

Hydrosphäre

Dr. Rolf Kipfer
Dr. Martin Herfort

9 Grundwasser II:

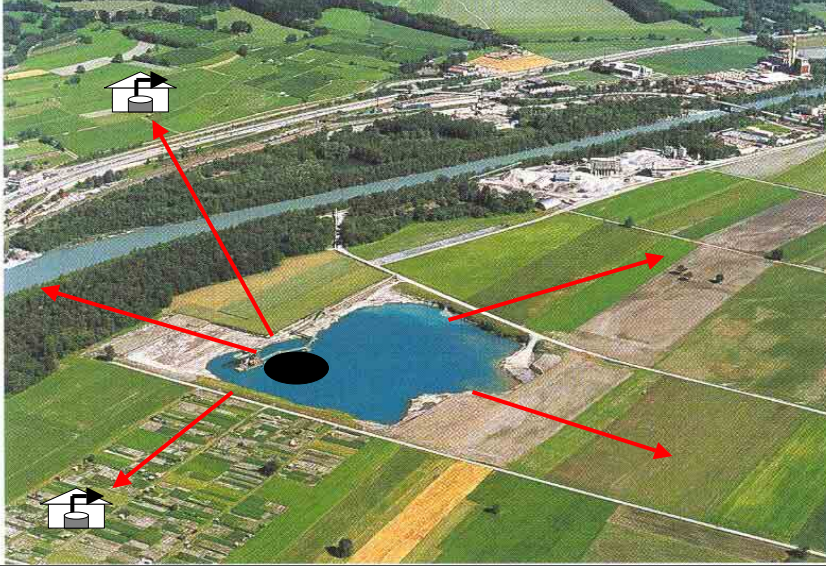
Quo vadis, Grundwasser?

Inhalt Lektion 9

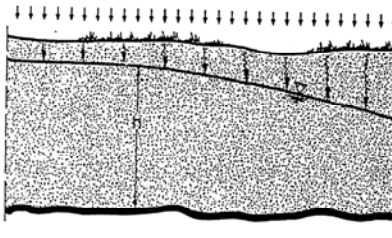
- o Freies und gespanntes Grundwasser
- o Speicherkoeffizient
- o Fliessnetze in Aufsicht und Vertikalschnitt
- o Grundwassergleichungen
- o Hydrogeologische Karten
- o Bsp.: Unterströmung eines Damms

Ziel: → Stationäre und instationäre GW-Strömung
(Richtung, Betrag) auf verschiedenen Skalen
bestimmen zu können

Bsp.: Abstrom aus Baggersee



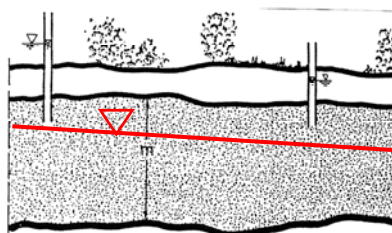
Freies und gespanntes Grundwasser



Grundwasserleiter mit freiem Grundwasser (Ausbildung eines Grundwasserspiegels)

= ungespannter Grundwasserleiter

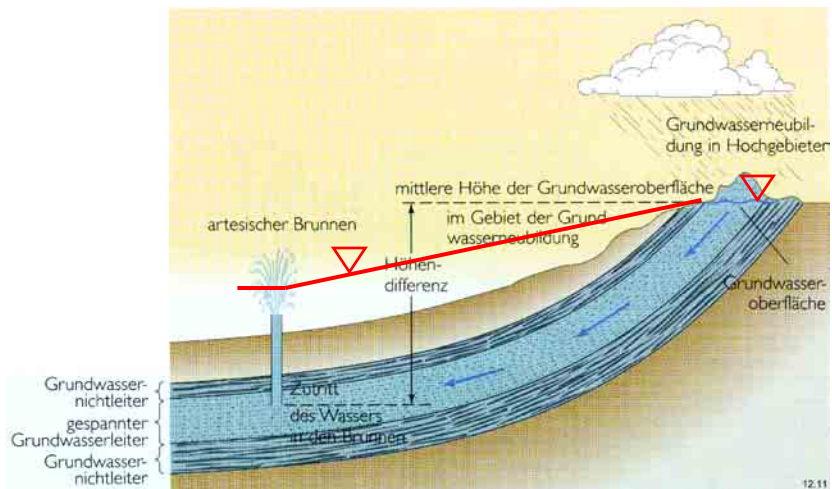
= phreatischer Grundwasserleiter



Grundwasserleiter mit gespanntem Grundwasser (das hydraulische Potenzial liegt über der Oberkante des Grundwasserleiters)

