

Berechnung des Einflusses von Bauten im Grundwasser

Beilage zum Merkblatt «Bauen im Grundwassergebiet»

In Anhang 4, Ziffer 2 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 ist festgehalten:

«Im Gewässerschutzbereich A_u dürfen keine Anlagen erstellt werden, die unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegen. Die Behörde kann Ausnahmen bewilligen, soweit die Durchflusskapazität des Grundwassers gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um höchstens 10 Prozent vermindert wird.»

Als Rahmenbedingung wird angenommen, dass sich die Bestimmung auf den Durchflussquerschnitt unterhalb des Bauwerkes bezieht. Im Grundsatz lassen sich zwei Fälle von Beeinflussungen des Grundwassers unterscheiden:

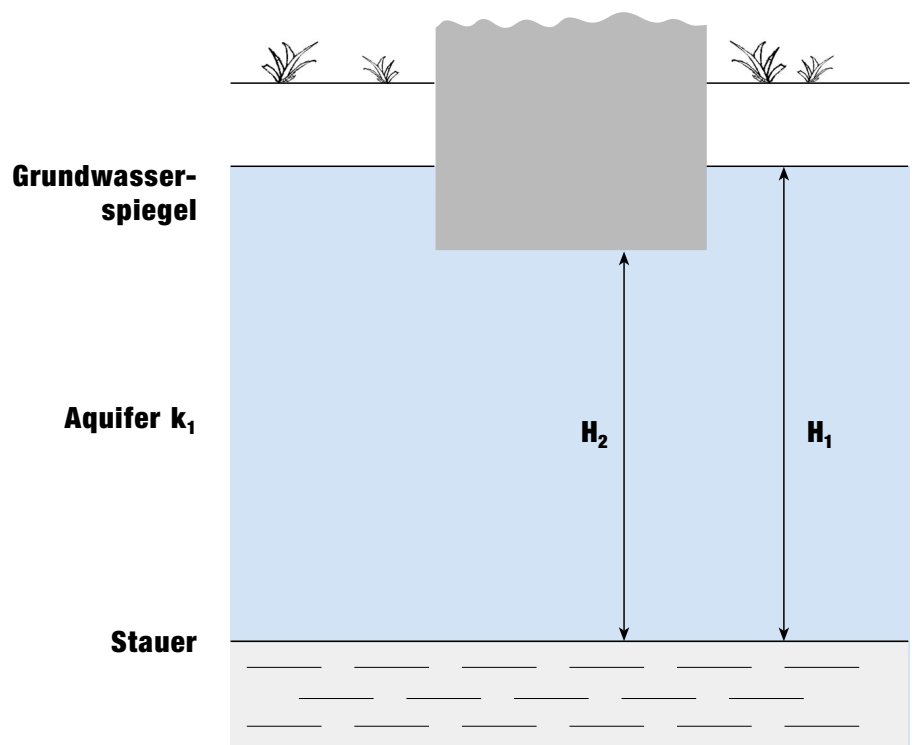
Fall 1 behandelt die **Wirkung horizontaler Baukörper** (z. B. Unterflurgaragen) im Grundwasser und Massnahmen zur Erhaltung der Durchflusskapazität. Es wird davon ausgegangen, dass der Untergrund unterhalb des Bauwerkes zumindest bis in die Tiefe des Stauers bekannt ist. Der rechnerische Ansatz erfolgt über die **Transmissivität** (Mächtigkeit mal Durchlässigkeit des Aquifers).

Kennwerte des Untergrundes:

Durchlässigkeitsbeiwert (Durchlässigkeitskoeffizient)	k	in m/sec
benetzte Mächtigkeit des Aquifers bei mittlerem Grundwasserstand	H	in m
Porosität	n	– im Fall 1 konstant – im Fall 2 vernachlässigt
hydraulisches Gefälle	i	Zahlenwert
Transmissivität ($H \cdot k$)	T	in m ² /sec
T vor der Erstellung des Bauwerkes	$T_1 = k_1 \cdot H_1$	
T nach Erstellung des Bauwerkes	$T_2 = k_1 \cdot H_2$	$H_2 = H_1 - \text{Tiefe des Bauwerkes im Grundwasser}$

Fall 1a

$T_2 \geq 0.9 \cdot T_1$:
die Bestimmung der GSchV ist erfüllt,
es sind keine Massnahmen erforderlich
($H_2 \geq 0.9 \cdot H_1$).

