

1. Hybridmodelle für Karst-Grundwasserleiter

Überblick

Karstgrundwasserleiter

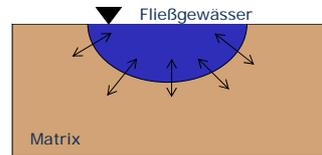
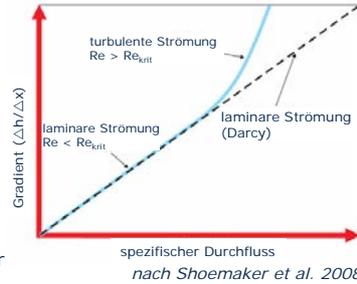
- duales Fließsystem (Röhren ↔ Matrix)
- laminare und turbulente Strömung
- Hybridmodelle

Modelle aus anderen Anwendungen:

- Interaktion Grundwasser – Oberflächenwasser
 - Modbrnch (Modflow – Branch; USGS)
- Interaktion Grundwasser – Kanalisation
 - MIKE SHE / MOUSE

Hybridmodelle für Karstgrundwasserleiter

- CAVE (Carbonate Aquifer Void Evolution)
- MODFLOW-2005 CFP



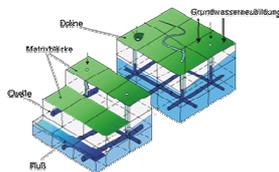
Thomas Reimann

Graz - 24. Juni 2008
3/19

1. Hybridmodelle für Karstgrundwasserleiter

Modellkonzept CAVE / MODFLOW-2005 CFP

Hybridmodell – Kontinuum und diskrete Struktur

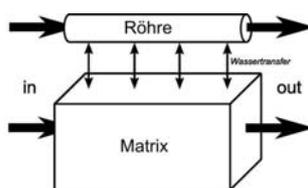


Matrix $\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$ Darcy

Röhrensystem

laminar $v = -\frac{r^2}{8} \frac{\rho g}{\mu} I$ Hagen Poiseuille

turbulent: $v = -2 \log \left(\frac{k_c}{3.71 \cdot d} + \frac{2.51 \cdot \nu}{d \cdot \sqrt{2g \cdot d \cdot I}} \right) \cdot \sqrt{2g \cdot d \cdot I}$ Darcy-Weisbach



Transfer $Q_{ex} = \alpha \cdot (h_c - h_m)$

Zusätzliche Modellparameter

- Röhren: Durchmesser / Rauigkeit / Lage
- Transferkoeffizient α
- Verteilung Grundwasserneubildung (direkt / diffus)

Thomas Reimann

Graz - 24. Juni 2008
4/19

1. Hybridmodelle für Karstgrundwasserleiter

Focus: CAVE / CFP

	CAVE	MODFLOW-2005 CFP
Autoren	Clemens, Hückinghaus, Birk, Bauer, Liedl, Sauter	Shoemaker et al. (USGS)
Röhren	1D Strömung, Vollfüllung - laminar - turbulent	1D Strömung, Vollfüllung - laminar - turbulent
Matrix	3D Kontinuum (MODFLOW96) - laminar	3D Kontinuum (MODFLOW2005) - laminar - turbulente Strömung möglich
Transport	1D Transport in Röhren - Advektion / Dispersion /Diff. - Wärme	-
Besonderheiten	Karstgenese, Epikarst, lange Zeiträume	Turbulente Strömung im Kontinuum, teilgefüllte Röhren

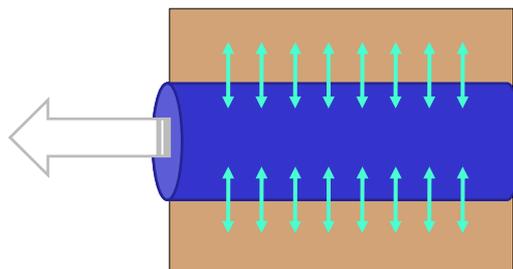
- Pre- / Postprocessing eingeschränkt
- keine Anschaffungskosten