= gespannter Grundwasserleiter

Artesisches Grundwasser

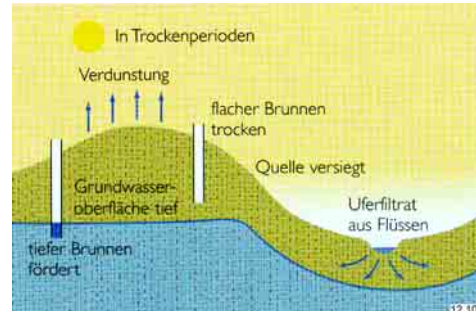
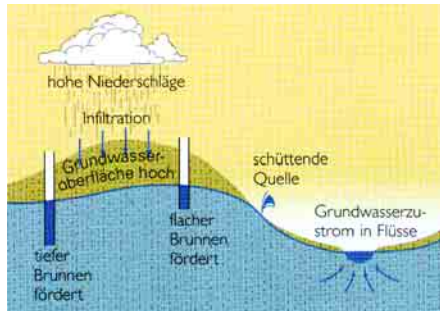


Freies Ausfliessen von Grundwasser

Artesische Bohrung



Freies Grundwasser



Die Lage des Grundwasserspiegels kann sich mit der Zeit ändern
→ führt zu unterschiedliche hydrogeologischen Situationen

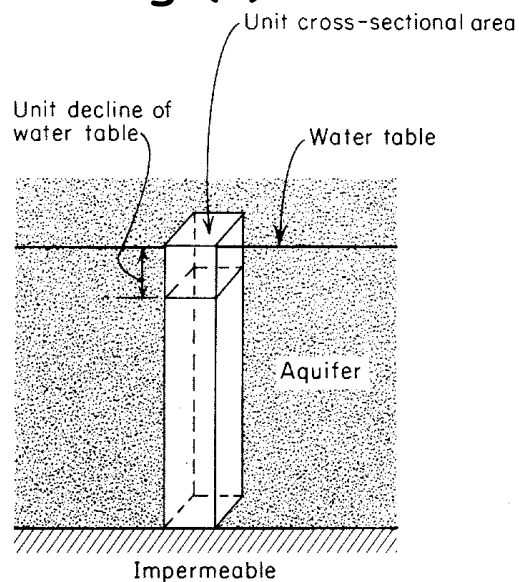
Speicherung (1)

Ungespannter Aquifer:

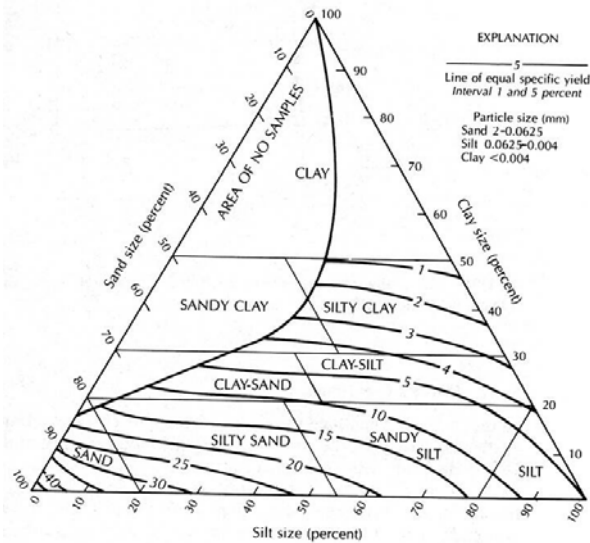
Das aus einer Einheitsfläche
(1 m²) durch Verringerung des
Wasserspiegels um 1 m
ausfließende Wasservolumen

Specific Yield: S_y ($\approx n'$)

Einheit: [-], m³/(m²*m)



S_y feinkörniger Sedimente



Speicherung (2)

Gespannter Aquifer:

Das aus einer Einheitsfläche (1 m^2) durch Verringerung des hydraulischen Potenzials um 1 m ausfliessende Wasservolumen

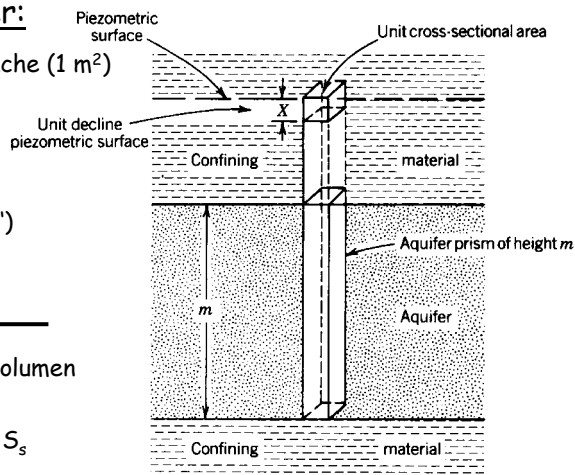
Speicherkapazität: $S (\neq n')$

Einheit [-], $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{m})$

Bezogen auf ein Einheitsvolumen (1 m^3):