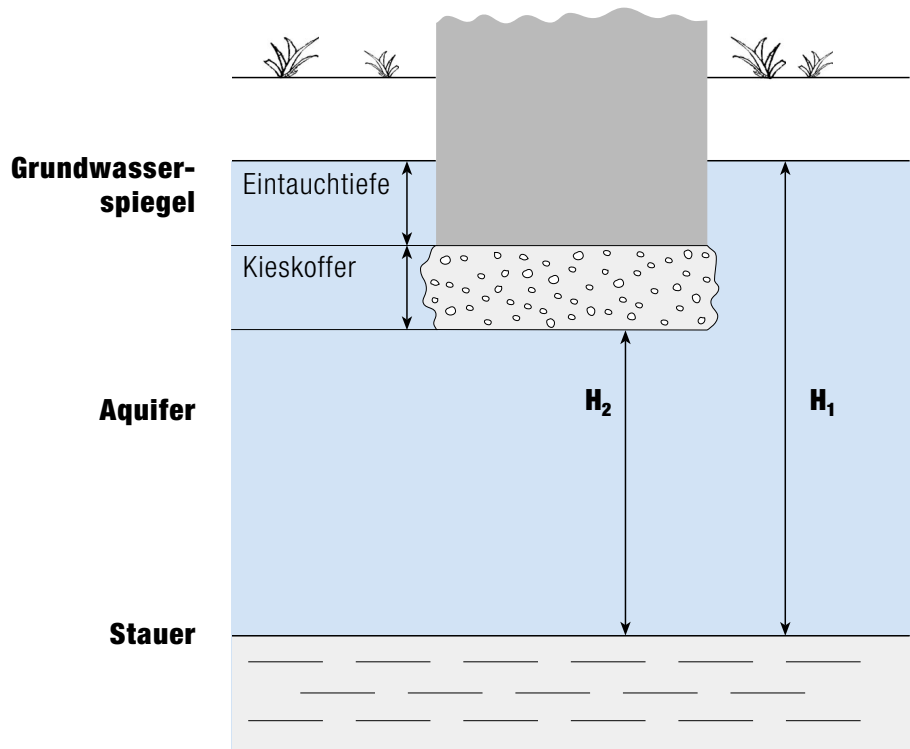


Fall 1b

$$T_2 < 0.9 \cdot T_1:$$

die Bestimmung der GSchV ist nicht erfüllt, das Bauvorhaben kann nicht erstellt werden.

In Ausnahmefällen kann das Vorhaben bewilligt werden; Massnahmen sind nötig.



Bedingung: $0.9 \cdot H_1 \cdot k_1 = H_2 \cdot k_1 + \text{Mächtigkeit Kieskoffer} \cdot k\text{-Wert Kieskoffer}$;

bekannt sind: H_1 ; k_1 ; $H_1 - (\text{Eintauchtiefe des Bauwerkes} + \text{Kieskoffer})$

Nun sind Mächtigkeit und k-Wert des Kieskoffers so anzupassen, dass die obengenannte Bedingung erfüllt wird.

Berechnungsbeispiel:	H_1 (natürliche Grundwasser-Mächtigkeit):	10 m
	k_1 (natürliche Durchlässigkeit):	0.001 m/sec
	Transmissivität:	0.01 m ² /sec
	Eintauchtiefe des Bauwerkes:	2 m
	erforderliche Resttransmissivität:	0.009 m ² /sec
	effektive Resttransmissivität:	0.008 m ² /sec

Nun sind Durchlässigkeit und Mächtigkeit des Kieskoffers so zu variieren, dass:

$$\begin{aligned} (H_1 - [\text{Eintauchtiefe} + \text{Mächtigkeit Kieskoffer}]) \cdot k_1 + \text{Mächtigkeit Kieskoffer} \cdot k \text{ Kieskoffer} &= \\ &= 0.9 \cdot H_1 \cdot k_1 = 0.9 T_1 \end{aligned}$$

zum Beispiel: bei Einbau eines Kieskoffers mit $H = 0.5$ m; $k = 0.003$ m/sec ergibt sich:

$$7.5 \text{ m} \cdot 0.001 \text{ m/sec} + 0.5 \text{ m} \cdot 0.003 \text{ m/sec} = 0.009 \text{ m}^2/\text{sec}$$

Randbedingungen sind:

- der Kieskoffer muss, im Verhältnis zum umgebenden Aquifer, einen k-Wert aufweisen, der noch kein Ausschwemmen von Feinanteilen aus dem Aquifer in den Kieskoffer bewirkt;
- der Kieskoffer muss, sofern der Aquifer inhomogen ist, an durchlässige Schichten angeschlossen werden.

Fall 2 behandelt die **Wirkung von Pfählen** im Grundwasser und Massnahmen zur Erhaltung der Durchflusskapazität. Es wird davon ausgegangen, dass der Untergrund unterhalb des Bauwerkes zumindest bis in die Tiefe des Stauers bekannt ist. Bei den rechnerischen Ansätzen wird als Vereinfachung angenommen, dass die Pfahllänge der Mächtigkeit des Aquifers entspricht.

