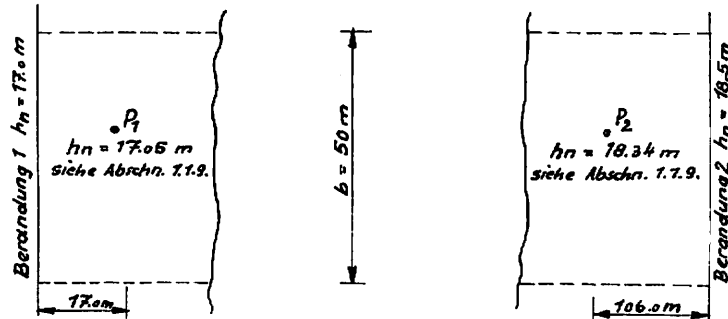


Bild 27

Die Berechnung der Absenkung in den Punkten P_1 und P_2 erfolgt nach Typ C, mit anschließender Korrektur der Randbedingungen - siehe oben.

Die Absenkung im Punkt P_1 ($O_1 - 83$ m) beträgt 0,89 m

Die Absenkung im Punkt P_2 ($O_2 - 502$ m) beträgt 0,82 m

Wassermenge aus Fluß 1

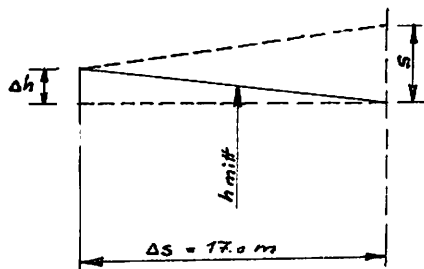


Bild 28

$$\begin{aligned} \dot{v}_1 &= k \frac{dh}{ds} \cdot b \cdot h \approx k \frac{\Delta h}{\Delta s} \cdot b \cdot h_{\text{mitt}} \\ &= 2 \cdot 10^{-4} \frac{0,89 - 0,05}{17,0} \cdot 50 \cdot 16,58 = 0,0082 \text{ [m}^3/\text{s]} \end{aligned}$$

Wassermenge aus Fluß 2

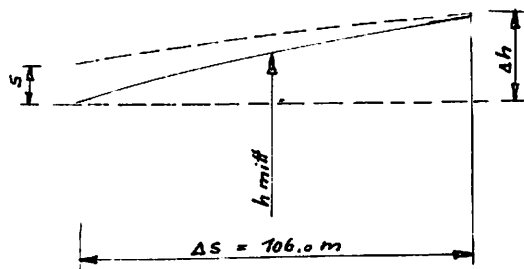


Bild 29

$$\begin{aligned} \dot{v}_2 &\approx k \frac{\Delta h}{\Delta s} \cdot b \cdot h_{\text{mitt}} \\ &= 2 \cdot 10^{-4} \frac{0,82 + 0,16}{106} \cdot 50 \cdot 18,01 \\ &= 0,00166 \text{ [m}^3/\text{s]} \end{aligned}$$

$$\dot{v}_{\text{Br}} = \dot{v}_1 + \dot{v}_2 + \dot{v}_{v_N} = 8,2 + 1,66 + 0,2 = 10,06 \approx 10 \text{ [l/s]}$$

Aufgabe 5

Zu Abschnitt 1.1.1.

Entnahmemenge: 20 l/s

Pumpbetrieb: 24 h/d ganzjährig

Zu Abschnitt 1.1.2.

- a) Bestimmung der Brunnenabsenkung
- b) Verteilung der Zusickerung in Abhängigkeit von der Entfernung
- c) Aufenthaltszeit des Infiltrates im Geschiebemergel.

Alle Untersuchungen sind nur für den stationären Endzustand durchzuführen.

Zu Abschnitt 1.1.4.