Spez. Speicherkapazität: S_s

Einheit $[\text{m}^{-1}]$, $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$



Kompressibilität des Wasser β

- Konstant ($4.4 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$)
- Volumenänderung des Wassers V_w wird auf die Änderung des Wasserdrucks p bzw. des hydraulischen Potenzials h bezogen

$$\beta = \frac{-dV_w / V_w}{dp} = \frac{-dV_w / V_w}{\rho g dh}$$

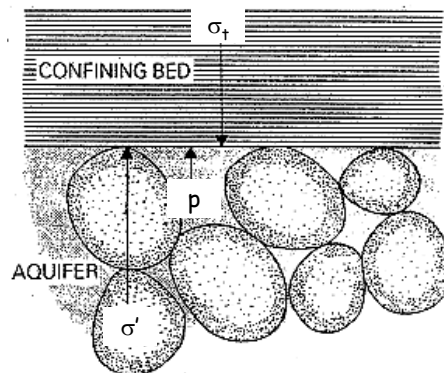
Effektiver Stress

Auf das Korngerüst
wirkt der effektive
Stress σ' :

$$\sigma' = \sigma_t - p$$

Weil σ_t konstant gilt
 $d\sigma_t = 0$:

$$d\sigma' = -dp = -\rho g dh$$



Kompressibilität des Gesteins α

- Je nach Gestein unterschiedlich (m^2/N)
- Kompressibilität des Gesteins kann ebenfalls auf die Änderung des Wasserdrucks p bzw. des hydraulischen Potentials h bezogen werden

$$\alpha = \frac{-dV_G / V_G}{d\sigma'} = \frac{-dV_G / V_G}{\rho g dh}$$

Spezifischer Speicherkoeffizient

Aus dem Gestein:

$$dV_W = -dV_G = -\alpha V_G \rho g dh$$

Bezogen auf
Einheitsgrößen:

$$dV_W = \alpha \rho g$$

Aus der Dekompression des
Wassers:

$$dV_W = -\beta n V_G \rho g dh$$

$$dV_W = \beta n \rho g$$

$$S_s = \rho g (\alpha + \beta n)$$

Kompressibilitäten

	Compressibility, α (m^2/N or Pa^{-1})
Clay	10^{-6} – 10^{-8}
Sand	10^{-7} – 10^{-9}
Gravel	10^{-8} – 10^{-10}
Jointed rock	10^{-8} – 10^{-10}
Sound rock	10^{-9} – 10^{-11}
Water (β)	4.4×10^{-10}

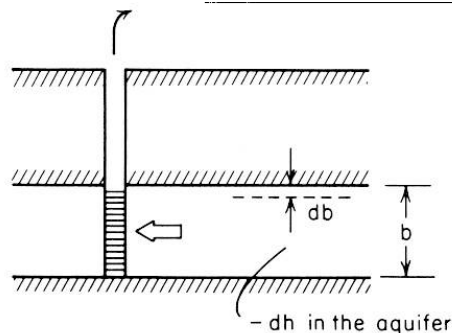
Bsp.: Aquiferverformung

$$\alpha = \frac{-db/b}{d\sigma'}$$

$$d\sigma' = -\rho g dh$$

$$db = -\alpha b d\sigma' = \alpha b \rho g dh$$

1-dimensionale Aquifer-
verformung ausgelöst
durch eine Potential-
änderung $-dh$



Schaden durch Setzung



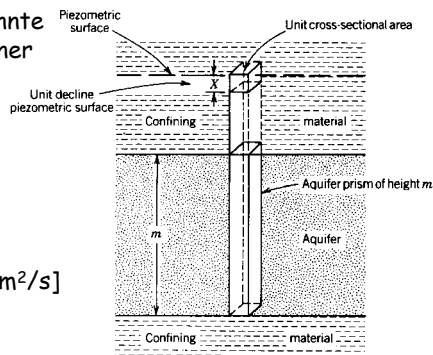
Abgeleitete Grössen

Wichtige abgeleitete Grössen für gespannte Aquifere mit Mächtigkeit m und homogener hydraulischer Durchlässigkeit K :

