

“Regionale Grundwassersysteme“

Veranstaltung im Modul Hydrosystemanalyse

- Übung: Regionale Grundwassermodellierung

Prof. Dr. Olaf Kolditz

Dr. Erik Nixdorf

24.06.2022

Regionale Grundwassersysteme -Aufbau

- 3 Teile, 2mal Vorlesung und 1mal Übung, Ende gegen 18:10

 - a. V1: Grundwasserströmungsgleichung
 - I. Herleitung der Grundwassergleichung in der Potentialform
 - II. Diskussion der Parameter des Grundwasserleiters
 - III. Analytische Lösungen

 - b. V2: Grundwassermodellierung auf der Einzugsgebietsskala
 - I. GIS in der Grundwassermodellierung
 - II. Initial und Randbedingungen
 - III. Das Grundwasserströmungsmodell Selke

 - c. Übung mit OpenGeoSys und ParaView
 - I. Analytische Lösungen vs. OpenGeoSys
 - II. Grundwasserströmungsmodell Selke: Bewertung der Modellergebnisse und der Randbedingungen

 - d. Klausurfragen...
-

Einleitung

- Die Übung soll Ihnen einen Eindruck vermitteln, wie Simulationen mit OpenGeoSys mit analytischen Ergebnissen überprüft werden können und wie ein zunehmender Grad an Komplexität die Simulationsergebnisse eines regionalen Grundwasserströmungsmodells beeinflusst
- 2 Übungsteile: 1) Vergleich analytische/numerische Lösung: Grundwasserströmung im gespannten 1D Fall mit Grundwasserneubildung
2) Simulation der Grundwasserdynamik im Selkeinzugsgebiet
- Die Daten liegen wie immer auf der Cloud
- <https://nc.ufz.de/s/gm7RJ9JEnbb5y73> (pw: grundwasser_2022)
- Diese Übung setzt voraus, dass sie Grundlagen über den Aufbau der **OpenGeoSys6** Eingangsdatei (*.prj Datei) sowie der Nutzung von **ParaView** besitzen

Modellnutzung: Kurz

Präprozessierung

Wir abstrahieren das Problem und diskretisieren in Raum und die Zeit.

Simulation

Wir bilden den physikalischen Prozess mit mathematischen Methoden nach

Postprozessierung
(Visualization)

Wir interpretieren und analysieren die Simulationsergebnisse

OpenGeoSys Kontrollstruktur

- Zentraler Teil vom (kompilierten OGS) ist das Kommandozeilentool (ogs.exe)
- Gegenwärtig ist es in der Version 6.4.x verfügbar (bitte runterladen auf <https://www.opengeosys.org/releases/>)
- OGS muss grundsätzlich 3 Dinge wissen um eine Simulation zu starten:
 1. Eine Beschreibung des Problems
 2. Ein FEM Netz auf dem das Problem gelöst wird
 3. Eine geometrische und mathematische Beschreibung der Randbedingungen



```
E:\PhD_Model\RTH_Development\OGS#\PHQC\RTH Tutorial\wetland\ogs.exe
#####
||| | | |
|||      OpenGeoSys-Project      |||
|||
||| Helmholtz Center for Environmental Research |||
||| UFZ Leipzig - Environmental Informatics   |||
||| TU Dresden                             |||
||| University of Kiel                     |||
||| University of Edinburgh                 |||
||| University of Tuebingen (ZRG)          |||
||| Federal Institute for Geosciences      |||
||| and Natural Resources (BGR)            |||
|||
||| Version 5.5 (WU/MW/AM)   Date 08.12.2014 |||
|||
|||#####
||| File name (without extension): wetland  |||
|||#####
```

Kommandozeilen-Tool

OGS Kontrollstruktur



```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<OpenGeoSysProject>
  <meshes>
  <processes>
  <media>
  <time loop>
  <parameters>
  <process variables>
  <nonlinear solvers>
  <linear solvers>
</OpenGeoSysProject>
```

Projektdatei zur Problembeschreibung

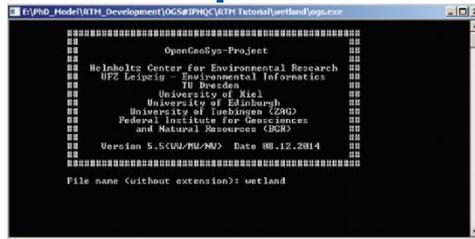


```
<?xml version="1.0"?>
<VTKFile type="UnstructuredGrid" ... "0.1" ?>
  <UnstructuredGrid>
    <Piece NumberOfPoints="977" ... NumberOfCells="...>
      <PointData>
      </PointData>
      <CellData>
        <DataArray type="..." Name="CellEntity...>
      </CellData>
      <Points>
      </Points>
    </Piece>
  </UnstructuredGrid>
</VTKFile>
```

VTU Datei die das FEM Netz und die Geometrie beschreibt

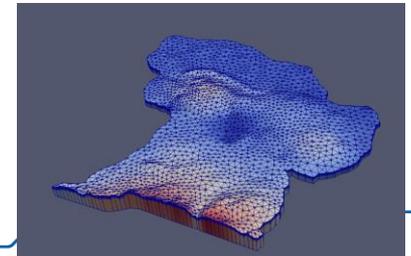
```
<?xml version="1... 859-1"?>
<!DOCTYPE OGS-...
<OpenGeoSysG...
  <name>Sell...
  <points>
  <poly...
  <surf...
</OpenGeo...
```

GML Datei zur Geometriebeschreibung (outdated)

