

Hydroinformatik - SoSe 2026

UW-BHW-414-18: Grundwasserhydraulik - Ausblick

Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Kolditz

¹Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Leipzig

²Technische Universität Dresden – TUD, Dresden

³Center for Advanced Water Research – CAWR

⁴TUBAF-UFZ Center for Environmental Geosciences – C-EGS, Freiberg / Leipzig

Dresden, 17.07.2026

Zeitplan: Hydroinformatik I+II

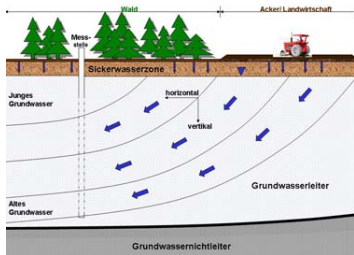
Sommersemester 2026: Stand: 06.04.2026

Nr.	KW	Datum	ID	Thema
01+02	16	17.04.2026	UW-BHW-414-01/02	Einführung in die Vorlesung, Umweltinformatik
03	16	17.04.2026	UW-BHW-414-03	Werkzeuge, Hello World (in C++)
05	17	24.04.2026	UW-BHW-414-04	Selbststudium: Software-Installationen
07	19	08.05.2026	UW-BHW-414-05	Objekt-Orientierte Programmierung: C++, Klassen
09	20	15.05.2026	UW-BHW-414-06	Programmiersprache Python
11	21	22.05.2026	UW-BHW-414-07/08	Modellierung, Digitalisierung - Wasser 4.0
00	22	29.05.2026		Vorlesungsfreie Woche
13	23	05.06.2026	UW-BHW-414-09/10	KI, Maschinelles Lernen, Neuronale Netzwerke
15	24	12.06.2026	UW-BHW-414-11/12	Kontinuumsmechanik, Hydromechanik
17	25	19.06.2026	UW-BHW-414-13/14	Differentialgleichungen, Näherungsverfahren
19	26	26.06.2026	UW-BHW-414-15	Finite-Differenzen, explizite Verfahren
21	27	03.07.2026	UW-BHW-414-16	Finite-Differenzen, implizite Verfahren
23	28	10.07.2026	UW-BHW-414-17	Gerinnehydraulik, Grundwasserhydraulik
25	29	17.07.2026	UW-BHW-414-18	Grundwasserhydraulik, Ausblick
27	30	24.07.2026	UW-BHW-414-N	Zusammenfassung, Klausurvorbereitung

- 1 UW-BHW-414-18: Grundwasserhydraulik - Ausblick
 - Semesterplan

Diffusionsprozesse

- Schadstoffe im GW (Quellen)



- Mathematik

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

- Lösung: FDM (ex/im)

Gerinnehydraulik

- Weißeritz (Quellen)



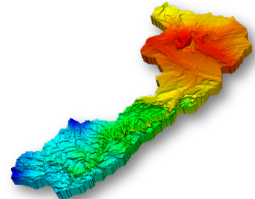
- Mathematik

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha(u) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

- Lösung: Newton

Grundwasserströmung

- Selke-Modell

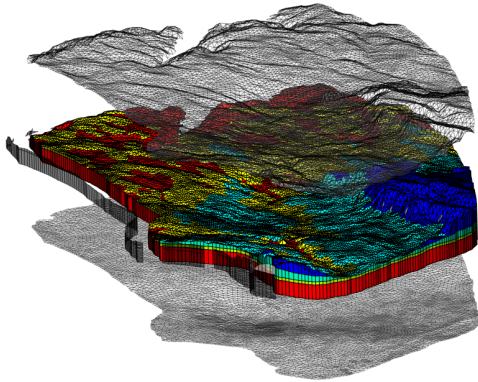


- Mathematik

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \alpha_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

- Lösung: Gauss-Seidel, FEM (MvH im 6. Sem)

OpenGeoSys
workflows



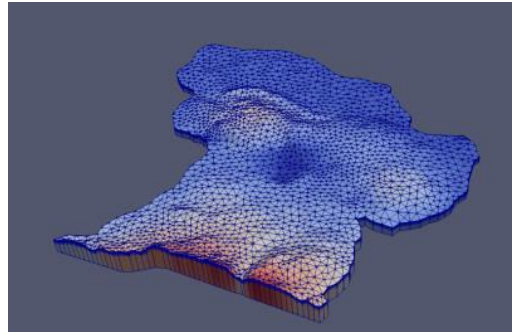
- ▶ Finite-Elemente-Methode
- ▶ Benchmarksammlung
- ▶ Brunnenhydraulik nach Theis