Der rechnerische Ansatz erfolgt nicht über die Transmissivität, sondern über die **durchströmte Fläche** (quer zur Strömungsrichtung):

Durchfluss $Q = k \cdot F \cdot i$

k: Durchlässigkeitsbeiwert in m/sec;

F: durchflossene Fläche (Mächtigkeit des Aquifers mal interessierende Breite)

i: hydraulisches Gefälle (Gradient)

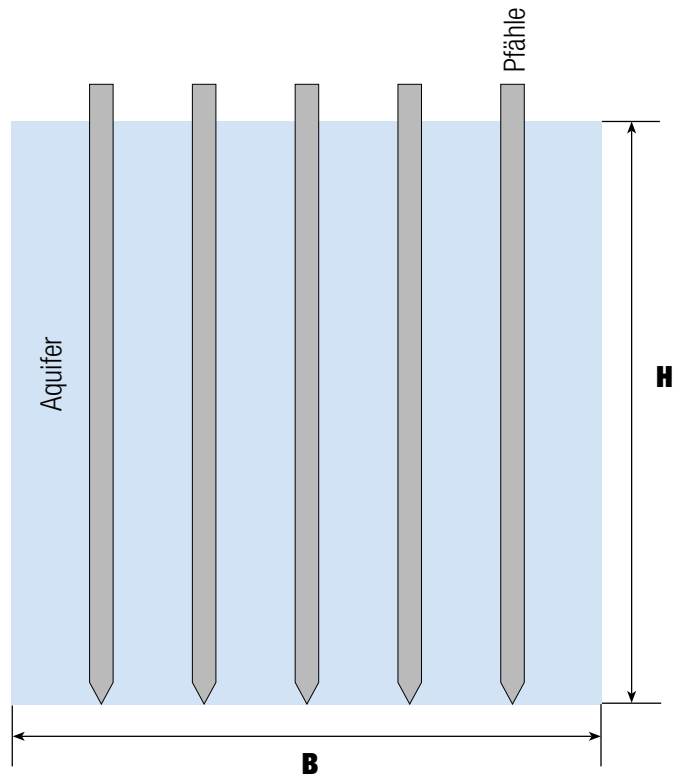
Fall 2a

Als einfachster Ansatz kann die Einbusse an durchströmter Fläche durch eine Pfählung betrachtet werden:

Berechnungsbeispiel:

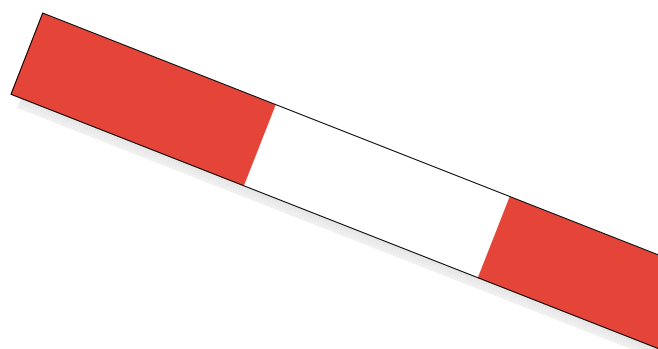
durchflossene Breite	B =	10 m
Mächtigkeit Aquifer	H =	10 m
Durchlässigkeitsbeiwert	k =	0.001 m/sec
hydraulisches Gefälle	i =	0.005

Durchfluss = 0.0005 m³/sec = 30 Liter/min



Annahme: es werden 5 Pfähle erstellt; r = 20 cm: die Einbusse an durchströmter Fläche beträgt 20%; die GSchV wird somit im vorliegenden Beispiel nicht erfüllt.

Der Ansatz über die Flächeneinbusse ist einfach anzuwenden, für Bohrpfähle aber etwas streng. Beträgt die Einbusse der Durchflusskapazität, auf diese einfache Weise bestimmt, nicht mehr als zehn Prozent, ist die GSchV mit hoher Sicherheit eingehalten. Bei gerammten Pfählen ist die Verdichtung zwischen den Pfählen zu berücksichtigen.



Fall 2b

Eine genauere rechnerische Annäherung wurde von Dr. Fritz Stauffer, ETH Zürich, vorgeschlagen:

r	Pfahlradius
Q	Durchfluss (m ³ /sec)
k	k-Wert nach Darcy, Durchlässigkeitsbeiwert (m/sec)
Δh	Differenz Grundwasserspiegel über die Länge 2a (m)
H	Höhe Pfahl im Grundwasser (m)
α	Faktor (-)

