

Prof. Dr. Christian Wolkersdorfer

## Abriss der Hydrogeologie

### Grundwassermodellierung

Veranstaltung im Wintersemester 2008/2009

Präsentation basiert auf  
„Einführung Hydrogeologie“  
Prof. Dr. habil Broder J. Merkel (Bergakademie Freiberg)



- Abstraktion eines komplexen Prozesses unter Berücksichtigung der wesentlichen Prozesse und Gesichtspunkte
- Bild, körperliches Modell, empirische Gleichung, analytische Lösung oder numerische Lösung eines Gleichungssystems
- besseres Prozessverständnis
- Bestätigung einer These
- Prognose

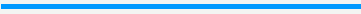





- Spielzeugauto im Maßstab 1:78
  - wofür verwendbar?
  - Crash Test?
- Verwendungszweck extrem wichtig



- Evapotranspiration
- Oberflächenabfluss
- Infiltration in Boden
- Sickerwasserbewegung
- Grundwasserneubildung
- Grundwasserfließen
- Wärmetransport
  - ungesättigte Zone und Grundwasser
- Tracertransport
  - konservativ
- chemische Reaktionen
  - Batch Skala
  - Bench Skala
  - Feld Skala
- reaktiver Stofftransport
- integrierte Modelle



- 1-D 
- 2-D 
- 3-D 
- 4-D  Zeit



- physikalische Experimente
  - Schüttelversuche (Batch-Tests)
  - Säulen
- empirische / statistische Modelle
  - Evapotranspiration
  - Grundwasserneubildung
  - 1-D-Wärmeausbreitung
- analytische Modelle
  - Pumpversuchsauswertung
  - Grundwasserströmung
  - Wärmetransport 1-D/2-D/3-D
  - Tracer Transport
  - Niederschlags-Abfluss-Modelle



- numerische Modelle
  - Pumpversuchsauswertung
  - Grundwasserströmung
  - Wärmetransport 1-D/2-D/3-D
  - Tracer Transport
  - Niederschlags-Abfluss-Modelle
  - geochemische Reaktionen
  - reaktiver Stofftransport
  - integrierte Modelle

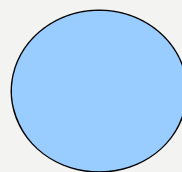
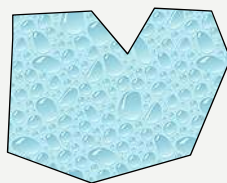


$$q = -k \frac{\partial h}{\partial L} \quad q_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad y, z$$

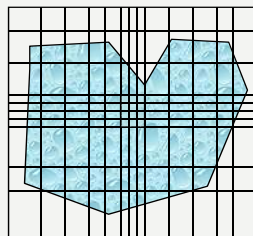
$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0 \quad \text{Kontinuitätsgleichung}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( -k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

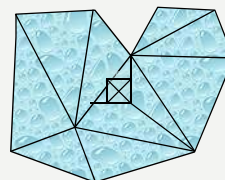
- einfache Randbedingungen
  - geschlossene analytische Lösung
- komplexe Randbedingungen
  - numerische Lösungen
- Finite Differenzen Methode: FDM
- Finite Elemente Methode: FEM
- unterschiedliche Diskretisierung
- unterschiedliche Lösung des Gleichungssystems



Analytisches Modell



Finite Differenzen: FDM



Finite Elemente: FEM



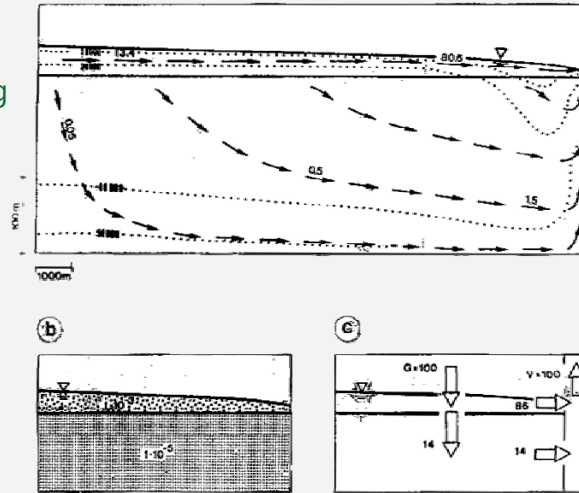
- **FINITE DIFFERENZEN**
  - einfacher Gleichungslöser
  - schnell
  - numerisch stabil
  - unflexibel in Diskretisierung
  - Mittelwerte in Zellmittelpunkt
- **FINITE ELEMENTE**
  - mathematisch aufwendiger
  - mehr CPU Zeit
  - Oszillationen möglich
  - flexibel in Diskretisierung
  - Information für jeden Ort