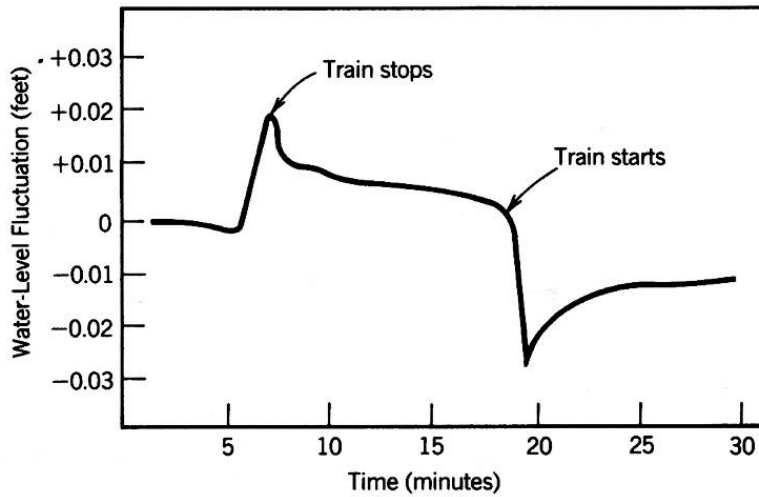
Transmissivität T : $T = Km$, [m^2/s]

Speicherkapazität S : $S = S_s m$, [-]

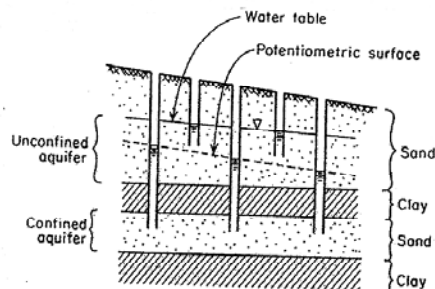
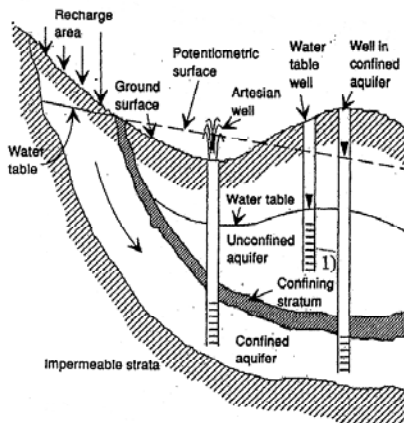
Hydraulische Diffusivität D : $D = T/S = K/S_s$, [m^2/s]



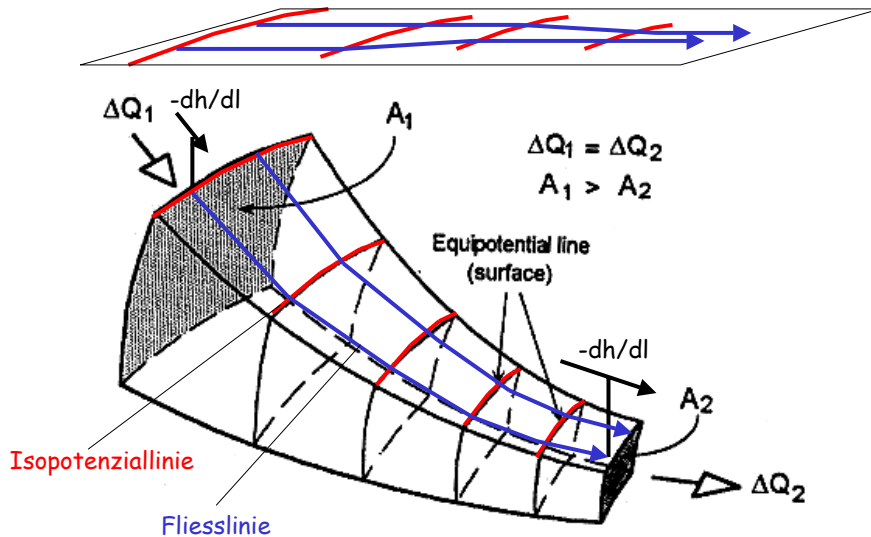
Bsp.: Kurzzeitige Belastung



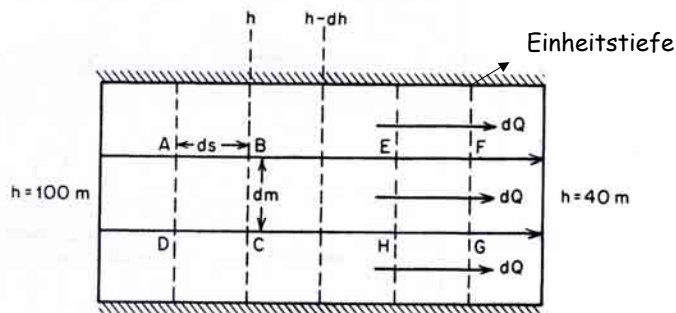
Grundwasserstockwerke



Isopotenzialflächen



Beispiel eines Fließnetzes



Für ein Element:

$$dQ = K \cdot dm \cdot dh / ds$$

(Freeze & Cherry, 1979)

