

Dipl.-Ing. P. Guckelsberger • Vorrechenübung – Brunnenbemessung - SiWaWi-2

Schlagworte: Brunnenfassungsvermögen Q_F / Brunnenergiebigkeit Q_E / optimale Absenkung s

<http://www.paulguckelsberger.de/WasserProjekte.htm>

Autor	Ersterarbeitung	Aktuelle Version
P. Guckelsberger	10.04.2008	20.05.2014

Veranlassung – Aufgabenstellung – Wassergewinnung mit Brunnen

Die Trinkwasserversorgung einer Kommune ist an der Kapazitätsgrenze.

Es soll ein neuer, zusätzlicher Brunnen erschlossen werden.

Die bisherige Erkundung im möglichen Brunnenareal ergab, dass dort ruhendes Grundwasser mit freiem Spiegel (Grundwassersee) in einem homogenen Grundwasserleiter ansteht.

Es soll ein vollkommener Brunnen errichtet werden.

Die Höhe des Ruhewasserspiegels über Grundwassersohel (undurchlässige Schicht) bzw. die Mächtigkeit der grundwasserführenden Schicht beträgt $H = 8,2 \text{ m}$.

Die Gebirgs- bzw. Bodendurchlässigkeit wurde ermittelt zu $k_f = 0,0073 \text{ m/s}$

Bearbeitungspunkte:

Zunächst soll für den mittleren Brunnendurchmesser $D_1 = 0,40 \text{ m}$ die **optimale Absenkung** s_{opt} in [m] ermittelt werden.

Für einen Variantenvergleich ist anschließend die Brunnenleistung für $D_2 = 0,60 \text{ m}$ und $D_3 = 0,80$ zu ermitteln.

Erläutern Sie ihrem Auftraggeber welche Auswirkungen Sie bei der Wahl der drei Brunnendurchmesser in Bezug auf die Brunnenleistung feststellen konnten. **Welchen Durchmesser empfehlen Sie ?**

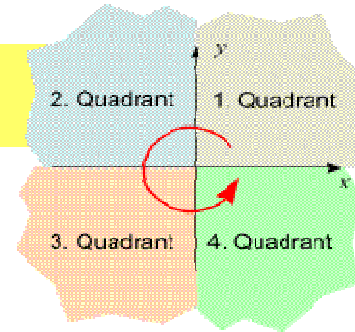
Drei Lösungsschritte

(Variante-PG1v1)

1. Ergiebigkeit Q_E und Fassungsvermögen Q_F des Brunnens

1.1 Q_E , Q_F und deren Komponenten zweckmäßig in Tabellenform berechnen

2. Berechnungs-Ergebnisse aus (1.) im vierten Quadranten eines Koordinatensystemes dargestellt bzw. aufgetragen



3. Schnittpunkt der Graphen von Q_F und Q_E lässt die Optimal Absenkung " s_{opt} " und die zugehörige Entnahmemenge ablesen, bei welcher der Brunnen hydraulisch günstig betrieben werden kann.

In diesen drei Schritten können Sie die Aufgabe lösen.

Gewählt oder vorgegeben sind in der Regel:

(1) Absenkungen s [m]:

- Hier ist "s" zu wählen!
- Wahl in Intervallbereichen 0 bis H (Höhe Grundwasserschicht) wenn s_{opt} gesucht ist
- In der Brunnen-Betriebspraxis sollte "s" im Bereich **$s \leq H/3$** liegen.

(2) Mittlerer Brunnen-Durchmesser D [m]:

- Hier Vorgabe $D1 = 0,40$ m und für weitere Untersuchungen $D2 = 0,60$ m und $D3 = 0,80$ m
- Sonst je nach Anforderung $D = 0,30$ bis $2,0$ m

$$Q_E \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{\pi * k_f * (H^2 - h^2)}{\ln \left(\frac{R}{r_m} \right)}$$

$$Q_F \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{2}{15} * \pi * r * h * \sqrt{k_f}$$

Eingabe Gewählt	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet
s	Ergiebigkeit Q_E [m ³ /s]			fassb. Grundwasserzufl. Q_F [m ³ /s]		
H - h [m]	Q_{E1}	Q_{E2}	Q_{E3}	Q_{F1}	Q_{F2}	Q_{F3}
		D ₁ = 0,40 r_{m1} 0,2	D ₂ = 0,60 r_{m2} 0,3	D ₃ = 0,80 r_{m3} 0,4	D ₁ = 0,40 r_{m1} 0,2	D ₂ = 0,60 r_{m2} 0,3
	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12	Spalte 13	Spalte 14

freier Grundwasserspiegel (Grundwassersee):

$$Q_E \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{\pi * k_f * (H^2 - h^2)}{\ln \left(\frac{R}{r_m} \right)}$$

Gespannter Grundwasserspiegel : s. Skript Kap. 2.7.2

$$Q_E \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{2\pi * k_f * m * (H - h)}{\ln \left(\frac{R}{r_m} \right)}$$

m = Mächtigkeit des Grundwasserleiters (durchlässige Kies-/Bodenschicht)

= Höhe des gespannten Grundwasserstandes

H = Höhe des **un**gespannten Grundwasserstandes [m]

= Höhe Grundwassersohle bis Grundwasserdruckfläche

Die Grundwasserdruckfläche kann **über und unter** GOK liegen ! Siehe Abb. Unten

1. Fassbarer Grundwasserzufluss Q_F [m^3/s] des vollk. Brunnens

Das Fassungsvermögen Q_F [m^3/s] beschreibt die Eigenschaft eines gegebenen Brunnens in einem bestimmten Grundwasserleiter (Ergiebigkeit).