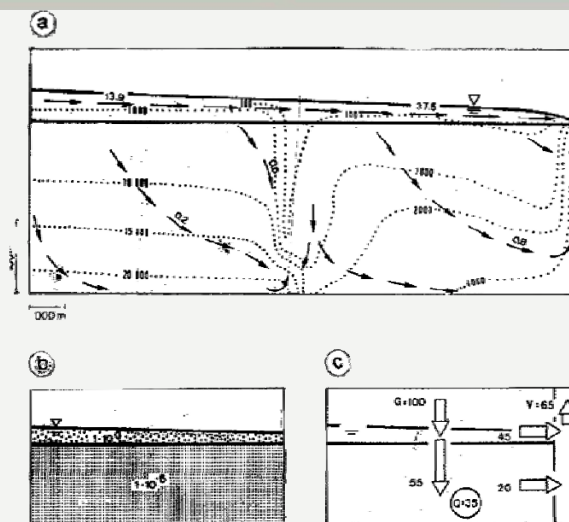
- **PARAMETER**
  - Durchlässigkeit
  - Porosität
  - Speicherkoeffizient
- **RANDBEDINGUNGEN**
  - Potential
  - Wassermenge
  - Neubildung
  - Interaktion mit oberirdischem Wasser



- no flow boundary
- 220 mm Neubildung
- $k_f$ : m/s
- Abstand-  
geschwindigkeit:  
m/a
- mittlere Verweilzeit  
in Jahren



- 35 % der  
Neubildung aus  
dem unteren  
Aquifer

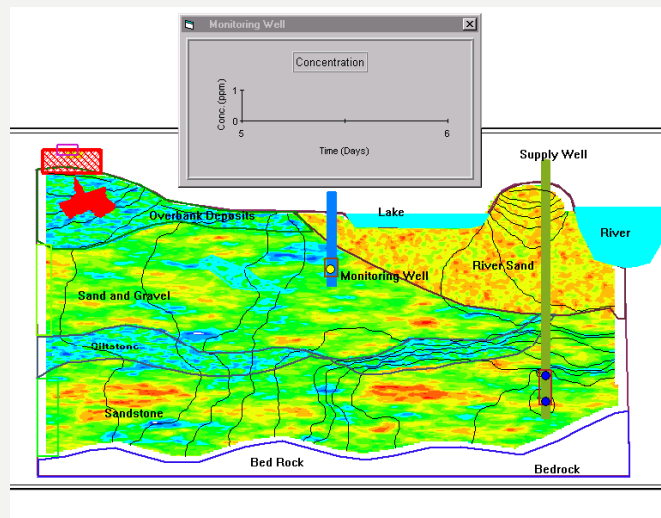
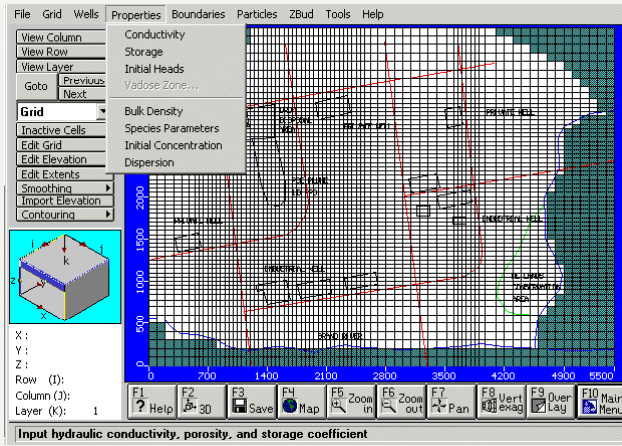




- hydrogeologisches Systemmodell
- Diskretisierung
- Parameter und Randbedingungen
- Kalibrierung
- Verifizierung, Sensitivitätsanalyse
- Prognose



- Modflow ist das weltweit am häufigsten verwendete Grundwasserfließmodell
- public domain
- diverse Benutzeroberflächen
- Modpath und MT3DMS sind einfache Transportmodelle
- 3-D-Visualisierung





- Modelle sind ein Werkzeug zur Analyse, für Prozessverständnis und Prognose
- Modelle sind nicht zwingend numerische Computermodelle
- bei komplexen Randbedingungen kommen numerische Modelle zum Einsatz
- ohne Parameter und Randbedingungen kann ein Modell nicht arbeiten
- Die Kalibrierung eines Modells ist der zeitaufwendigste Arbeitsschritt