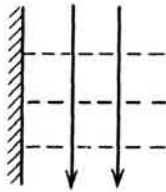
Für einen Stromstreifen:

$$dQ = K \cdot dm \cdot dH / dS$$

Für das Gesamtgebiet:

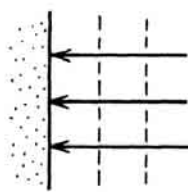
$$Q = \sum_{dm} dQ = K \cdot m \cdot dH / dS$$

Randbedingungen



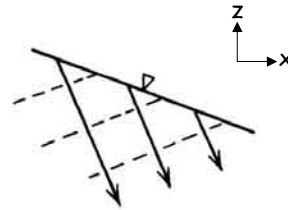
(a)

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0$$



(b)

$$h = \text{const.}$$



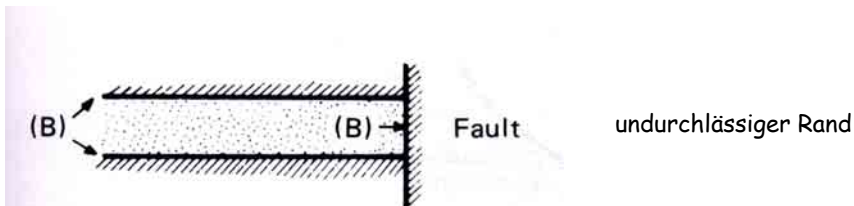
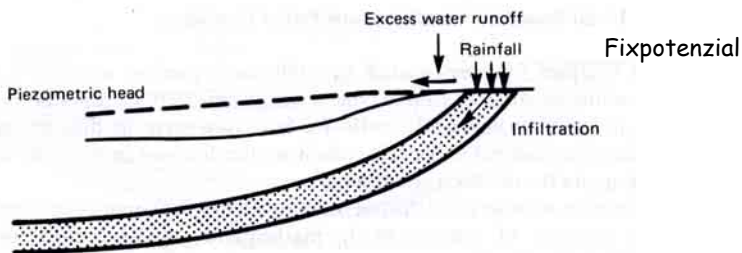
(c)

(Freeze & Cherry, 1979)

$$h = z$$

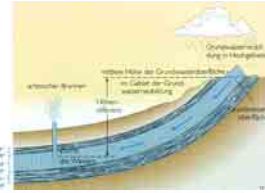
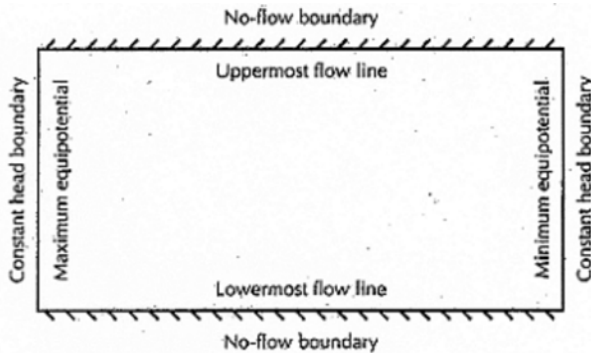
(a) Undurchlässiger Rand, (b) Fixpotenzial, (c) freie Grundwasseroberfläche

Bsp. Randbedingungen



(de Marsily, 1986)

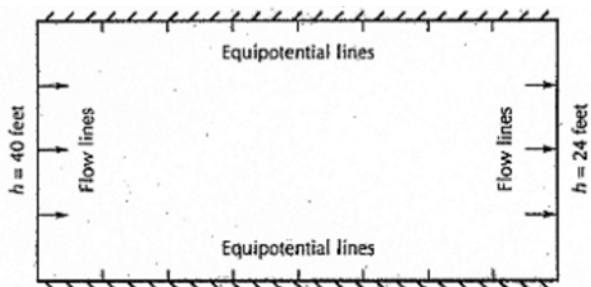
Konstruktion (1)



Step 1—Sketch the flow system and identify prefixed flow lines and equipotential lines.