Beispiele: <https://www.youtube.com/user/opengeosys>

www.opengeosys.org

Vorlesung von Dr. Erik Nixdorf (BGR): Regionale Grundwassermodelle

- ▶ Modellbildung (von praktischer Seite)
- ▶ Anwendungsbeispiele aus der Praxis
- ▶ Übung mit OGS: Selke-Modell



Modellbildungsprozess

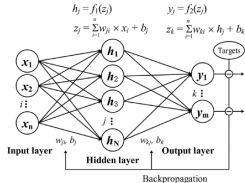
$$P + In_{sub} + In_{sur} = Out_{sub} + Out_{sur} + ET + \Delta soil + \Delta gw$$

Konzeptionelles Modell

Mathematisches Modell

Black-Box Modelle

Nutzen empirische/statistische Zusammenhänge zwischen Variablen



$$Q = 2\pi \cdot k_f \cdot M \cdot \frac{h_2 - h_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Prozessbasierte Modelle

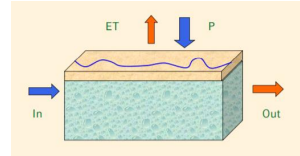
Nutzen die physikalischen Grundgleichungen

Analytisch

Vereinfachte Gleichungen ermöglichen formale direkte Lösung

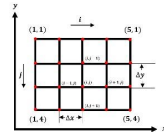
Numerisch

Approximierte (diskretisierte) Gleichungen resultieren in einer Matrixgleichung, die iterativ gelöst werden kann

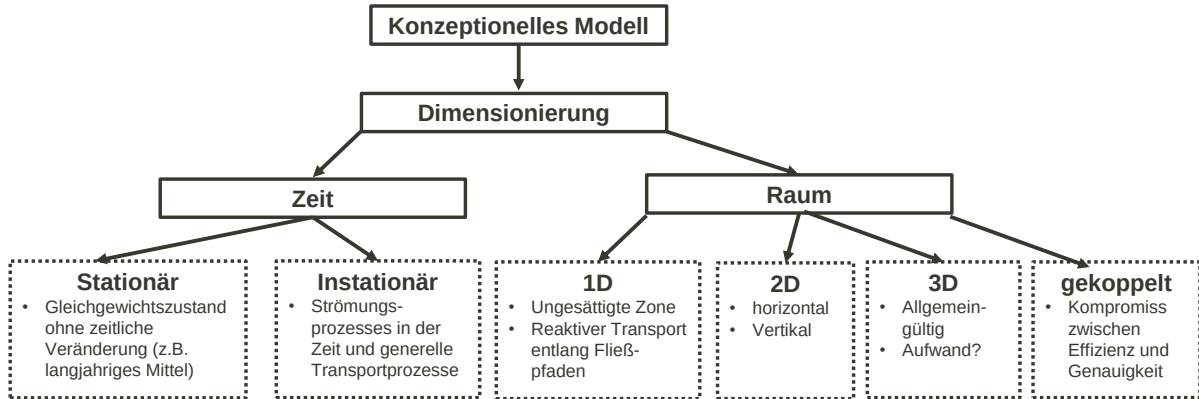


$$(\phi \beta_f + \beta_m) \rho \frac{\partial P}{\partial t} = \nabla \cdot \left(\rho \frac{k}{\mu} \nabla (P + \rho g z) \right)$$

$$\begin{aligned}
 u_{i,j}^{n+1} = & u_{i,j}^n \\
 & + \frac{K_{i,j}^x}{S_{i,j}} \frac{\Delta t}{\Delta x^2} u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n \\
 & + \frac{K_{i,j}^y}{S_{i,j}} \frac{\Delta t}{\Delta y^2} u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n \\
 & + \frac{Q_{i,j}}{S_{i,j}}
 \end{aligned}$$



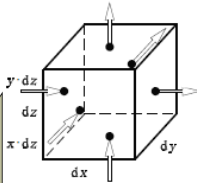
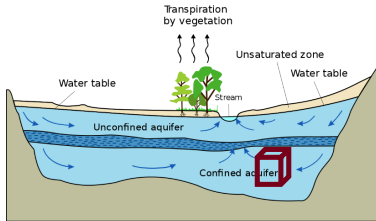
Modelauswahl: Dimensionen



Erhaltungsgesetz

Änderung der Masse in einem Volumenelement über die Zeit = Σ des einströmenden Massenstroms
in das Volumenelement - Σ des ausströmenden Massenstroms aus dem Volumenelement +
Quellterm

