

Grundwasserabsenkung - Ein Lehrbuchbeispiel

In einem älteren Lehrwerk, nämlich **Knaupe, W.**, Baugrubensicherung und Wasserhaltung, Berlin (1979), S. 289f., fand ich folgendes Beispiel für die Dimensionierung einer Grundwasserabsenkung.

| | | |
|---------------------------------|---|------------|
| Oberfläche | | frei |
| Sohlentief | | 4,10 m |
| Sicherheitszuschlag Sohlentiefe | | 0,50 m |
| Absenktiefe | s | 4,60 m |
| Baugrube (rechteckig) | | 9 m x 14 m |
| Abstand Brunnen-Grube | | 1 m |
| k-Wert | k | 0,001 m/s |
| Ruhewasserspiegel unter OkG | | 1 m |
| Tiefe Wasserstauer | T | 10 m |
| Eintauchtiefe der Brunnen | H | 10 m |
| Brunnenradius | r | 0,35 m |

Die mit ProAqua ermittelten Werte stimmen mit den gerundeten Ergebnissen des Autors überein:

| | | Knaupe | ProAqua |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|
| Reichweite | R | 436,0 m | 436,39 m |
| Ersatzradius | A _{RE} | 7,48 m | 7,48 m |
| Wasserandrang | Q | 0,055m ³ /s | 0,0547339 m ³ /s |
| Fassungsvermögen der Brunnen | q | 0,014 m ³ /s | 0,013685 m ³ /s |
| Zahl der erforderlichen Brunnen | n | 4 | 4 |

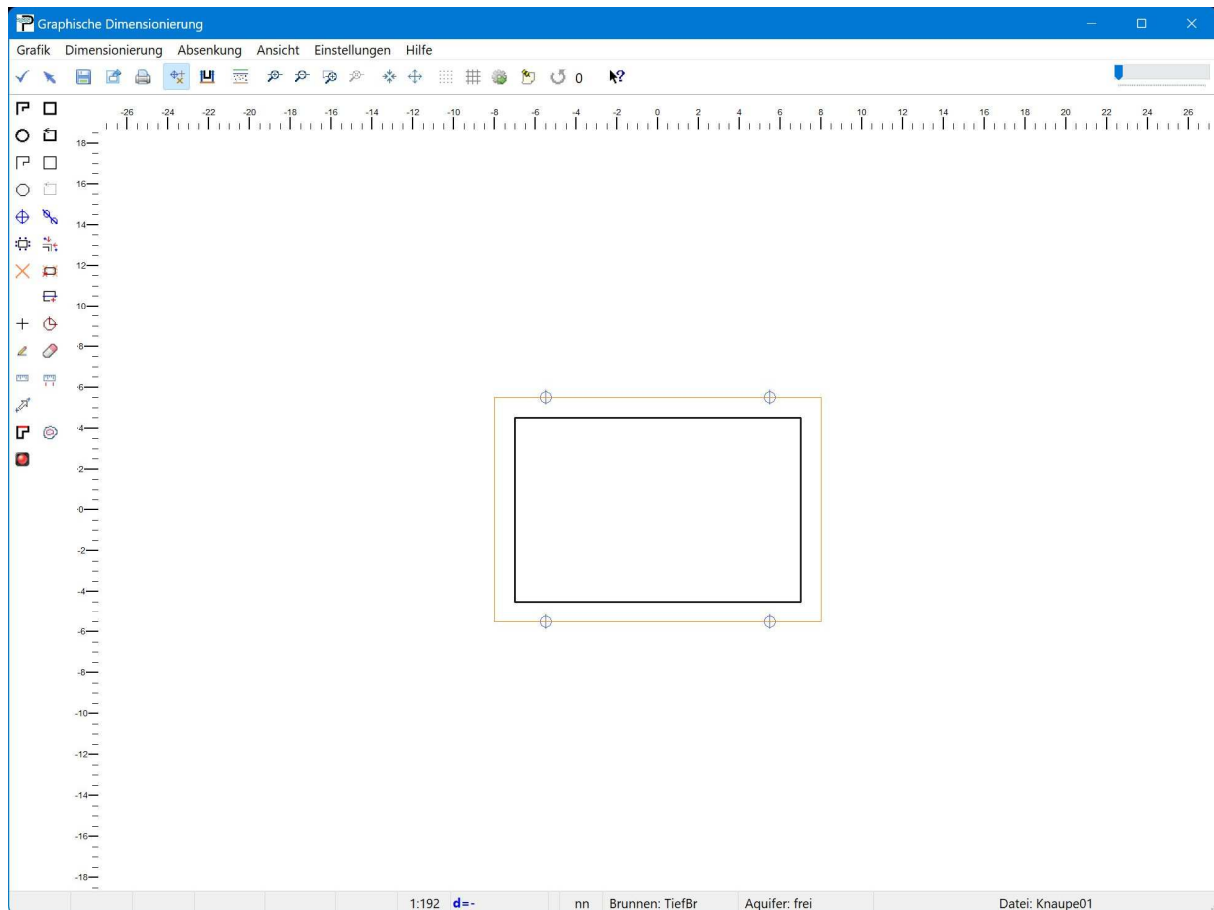
Zur Berechnung des Wasserandrangs und der Festlegung der Brunnenzahl ist in ProAqua die Vor-dimensionierung geeignet.