- 1) Festlegung der Gebietsränder, möglichst natürliche Grenzen nehmen

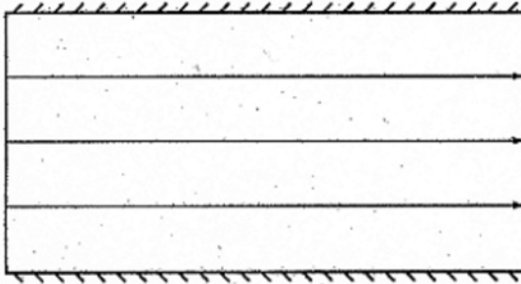
Konstruktion (2)



Step 2—Identify prefixed end positions of flow lines and equipotential lines.

- 2) Definition der Randbedingungen (undurchlässig, Festpotential, freie Grundwasseroberfläche)

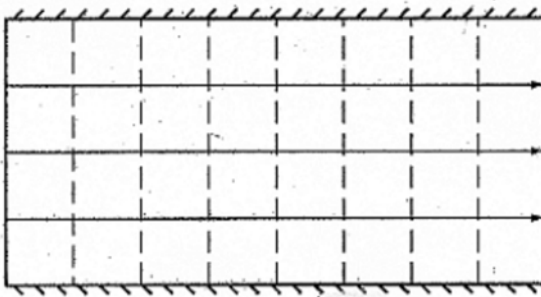
Konstruktion (3)



Step 3—Draw trial set of flow lines.

- 3) Hydrogeologische Unterteilung und Beschreibung (relative Durchlässigkeiten, Anisotropie)
- 4) Einzeichnen von Fließlinien

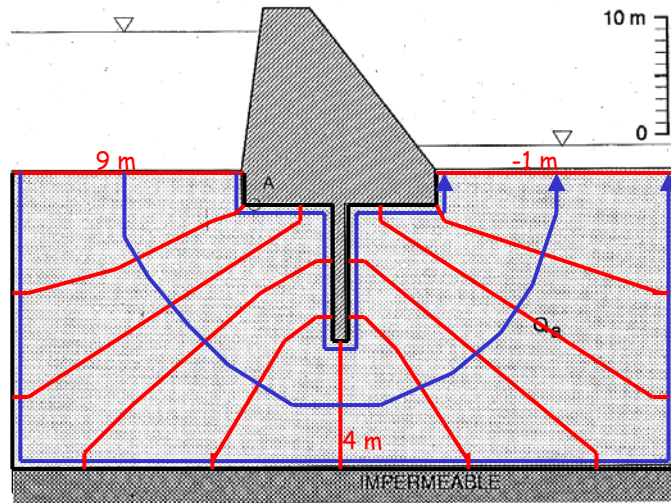
Konstruktion (4)



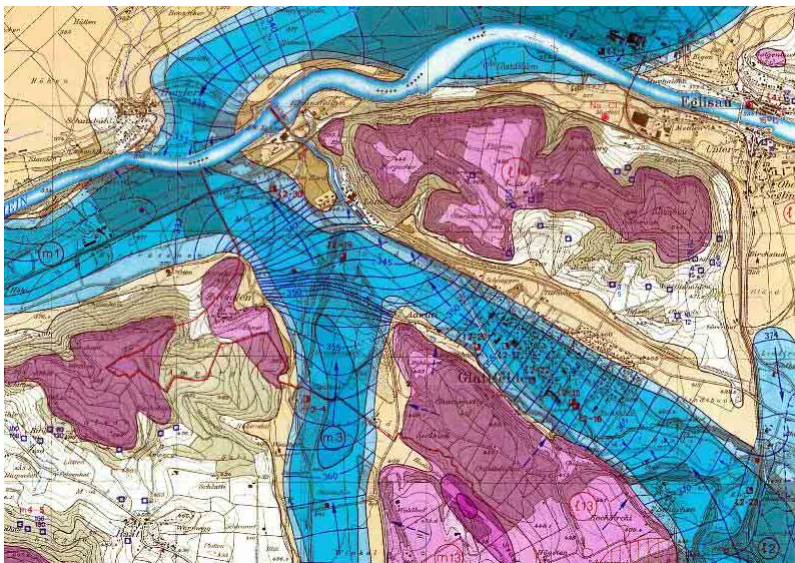
Step 4—Draw trial set of equipotential lines