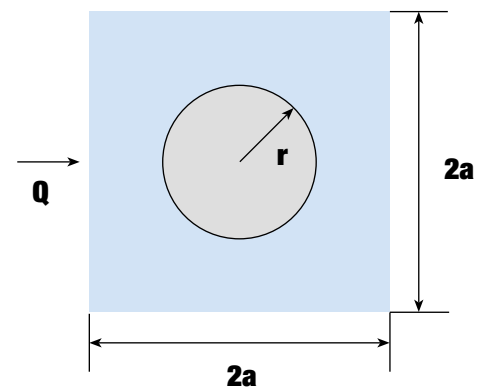
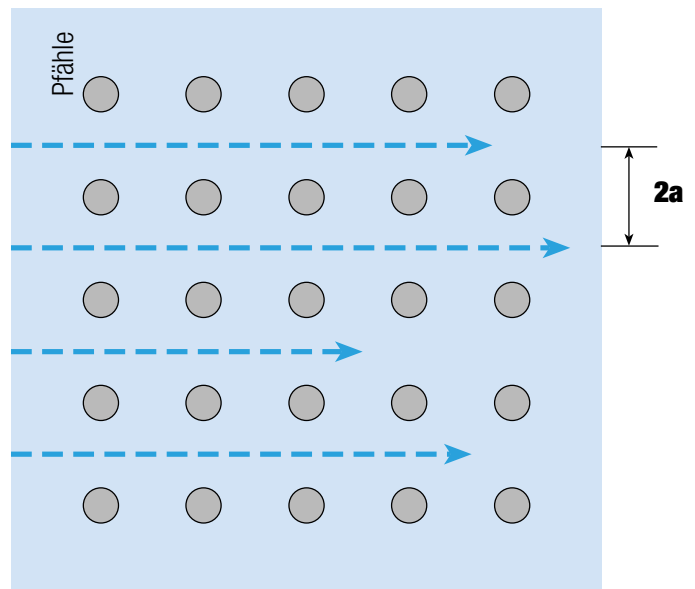
$$\alpha = \frac{1 - \frac{r}{a}}{1 - \frac{r}{2a}}$$

Näherung für α :

Durchfluss durch die Breite 2a: $Q = \Delta h \cdot H \cdot \alpha \cdot k$

In der Annahme, dass sich k-Wert, $i (= \frac{\Delta h}{2a})$ und H nicht ändern, muss dann gemäss GSchV $\alpha > 0.9$ sein. Im obengenannten Beispiel wären:

$$\alpha = \frac{1 - \frac{0.2}{1}}{1 - \frac{0.2}{2}} ; Q_2 \text{ wäre } 0.89 \cdot Q_1, \text{ die Bedingung GSchV knapp eingehalten.}$$

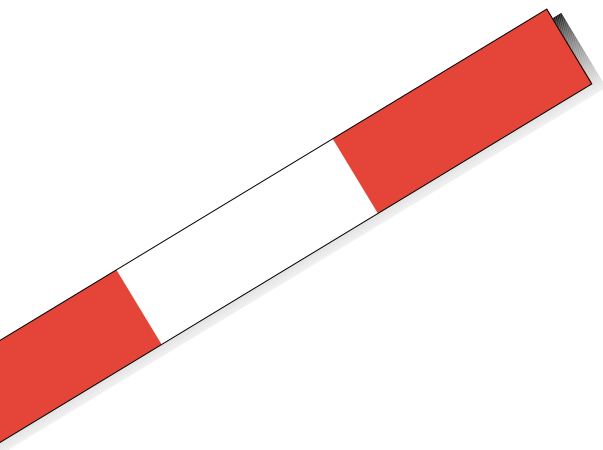


Fazit

Bei Pfählungen sind, soweit möglich, zur Erhaltung der Durchflusskapazität Pfahlradius und Pfahlabstand in dem Sinne zu optimieren, dass der Wert α gemäss der Formel von Dr. F. Stauffer, ETH Zürich, den Wert von 0.9 nicht unterschreitet.

Die Methode nach Dr. F. Stauffer vernachlässigt bei Rammpfählen die Verdichtung des Untergrundes zwischen den Pfählen. Bei Rammpfählen ist zur rechnerischen Abschätzung die einfache Berechnung über die Flächeneinbusse (Fall 2a) angebracht.

Allfällige technische Massnahmen bei Nichteinhalten der notwendigen Durchflusskapazität: Erstellung von Kiespfählen zwischen den dichten Pfählen und/oder Kiesrinnen.



Für Fragen und weitere Auskünfte:

- Amt für Umweltschutz Kt. Uri
Tel. 041 875 24 30 afu@ur.ch
- Amt für Umweltschutz Kt. Schwyz
Tel. 041 819 20 35 afu.di@sz.ch
- Amt für Umweltschutz Kt. Nidwalden
Tel. 041 618 75 04 afu@nw.ch
- Amt für Umwelt und Energie Kt. Obwalden
Tel. 041 666 63 27 umwelt.energie@ow.ch
- Amt für Umweltschutz Kt. Luzern
Tel. 041 228 60 60 afu@lu.ch
- Amt für Umweltschutz Kt. Zug
Tel. 041 728 53 70 info.afu@bd.zg.ch