Vordimensionierung Tiefbrunnen

| | | | |
|--------------------------------------|---|---------------------------------|--|
| Baugrubenlänge | <input type="text" value="9,00"/> | Reichweite (Sichardt) | <input type="text" value="436,39"/> |
| Baugrubenbreite | <input type="text" value="14,00"/> | Reichweite (Weber) | <input type="text" value="436,46"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> |
| Sohle unter Ruhewasserspiegel | <input type="text" value="4,10"/> | Ersatzradius ARe | <input type="text" value="7,48"/> |
| Absenkung unter Ruhewasserspiegel | <input type="text" value="4,60"/> | $\ln(R/ARe)$ | <input type="text" value="4,07"/> ⓘ |
| Abst. Brunnen-Grube | <input type="text" value="1,00"/> | | |
| k-Wert durchlässige Schicht | <input type="text" value="0,001"/> ⓘ | Wasserandrang Q | <input type="text" value="0,054739"/> m³/s |
| Tiefe Stauer unter Ruhewasserspiegel | <input type="text" value="10,00"/> | Wasserandrang Q* | <input type="text" value="0,054739"/> m³/s |
| Eintauchtiefe | <input type="text" value="10,00"/> | Fassungsvermögen q erf. | <input type="text" value="0,013685"/> m³/s |
| Brunnen-/Filterdurchmesser | <input type="text" value="0,700"/> <input type="text" value="0,350"/> ⓘ | lokale Absenkung sEB | <input type="text" value="2,06"/> |
| Wirksamer Durchmesser | <input type="text" value="0,70"/> | | |
| Brunnenzahl | <input type="text" value="4"/> ⓘ | vorh. Filterstrecke h' vhd. | <input type="text" value="3,34"/> |
| Mittlerer Brunnenabstand | <input type="text" value="11,04"/> ⓘ | erf. Filterstrecke h' erf. | <input type="text" value="2,95"/> |
| Absenktichter leeren | <input type="text"/> % | Fassungsvermögen q vhd. | <input type="text" value="0,015474"/> m³/s |
| Brunnen unvollkommen | <input type="text"/> % | Reserve Filterstrecke | <input type="text" value="0,39"/> |
| | | Reserve Fassungsvermögen | <input type="text" value="0,001789"/> m³/s |
| | | Verfahren anwendbar? | <input checked="" type="checkbox"/> |

Aquifer: frei Brunnen: TiefBr nn ee BrZ auto: X Datei: Knaupe01

Soweit die Vordimensionierung, die auf der Dupuit-Thiemschen Brunnenformel beruht. Für die Mehrbrunnenanlage wählt der Autor die in der folgenden Abbildung gezeigte Brunnenanordnung und überprüft dann den Erfolg der Absenkung in der Baugrubenmitte mit dem in der Vordimensionierung ermittelten Wasserandrang. Zur Frage, ob der ungünstigste Punkt dort oder auf dem Rand der Baugrube liegt, gibt es weitere Informationen auf der Homepage (www.progeo-software.de/theorie/ungenuestig.htm).



Aus seinen Berechnungen ergibt sich eine Absenkung von 4,57 m; das Absenkziel wird also knapp verfehlt, denn die erforderliche Absenkung beträgt 4,60 m; da die Absenktiefe von 4,6 m aber einen Sicherheitszuschlag von 0,5 m beinhaltet, wird das Ergebnis akzeptiert.

Mit ProAqua lässt sich dieses Ergebnis genau reproduzieren, wenn man für den Bemessungswasserandrang in der grafischen Dimensionierung den Wasserandrang aus der Vordimensionierung übernimmt. ProAqua legt den Wasserandrang Q für die Mehrbrunnenformel mit Hilfe von Dimensionierungspunkten fest. Wir setzen also einen Dimensionierungspunkt in die Baugrubenmitte und wählen im Dimensionierungsdialog für die Bemessungswassermenge die Option "Eingabe"; im entsprechenden Eingabefeld tragen wir den Wasserandrang aus der Vordimensionierung ein.

Einstellungen für die Berechnung der Absenkung

Dimensionierungspunkte (Q in m³/s)

| Nr | x | y | Absenkziel | ARE | $\ln(R/ARE) < 1$ | R | Q (m³/s) |
|----|------|------|------------|------|------------------|--------|----------|
| 1 | 0,00 | 0,00 | 4,60 | 7,78 | – | 436,46 | 0,055259 |

Bemessungsabsenkung

☐ Maximale Absenktiefe 4,60
☒ Mittlere Absenktiefe 4,60
☐ Eingabe

Ersatzradius

☒ Maximaler Wert 7,78
☐ Mittelwert 7,78
☐ Punkt 1 7,78
☐ Eingabe

Bemessungsreichweite

Reichweite (Sichardt) 436,39
☒ Reichweite nach Weber 436,46

Q-Bemessung (m³/s)