Q_F = diejenige Wassermenge pro Zeiteinheit, die ein Brunnen entsprechend seiner durchströmten Filterfläche aufnehmen / fassen kann.

Das Fassungsvermögen Q_F ergibt sich (empirisch) nach Sichardt (1928) aus:

$$Q_F \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{2}{15} * \pi * r * h * \sqrt{k_f}$$

vgl. Skript SiWaWi-2 S. 42

Die max fassbare Wassermenge Q_F liegt dabei vor wenn nicht abgepumpt wird.

Das ist der Fall, wenn

$s = 0$ und damit

$h = H = 8,2 \text{ m}$

Q_F für $s = 0$ und $D = 0,40 \text{ m}$

2. Ergiebigkeit Q_E [m^3/s] des Grundwasserzufluss zum vollk. Brunnen

Ergiebigkeit = Wasserandrang = Eigenschaft des jeweiligen Grundwasserleiters (kf-Wert - Kies-/Sandschicht etc.)

- Diejenige Wassermenge pro Zeiteinheit, die ein Grundwasserleiter maximal an einen Brunnen abgeben kann

$$Q_E \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{\pi * k_f * (H^2 - h^2)}{\ln \left(\frac{R}{r_m} \right)}$$

Die Reichweite "R" der Absenkung "s",

empirisch nach SICHARDT in Abhängigkeit von Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/S] und der Absenkung s [m]:

$$R [m] = 3000 * s [m] * \sqrt{k_f \left[\frac{m}{s} \right]}$$

In dieser Formel ist: $s = (H - h)$

Vervollständigen Sie die Tabelle

1	2	3	4	5	6	7	8
Eingabe Gewählt	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet
s	R	h	R / r _m	ln (R / r _m)	$\frac{\pi * k_f}{\ln\left(\frac{R}{r_m}\right)}$	h ²	H ² - h ²
H - h [m]	[m]	H - s [m]					
0	0	8,2	0			67,24	0
1	256	7,2	1280	7,15	0,0032	51,84	15,4
2							
4							
6							
8,2							

Damit sind alle Komponenten der Brunnengleichungen für Q_E und Q_F berechnet

Beachte:

Die Komponenten wurden für den Brunnendurchmesser D₁ = 0,40m ermittelt

D.h.: Für andere Durchmesser ergeben sich andere Gleichungskomponenten bzw. andere Q_E und Q_F !

Brunnen Ergiebigkeit QE und -Fassungsvermögen QF für ausgewählte Durchmesser

$$Q_E \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{\pi * k_f * (H^2 - h^2)}{\ln \left(\frac{R}{r_m} \right)}$$

$$Q_F \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{2}{15} * \pi * r * h * \sqrt{k_f}$$