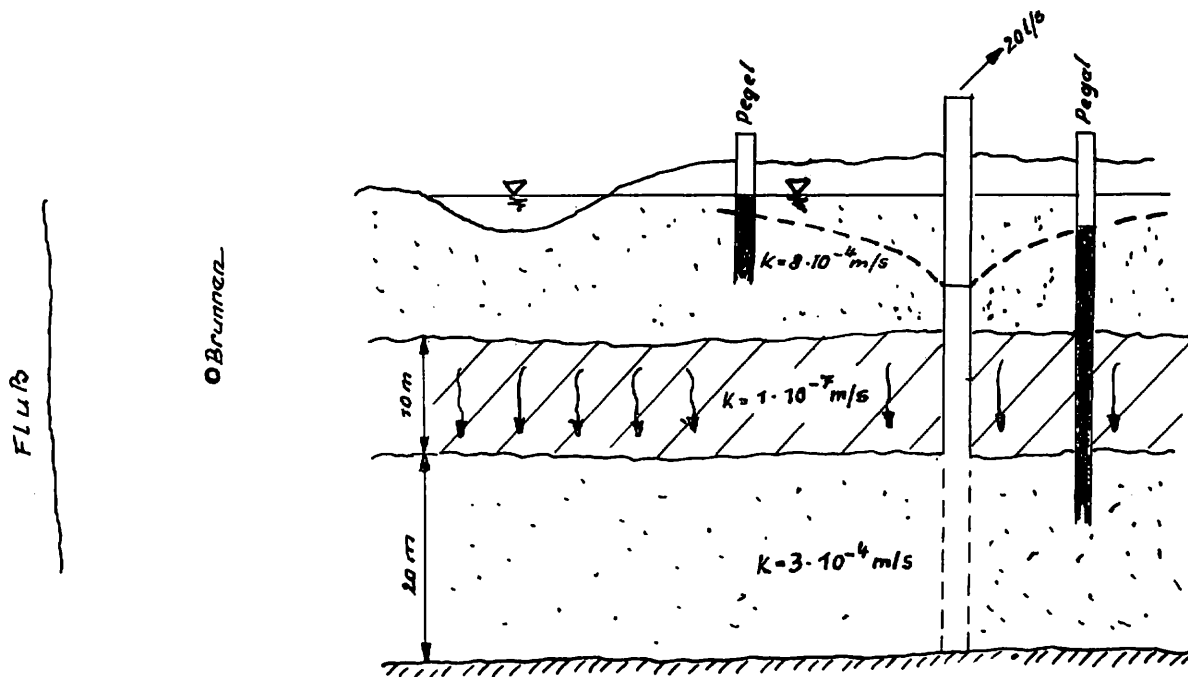


Bild 30

Zu Abschnitt 1.1.5.

Die Randbedingungen sind im ungestörten und im gestörten Zustand gleich. Es erfolgt Speisung aus der hangenden Schicht.

Zu Abschnitt 1.1.8.

Die Speisungsverhältnisse entsprechen WAPRO 1.42./02, Bild 6, Typ A, - siehe WAPRO 1.42./01, Abschnitt 2.4. b).

Zu Abschnitt 1.1.10.

Die auftretenden Verhältnisse entsprechen denen eines Brunnens im unendlich ausgedehnten GW-Leiter mit Speisung aus liegenden oder hangenden Schichten - WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.1. b).

Zu Abschnitt 1.1.11.

- Siehe auch Abschnitt 1.1.1. und 1.1.2. -

$$2 r_0 = 0,7 \text{ m}$$

Zu Abschnitt 1.1.12. Berechnungen

Nach WAPRO 1.42./02, Gl. (1), für Einzelbrunnen mit $\dot{V} = \text{const.}$ gilt:

$$\varnothing_n - \varnothing = \frac{\dot{V}}{4\pi k} \cdot \mathcal{J}(r, t)$$

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_1 + \mathcal{J}_2$$

vollkommener Brunnen $\mathcal{J}_1 = 0$.