USGS TM 6 / A14 release 04/2008

2. Validierung von CAVE und CFP

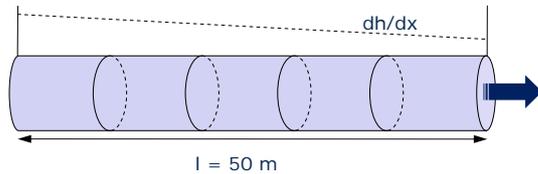
Benchmark Szenarien

Werden die physikalischen Prozesse korrekt wiedergegeben?

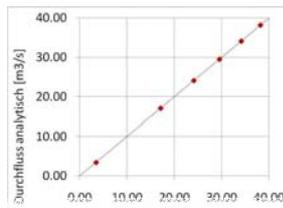
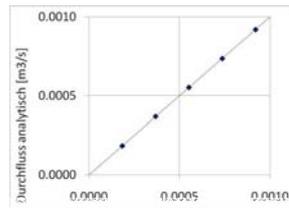


Einzelröhre laminar / turbulent → Einzelröhre mit Transfer → synth. Grundwasserleiter

2. Validierung von CAVE und CFP Benchmark – Einzelröhre



- 5 Röhren á 10 m
- Durchmesser: 1 m
- Gradient: $1 \cdot 10^{-9} \dots 1$



→ Keine Unterschiede analytisch – numerisch

→ Keine Unterschiede zwischen CAVE und MODFLOW-2005 CFP

Thomas Reimann

07.03.24. Juni 2008



2. Validierung von CAVE und CFP Benchmark – Einzelröhre + Austausch

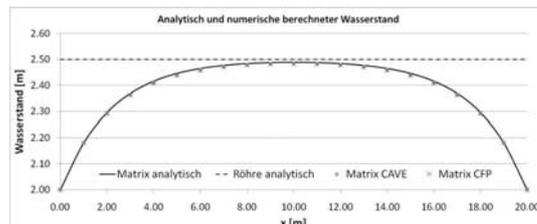
Analytische Lösung

Matrix

$$h_m(x) = h_m^* - \frac{h_m^* - h_c^*}{1+c} \cdot \left[1 - \frac{e^{\sqrt{d(1+c)}x} + e^{\sqrt{d(1+c)}(L-x)}}{e^{\sqrt{d(1+c)}L} + 1} \right]$$

Röhre

$$h_c(x) = h_c^* + \frac{c \cdot (h_m^* - h_c^*)}{1+c} \cdot \left[1 - \frac{e^{\sqrt{d(1+c)}x} + e^{\sqrt{d(1+c)}(L-x)}}{e^{\sqrt{d(1+c)}L} + 1} \right]$$



→ Keine Unterschiede analytisch – numerisch

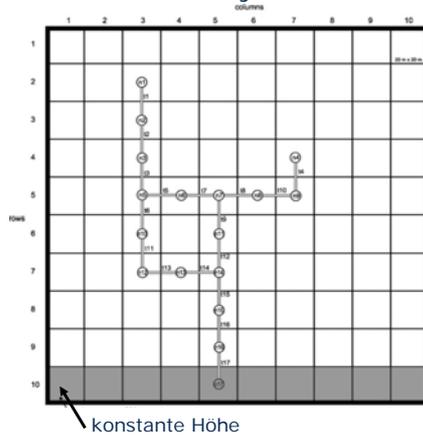
→ Keine Unterschiede zwischen CAVE und MODFLOW-2005 CFP

Thomas Reimann

07.03.24. Juni 2008



2. Validierung von CAVE und CFP Benchmark – Synthetischer Grundwasserleiter



Eigenschaften Modell

Matrix

- Hydraulische LF. $K = 1E-6$
- Mächtigkeit 100 m
- ungespannt

Röhren

- Durchmesser $D = 1.0$ m
- Austauschkoefizient $\alpha = 0.001$ m²s⁻¹
- Rauigkeit 0.001 m
- vermaschtes System

