

Tagung Numerische Grundwassermodellierung

Graz, 24.-25. Juni 2008

# Modellierung der Interaktion zwischen Fluss und Grundwasser

Zwei Beispiele aus der Region Zürich

Fritz STAUFFER, Tobias DOPPLER und  
Harrie-Jan HENDRICKS FRANSEN

**ETH** Eidgenössische  
Technische Hochschule  
Zürich

**IfU**  
Institut für Umweltingenieurwissenschaften

## Charakteristika

- Praktisch jeder **Grundwassermodellierer** ist mit der Interaktion Fluss-Grundwasser konfrontiert.
- **Infiltration/Exfiltration, Austauschrate**
- **Austauschrate** hängt ab von:
  - **Hydrogeologischer Situation** unter dem/beim Fluss,
  - **Hydraulischen Eigenschaften** unter dem/beim Fluss,
  - **Räumlicher Verteilung** der hydraulischen Eigenschaften, Inhomogenitäten, Schichten, Linsen,
  - Eigenschaften der **hyporheischen Zone**,
  - **Geometrie Flussbett**, zeitabhängig,

## Charakteristika

- **Austauschrate** hängt ab von:
  - Ausbildung **schwach-durchlässiger Schicht** im Flussbett, **Kolmatierung** inf. Sedimentation/phys./chem./biol. Prozesse, zeitabhängig.
  - **Räumlich variabler** Kolmatierung, kann von **Infiltrations/ Exfiltrationsbedingungen** abhängig sein.
  - **Gesättigten und/oder ungesättigten Bedingungen** unter dem Flussbett, zeitabhängig,
  - Naher **Vegetation**,
  - ...

## Charakteristika

- **Eingestaute** / nicht-ingestaute Flussabschnitte.
- Häufig **lineare Beziehung** zwischen Austauschrate und **Wasserspiegeldifferenz** zwischen Fluss und Grundwasser angenommen.
- **Wasserspiegeldifferenz** schliesst Effekt von **vertikalen Flusskomponenten** ein.
- Beziehung kann **nicht-linear** sein (z.B. Rushton & Tomlinson, 1979).
- **Dupuit-Annahmen** in 2D-Modellen.

## Charakteristika

- **Temperatureinfluss** auf Austauschrate (z.B. Constantz et al., 1994).
- **Austauschrate** kann lokal gemessen werden (z.B. Kaleris, 1998); schwierig, **räumlich variabel**.
- **Austauschrate** kann durch **Messung des Durchflusses** über einen Flussabschnitt abgeschätzt werden; nicht immer machbar.
- Gewöhnlich werden Austauschparameter durch **Modellkalibrierung** bestimmt.

5

## Austauschrate

**Austauschrate  $Q_{\text{leakage}}$  pro Längeneinheit Fluss:**

$$Q_{\text{Leakage}} / L = k_{\text{Leakage}} \cdot (h_{\text{Fluss}} - h_{\text{Grundwasser}})$$

e.g., Rushton and Tomlinson, 1979

$L$ :	Länge des Flussabschnitts [L]
$k_{\text{Leakage}}$ :	Leakagekoeffizient für Linienquelle [L T <sup>-1</sup> ]
$h_{\text{Fluss}}$ :	Wasserstand Fluss [L]
$h_{\text{Grundwasser}}$ :	Piezometerhöhe Grundwasser [L]

# Austauschrate

## Austauschrate pro Flächeneinheit Flussbett (hor.):

$$q_{\text{Leakage}} = \frac{K_{\text{Flussbett}} \cdot (h_{\text{Fluss}} - h_{\text{Grundwasser}})}{d_{\text{Flussbett}}} = l_{\text{Leakage}} \cdot (h_{\text{Fluss}} - h_{\text{Grundwasser}})$$

z.B. MODFLOW, 1984

$K_{\text{Flussbett}}$ :	Hydraulische Leitfähigkeit Flussbett [L T <sup>-1</sup> ]
$d_{\text{Flussbett}}$ :	Mächtigkeit Flussbett [L]
$l_{\text{Leakage}}$ :	Leakagekoeffizient f. Flächenquelle [T <sup>-1</sup> ]

