

Übung SALZWASSERINTRUSION

Hintergrund:

In Küstengebieten kommt aus dem Niederschlag gebildetes Grundwasser (Süßwasser) in Kontakt mit Meerwasser. Darüber hinaus kann Süß- bzw. Brackwasser dem Meer in Flussmündungen zufließen. Das Verhalten von Salz- und Süßwasser wird primär durch die Unterschiede ihrer Dichte bestimmt. Durch GW-Entnahme kann eine Versalzung küstennaher GW-Leiter hervorgerufen werden (**Upconing**), was weltweit Probleme der Wasserversorgung mit sich bringt.

Aufgabe 1:

Abb. 1 zeigt am Punkt A eine Standrohrspiegelhöhe des Süßwassers von 1 m über NN und eine Standrohrspiegelhöhe von 0.5 m unter NN für das liegende Salzwasser. Berechnen Sie die Lage der Süß-/Salzwassergrenzfläche unter Punkt A unter Annahme hydrostatischer Bedingungen (Gl. 1) und für hydrodynamische Bedingungen (Gl. 2). Wie lassen sich die unterschiedlichen Ergebnisse erklären und wie wird die Situation in größerer Entfernung von der Küstenlinie aussehen?

Berechnung der Süß-/Salzwassergrenze (**Interface**) nach der **Ghijben-Herzberg**-Beziehung

$$(Gl. 1) \quad z = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} * h \quad (\text{hydrostatisches Gleichgewicht})$$

$$(Gl. 2) \quad z = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} h_s - \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} h \quad (\text{hydrodynamisches Gleichgewicht})$$

mit

ρ_s, ρ = Dichte des Salz- (~ 1.025) bzw. des Süßwassers (~ 1.000) (g/cm^3)

γ_s, γ = spezifisches Gewicht des Salz- bzw. Süßwassers ($\gamma = \rho * g$ in Nm^{-3})

h = Höhe des Süßwasserspiegels über dem Meeresspiegel (m)

z = Tiefe der Grenzfläche unter dem Meeresspiegel (m)

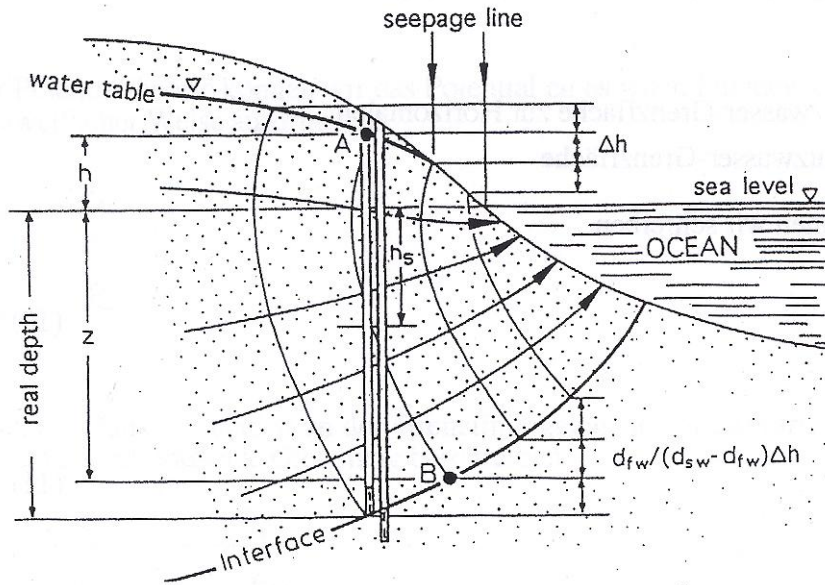


Abb.1: Unterschied zwischen der realen Tiefe der Süß-/Salzwassergrenzfläche und der mittels der Ghibben-Herzberg-Gleichung berechneten (nach Hubbert, 1940)

Aufgabe 2:

