




„Erbau und Rekultivierung - Interdisziplinäres, deutsch-tschechische Bildungsprojekt“  
"Zemní stavby a rekultivace - Interdisciplinární český - německý vzdělávací projekt"

## Grundlagen der automatischen Kalibrierung von computergestützten Modellen

### Teil 2

Jan Ěmbera, Jaroslav Nosek  
Technische Universität in Reichenberg  
Zittau am 23. und 24. September 2010

---

---

---

---

---

---

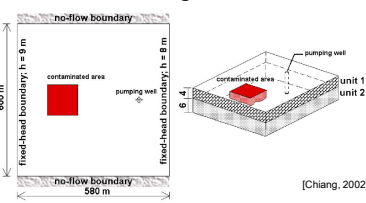
---

---

---

---

### Strömungsmodell



[Chiang, 2002]

- Standort 580 x 600 m, im Westen / Osten durch Fließgewässer ( $h = 9$  m,  $h = 8$  m) abgegrenzt, im Norden / Süden durch Gebirge abgegrenzt (null Strömung)
- 2 Schichtkollektor mit freier Wasseroberfläche ( $K_1$ : Schicht 1:  $10^{-4}$ , ggf. Schicht 2:  $5 \times 10^{-4}$  m/s)
- Vertikale Leitfähigkeit 10% horizontal, effektives Porenvolumen  $n_{eff} = 25$  %
- Gelände 10 m über dem Meer, Mächtigkeit Schicht 1: 4 m, Schicht 2: 6 m
- Konstanter Niederschlag  $8 \times 10^9$  m/s ( $252$  mm/Jahr)

Zittau 23., 24. 9. 2010 2

---

---

---

---

---

---

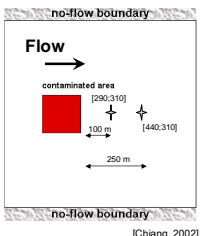
---

---

---

---

### Transportmodell (unbeeinflusster Zustand)



[Chiang, 2002]

- Kontaminierung auf einem Gebiet (chem. Stoff – PCE aus undichtigem Behälter in der 1. Schicht)
- Modell der Migration von PCE in der Strömungsrichtung
- PCE:
  - Dotierung: an Stelle der Kontaminierung eine konstante Konzentration von PCE ( $1000 \mu\text{g/L}$ )
  - Lineare Sorption
  - Retardierung  $R = 1 + (\rho_b \times K_d) / n_{eff}$
  - : Volumengewicht;  $K_d$ : Distributionskoeffizient
  - =  $2000 \text{ kg/m}^3$ ;  $K_d = 1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$
- Längliche Dispersion: 10 m; horizontale / vertikale Querdispersion: (10 % länglich = 1 m)

**Aufgabe :**

- Voraussage der Entwicklung der PCE – Konzentrationen in einer Entfernung von 100, 250 m in der Strömungsrichtung in einem Zeithorizont von 3 Jahren
- Wann wird das Fließgewässer kontaminiert (Konzentration höher als  $10 \mu\text{g/L}$ )?

Zittau 23., 24. 9. 2010 3

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Entwurf eines Sanierungssystems

- Gesamtbilanz water budget (Auswirkungen des Niederschlags)
- Verfolgung der Absenkung des Wasserspiegels in Folge der Wassereutnahme
- Berechnung der Ergiebigkeit einer Bohrung am Standort [440; 310]
- Modellhaft ist die Fördermenge festzulegen, um eine ausreichende Depression zu bilden, die eine Verbreitung von PCE in das Fließgewässer verhindern wird
  - Mit Hilfe des Moduls PMPATH ist die Fördermenge festzulegen
  - Mit Hilfe des Transportmoduls der Migration ist die Fördermenge festzulegen (unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Dispersion)

Zittau 23.,24.9.2010



4

---

---

---

---

---

---

---

---

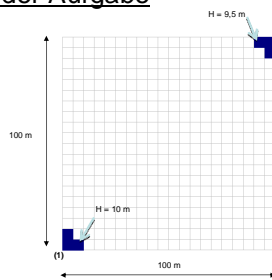
---

---

### Modell 1

## Benchmark der Aufgabe

- 1Schichtmodell - steady state
- Typ der Modellschicht confined/unconfined (transmissivity cons.)
- Zuschnitt des Gebietes 100 x 100 m
- Regelmäßiges Netz 20 x 20 Elemente (1 Element = 5 x 5 m)
- Konstantes Gelände: 10 m
- Mächtigkeit der Schicht: 5 m
- $K_x = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ,  $n_{gr} = 0.25$
- Randbedingungen des konstanten Wasserspiegels (blaue Elemente – siehe Abb.)