# Austauschrate

## Austauschrate für ungesättigte Bedingungen:

$$q_{\text{Leakage}} = l_{\text{Leakage}} \cdot (h_{\text{Fluss}} - z_{\text{Flusssohle}})$$

z.B., MODFLOW, 1984

$z_{\text{Flusssohle}}$ :	Kote Flusssohle [L]
---------------------------	---------------------

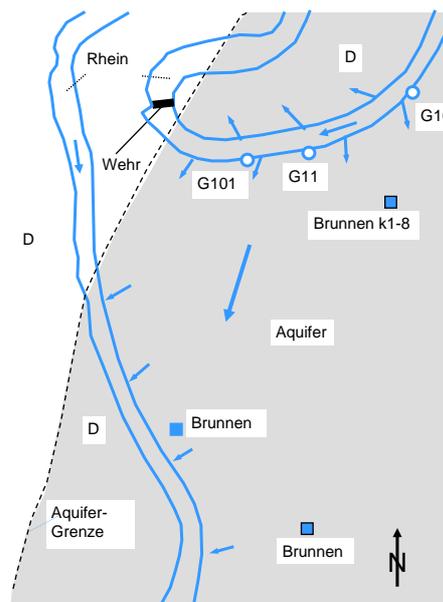
## Ziel

- **Wie zuverlässig sind Standardmodelle für die Interaktion zwischen Fluss und Grundwasser?**

- Fallstudie Rheinau (Zürich)
- Fallstudie Hardhof (Zürich)