- 5) Einzeichnen von Isopotentiallinien

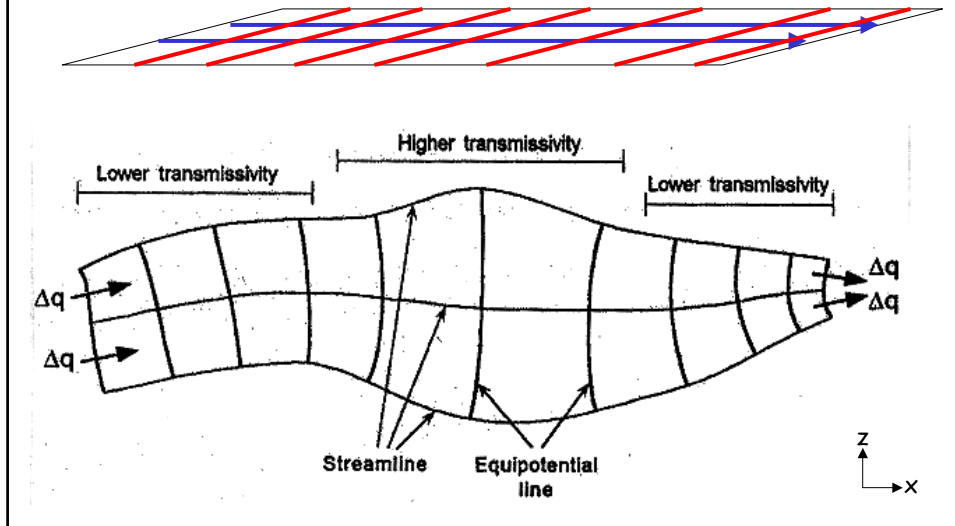
Unterströmung eines Damms



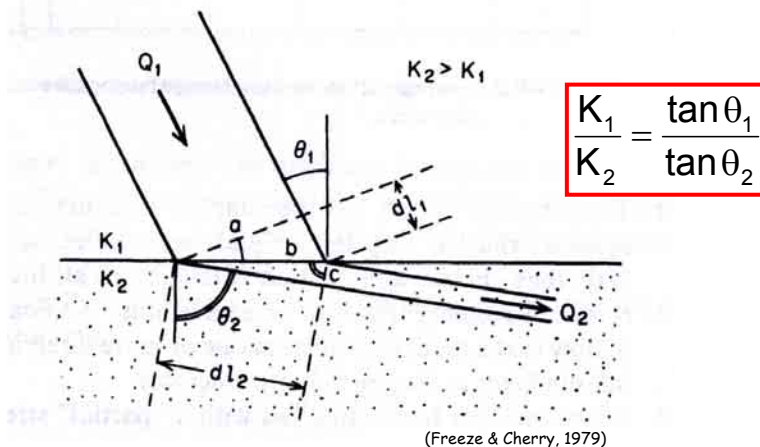
Grundwasserkarte



Variable Mächtigkeit



Geologische Grenzen

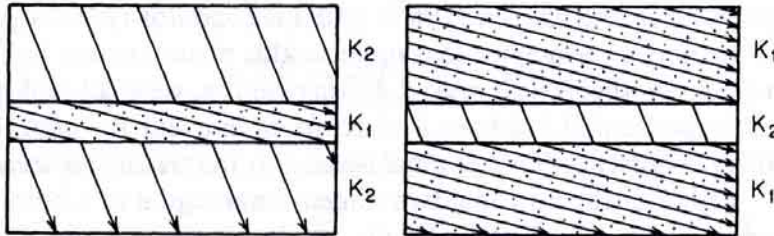


$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2}$$

(Freeze & Cherry, 1979)

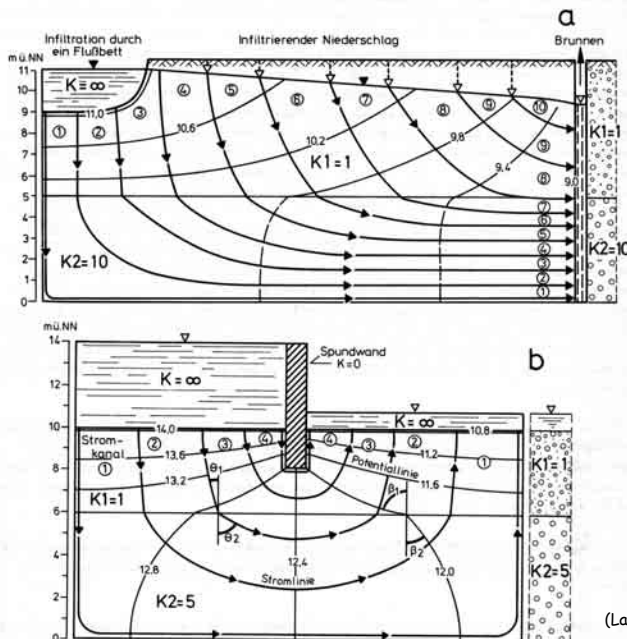
heterogen, isotrop

Geschichtetes System



$$\frac{K_1}{K_2} = 10$$

(Freeze & Cherry, 1979)