\mathcal{J}_2 nach WAPRO 1.42./02, Abschnitt 4.1. b)

$$\mathcal{J}_2 = 2 K_0 (r/B) \quad \text{für große } t\text{-Werte}$$

$$\mathcal{J}_2 = 2 \ln \left(\frac{1,12 B}{r} \right) \quad \text{für große } t\text{-Werte und } r \leq 0,03 B$$

$$B = \sqrt{\frac{k_1 M_1 b^2}{k^2}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 10}{10^{-7}}}$$

$$B = 775 \text{ m}$$

Berechnung der Brunnenabsenkung ($r = r_0$):

Für stationären Endzustand und $r = r_0 = 0,35 \leq 0,03 B = 23,2$ gilt:

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_2 = 2 \ln \left(\frac{1,12 B}{r_0} \right)$$

$$\varnothing_n - \varnothing_0 = \frac{\dot{V}}{4\pi k} \cdot 2 \cdot \ln \frac{1,12 B}{r_0} = 10,6 \cdot \ln 2480 = 83,0$$

$$M \cdot s = 83,0 \Rightarrow s = \frac{83,0}{20} = 4,15 \text{ m}$$

Bestimmung der Absenkung für Punkte in der Entfernung r :

Für $r \leq 0,03 B = 23,2$ gilt:

$$\varnothing_n - \varnothing = \frac{\dot{V}}{4\pi k} \cdot 2 \ln \frac{1,12 B}{r} = M s$$

$$s = \frac{0,020 \cdot 2}{4 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot 20} \cdot \ln \frac{870}{r}$$

$$s = 0,53 \cdot \ln \frac{870}{r}$$

Für $r > 0,03 B$ gilt:

$$\varnothing_n - \varnothing = \frac{\dot{V}}{4\pi k \cdot M} \cdot 2 K_0 (r/B) = M \cdot s$$

$$s = 0,53 \cdot K_0 \left(\frac{r}{775} \right)$$

$r = 10 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot \ln 87,0 = 2,38 \text{ m}$
$r = 20 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot \ln 43,5 = 2,00 \text{ m}$
$r = 50 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot K_0 \quad 0,065 = 1,54 \text{ m}$
$r = 100 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot K_0 \quad 0,129 = 1,15 \text{ m}$
$r = 200 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot K_0 \quad 0,258 = 0,80 \text{ m}$
$r = 300 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot K_0 \quad 0,389 = 0,61 \text{ m}$
$r = 400 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot K_0 \quad 0,516 = 0,48 \text{ m}$
$r = 500 \text{ m} \rightarrow s = 0,53 \cdot K_0 \quad 0,645 = 0,38 \text{ m}$

Verteilung der Zusickerung in Abhängigkeit von der Entfernung

Für eine beliebige Stromröhre im Strömungsfeld gilt:

$$v = k \cdot J; \quad v_a = \frac{v}{n'} \quad k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$$

$$v_a = \frac{k \cdot J}{n'}$$

$$v = \text{Filtergeschwindigkeit}$$

$$v_a = \text{Abstandsgeschwindigkeit}$$

$$n' = \text{durchströmte Porosität} \approx 0,15$$

$$J = \frac{s}{b'}$$

$$b' = 10 \text{ m} = \text{const.}$$

$$s = (h_n - h)$$

$$v_a = \frac{k \cdot s}{n' \cdot b'}$$

Aus dieser Gleichung ist ersichtlich, daß sich die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in der schwer durchlässigen Schicht und damit auch die Zusickerung proportional zur Absenkung s verhält.

Für die am stärksten durchströmte Röhre unmittelbar am Brunnen ergibt sich eine Geschwindigkeit v_a von:

$$v_a = \frac{k \cdot s}{n' \cdot b'} = \frac{10^{-7} \cdot 4,15}{0,15 \cdot 10} = 2,77 \cdot 10^{-7} \text{ [m/s]}$$

In folgendem Bild ist die Absenkung s und die Zusickerung v_a in Abhängigkeit von der Entfernung r vom Brunnen aufgetragen.