☐ Maximale Menge 0,055259
☐ Mittelwert 0,055259
☐ Punkt 1 0,055259
☒ Eingabe 0,055000

Die Bemessung erfolgt mit Q 0,055000

☒ Q nach Weyrauch, wenn $\ln(R/ARE) < 1$

Randbedingung

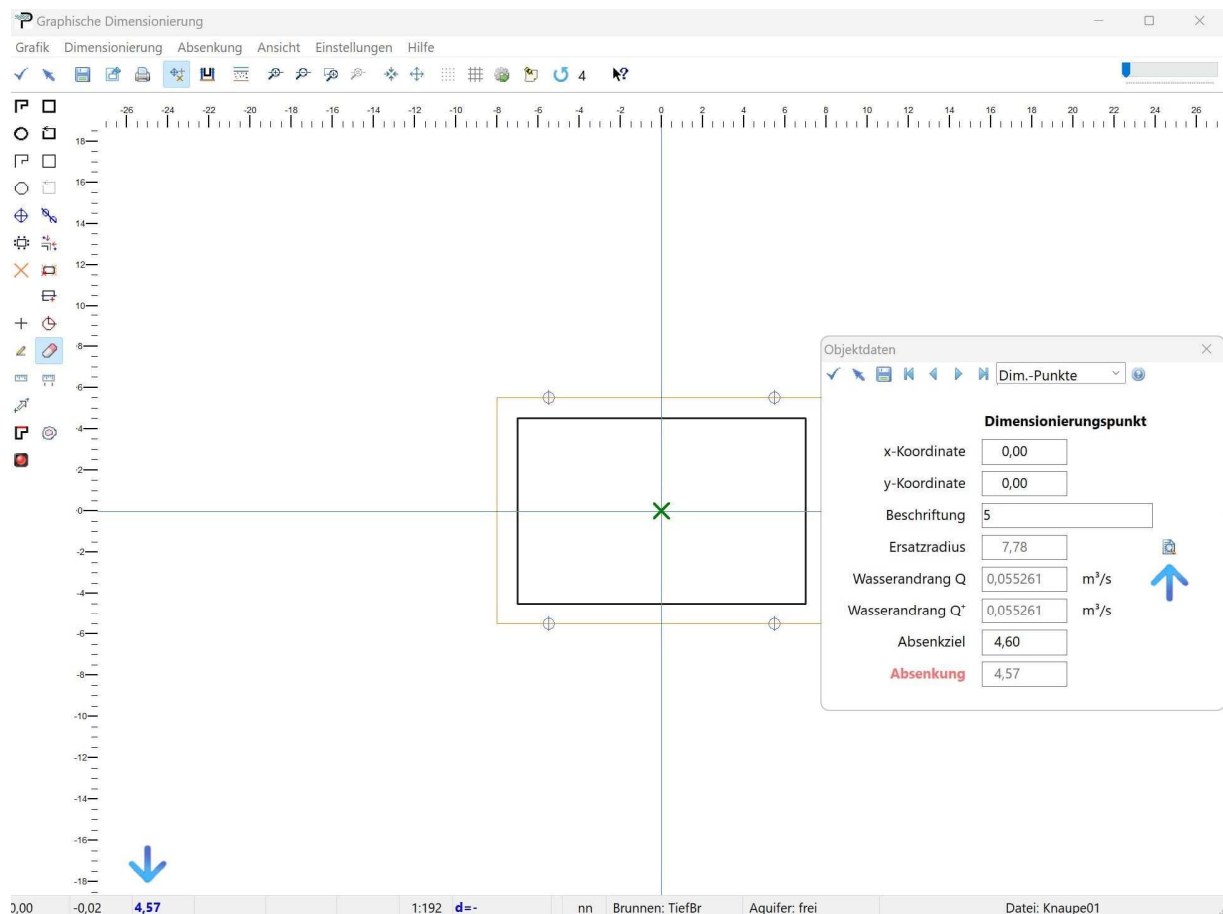
☐ ARE - h
☒ R - H

Dimensionierungspunkte

Brunnenwasserstände

In Übereinstimmung mit Knaupe wählen wir die Randbedingung R - H; Informationen zu diesem Thema finden Sie in einem Text, der auf der Homepage zu finden ist (www.progeo-software.de/theorie/stelzig_gesp.htm).

Mit diesen Vorgaben berechnet ProAqua ebenfalls eine Absenkung von 4,57 m in der Baugrubenmitte. Um die Absenkung in einem gezeichneten Punkt anzuzeigen, klickt man über dem Punkt mit der rechten Maustaste oder beobachtet die Statuszeile - im dritten Feld wird die Absenkung am Schnittpunkt des Fadenkreuzes angezeigt.