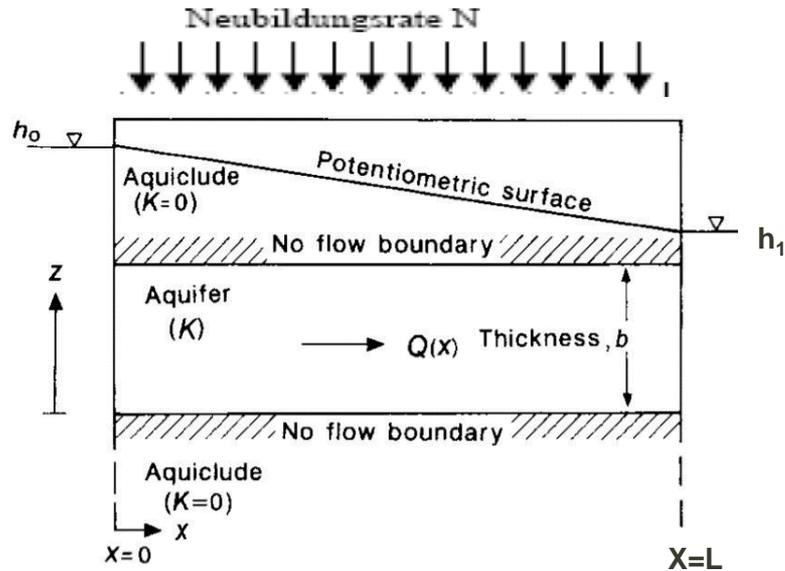


Kommandozeilentool

Unstrukturierte Gitter als VTU Dateien die Simulationsergebnisse als Data-Array enthalten



Teil I: Analytische vs Numerische Lösung



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

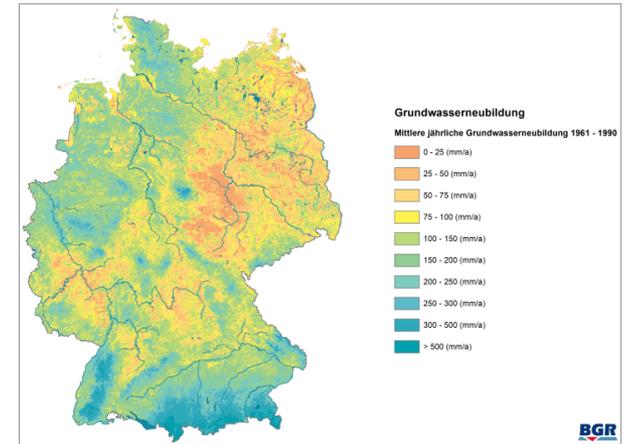
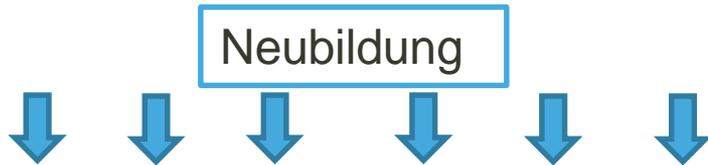
- Grundwasserströmungsgleichung gespannter Aquifer:
- Lösung 1D mit Neubildung:

$$H = h_0 + \frac{h_1 - h_0}{L} x + \frac{N}{2KM} x(L - x) \quad (1)$$

- Gespannter Aquifer mit Neubildung

Übung OGS: Grundwasserneubildung

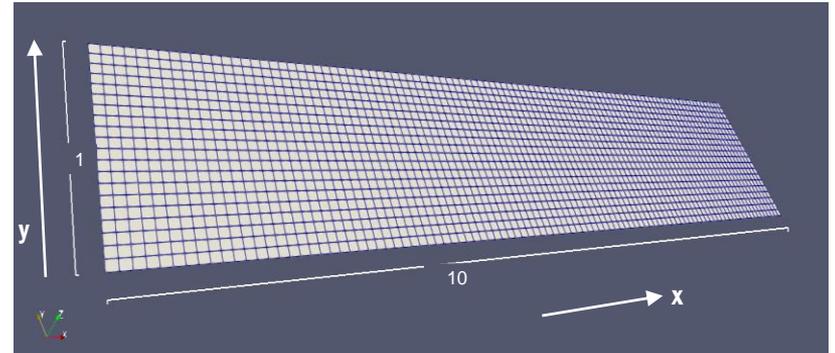
- Aufsetzen Grundwasserneubildung auf das Modell (10x1x1m)
 - Neubildung N: 100mm/a $\sim 3.18 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
 - Homogener Untergrund: $K = 9.81 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - Setzen als Neumannrandbedingung auf die Modelloberkante
 - Links/Rechts Dirichlet Randbedingungen (1.1m links, 1m rechts)



Numerische Berechnung der GW-Oberfläche

▪ Grundlegende Modellgeometrie und Mesh

- Wir diskretisieren unser Problem in 2D mit einer Länge in x von 10m und y=1m.
- Zellen: 0.1 m x 0.1 m, also 100 Zellen in x-Richtung und 10 Zellen in y-Richtung
- Für die Erzeugung einfacher(strukturierter) 2D FEM Netze gibt es ein kleines Kommandozeilentool
@<https://www.opengeosys.org/docs/tools/meshing/structured-mesh-generation/>



Befehl zum Erzeugen dieses Meshes über die OGS-Tools wäre:

```
generateStructuredMesh -o quad_10x1.vtu -e quad --lx 10 --ly 1 --nx 100 --ny 10
```

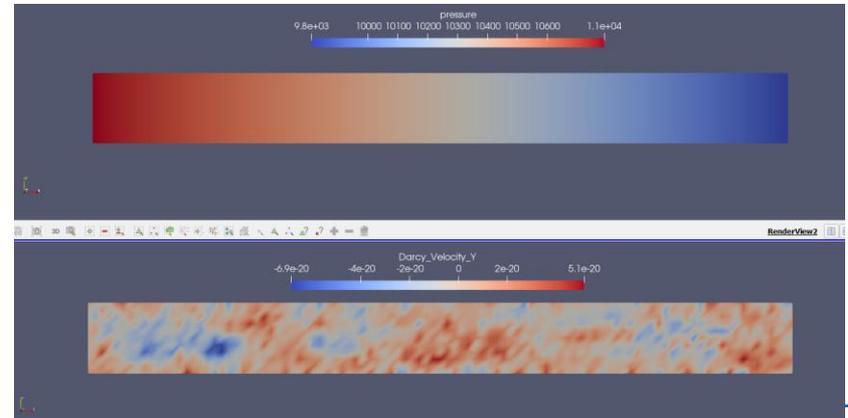
Verständnisfragen

- *Schauen sie sich die Projektdatei im Ordner gespannt_Neubildung_planar an*
- Einige Verständnisfragen hierzu:
 - Wie viele Mesh-Dateien werden geladen?
 - Welche Prozess-Klasse wird betrachtet?
 - Welche Randbedingungen werden angesetzt?
 - An welcher Stelle wird die Grundwasserneubildung realisiert?
 - Wie lange wird simuliert? Wie viele Zeitschritte werden ausgegeben?
 - Wieviel Dimensionen hat das Modell (1D, 2D, 3D)?