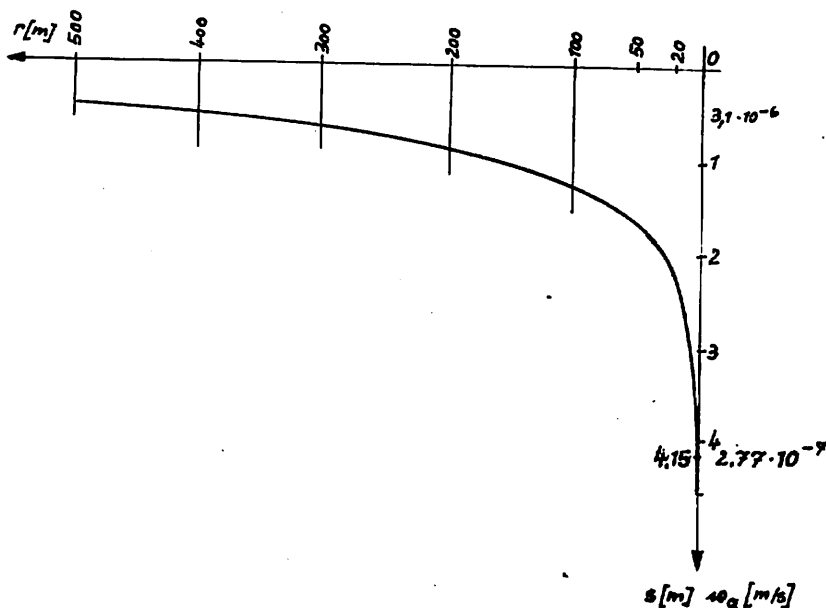


Bild 31

Die Aufenthaltszeit des Wassers in der schwerer durchlässigen Schicht ergibt sich zu:

$$t = \frac{1}{v_a} b'$$

Unmittelbar am Brunnen - ungünstigster Fall -:

$$t = \frac{1}{2,77 \cdot 10^{-7}} \cdot 10 = 3,60 \cdot 10^7 \text{ [s]} \approx 14 \text{ Monate}$$

Aufgabe 6

Bemessung des Vertikalfilterbrunnens nach Aufgabe 1

- Fördermenge: $54 \text{ m}^3/\text{h}$

- Korngrößenverteilung des anstehenden Erdstoffes (Grundwasserleiter)

. Schicht 1: $d_{10} = 0,24 \text{ mm}$
 $d_{17} = 0,40 \text{ mm}$
 $d_{50} = 2,50 \text{ mm}$
 $d_{60} = 3,60 \text{ mm}$
 $U_d = 15 \text{ []}$

. Schicht 2: $d_{10} = 0,13 \text{ mm}$
 $d_{17} = 0,14 \text{ mm}$
 $d_{50} = 0,80 \text{ mm}$
 $d_{60} = 0,90 \text{ mm}$
 $U_d = 6,92 \text{ []}$

- Korngrößenverteilung des gewählten Filterkieses 4/8:

$D_{10} = 3,8 \text{ mm}; D_{17} = 4,5 \text{ mm}; D_{50} = 5,1 \text{ mm}; D_{60} = 5,4 \text{ mm}; U_D = 1,4$

- Gewähltes Filterrohr: Brückenschlitzfilter mit

Länge	(L_F)	6,00 m	} nach WAPRO 1.25./02
Außendurchmesser	(\varnothing_{Fa})	368 mm	
Innendurchmesser	(\varnothing_{Fi})	360 mm	
Schlitzweite		2,5 mm	

- Maximale Absenkung nach WAPRO 1.42./02: $S_{Br} = 4,00 \text{ m}$

1. Festlegung der Einbautiefe der UWM-Pumpe

- Regel 1:

Das Einlaufstück der UWM-Pumpe muß $\geq 2,0 \text{ m}$ unter der tiefstmöglichen/zulässigen Absenkung liegen.

$$S_{Br} = 4,00 \text{ m} \Rightarrow T_p \geq 6,00 \text{ m unter RGW.}$$

2. Länge und Durchmesser vom Filterrohr ($L_F; \varnothing_{Fa}; \varnothing_{Fi}$)

- Regel 2:

$$L_F; \varnothing_{Fa} = f(v_{rad})$$

$$v_{rad} = \frac{\dot{V}}{\pi \cdot \varnothing_{Fa} \cdot L_F} = \frac{0,015}{3,14 \cdot 0,368 \cdot 6}$$

$$= 0,0022 \text{ m/s}$$

$$0,0015 < 0,0022 < 0,0030 \text{ [m/s]}$$

- Regel 3:

$$\varnothing_{Fi} = f(v_{ax})$$

$$v_{ax} \leq v_{ax \text{ zul.}} \quad [\text{m/s}]$$

$$v_{ax} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} \cdot \varnothing_{Fi}^2}$$

$$v_{ax} = \frac{0,015}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,36^2}$$

$$= 0,15 \text{ m/s} \quad 0,15 < v_{ax \text{ zul.}} = 1,0 \text{ m/s}$$

Bedingung entsprechend Tabelle 1 erfüllt.