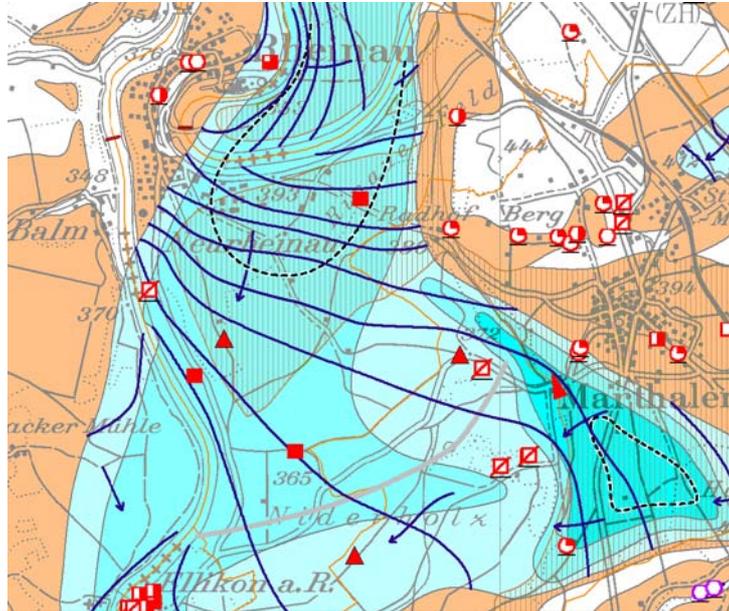
9

## Fallstudie Rheinau



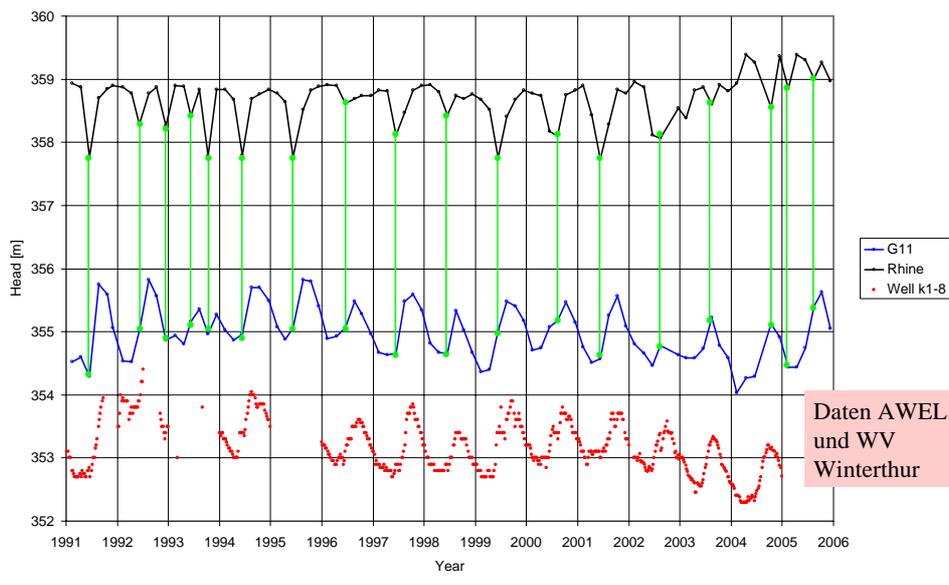
10

# Fallstudie Rheinau

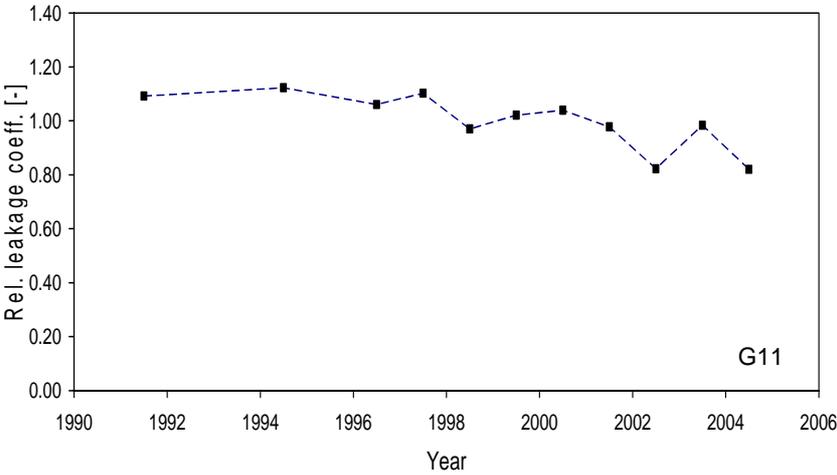


11

# Fallstudie Rheinau



# Fallstudie Rheinau



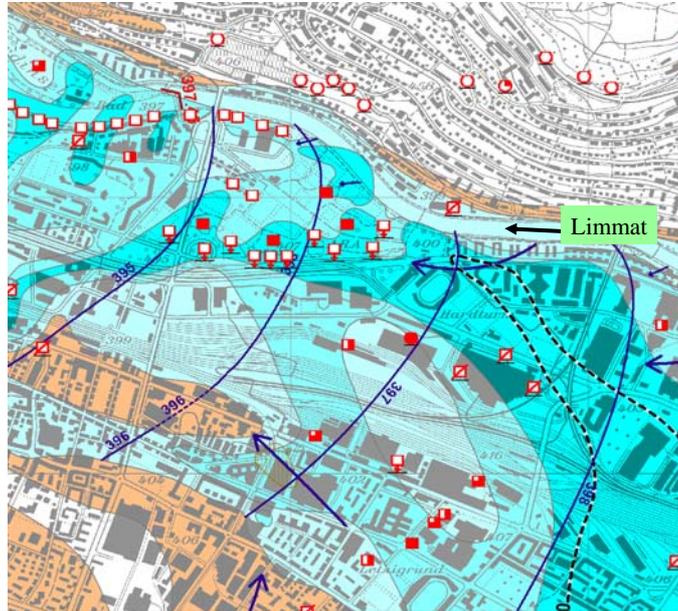
13