Übung OGS: Grundwasserneubildung

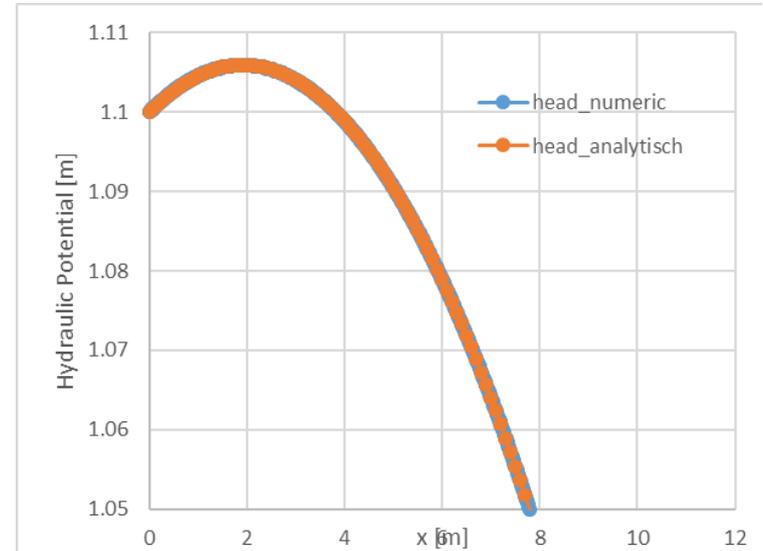
- Wir simulieren ein OGS 2D Modell, welches die Draufsicht auf den Aquifer darstellt (Order: *gespannt_Neubildung_planar*) → quasi 1D Strömungsproblem
- Füllen sie die Lücken „<!-- -->“ in der *quad_gespannt_neubildung_planar.prj* **Projektdatei**
- Da die Prozess Variable des **LIQUID_FLOW** der Druck ist, wird das Pascal'sches Gesetz angewandt
- Starten sie die Simulation und laden sie die Ergebnisse in **ParaView**
- Diskutieren sie die Ergebnisse.
Wo befindet sich die Grundwasserscheide?

```
<media>
  <medium id="0">
    <phases>
      <phase>
        <type>AqueousLiquid</type>
        <properties>
          <property>
            <name>viscosity</name>
            <type>Constant</type>
            <value>1.e-3 </value>
          </property>
          <property>
            <name>density</name>
            <type>Constant</type>
            <value><!-- --></value>
          </property>
        </properties>
      </phase>
    </phases>
  </medium>
</media>
```



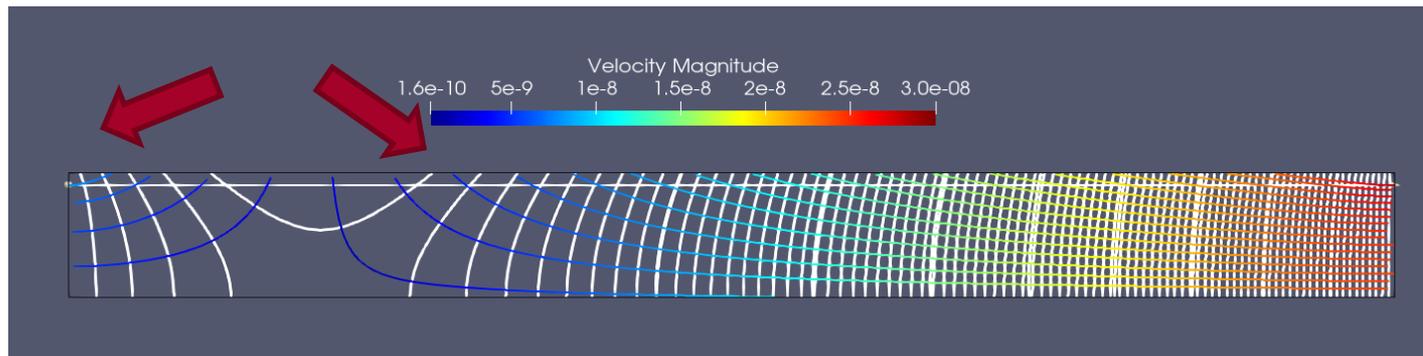
Übung OGS: Grundwasserneubildung

- Vergleichen sie das Ergebnisse mit der analytischen Lösung
- Grundwasserscheide im Modellgebiet ist ein Extremwert $\rightarrow \frac{dH}{dx} = 0$
- $x_0 = \frac{L}{2} + \left(\left(\frac{h_1 - h_0}{L} \right) KM \right) \frac{1}{N}$
- Einsetzen der Parameter ergibt für die innere Grundwasserscheide die Position $x_0 = 1.92m$



Übung OGS: Grundwasserneubildung

- Wir überführen das planare Modell in ein Querschnittsmodell (*gespannt_Neubildung_querschnitt*) und setzen die Neubildung auf das obere Linienelement
- Im Gegensatz zum planaren Modell (und zur Dupuit-Forchheimer Approximation) gibt es nun **eine** Geschwindigkeitskomponente in Y-Richtung → 2D Strömungsproblem
- Ersetzen sie die Lücken („<!-- -->“) in der Datei *quad_gespannt_querschnitt.prj*, starten sie die Simulation und visualisieren sie die Strömungslinien im System