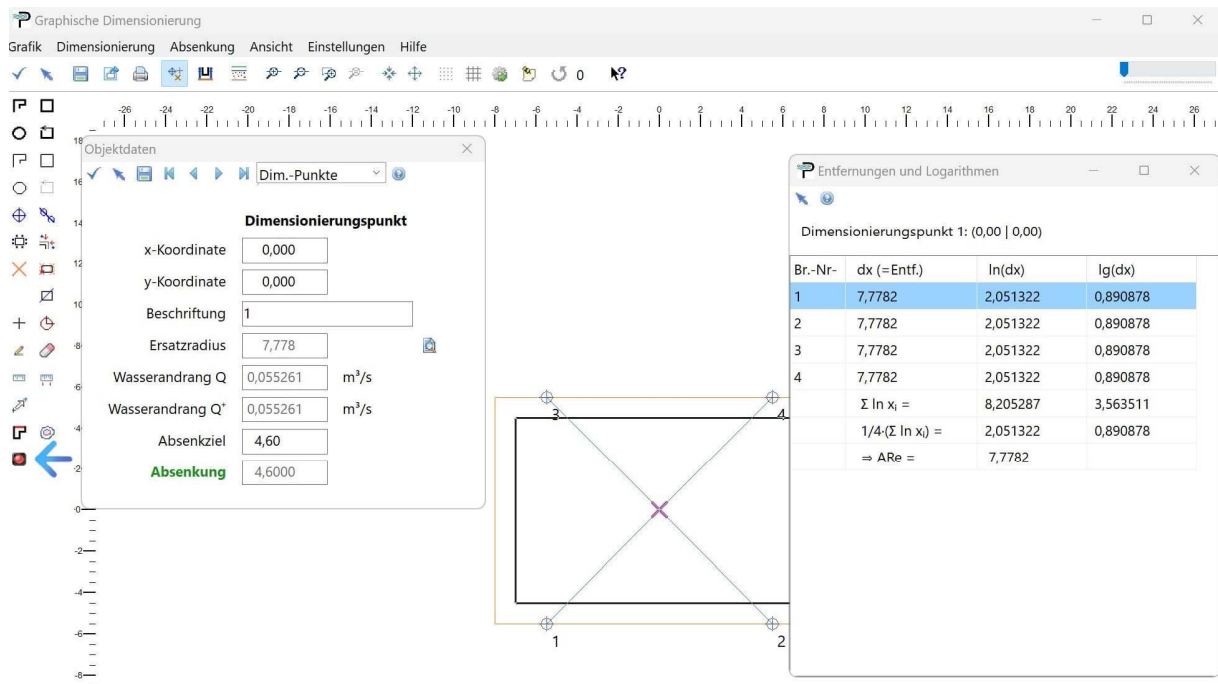


Exkurs: Der Wasserandrang im Dimensionierungspunkt

Für die Berechnung des Wasserandrangs unter Berücksichtigung seiner Lage gibt es mehrere Wege:

- Der lokale Ersatzradius A_{RE} und der Wasserandrang werden für jeden Dimensionierungspunkt sowohl im Dimensionierungsdialog als auch in dem mit der rechten Maustaste zu öffnenden Dialog mit Objektinformation angezeigt; die letzten beiden Abbildungen zeigen das. Wir lesen ab: Für den Punkt in der Baugrubenmitte mit den Koordinaten (0/0) gilt: $A_{RE} = 7,78$ m und $Q = 0,055261$ m³/s.

Klickt man in dem Dialog "Objektdaten" (vorherige Abbildung, rechtes Fenster) auf das Symbol neben dem Feld für den lokalen Ersatzradius (es ist mit einem Pfeil markiert), so erscheint eine Liste mit den Entfernungen zu den einzelnen Brunnen (die entsprechenden Strecken sind im Lageplan eingezeichnet) und dem sich daraus ergebenden Wert für A_{RE} . Er ist etwas größer als der Ersatzradius der Baugrube in der Vordimensionierung ($A_{RE} = 7,48$ m).



- Der Wert von Q lässt sich auch in der Vordimensionierung bestimmen. Wir wechseln in die Vordimensionierung von ProAqua, setzen den Cursor in eines der ersten beiden Felder für die Baugrubenabmessungen, öffnen dann mit der rechten Maustaste das Kontextmenü und wählen "Ersatzradius eingeben".

| Parameter | Value | Unit |
|--------------------------------------|---------------|------|
| Baugrubenlänge | 9,00 | |
| Baugrubenbreite | 14,00 | |
| Sohle unter Ruhewasserspiegel | 4,10 | |
| Absenkung unter Ruhewasserspiegel | 4,60 | |
| Abst. Brunnen-Grube | 1,00 | |
| k-Wert durchlässige Schicht | 0,001 | |
| Tiefe Stauer unter Ruhewasserspiegel | 10,00 | |
| Eintauchtiefe | 10,00 | |
| Brunnen-/Filterdurchmesser | 0,700 0,350 | |
| Wirksamer Durchmesser | 0,70 | |
| Brunnenzahl | 4 | |
| Mittlerer Brunnenabstand | 11,00 | |
| Absenktrichter leeren | | % |
| Brunnen unvollkommen | | % |
| Reichweite (Sichardt) | 436,39 | |
| Reichweite (Koerber) | 436,46 | |
| Reichweite (Re) | 7,7800 | |
| Wasserandrang Q | 0,055265 | m³/s |
| Wasserandrang Q⁺ | 0,055265 | m³/s |
| Fassungsvermögen q erf. | 0,013816 | m³/s |
| lokale Absenkung sEB | 2,0853 | |
| vorh. Filterstrecke h' vhd. | 3,31 | |
| erf. Filterstrecke h' erf. | 2,98 | |
| Fassungsvermögen q vhd. | 0,015367 | m³/s |
| Reserve Filterstrecke | 0,33 | |
| Reserve Fassungsvermögen | 0,001551 | m³/s |
| Verfahren anwendbar? | | |