# Fallstudie Hardhof Zürich



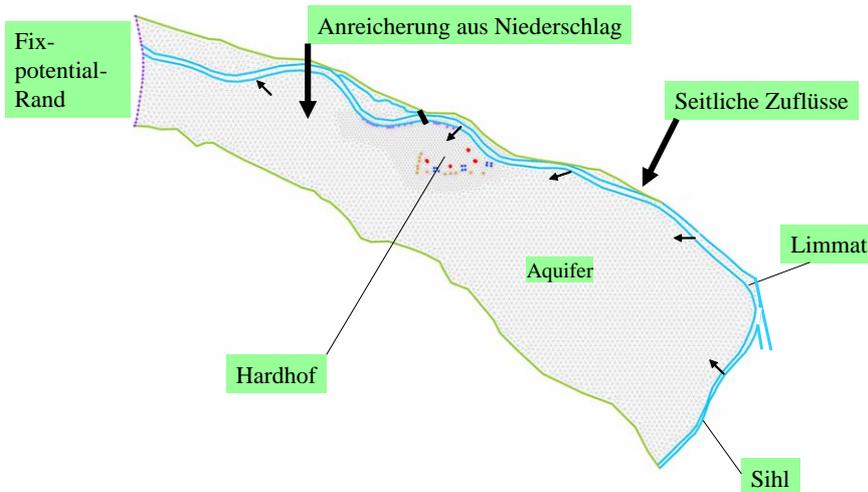
14

# Fallstudie Hardhof Zürich



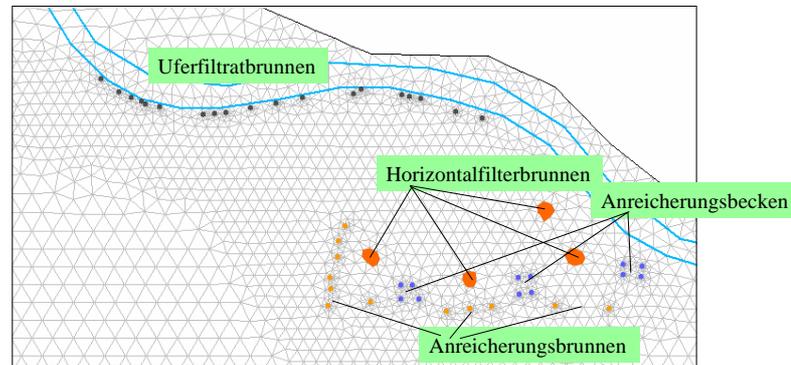
15

# 2D Strömungsmodell Hardhof



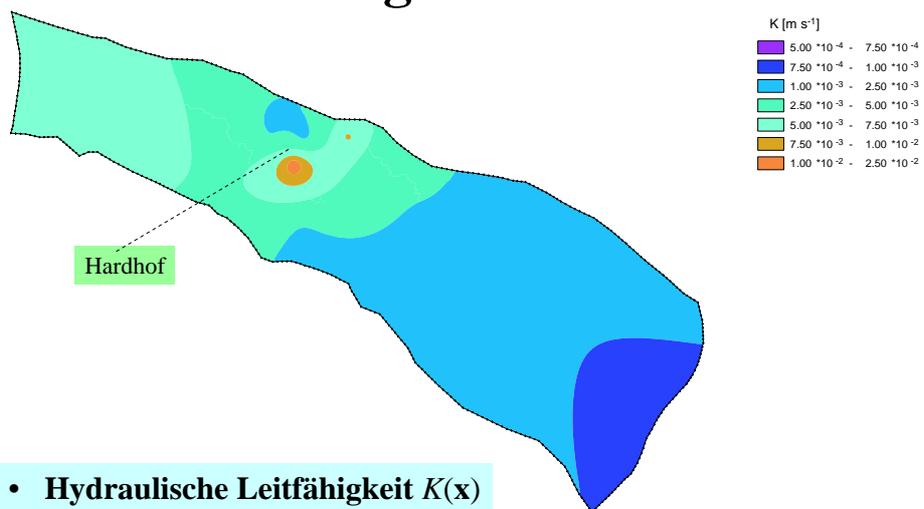
16

## 2D Strömungsmodell Hardhof



17

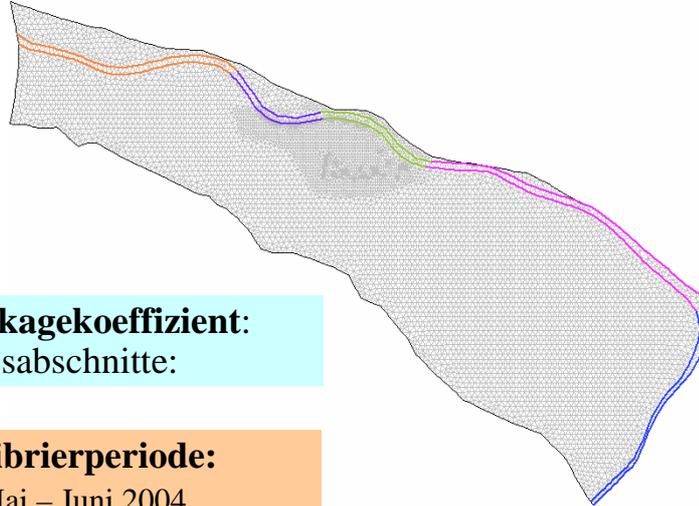