Modell

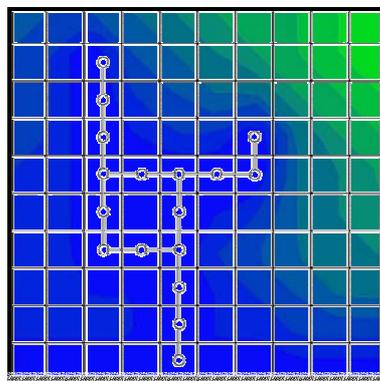
- 200 mm a⁻¹ GWN (50 % Direkt in Röhren)
- 10 x 10 Zellen á 20 x 20 m²

Thomas Reimann

Graz - 24. Juni 2008
9/19



2. Validierung von CAVE und CFP Benchmark – Synthetische Grundwasserleiter



Ergebnisse Modell

Isohyphen

Wasserbilanz

- INPUT 100 % GWN
- OUTPUT 80 % Röhren
- 20 % Matrix

→ Ergebnisse numerisches Modell plausibel

→ Keine Unterschiede zwischen CAVE und MODFLOW-2005 CFP

Thomas Reimann

Graz - 24. Juni 2008



10/19

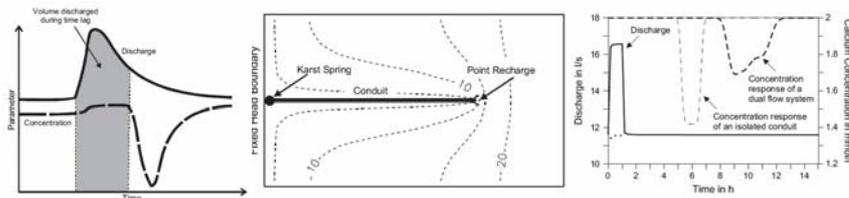
3. Anwendung von Hybridmodellen

3.1 Charakterisierung von Karstgrundwasserleitern

Röhrenvolumen (Birk et al. 2006)

Neubildungsereignis: Schüttung reagiert schneller als physiko-chemische Parameter

- Differenz der Reaktion Schüttung \leftrightarrow Reaktion physiko-chemische Parameter = Röhrenvolumen (*Ashton 1966*)
- Hybridmodell: berücksichtigt Interaktion Röhren \leftrightarrow Matrix

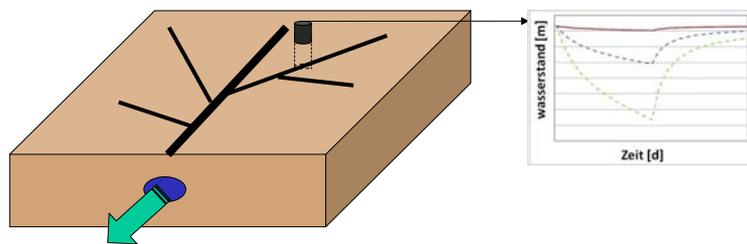


Röhrenvolumen kann abgeschätzt werden **ABER** \rightarrow Geometrie Röhrensystem?

3. Charakterisierung von Karstgrundwasserleitern

Anwendung von Hybridmodellen

Hydraulischer Stress



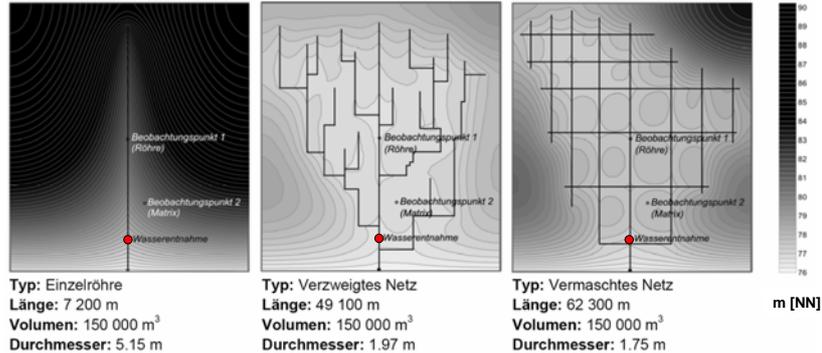
Verschiedene Karstsysteme \rightarrow **Pattern Matching** (Muster erkennen)