- Regel 4: e n t f ä l l t !

3. Länge von bestimmten Vollwandrohren

- Regel 5:

Blindrohre e n t f ä l l t .

- Regel 6:

Sandfanglänge (L_{SF}) = 2 m

4. Durchmesser von Vollwandrohren

- Regel 7:

$$\varnothing_{Vi} = f \cdot \varnothing_{k_{max}}$$

$$f = 1,1 \text{ bei } T_p < 50 \pm 10 \text{ m}$$

$$\varnothing_{Vi} = 1,1 \cdot 0,20 = 0,220 \text{ m (Minstdurchmesser)}$$

- Regel 8:

Im Bereich der Pumpe gilt nachfolgende Beziehung:

$$v_{ax-R} \leq 2 \text{ m/s}$$

$$v_{ax-R} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} (\varnothing_{Fi}^2 - \varnothing_F^2)}$$

$$= \frac{0,015}{\frac{\pi}{4} (0,36^2 - 0,18^2)} = 0,20 \text{ m/s}$$

- Regel 9:

Unterhalb der Einbautiefe T_p gilt:

$$\varnothing_{Vi} - \varnothing_{Fi} = 360 \text{ mm} = 360 \text{ mm}$$

5. Schlitzweite des Filterrohres (W)

- Regel 10:

$$\frac{D_{50}}{3} \leq W \leq D_{50} \quad [\text{mm}]$$

$$\frac{5,1}{3} < 2,5 < 5,1 \quad [\text{mm}]$$

$$1,7 < 2,5 < 5,1 \quad [\text{mm}]$$

Anmerkung zu Regel 10:

$$\frac{D_{50}}{2} \leq W \leq D_{50} \quad [\text{mm}]$$

$$\frac{5,1}{2} \neq 2,5 < 5,1 \quad [\text{mm}]$$

$$2,55 \neq 2,5 < 5,1$$

Setzungen treten nicht auf.

- Regel 11:

$$W = 2,5 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$$

- Regel 12 und 13: e n t f a l l e n

6. Bemessung des Filtersandes, -kieses

- Regel 14:

Bei anstehendem Erdstoff $1 \leq U_d \leq 20$ gilt:

$$\frac{2,5 \cdot d_g \cdot a^{**}}{e_D} \cdot \sqrt{U_D} \leq D_{50} \leq A_{50 \text{ zul.}} \cdot d_{50}$$

$$e_D = \frac{0,9}{3 U_D} = \frac{0,9}{1,12} = 0,80$$

Nach Bild 4: $A_{50 \text{ zul.}} = 6,6$ (Schicht 1)

$A_{50 \text{ zul.}} = 9,6$ (Schicht 2)

$$d_g \leq 0,27 \cdot U_d \cdot e_d \cdot d_{17}$$

$$e_d = e_{d \text{ max}} = 0,9$$

$$d_g \leq 0,27 \cdot 1,57 \cdot 0,9 \cdot 9,4 = 0,15 \quad (\text{Schicht 1})$$

$$d_g \leq 0,27 \cdot 1,38 \cdot 0,9 \cdot 9,14 = 0,05 \quad (\text{Schicht 2})$$

$$a^{**} \text{ nach Tabelle 3: } \begin{matrix} 3 \\ 4 \end{matrix} \quad \begin{matrix} (\text{Schicht 1}) \\ (\text{Schicht 2}) \end{matrix}$$

$$\frac{2,5 \cdot 0,15 \cdot 3}{0,80} \sqrt{1,4} \leq 5,1 \leq 6,6 \cdot 2,5 \quad (\text{Schicht 1})$$

$$1,7 < 5,1 < 16,5 \quad (\text{Schicht 1})$$

$$\frac{2,5 \cdot 0,05 \cdot 4}{0,80} \sqrt{1,4} \leq 5,1 \leq 9,6 \cdot 0,80 \quad (\text{Schicht 2})$$

$$0,74 < 5,1 < 7,7 \quad (\text{Schicht 2})$$

- Regel 15 bis 18: e n t f a l l e n

7. Filterkiesdicke (b_{FK})

- Regel 19:

$$b_{FK} \text{ nach Tabelle} \Rightarrow \approx 100 \text{ mm}$$

- Regel 20: e n t f ä l l t

8. Abstandshalter

- Regel 21:

Die Abstandshalter sind alle 4 m, jedoch außerhalb des Bereiches der Filterschlitzte anzuordnen.