## 2D Strömungsmodell Hardhof



- **Hydraulische Leitfähigkeit  $K(x)$**   
durch Modellkalibrierung

18

## 2D Strömungsmodell Hardhof

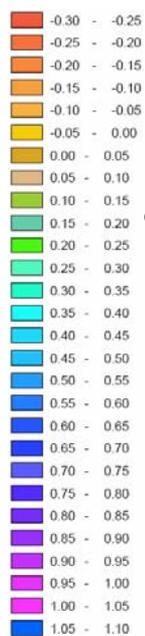


• **Leakagekoeffizient:**  
Flussabschnitte:

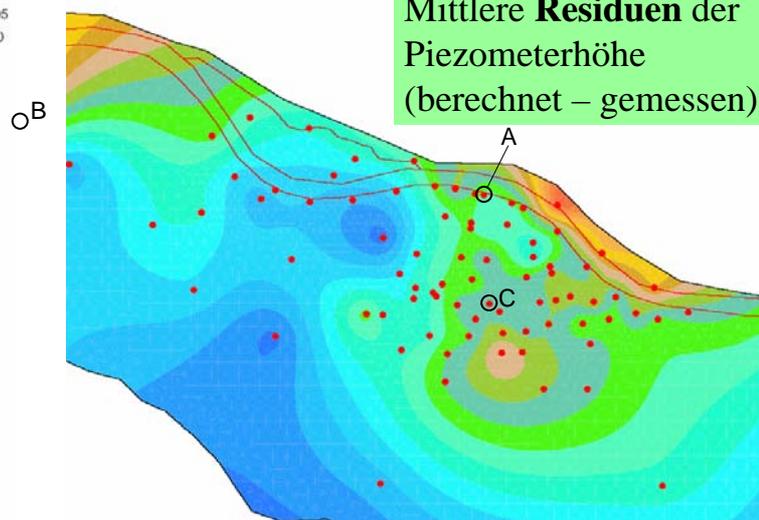
• **Kalibrierperiode:**  
– Mai – Juni 2004  
– Juli – August 2005