3. Charakterisierung von Karstgrundwasserleitern Anwendung von Hybridmodellen

Hydraulischer Stress

Beispiel: Synthetischer Grundwasserleiter, Parameter naturnah (mediterranean Karst)

- 7 km x 8 km
- 500 m Mächtig
- $dx = dy = 100$ m



Situation (Isohypsen) ohne aktive Wasserentnahme

Thomas Reimann

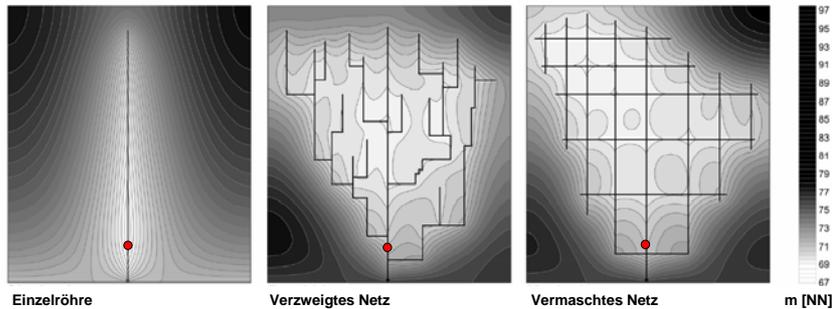
Graz - 24. Juni 2008
13/19



3. Charakterisierung von Karstgrundwasserleitern Anwendung von Hybridmodellen

Hydraulischer Stress (aktive Wasserentnahme 1 m³s⁻¹)

Beispiel: Synthetischer Grundwasserleiter, Parameter naturnah (mediterranean Karst)



• *Wasserentnahme*

Situation (Isohypsen) mit aktiver Wasserentnahme

Thomas Reimann

Graz - 24. Juni 2008
14/19

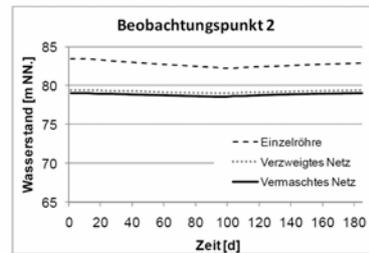
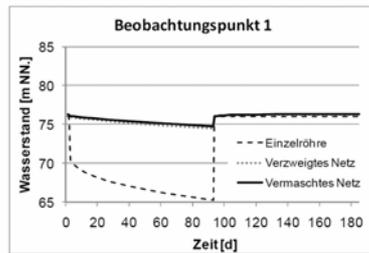


3. Charakterisierung von Karstgrundwasserleitern Anwendung von Hybridmodellen

Hydraulischer Stress (aktive Wasserentnahme $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) Simulierter Wasserstand an Beobachtungspunkten

Röhre

Matrix



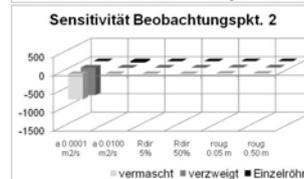
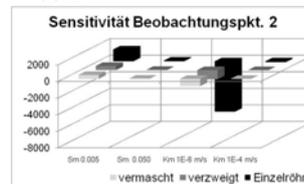
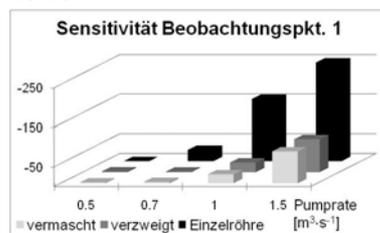
→ Unterschiedliche Reaktion des Systems auf hydraulischen Stress!