9. Widerstandspegel, Peilrohre und Sondenschutzrohre sind nach Regel 22 und 23 auszuführen.

Zu Abschnitt 1.3.7.

Verlusthöhe im Filterrohr - nach WAPRO 1.42./02, Gl. (5).

$$\Delta h_{F1} = 0,76 \frac{\dot{v}^2}{A_w^2} \quad \text{mit} \quad A_w = \frac{\pi}{4} d_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,36^2 = 0,102$$

$$\Delta h_{F1} = 0,76 \cdot \frac{0,015^2}{0,102^2} = 0,016 \text{ m}$$

Die Verlusthöhe im Filterrohr beträgt 0,016 m.

Verlusthöhe in der Kiesschüttung - nach WAPRO 1.42./02, Gl. (6).

$$\Delta h_{K1} = \frac{v_1^2}{2g} \cdot \xi \cdot \frac{r_{\text{außen}} - r_{\text{innen}}}{D_{50}}$$

$$v_1 = \frac{\dot{v}}{A_1} = \frac{\dot{v}}{\pi \cdot d_1 \cdot L} = \frac{0,015}{\pi \cdot 0,368 \cdot 4} = 0,00324 \text{ [m/s]}$$

$$\xi = \xi(\text{Re})$$

$$\text{Re} = \frac{v_1 \cdot D_{50}}{\nu} = \frac{0,00324 \cdot 0,0078}{1,3 \cdot 10^{-6}} = 20$$

Nach WAPRO 1.42./02, Bild 3, ergibt sich für ξ bei

$$\text{Re} = 20 \quad \xi = 210$$

$$\Delta h_{K1} = \frac{0,00324^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 210 \cdot \frac{0,300 - 0,184}{0,0078} = 2 \cdot 10^{-3}$$

Die Verlusthöhe im Filterkies beträgt 0,002 m

Hinweise:

Ersatz für WAPRO 1.42./04, Ausgabe 2.71 -/-

Änderungen gegenüber Ausgabe 2.71 -/-: Einarbeitung des SI-Systems, k-Wert Transformation in Aufgabe 1, Neuerarbeitung der Aufgabe 6, Aufgabe 7 entfällt, redaktionelle Überarbeitung.

Dieser Standard wird durch die Studie [1] ergänzt.

Während in diesem Standard die Verfahrenswege und Berechnungsbeispiele behandelt werden, enthält die Studie ausführlichere Darlegungen zur Konstruktion und Gestaltung von Brunnen, zur Problematik der Brunnenalterung und Grundfragen der Erdstoffstabilität.

Die in diesem Standard verwendeten Symbole sind in WAPRO 1.42./01 erläutert.

In diesem Standard ist auf folgende Standards Bezug genommen:

WAPRO 1.25/01 und /02; WAPRO 1.42/01 bis /03

Filtersande - Filterkiese	siehe TGL 37 523
Hydrogeologie; Brunnenausbau; Brunnenbaumaterial aus Steinzeug	siehe TGL 25 240/03
-;-; Langlochschlitzfilterrohre aus Stahl	siehe TGL 34 872/03
-;-; Brückenschlitzfilterrohre aus Stahl	siehe TGL 34 872/04
-;-; Vollwandrohre aus Stahl	siehe TGL 34 872/05
-;-; Bodenstücke aus Stahl	siehe TGL 34 872/07
Vertikalbohrbrunnen; Technische Vorschriften für Brunnenbauarbeiten	siehe TGL 34 382

[1] Luckner, L.:

Brunnen für Grundwassergewinnungsanlagen; Vertikalfilterbrunnen

Studie zu den Bemessungsgrundlagen

VEB Projektierung Wasserwirtschaft Halle, 1970