19

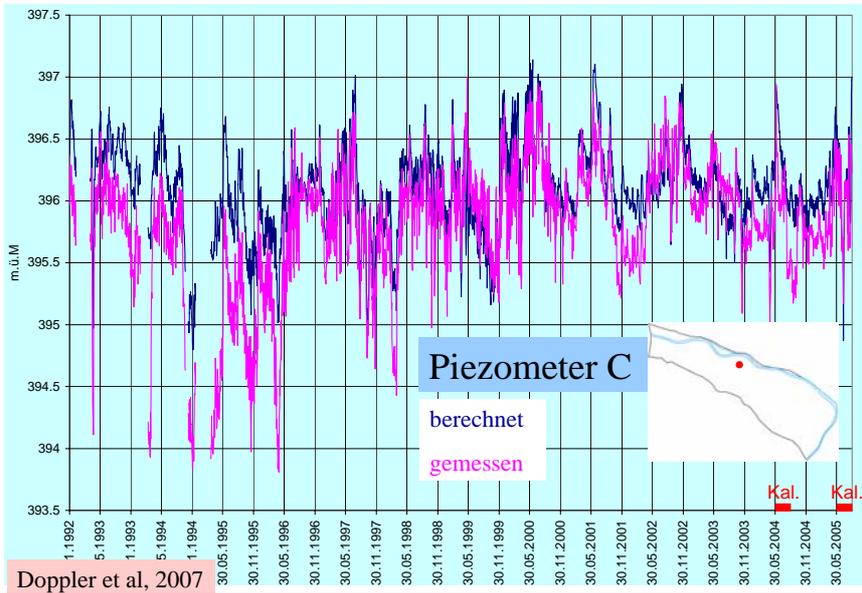
## Strömungsmodell Hardhof



Mittlere Residuen der  
Piezometerhöhe  
(berechnet – gemessen)

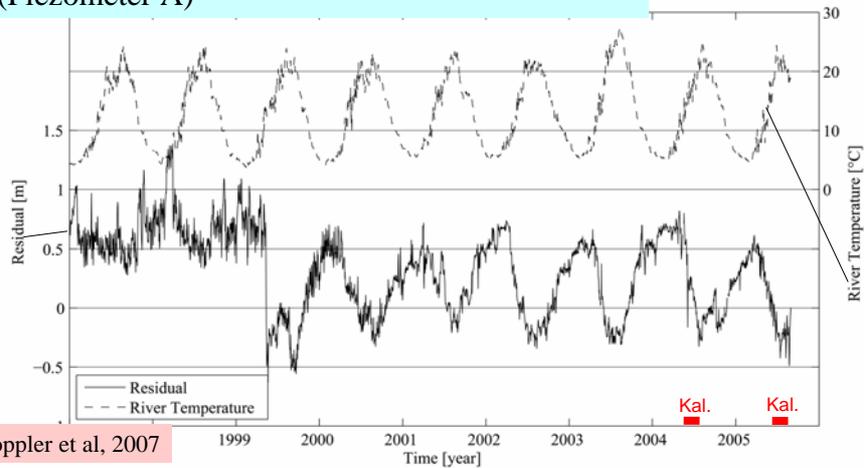


# Test Hardhof 1992-2005



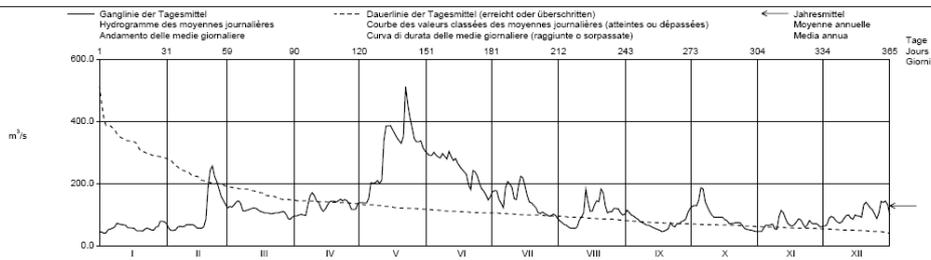
# Fluss-Aquifer-Interaktion Hardhof

Residuen der Piezometerhöhe nahe Limmat im eingestauten Abschnitt aus Kalibrierung (Piezometer A)