Teil 2: Übung Selke

- Für die erste Simulation werden nur zeit-invariante Dirichlet Randbedingungen und **ein** homogener, isotroper und gespannter Aquifer berücksichtigt
- Da die Prozess Variable des **LIQUID_FLOW** der Druck ist, wird das Pascal'sches Gesetz angewandt
- Näherungsweise entspricht das hydraulische Potential an einem Knoten der zu einem Fluss gehört dem Wasserstand \sim DEM Altitude
- Initialbedingung ist $p_0=100m=981000 Pa$
- *FEM Domänennetz ist Selke_Basin_Domain_homo.vtu*
- Ausgabe erfolgt auf dem Domänennetz und dem VTK der GWMS (*Selke_Basin_Pnt_Wells.vtu*)

Randgeometrie	Randwerte
Selke_Basin_PL_Bode	$p=\rho*g*z$
Selke_Basin_PL_Wipper	$p=\rho*g*z$
Selke_Basin_PL_Selke	$p=\rho*g*z$
Selke_Basin_PG_Concordia	$p=\rho*g*84.5m$
Selke_Basin_PG_Wilsleber	$p=\rho*g*106m$
Selke_Basin_PG_Koenigsauer	$p=\rho*g*102.2m$

1. Beispiel: Nur Dirichlet Randbedingungen

- Die Materialparameter orientieren sich an gemessenen Größen im Modellgebiet
- Der **Speicherkoeffizient** kann 0 gesetzt werden, da die Simulation keine transienten Randbedingungen enthält.
- Je größer S gewählt wird, desto länger wird die Einschwingzeit des Modells bis zur stationären Lösung
- Das Modell ist 2D planar, also entspricht der Parameter *Permeabilität* der tatsächlichen Permeabilität * Mächtigkeit des Aquifers

Materialkonstante	Wert/Einheit
Dynamische Viskosität	0.0011373 kg/m.s
Fluiddichte	1000 kg/m ³
Permeabilität	5.8E-10 m ² = 0.005 m/s
<i>Aquifermächtigkeit</i>	<i>1m</i>
Temperatur	288.15 K
Porosität	0.17
Storage	0

1. Beispiel: Nur Dirichlet Randbedingungen

- Füllen sie die entsprechenden Platzhalter (!--??--) in der **Selke_Basin.prj** Datei aus
- Externe Software kann genutzt werden ob die ausgefüllt prj Datei dem formalen xml Schema entspricht (z.B. <https://www.xmlvalidation.com/?L=1>)
- Alle vtu Dateien, die prj Datei in einen zu erstellenden Ordner *Selke_Dirichlet_2D* kopieren
- **ogs.exe** in den Ordner kopieren und in ein Terminal schreiben: *ogs.exe Selke_Basin.prj -l debug*

Für debug Modus

```
Eingabeaufforderung
Microsoft Windows [Version 10.0.18363.900]
(c) 2019 Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.

C:\Users\nixdorf>E:

E:\>cd E:\UFZ\012020\Lehre\Kurs_Beijing_2020\datasets\Extra_Task_PEST\selke_run_01
E:\UFZ\012020\Lehre\Kurs_Beijing_2020\datasets\Extra_Task_PEST\selke_run_01>ogs.exe Selke_Basin.prj
```

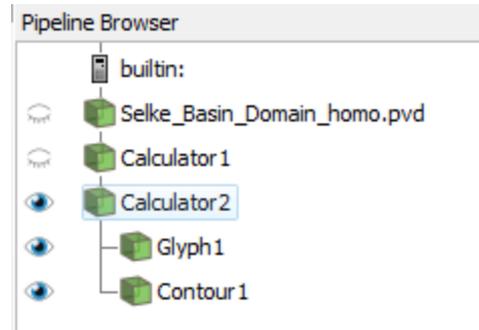
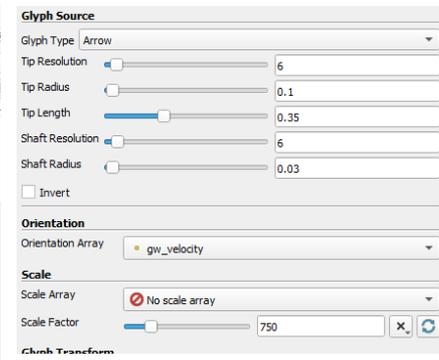
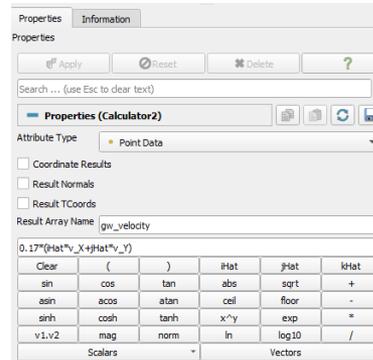


```
Eingabeaufforderung
Info: Solve processes.
warning: Ascii data cannot be compressed, ignoring compression flag.
warning: Ascii data cannot be compressed, ignoring compression flag.
Info: [time] Output of timestep 0 took 0.474905 s.
Info: == Time stepping at step #1 and time 1 with step size 1
Info: Calculate non-equilibrium initial residuum.
Info: [time] Assembly took 0.201137 s.
Info: [time] Applying Dirichlet BCS took 0.0042753 s.
Info: -----
Info: *** Eigen solver computation
Info: -> solve with BICGSTAB (precon ILUT)
Info: iteration: 2/1000000
Info: residual: 2.763016e-20
Info: -----
Info: [time] Linear solver took 0.0753643 s.
Info: [time] Iteration #1 took 0.283034 s.
Info: [time] Solving process #0 took 0.283905 s in time step #1
Info: [time] Time step #1 took 0.324354 s.
warning: Ascii data cannot be compressed, ignoring compression flag.
warning: Ascii data cannot be compressed, ignoring compression flag.
Info: [time] Output of timestep 1 took 0.409637 s.
Info: The whole computation of the time stepping took 1 steps, in which
the accepted steps are 1, and the rejected steps are 0.
Info: [time] Execution took 1.77929 s.
warning: There are still some matrices and vectors in use. This might be an indicator of a possible waste of memory.
Info: OGS terminated on 2020-08-03 12:06:17+0200.

E:\UFZ\012020\Lehre\Kurs_Beijing_2020\datasets\Extra_Task_PEST\selke_run_01>
```