3. Charakterisierung von Karstgrundwasserleitern Anwendung von Hybridmodellen

Hydraulischer Stress (aktive Wasserentnahme $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) Parameterstudien / Sensitivität

Röhre

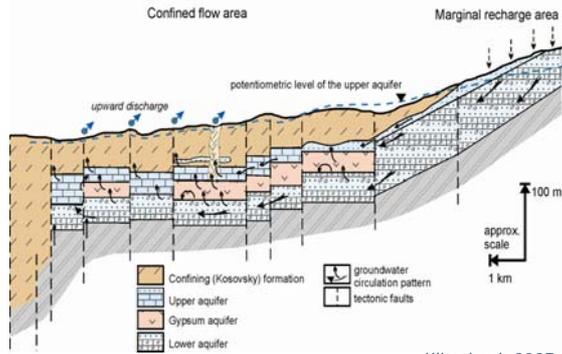
Matrix



4. Karstgenese Anwendung von Hybridmodellen

Karstgenese in der Westukraine (Rehrl et al.)

Konzeptionelle Modellvorstellung



Thomas Reimann

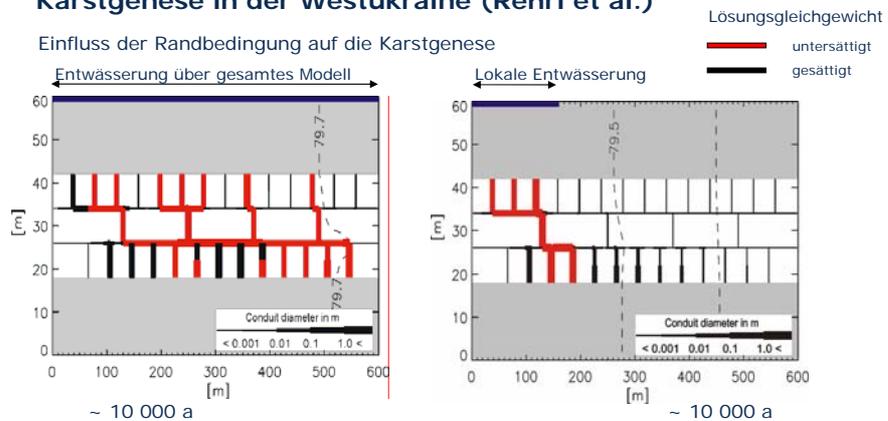
Klimchouk 2007

Graz - 24. Juni 2008
17/19

4. Karstgenese Anwendung von Hybridmodellen

Karstgenese in der Westukraine (Rehrl et al.)

Einfluss der Randbedingung auf die Karstgenese



Thomas Reimann

Graz - 24. Juni 2008
18/19

5. Zusammenfassung und Ausblick

Aktueller Stand

Hybridmodelle für verschiedene Anwendungen vorhanden → Karstgrundwasserleiter

- CAVE
- MODFLOW-2005 CFP

Anwendung:

- Parameterstudien / Karstgenese / Charakterisierung von Grundwasserleitern
- zukünftig: Anwendung für existierende Einzugsgebiete

Schwerpunkte für weitere Modellentwicklung

- Druck- und Freispiegelabfluss in Karströhren → Speicherverhalten
- Verbesserte Gleichungslöser
- Berücksichtigung von Dichtegetriebener Strömung (Küstengebiete)
- Pre- und Postprocessing (Benutzerfreundlichkeit)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dank an:

Steffen Birk
Tobias Geyer
Rudolf Liedl
Christoph Rehr
Martin Sauter
Barclay Shoemaker (USGS)
DFG (u.a. LI 727/11-1 and SA 501/24-1)