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d(\phi \rho_f V)}{dt} = V \phi \frac{d\rho_f}{dt} + V \rho_f \frac{d\phi}{dt} + \cancel{\rho_f \phi \frac{dV}{dt}} = V \frac{d(\phi \rho_f)}{dt}$$



$$\text{Anstrom: } \dot{m} = \rho_f \cdot u \cdot dy \cdot dz$$

$$\text{Abstrom: } \dot{m} = \left(\rho_f \cdot u + \frac{\partial(\rho_f \cdot u)}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz$$



Taylor Reihe

Potentialbasierte Grundwasserströmungsgleichung

Pascalsches Gesetz

$$H = \frac{p}{\rho_f g} + z$$

Definition hydraulische Leitfähigkeit

$$K = \frac{\kappa g \rho_f}{\mu}$$

Druckabhängigkeit von Dichte und Porosität

$$\frac{\partial(\phi \rho_f)}{\partial t} = (\rho_f((1 - \phi)\beta_m + \phi\beta_f)) \frac{\partial p}{\partial t}$$

$$\frac{\partial(\phi \rho_f)}{\partial t} + \text{div}[\phi \rho_f \mathbf{v}_f] - Q_m = 0$$

Darcy Gesetz

$$\phi \mathbf{v}_f = -\frac{\kappa}{\mu} \text{grad}(p + \rho_f g z)$$

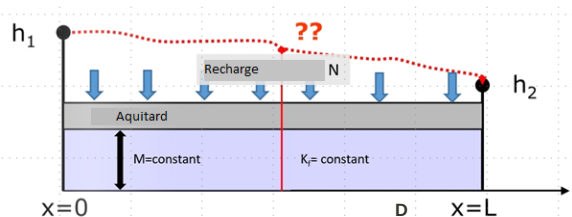
Definition Spezifischer Speicherkoeffizient

$$S_s = ((1 - \phi)\beta_m + \phi\beta_f) g \rho_f$$

$$S_s \frac{\partial H}{\partial t} - \text{div}[K \text{grad } H] - Q_V = 0$$

Potentialbasierte Gleichung für Fluidströmung durch ein anisotropes gesättigtes poröses Medium

Einfache Lösungen, Beispiel



$$h(x=0) = h_1$$

$$h(x=L) = h_2$$

$$S \frac{\partial H}{\partial t} - \text{div}[KM \text{grad } H] - Q_V = 0$$



$$h(x) = \frac{N}{2KM} x(L-x) + \frac{h_2 - h_1}{L} x + h_1$$

- Gespannter Aquifer mit Grundwasserneubildung
- Annahme: Die teilgesättigte Zone ist klein und hat eine geringe hydraulische Leitfähigkeit → vernachlässigbar.

Brunnenhydraulik

$$S \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (n \mathbf{v}) = Q$$

$$S \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot (\mathbf{K} \nabla h) = Q$$

$$S \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = Q$$

Wir begnügen uns mit einem 2-D horizontalen Modell.

$$S \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = Q \quad (1)$$

Gespannter Aquifer (Theis-Lösung)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

Ungespannter Aquifer (Dupuit Approximation)

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r h \frac{\partial h}{\partial r} \right) = \frac{S_y}{K_r} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3)$$

Grundwassergleichung - radiale Strömung (Brunnen)

Größen:

h = hydraulic head [L]

r = radial distance from the pumping well [L]

K_r = horizontal hydraulic conductivity [L/T]

S_s = specific storage [1/L]

S = storativity (confined) [dimensionless] = 10^{-3}

S_y = specific yield (unconfined) [dimensionless]

$T = K_r \cdot b$ = transmissivity [L^2/T] = $1000 \text{ m}^2/\text{day}$

b = aquifer thickness [L]

t = time [T]

Q = constant pumping rate [L^3/T] = $0.016 \text{ m}^3/\text{s}$

Übungsabschluss: Jupyter Notebook

- Brunnen-Hydraulik
- Theis-Lösung

Stellen Sie ein Jupyter-Notebook für die Theis'sche Brunnenformel mit Hilfe einer KI zusammen:

Fragen an die KI:

- ▶ Problemstellung definieren
- ▶ Analytische Lösung erfragen
- ▶ Python Code für analytische Lösung generieren (lassen)
- ▶ Auswertung: zeitlicher Verlauf des Grundwasserpegels in 1,10,100 Meter Entfernung vom Brunnen
- ▶ Auswertung: radialer Verlauf des Grundwasserpegels nach 1 Stunde und 1 Tag
- ▶ Ergebnis in Datei schreiben
- ▶ Hochladen in ihr GitHub Repo

GitHub

Arbeiten mit einem eigenen Repo