Aquifer: frei Brunnen: TiefBr nn ee BrZ auto: X Datei: Knaupe01

Nach der Eingabe von 7,78 wird auch hier der Wasserandrang aus dem Dimensionierungsdialog der Grafik angezeigt.

Ist da nicht ein kleiner Unterschied bei Q zu sehen? 0,055265 statt 0,055261? Ja, das stimmt; aber der Ersatzradius ist eben nicht 7,78 m, sondern 7,7781... m.

- **Berechnung von Q mit GwR:** Es gibt also mehrere Möglichkeiten, den Wert von Q *anzuzeigen*. Aber wie kommt er zustande, wie wird er berechnet? Unter anderem dafür ist GwR geschaffen worden.

Wir wechseln in das Hauptmenü von ProAqua und klicken auf das Symbol "In GwR bearbeiten"; dort öffnen wir den Dialog "Wasserandrang | Berechnung von Q". Er zeigt die benutzte Formel und alle Eingangswerte. Wir überschreiben den Wert für A_{RE} und erhalten den Wert für Q (abgesehen von dem schon erwähnten Unterschied). Wenn man GwR nicht vertraut, kann man Q hier unschwer mit einem Taschenrechner nachrechnen...

Wasserandrang freie Oberfläche

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{A_{RE}}\right)} \quad \text{für } \ln\left(\frac{R}{A_{RE}}\right) \geq 1$$

| | | |
|----------------------------|----------|---------------------------------|
| k-Wert | k | 0,001 |
| Eintauchtiefe | H | 10,00 |
| Tiefe Stauer | T | 10,00 vollkommen |
| Absenktiefe | s | 4,60 0,10 |
| H-s | h | 5,40 |
| Reichweite (Sichardt) | R | 436,39 |
| Reichweite nach Weber | Rk | 436,46 |
| Ersatzradius | A_{RE} | 7,78 |
| $\ln(R/A_{RE})$ / Ung.wert | | 4,03 4,11 Weyrauch |
| Wasserandrang | Q | 0,055265 Q(s) |
| | Q^* | 0,055265 |

Ende des Exkurses

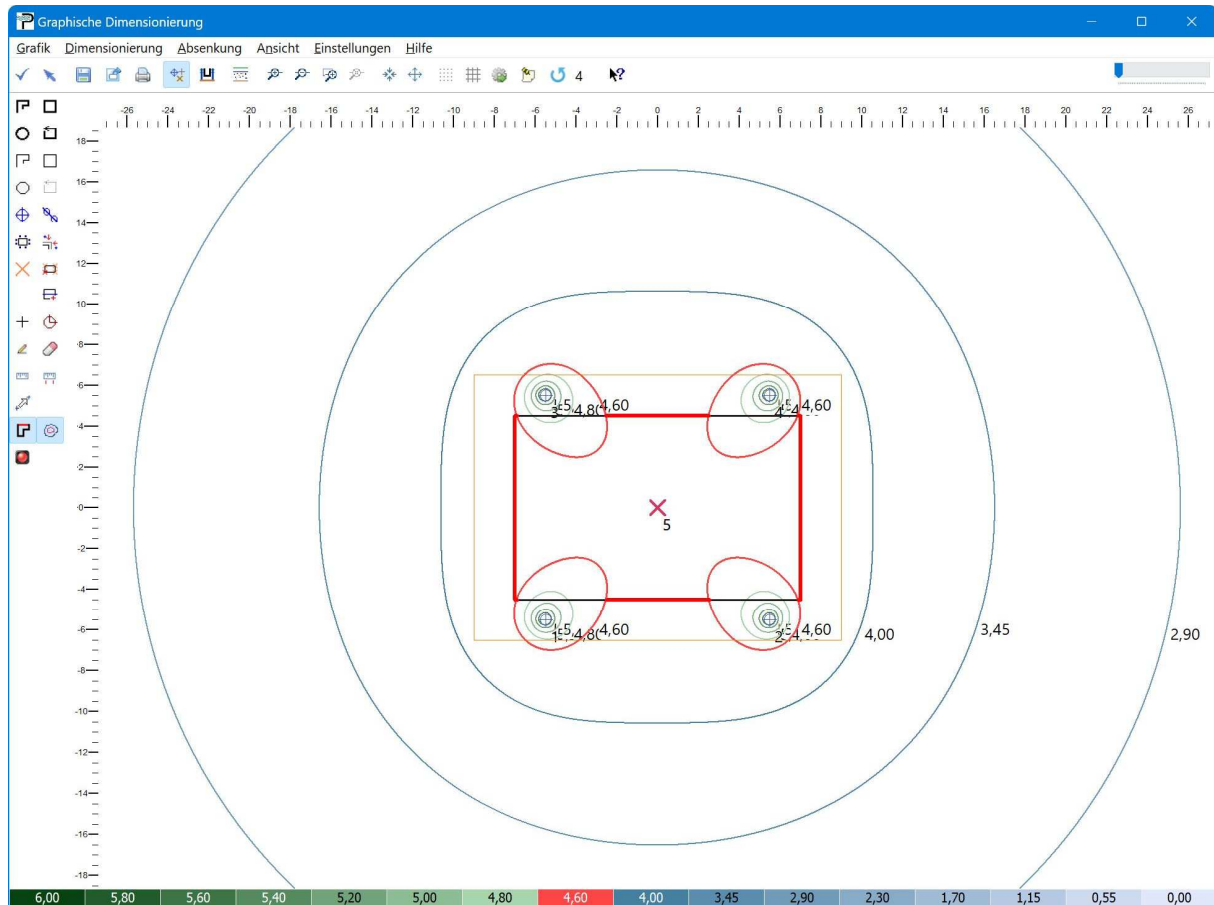
ProAqua weist oben darauf hin, dass etwas nicht in Ordnung ist („Dimensionierungspunkte“ ist rot geschrieben). Beachten Sie auch das Ampelsymbol in der Toolpalette links; die Ampel zeigt rot! Ein Klick auf sie zeigt dieses Fenster an:

Info: Absenkung

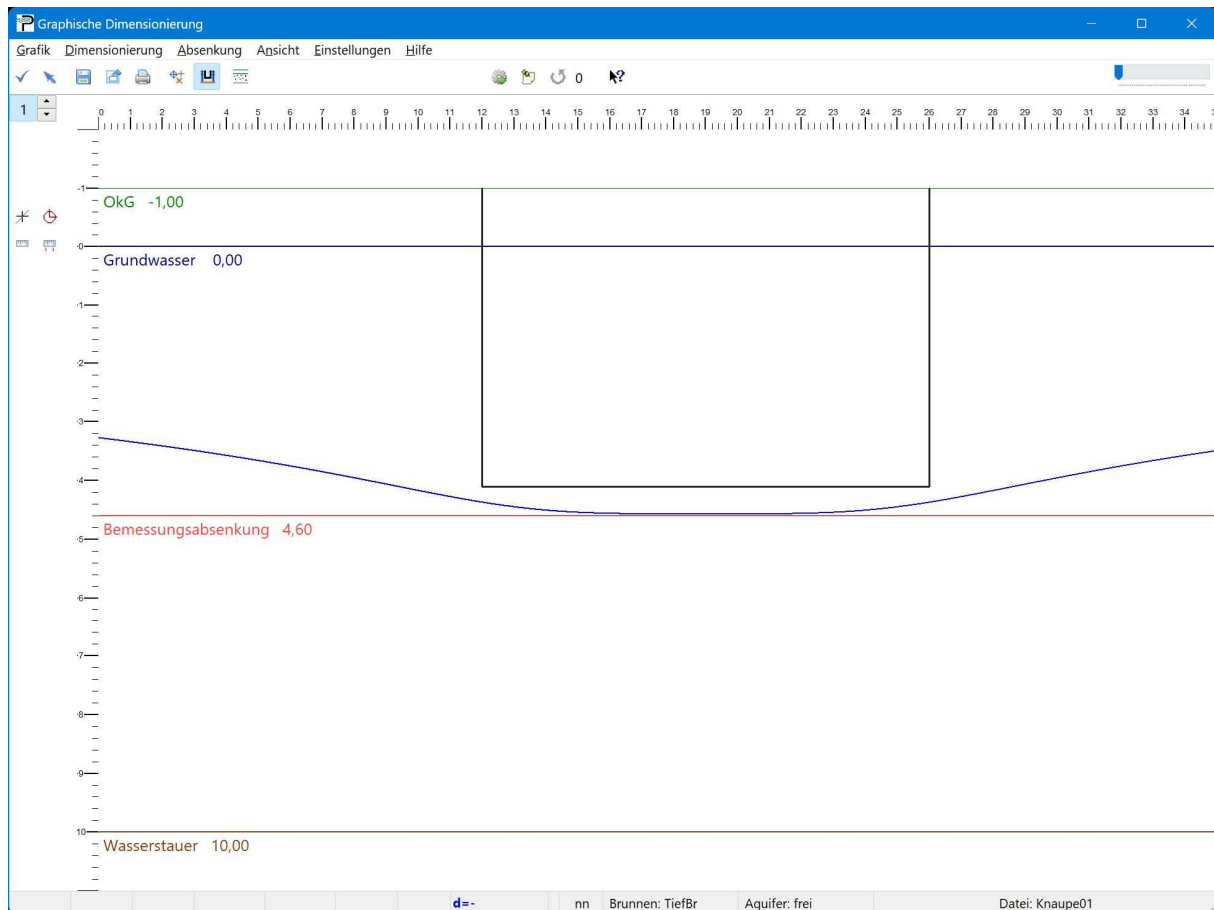
| | |
|--------------------------------------|---|
| Brunnenwasserstände | ✓ |
| Absenkung in Dimensionierungspunkten | ✓ |
| Absenkung am Grubenrand | ✗ |

Schauen wir uns die „Wasserkarte“ an, so sehen wir, was nicht stimmt. Klickt man dann noch auf Symbol über der Ampel, dann werden auf der Baugrubenumrandung Bereiche markiert, in denen das Absenkziel nicht erreicht wird.