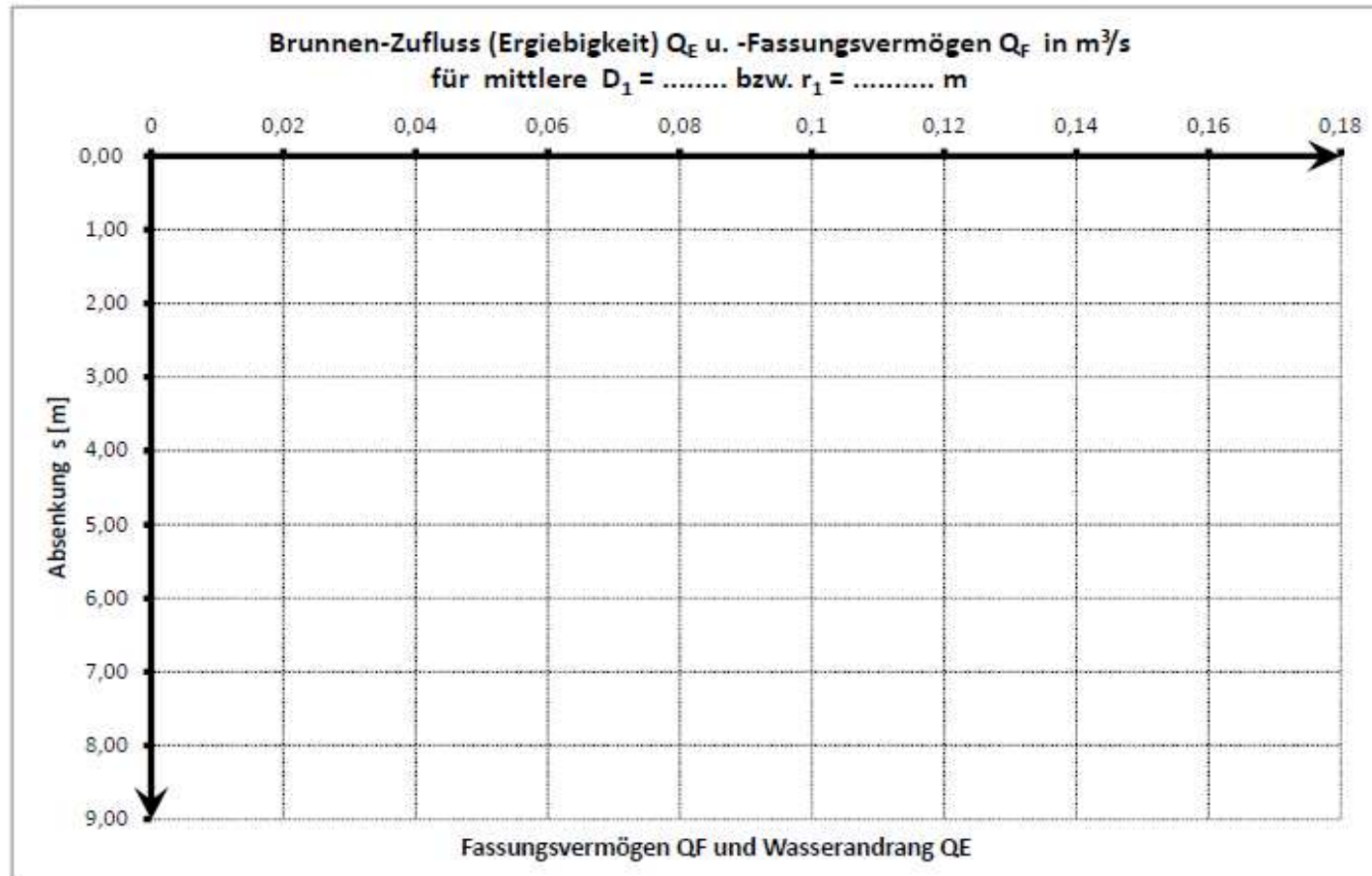
Eingabe Gewählt	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet	Berechnet
s	Ergiebigkeit Q_E [m ³ /s]			fassb. Grundwasserzufl. Q_F [m ³ /s]		
H - h [m]	Q_{E1}	Q_{E2}	Q_{E3}	Q_{F1}	Q_{F2}	Q_{F3}
	D ₁ = 0,40 r _{m1} 0,2	D ₂ = 0,60 r _{m2} 0,3	D ₃ = 0,80 r _{m3} 0,4	D ₁ = 0,40 r _{m1} 0,2	D ₂ = 0,60 r _{m2} 0,3	D ₃ = 0,80 r _{m3} 0,4
0				0,0587		
1						
2	0,0841			0,0444		
4						
6						
8,2						

zur Vorlesung SiWaWi 2
Dipl.-Ing. P. Guckelsberger

Graphische Auswertung zur Ermittlung von s_{opt}

Lösungskontrolle: Für $D_1 = 0,4$ m erhalten Sie bei $s = 1$ m ein Q_E von $0,0494$ m^3/s und ein Q_F von $0,0515$ m^3/s

Koordinatensystem im 4. Quadranten - hier bereits mit Aufgabenbezogener Achsen-Skalierung:



3.

Optimale Absenkung s_{opt} mit zugehörigen Q_E und Q_F - Werten des Brunnens

Ablesung s-Q-Diagramm:

Schnittpunkt von Q_E und Q_F = Optimale Absenkung s_{opt} für den gew. Brunnenradius

Für die radiusabhängige Gerade Q_{F1} und die Kurve Q_{E1} stellt sich bei $s_1 = s_{\text{opt}} \sim 1,05$ m

die hydraulisch günstigste Brunnenlesitung mit $Q_1 \sim 0,051$ m³/s bzw. 51 l/s ein.

4. Optimale Dauerbetriebsleistung des Brunnens Q_{Betrieb}

Brunnen so bemessen, dass eine hydraulisch

- effektive,
- funktionssichere
- wirtschaftliche

Wasserentnahme gewährleistet ist.

Dazu sind neben den o.a. Berechnungen zusätzliche Variantenuntersuchungen erforderlich:

- Berechnung mit verschiedenen Brunnen-Durchmessern
- Einsatz von Simulations-Software
- praktische Feld- und Labor-Versuche (Pumpversuche, kf-Wertmessung etc.)

Optimale Dauerbetriebsleistung nach DVGW W118 und Tholen:

$$Q_{\text{Betrieb}} = 0,5 \text{ bis } 0,75 * Q_{\text{max}} \text{ (Q bei } s_{\text{opt}})$$

Hier gewählt:

$$Q_{\text{Betrieb}} = 0,6 * Q_{\text{max}}$$

$$Q_{\text{Betrieb}} = 0,6 * 51 \text{ l/s} = 30,6 \sim 31 \text{ l/s}$$