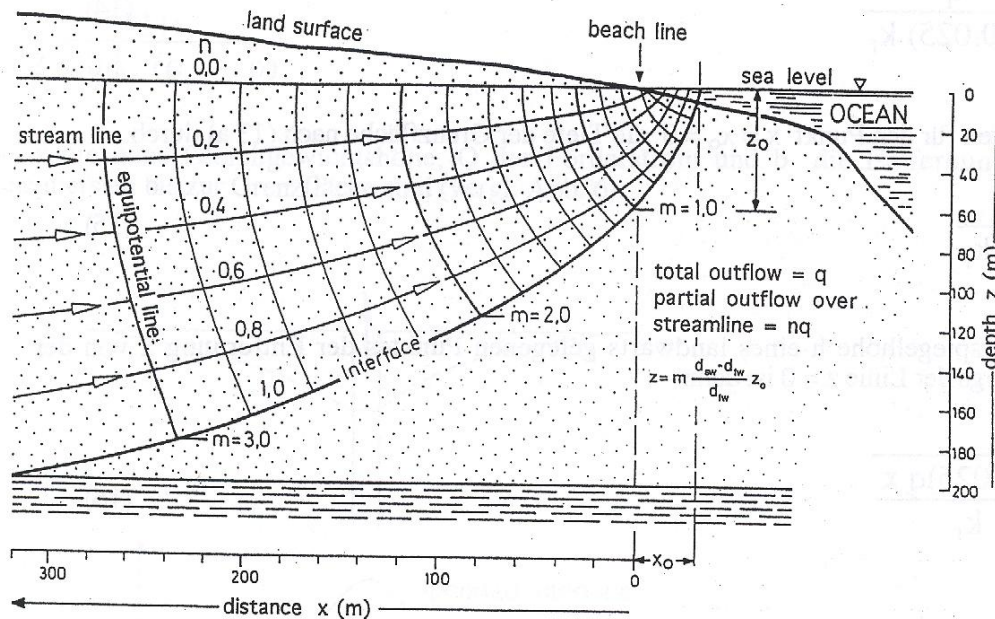


Abb. 2: Strömungsnetz einer küstennahen Süßwasserströmung (nach Glover, 1959)

Der in Abb. 2 gezeigte Grundwasserleiter soll einen Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-4}$ m/s haben. Aus einer Fließnetz-Analyse weiter im Inland wurde ein Durchfluss q von $7.5 \cdot 10^{-4}$ m³/s pro Meter Küstenlinie berechnet. Berechnen Sie die seeseitige Reichweite der Süßwasser-Entlastung (Gl. 4) und die Tiefe des Interface direkt unter der Küstenlinie (Gl. 5). Mithilfe von Gl. 6 können Sie unter Verwendung

unterschiedlicher Entfernungen x von der Küstenlinie Schritt für Schritt die Tiefenlage der Interface für das gesamte Profil berechnen. Ermitteln sie auf diese Weise die Länge des Salzkeils und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Berechnung der Salzkeil-Länge nach Ghijben-Herzberg (Gl. 3). Worauf ist der Unterschied zurückzuführen?

Ermittlung der Länge des Salzkeils nach **Ghijben-Herzberg** und **Darcy**

$$(Gl. 3) \quad L = \frac{(\rho_s - \rho) * k_f * M^2}{\rho * Q^*}$$

mit
 Q^* = Grundwasser-Volumenstrom ($m^3 s^{-1}$)
 L = Länge des Salzkeils (m)
 M = Tiefe des Salzkeils (m)

$$(Gl. 4) \quad x_0 = \frac{q}{2(0.025) \cdot k_f} \quad (\text{Grenzflächenentfernung})$$

$$(Gl. 5) \quad z_0 = \frac{q}{0.025 \cdot k_f} \quad (\text{Grenzflächentiefe})$$

$$(Gl. 6) \quad z^2 = \frac{2q}{k_f(\rho_s - \rho)} x + \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right)^2 \left(\frac{q}{k_f} \right)^2$$

(Tiefe der Grenzfläche in Entfernung x von der Strandlinie)

oder für ein mittleres Meerwasser der Dichte 1.025

$$(Gl. 7) \quad z^2 = \frac{2q}{0.025k_f} x + \frac{q^2}{(0.025)^2 k_f^2}$$

mit
 x = horizontale Entfernung zwischen Strandlinie und einem landwärts gelegenen Punkt (m)
 z = Tiefe der Grenzfläche unter dem Meeresspiegel (m)
 q = Volumenstrom des Süßwassers ins Meer pro Meter Küstenlinie und Sekunde ($m^2 s^{-1}$)
 ρ_s, ρ = Dichte des Salz- bzw. des Süßwassers (kg/m^3)
 k_f = Permeabilität des Grundwasserleiters (m/s)

An der Strandlinie ist $z = 0$ und $x = x_0 = 0$.

Aufgabe 3:

Berechnen Sie die Aufwölbung (Upconing) der Süß-/Salzwasser-Grenzfläche unter einem Brunnen für die folgenden Bedingungen:

- Förderrate des Brunnens: 3 l/s
- Entfernung des Brunnens zur primären Interface: 40 m
- Durchlässigkeitsbeiwert k_f : $5 \cdot 10^{-4}$ m/s

$$(Gl. 4) \quad z = \left(\frac{Q \cdot \rho}{2\pi \cdot b \cdot k_f \cdot (\rho_s - \rho)} \right) \quad (\text{Grenzflächenanstieg})$$

mit

z = Gleichgewichtshöhe (m)

b = Entfernung vom Brunnentiefsten bis zur Grenzfläche (m)

Q = Förderstrom (m^3/s)

k_f = Permeabilität des Grundwasserleiters (m/s)

ρ_s, ρ = Dichte des Salz- bzw. des Süßwassers (kg/m^3)

Fragen:

Was ergibt sich, wenn ...

- der Brunnen 20 m tiefer ist?
- der k_f -Wert eine Größenordnung geringer ist?
- das Salzwasser im Liegenden stärker mineralisiert ist als Meerwasser (z.B. Dichte 1.040)?