Das Absenkziel wird nur in eiförmigen Bereichen um die Brunnen herum erreicht, und an den Seitenmitten wird es deutlich verfehlt.



Ein Schnitt durch die Baugrube zeigt, dass die ungünstigen Punkte der Absenkung nicht in der Baugrubenmitte liegen, denn dort ist die Absenkung am größten, sondern am Rand der Baugrube, zu dem hin die Absenkkurve ansteigt. Wir sollten also einen Dimensionierungspunkt auf den linken oder rechten Baugrubenrand setzen...



Grundwasserabsenkung - mit ProAqua berechnet

Der erste Fehler im obigen Beispiel besteht darin, dass der Wasserandrang aus der Vordimensionierung auch für die Dimensionierung der Mehrbrunnenanlage verwendet wird. Herth/Arndts haben aber darauf hingewiesen (S. 78 ff, Kapitel 2.3.1, „Gang der Berechnung“), dass der Wasserandrang in einem nachzurechnenden Punkt unter Berücksichtigung der geometrischen Situation (Abstand zu den Brunnen) gesondert bestimmt werden muss. Dazu wird für die Stelle, an der die Absenkung berechnet werden soll, ein lokaler Ersatzradius A_{RE} ermittelt.

Im **ersten Schritt** übernehmen wir für den Dimensionierungspunkt in der Baugrubenmitte **den für ihn berechneten Bemessungswasserandrang** und wählen "Q-Bemessung: Punkt"; weil es bisher nur einen Dimensionierungspunkt gibt, könnten wir ebenso gut "Maximale Menge" oder "Mittelwert" wählen.

Einstellungen für die Berechnung der Absenkung

Dimensionierungspunkte (Q in m³/s)

| Nr | x | y | Absenkziel | ARe | ln(R/ARe) < 1 | R | Q (m³/s) |
|----|-------|-------|------------|------|---------------|--------|----------|
| 1 | 19,00 | 24,50 | 4,60 | 7,78 | – | 436,39 | 0,055261 |

Bemessungsabsenkung

☐ Maximale Absenktiefe 4,60
☒ Mittlere Absenktiefe 4,60
☐ Eingabe

Ersatzradius

☐ Maximaler Wert 7,78
☐ Mittelwert 7,78
☒ Punkt 1 7,78
☐ Eingabe 7,77

Bemessungsreichweite

Reichweite (Sichardt) 436,39
☐ Reichweite nach Weber 436,46

Q-Bemessung (m³/s)

☐ Maximale Menge 0,055261
☐ Mittelwert 0,055261
☒ Punkt 1 0,055261
☐ Eingabe 0,055000