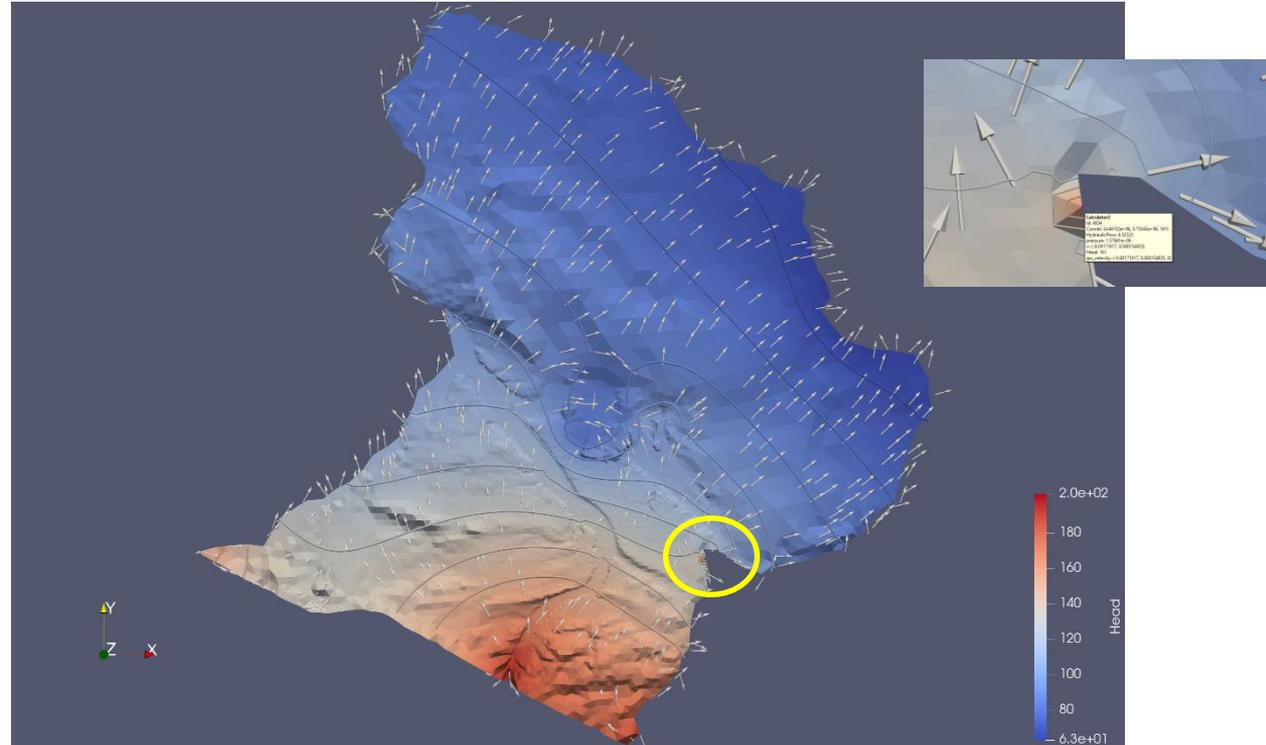
1. Nur Dirichlet Randbedingungen

- Laden sie die *Selke_Basin_Domain_homo.pvd* in ParaView
- Mit Hilfe des Time Sliders können sie durch die Ergebnisse der Zeitschritte gehen → Stationäre Lösung wird nach einem Zeitschritt (1/10 Jahr) erreicht
- Druck in Hydraulisches Potential über **Calculator** umrechnen ($h=p/(\rho \cdot g)$)
- Geschwindigkeitsvektor über zweiten **Calculator** erstellen
- **Glyph** und **Countour** Filter für Geschwindigkeitsrichtungen einsetzen