### Aufgabe :

- Es ist ein Strömungsmodell aufzustellen und die Verteilung des Grundwasserspiegels zu berechnen
- Mit Hilfe von Water budget feststellen, wie viel Wasser aus den Randbedingungen (1), (2) einfließt (gegebenenfalls ausfließt)
- Im Modul PMPATH sind die Richtgrößen der Strömung abzubilden

Zittau 23.,24.9.2010



5

---

---

---

---

---

---

---

---

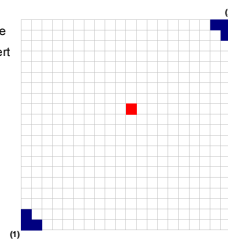
---

---

## Benchmark der Aufgabe

### Modell 2

- Die selbe Aufgabenstellung wie in der vorherigen Aufgabe
- Dazu sind die Auswirkungen der Bohrung, an der gefördert wird, zu modellieren auf Position [9,11]
- Geförderte Menge :  $-5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$



### Aufgabe :

- Ein Strömungsmodell aufstellen, die Verteilung des Grundwasserspiegels berechnen
- Mit Hilfe von Water budget feststellen, wie viel Wasser aus den Randbedingungen (1), (2) ausfließt
- Im Modul PMPATH die Richtgrößen der Strömung abbilden

Zittau 23.,24.9.2010



6

---

---

---

---

---

---

---

---

---

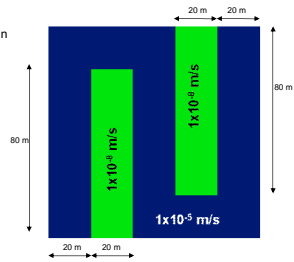
---



## Benchmark der Aufgabe

### Modell 3

- Die selbe Aufgabenstellung, wie in der vorherigen Aufgabe
- Die Auswirkung von zwei wenig durchlässigen Lagen simulieren auf das Strömungsfeld
- $K_f$  siehe Abb.



### Aufgabe :

- Ein Strömungsmodell aufstellen, die Verteilung des Grundwasserspiegels berechnen
- Mit Hilfe von Water budget feststellen, wie viel Wasser in die Randbedingungen (1), (2) einfließt (ggf. ausfließt)
- Im Modul PMPATH die Richtungsgrößen der Strömung abbilden

Zittau 23., 24.9.2010



7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

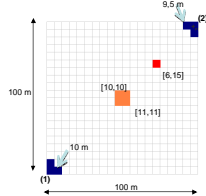
---

---

## Transportaufgabe

### Transportmodell

- Strömungsmodell von der letzten Übung. Modell 1 (siehe letzte Aufgabenstellung)
- In dem Modul MT3D (ggf. MT3DMS) Ein die Migration des Stoffes ab der Quelle (orangener Bereich - s. Abb.) abbildendes Transportmodell ohne Sorption zur Umgebung aufstellen



### Aufgabe :

- Aufstellung des Transportmodells
- Simulation eines unbeeinflussten Zustandes
  - wann wird es möglich sein, an dem Standort (2) Konzentrationen von mehr als  $10 \mu\text{g/L}$  festzustellen
  - wann konsolidiert sich die Konzentration in (2)

Modellhaft das Mindestvolumen des geförderten Wassers in der Bohrung an der Position [6,15] so festzulegen, dass die Konzentrationen an (2) den zugelassenen Grenzwert von  $10 \mu\text{g/L}$  nicht überschreiten

Zittau 23., 24.9.2010



8

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Transportaufgabe

### Parameter des Transportmodells:

- Boundary Conditions . ICBOUND  
An Stelle der Quelle -1 definieren, sonst über alle 1 (aktives Element)
- Parameters . Time . Period Length  
die Gesamtzeit der Simulation eingeben

### MT3DMS

- Initial Concentration  
In Elementen, in denen als Bedingung eine konstante Konzentration definiert ist,  $1000 \mu\text{g/L}$  eingeben
- Chemical Reaction  
Description: **tracer**: active ankreuzen; Type of sorption: **No sorption**; (konservativer tracer ohne Retardierung)
- Advection (Upstrem Finite Diff. Method)
- Dispersion  
TRPT: **0,1**; TRPV: **0,1**; DMCOEF: **0**; Longitudinal Dispersion: **1 m**
- Output Control  
Festlegen, in welchen Zeiten die Ergebnisse des Transportmodells abgespeichert werden (Karte Output Times - Output Times anklicken und den Intervall wählen)

Zittau 23., 24.9.2010



9

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Transportaufgabe

### Parameter des Transportmodells:

#### - Parameters . Boreholes and Observation

Erstellung eines Beobachtungspunktes, in dem die berechneten Konzentrationen abgespeichert werden

Name: **xxx**; Active: **Ankreuzen**; Koordinaten x, y je nach Platzierung des Punktes (2) eingeben