Die Bemessung erfolgt mit Q 0,055261

☒ Q nach Weyrauch, wenn ln(R/ARe) < 1

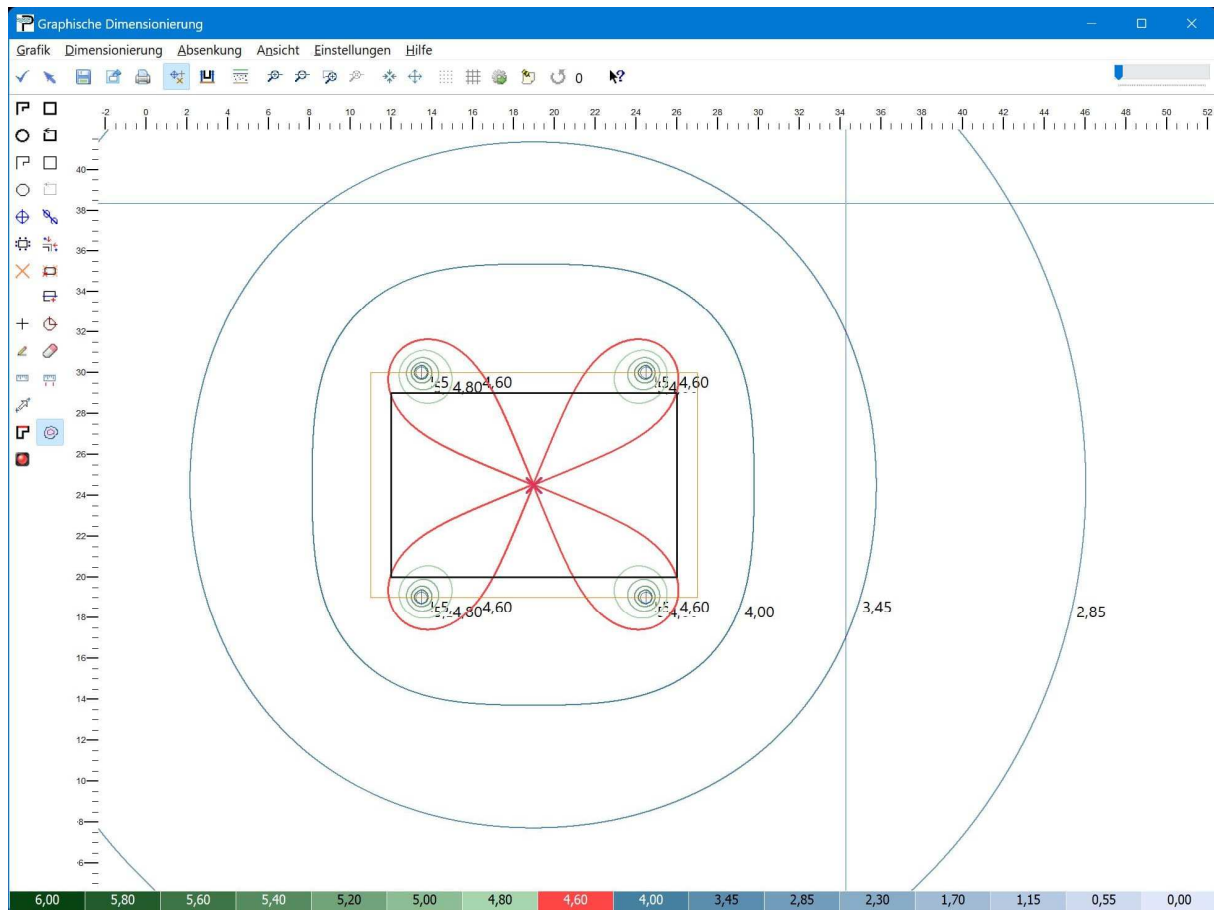
Randbedingung

☐ ARe - h
☒ R - H

Dimensionierungspunkte

Brunnenwasserstände

Es zeigt sich, dass der Wasserandrang hier mit 0,055261 m³/s etwas größer ist als der in der Vor-dimensionierung ermittelte Wert ($Q_{\text{Vdim}} = 0,05473 \text{ m}^3/\text{s}$).



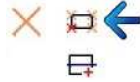
Durch diese Korrektur ergibt sich mit ProAqua ein besseres Ergebnis. Ein deutlich größerer Teil der Baugrube wird trockengelegt.

Normalerweise würde man in einem **zweiten Schritt** Dimensionierungspunkte auf die Baugrubeneckpunkte setzen und den maximalen Wasserandrang für die Berechnung übernehmen. In diesem Fall ist das wegen Symmetrie der Anordnung nicht erfolgreich, denn die Ersatzradien und Wassermengen sind für alle Punkte gleich.

| Einstellungen für die Berechnung der Absenkung | | | | | | | |
|--|-------|-------|-----------|------|------------------|--------|----------|
| Dimensionierungspunkte (Q in m³/s) | | | | | | | |
| Nr | x | y | Absenziel | ARe | $\ln(R/ARe) < 1$ | R | Q (m³/s) |
| 1 | -7,00 | -4,50 | 4,60 | 7,78 | – | 436,39 | 0,055261 |
| 2 | 7,00 | -4,50 | 4,60 | 7,78 | – | 436,39 | 0,055261 |
| 3 | 7,00 | 4,50 | 4,60 | 7,78 | – | 436,39 | 0,055261 |
| 4 | -7,00 | 4,50 | 4,60 | 7,78 | – | 436,39 | 0,055261 |
| 5 | 0,00 | 0,00 | 4,60 | 7,78 | – | 436,39 | 0,055261 |

Hinweis: In der 1. Version dieses Textes wurden die Koordinaten der Brunnen etwas ungenau übernommen; dadurch ergab sich ein geringfügig größerer Ersatzradius für einen der Dimensionierungspunkte und ein etwa 1 m³ größerer Wasserandrang. Dies führte zu einer deutlichen Verbesserung der Absenkung, nur in kleinen Teilen der Baugrube wurde das Absenziel nicht erreicht.

Dritter Schritt: Der zweite Fehler in diesem Beispiel ist der Nachweis in der Baugrubenmitte; aber auch die Verwendung von Dimensionierungspunkten auf den Eckpunkten der Baugrube ist nicht immer ausreichend. Hier gelingt die Dimensionierung erst dann, wenn wir *den ungünstigsten Punkt auf der Baugrubenumrandung* suchen.



Er liegt auf der rechten Seitenmitte und nicht an einer Ecke, wie es oft der Fall ist. Aus Symmetriegründen ist auch der Punkt auf der gegenüberliegenden linken Seite ebenso ungünstig (nicht aber die Mittelpunkte der waagrechten Begrenzungen). Wird die Bemessungswassermenge des ungünstigsten Punktes für die Berechnung übernommen, dann gelingt die Absenkung mit vier Brunnen doch noch und die Ampel steht auf grün.