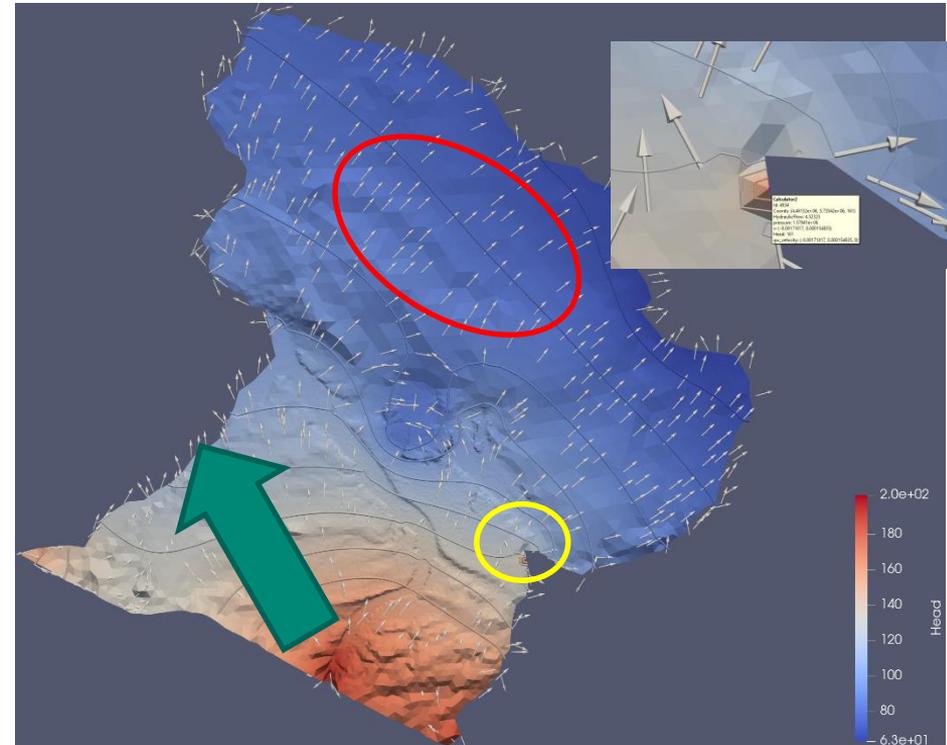
1. Nur Dirichlet Randbedingungen

- Was fällt Ihnen auf?
- Was widerspricht ihrer Intuition als (fast) fertig ausgebildete Hydrologen?
- ...
- ...
- ...



1. Nur Dirichlet Randbedingungen

- Was fällt Ihnen auf?
- Was widerspricht ihrer Intuition als (fast) fertig ausgebildete Hydrologen?
- Falscher Höhenwert für einen Wipperknoten (DEM Fehler in Ortschaft Aschersleben???)
- Höhenzug Hakel keine Grundwasserscheide (Fehlende Grundwasserneubildung)
- Regionale Grundwasserströmung von der Selke zur Bode (Fehlende Grundwasserströmung aus dem oberen Einzugsgebiet)
-



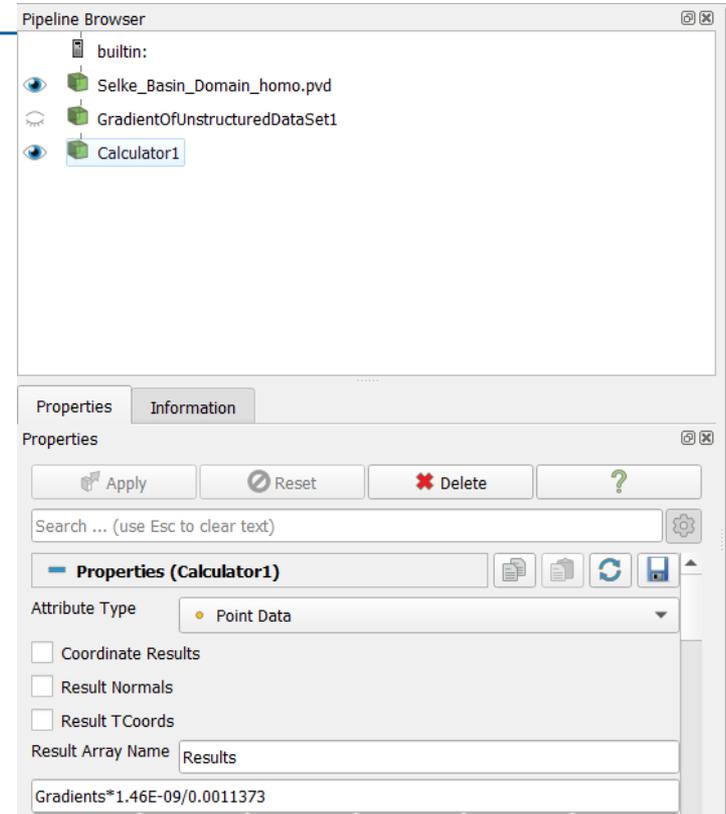
1. Nur Dirichlet Randbedingungen

- Die Sekundärvariable **velocity** des **LIQUID_FLOW** Prozesses beschreibt nicht die Fließgeschwindigkeit des Wassers im porösen Medium
- Stattdessen stellt sie das Produkt aus hydraulischem Gradienten und Permeabilität dar

$$q = -Ki = -\kappa \frac{\rho_F}{\mu_F} g \nabla H = -\frac{\kappa}{\mu_F} \nabla p$$

- Die Grundwassergeschwindigkeit kann über

$$v_f = \frac{q}{\phi} = -\frac{-K \nabla H}{\phi} \text{ berechnet werden}$$



2. Grundwasserneubildung

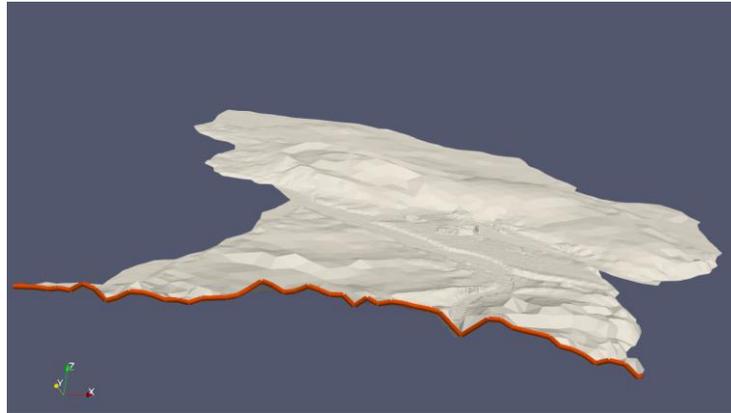
- Kopieren sie alle Input Dateien und die prj in einen neuen Ordner *1_homogeneous*
- Grundwasserneubildung wird als **Source_Term** zugewiesen
- Die Werte entsprechen der Neubildungsrate in m^3/s
- Fügen Sie einen neuen Parameter hinzu, der durch das **<field_name> recharge** im **MeshElement** des **<mesh> Selke_Basin_PG_Recharge** beschrieben wird
- Fügen Sie einen Block **<source_terms>** hinzu, um **OGS** mitzuteilen, wie der neue Parameter *q_recharge* verwendet werden soll

```
105 </parameter>
106 <parameter>
107   <name>p_river_wipper</name>
108   <type>Function</type>
109   <expression>1000*9.81*z</expression>
110 </parameter>
111 <parameter>
112   <name>q_recharge</name>
113   <mesh>Selke_Basin_PG_Recharge</mesh>
114   <type>MeshElement</type>
115   <field_name>recharge</field_name>
116 </parameter>
117 </parameters>
```