# Hochwasser Limmat Mai 1999

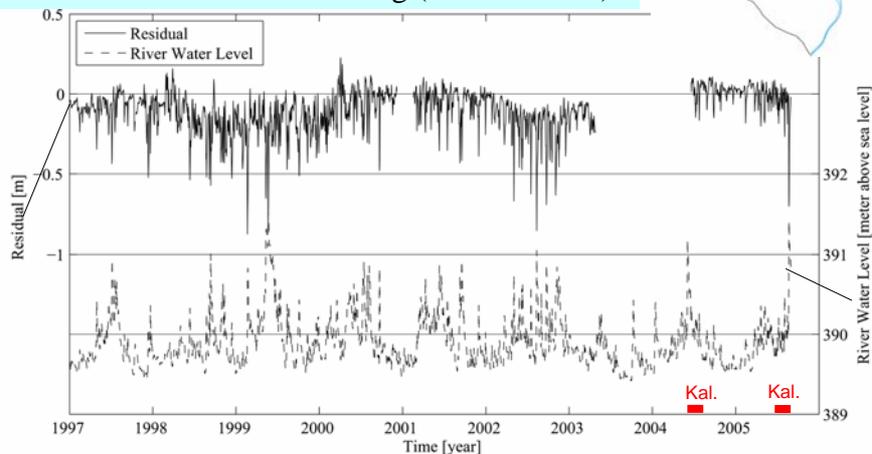
- Grösstes Jahreshochwasser der Periode 1938 - 2006
- Abflussspitze am 22. Mai 1999: 590 m<sup>3</sup>/s
- Mittelwert in Periode 1938 – 2006: 329 m<sup>3</sup>/s



Bundesamt für Umwelt Abt. Hydrologie

# Fluss-Aquifer-Interaktion Hardhof

Residuen der Piezometerhöhe nahe Limmat unterhalb Wehr aus Kalibrierung (Piezometer B)