Auf der Karte Observation data 1 eingeben in: **Observation Time a Concentration**

Zittau 23.,24.9.2010



10

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Kalibration des Strömungsmodells

### Charakteristika des Standortes:

#### - Gemeinde Uherský Ostroh

#### - 1 schichtiges Gestein, Koeffizienten

Filtration im Rang  $10^{-4}$  ÷  $10^{-5}$  m/s,  $n_{ef} = 0,25$

#### - Durchschnittlicher Jahresniederschlag :

**537 mm/ Jahr**

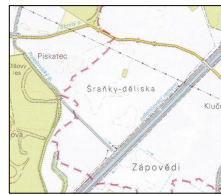
#### - Zugängliche Inputs des Modells:

Gelände, Basis des Kollektors (Bohrungsprofile),

Unbeeinflusster Grundwasserspiegel,

Beschreibung des Fließgewässers (Flussarm des Fließgewässers Nová Morava)

(alles punktuelle Messungen an 18 Bohrungen >>>Inputs des Modells der Flächeninterpretierung)



- Modelgebiet **2010 x 2260 m (201 row, 226 col)**, Modellelement (**10 x 10 m**), Beginn des Koordinatennetzes: 2440, 4240

- Fluß: Wasserspiegel 167 . 165 m ü. M., Sohle 165 . 163 m, Flussbreite: 10 m

Zittau 23.,24.9.2010



11

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Entwurf eines Sanierungssystems

### - Ein Modell aufstellen, dass die Ausströmung von CHC während 10 Jahren simuliert

### - Unterschiedliche Varianten des Sanierungssystems simulieren

- Eine völlig geschlossene Unterirdische Dichtungswand (Abpumpen des Niederschlagswassers)

- Unterirdische Dichtungswand mit reaktiver Barriere

- Optimierung der Unterirdischen Dichtungswand

- Simulation einer reaktiven Barriere (Kinetik der ersten Ordnung)

### Transportmodell :

- Kontaminierung : =  $1,9 \text{ t/m}^2$ ;  $K_d = 0,13 \text{ m}^2/\text{t}$

- Längliche Dispersion : 5 m;

- Horizontale /vertikale Querdispersion  
(10 % länglich = 0,5 m)



Zittau 23.,24.9.2010



12

---

---

---

---

---

---

---

---

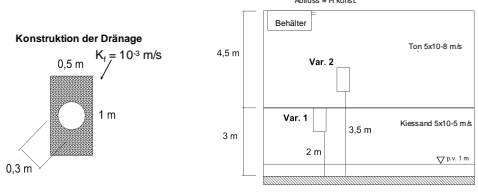
---

---



### Modell einer Versickerungsdränage

- Modellhaft die Versickerungsraten einer Dränage während der ersten 20 Minuten der Versickerung testen
- Bei Niederschlag gibt es innerhalb von **20 Minuten 120 m³** Wasser, der Behälter am Standort verfügt über ein Volumen von **90 m³** >> modellhaft die notwendige Länge der Dränage je nach ihrer Platzierung so zu bestimmen, dass sie innerhalb von **20 Minuten 30 m³** auffassen kann
- 2 Varianten der Platzierung der Dränage :
  1. - Kiessand (Sohle der Dränage **2m** über der Basis)
  2. - Ton (Sohle der Dränage **3,5m** über der Basis)




---

---

---

---

---

---

---

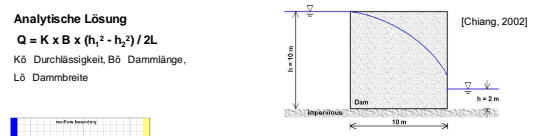
---

---

---

### Vertikales Querschnittsmodell

- **Damm:** Länge **100 m**, Breite **10 m**, Höhe **10 m**, auf einer Seite Wasserspiegel **10 m**, auf der anderen Wasserspiegel **2 m**, Material (isotrop, homogen):  $K_s = 10^{-5} \text{ m/s}$ ,  $n_s = 0,15$
- **Aufgabe:** modellhaft die Menge des durchsickernden Wassers sowie die Absenkung des Grundwasserspiegels im Dammkörper bestimmen.



**Analytische Lösung**  
 $Q = K \times B \times (h_1^2 - h_2^2) / 2L$   
 K<sub>s</sub> Durchlässigkeit, B<sub>0</sub> Dammlänge, L<sub>0</sub> Dammbreite

**Modell**  
 - 1-schichtig (Mächtigkeit **1 m**), grid: **21 x 20** (Spalten x Zeilen)  
 (Element **0,5 x 0,5 m**), Layer type: **0** (confined)  
 Randbedingungen :  
 - links H-konst. **10 m**, recht H-konst. **2 m** (auf 4 Elem., Rest Dränage)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---