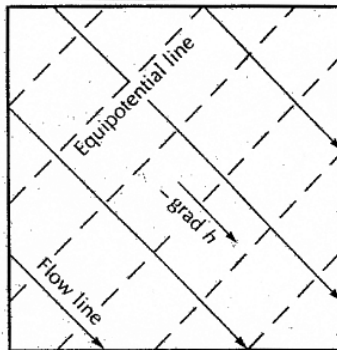


Weiteres Beispiel FlieBnetz

(Langguth & Voigt, 1980)

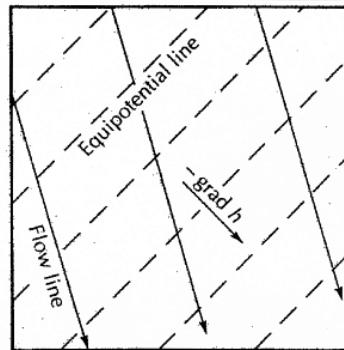
Anisotropie

Isotropes Medium



A

Anisotropes Medium



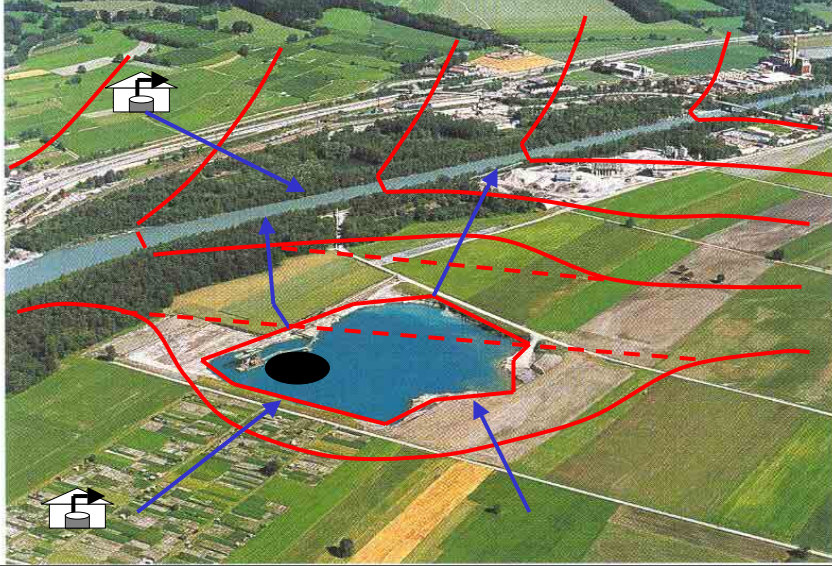
B

- Isopotentiallinien stehen nicht mehr senkrecht auf den Fließlinien
- Graphische Bearbeitung ist nach Koordinatentransformation möglich
- Anschliessend wieder Rücktransformation

Linien³

- **Isopotenziallinien**
Linien gleichen Potentials, dh sollte konstant gewählt werden
- **Fließ-Linien**
Verbindungslinien des spezifischen Durchflusses für stationäre Strömung, in isotropen Medien senkrecht auf den Isopotenzallinien
- **Fließ-Trajektorien**
Spur eines "Wassermoleküls" in einem instationären Fließfeld

Bsp.: Abstrom aus Baggersee



Wichtige Begriffe

confined (groundwater, aquifer)	gespannt (Grundwasser, Grundwasserleiter) Fliesslinie	i.e.S. Eigenschaft des Grundwassers, nicht des Grundwasserleiters
unconfined	ungespannt, frei	
confining layer / bed	undurchlässige Deckschicht	
potentiometric surface, piezometric surface	Grundwasserdruckfläche, Potenziometrische Fläche	Grundwasserspiegel und Potenziometrische Fläche sind i.allg. nicht deckungsgleich
equipotential line	Isopotenziallinie, Äquipotenziallinie	
flow line	Fliess-Linie, Stromlinie	
flow trajectory, flow path, path line	Fliess-Trajektorie, Fliesspfad, Pfadlinie	
no flow boundary	undurchlässiger Rand	
constant head boundary	Fixpotenzialrand, Festpotenzialrand	
specific yield	drainbare (drainable) Porosität	
observation well	(Grundwasser-) Messstelle	