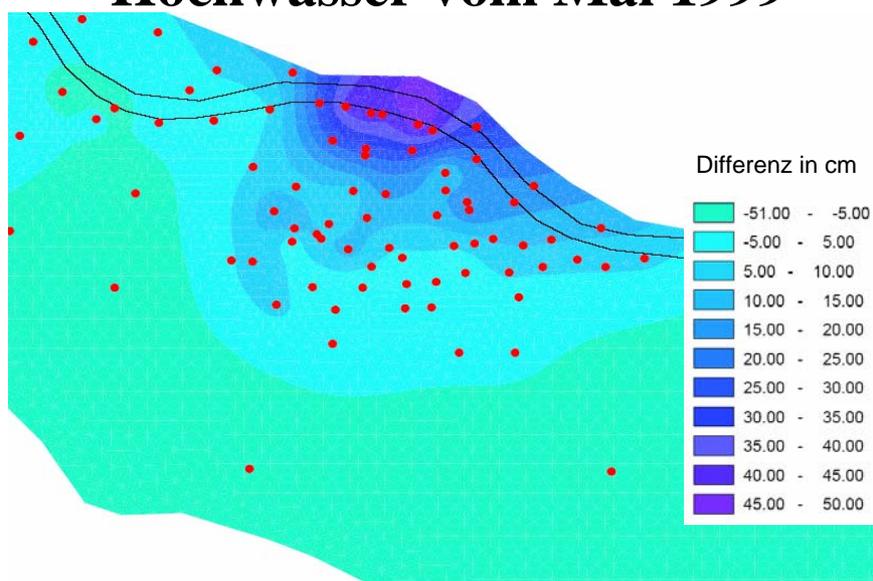
Doppler et al, 2007

## Fluss-Aquifer-Interaktion Hardhof

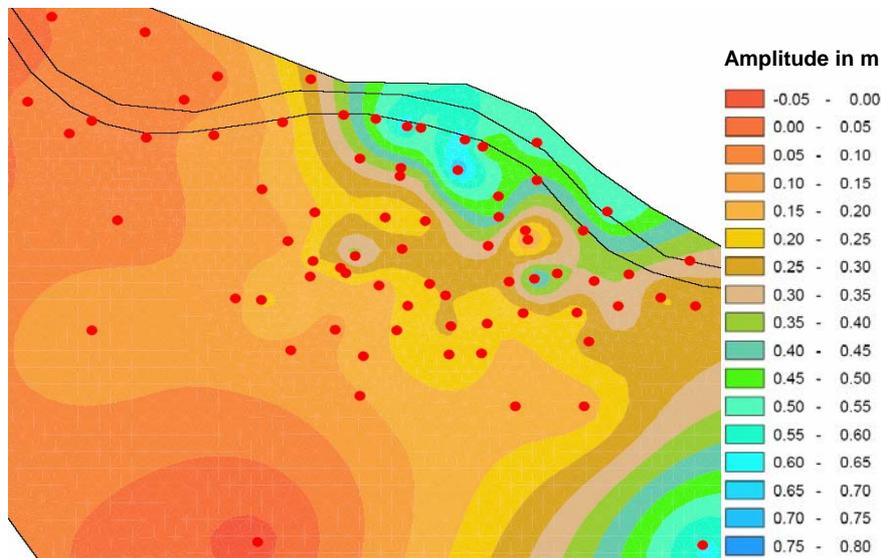


25

## Änderung Residuen durch Hochwasser vom Mai 1999



## Amplitude der jährlichen Residuenvariation

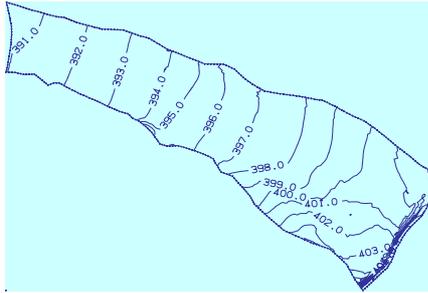


## Fluss-Aquifer-Interaktion Hardhof

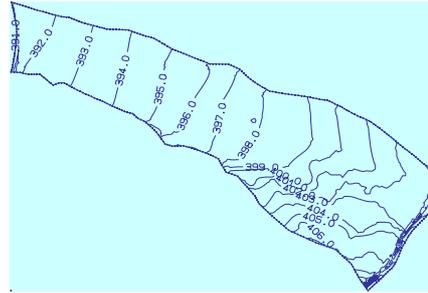
- **Hochwasserereignis** im Mai 1999 hatte plötzlichen und bleibenden Einfluss.
- Saisonale Schwankungen der **Flusswassertemperatur** beeinflusst Austauschrate.
- **Leakagekoeffizient** kann eine Funktion des Wasserstands im Fluss sein.

## 3D zeitabhängige Simulation Hardhof

Tiefer Grundwasserstand  
15 Sep. 2004



Hoher Grundwasserstand  
31 Aug. 2005



Hendricks Fransen

29

## Schlussfolgerungen

- **Fallstudien über Fluss-Grundwasser- Interaktion:**
- **Leakagekoeffizient** kann zeitabhängig sein und einen zeitlichen **Trend** aufweisen.
- **Leakagekoeffizient** abhängig von **Temperatur** und **Sedimentations-/Erosionszyklen**.
- **Leakagekoeffizient** kann von **Wasserstand im Fluss** abhängig sein (Flussprofil).
- Periodische **Überprüfung** and **Rekalibrierung** notwendig.

30