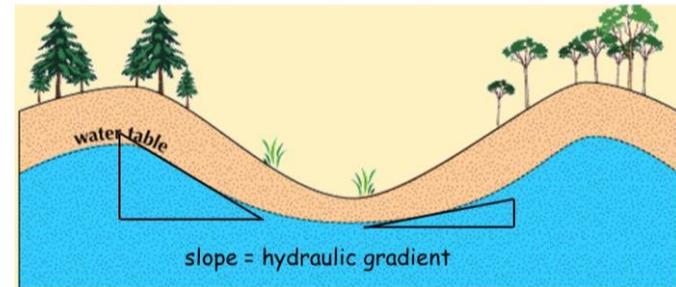
```
</boundary_conditions>
<source_terms>
  <source_term>
    <mesh>Selke_Basin_PG_Recharge</mesh>
    <type>Volumetric</type>
    <parameter>q_recharge</parameter>
  </source_term>
</source_terms>
</process_variable>
```

2. Randbedingung Oberstromig

- Der Verlauf der oberstromigen Randbedingung entspricht keiner Hydrographischen Entität
- Liegt in der Nähe des Übergangs vom Harz zum Tiefland
- No-flow (bisher existierende Bedingungen) scheint unrealistisch zu sein, da es keine Einzugsgebietsgrenze ist
- Kann entweder als Neumann oder als Dirichlet Randbedingung beschrieben werden



Water Table Topography



2. Randbedingung Oberstromig: Neumann

- Ohne Messungen oder messgestützte Modellierung kann der Zufluss an Grundwasser aus dem oberen Einzugsgebiet nur geschätzt werden
- Grundwassergeschwindigkeiten (und Durchflussraten) können eine hohe Bandbreite aufweisen (Darcy Gesetz)
- In erster Näherung schätzen wir die Grundwasserfließgeschwindigkeit auf 0.1 m/d, daraus folgt ein Darcy-Flux als Neumann-Randbedingung von:

$$q_D = \phi v_f = 2.0E - 7 \frac{m}{s}$$

```
<parameter>  
  <name>q_upstream</name>  
  <type>Constant</type>  
  <value>2.0E-7</value>  
</parameter>
```

```
<boundary_condition>  
  <type>Neumann</type>  
  <mesh>Selke_Basin_PL_Upstream</mesh>  
  <parameter>q_upstream</parameter>  
</boundary_condition>
```

- Da die Schätzung so grob ist, sollte q_D über Kalibrierung optimiert und die Sensitivität des Parameters bestimmt werden

2. Randbedingung Oberstromig: Alternative Dirichlet

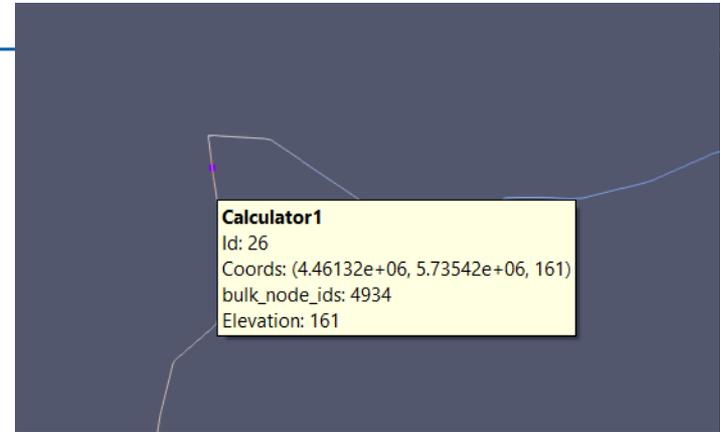
- Der Verlauf der Grundwasserspiegellage spiegelt die Topografie wieder, jedoch mit weniger Gefälle
- In einem Einzugsgebiet haben höher gelegene Bereiche eine größere Tiefe zum Grundwasser
- Eine einfache (Näherungs)Möglichkeit wäre es das oberstromig hydraulische Potential über eine Wurzelfunktion in Abhängigkeit der Geländehöhe zu beschreiben:

```
<parameter>
  <name>q_recharge</name>
  <mesh>Selke_Basin_PG_Recharge</mesh>
  <type>MeshElement</type>
  <field_name>recharge</field_name>
</parameter>
<parameter>
  <name>p_upstream</name>
  <type>Function</type>
  <expression>1000*9.81*(z-(z^(1/2)))</expression>
</parameter>
</parameters>
<process_variables>
```

```
</boundary_condition>
<boundary_condition>
  <type>Dirichlet</type>
  <mesh>Selke_Basin_PL_Upstream</mesh>
  <parameter>p_upstream</parameter>
</boundary_condition>
</boundary_conditions>
<source_terms>
```

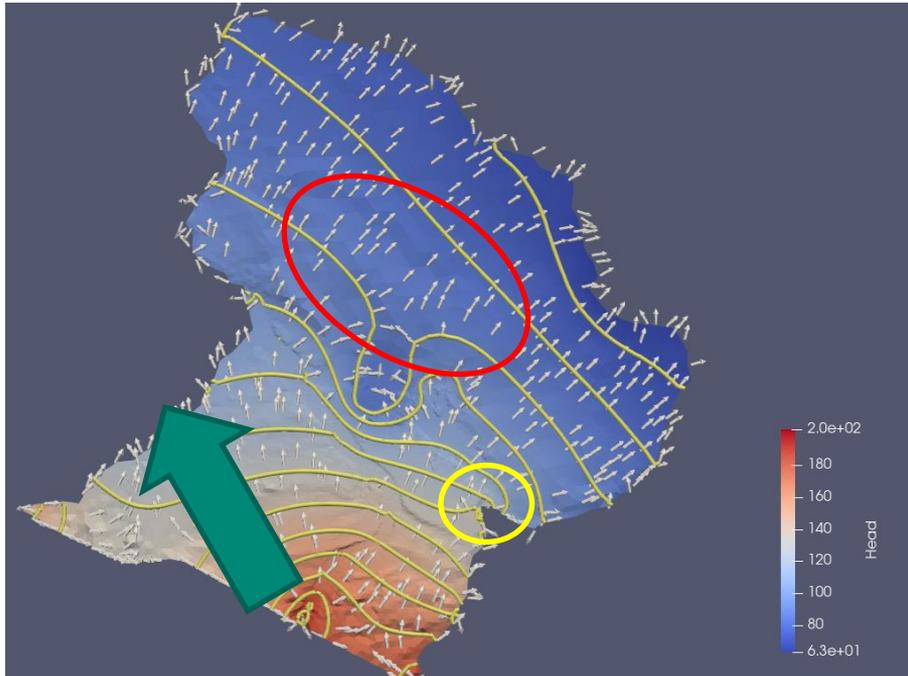
2. Beispiel: Dirichlet und Neumann Randbedingungen

- Zuletzt muss die Fehlerhafte Höhenkoordinate in der Datei *Selke_Basin_PL_Wipper.vtu* geändert werden
- *ParaView* öffnen und die zugehörige *Node_ID* suchen
- Manuell den Eintrag in der Datei auf 125 (Mittelwert der Nachbarknoten) ändern
- **ogs.exe** in den Ordner kopieren und in ein Terminal schreiben: *ogs.exe Selke_Basin.prj -l debug*

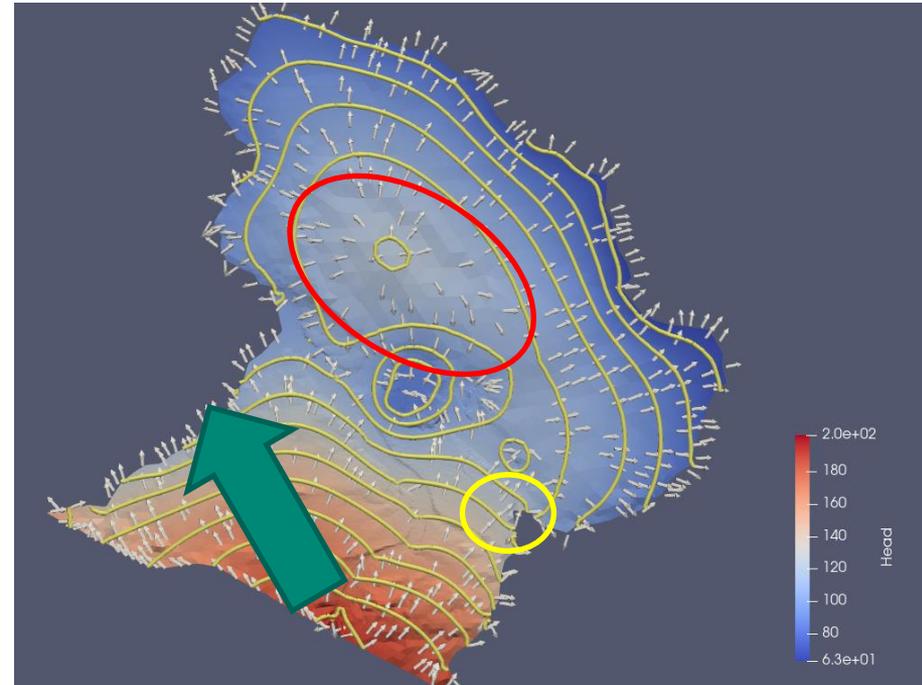


```
<DataArray type="Float64" Name="Points" NumberOfComponents="3" 1
4457642 5727081 179 4457887.5 5727466 172
4469858 5736555.5 86 4470204.5 5736757 87
4468030 5735621.5 92 4468475.5 5735712 91
4468921 5735802.5 92 4473883 5745138.5 68
4473485.5 5745840.5 65 4460441.5 5730449.5 145
4460472.5 5730897.5 147 4473088 5746542.5 64
4461259.5 5735853 122 4461668 5735829 131
4470403 5737107.5 85 4470601.5 5737458 84
4460619 5732146 136 4460709 5732501 136
4459604.5 5728917 160 4459877.5 5729225.5 156
4471932 5738488.5 80 4472057 5738953 78
4471196.5 5738038.5 82 4471564.5 5738263.5 80
4461372.5 5733347.5 131 4461431 5733779 130
4461317.5 5735424.5 125 4473260 5742545.5 70
4473506 5742958 70 4460503.5 5731346 147
4462454 5735550 111 4462832 5735295.5 108
4461376 5734996 128 4462076.5 5735805 120
```

2. Modell Vergleich



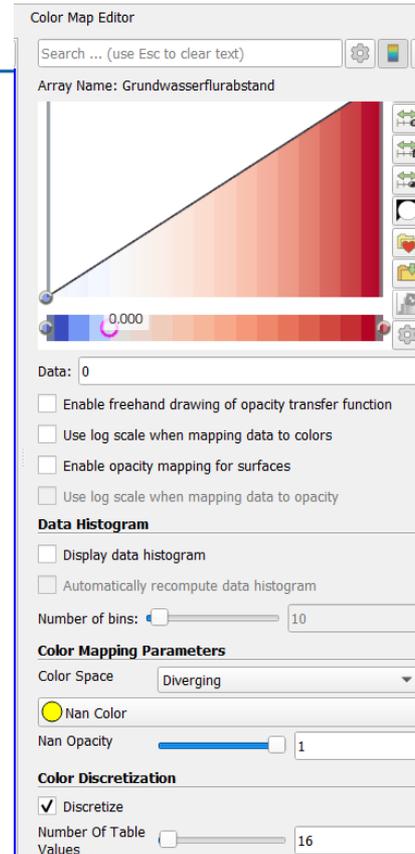
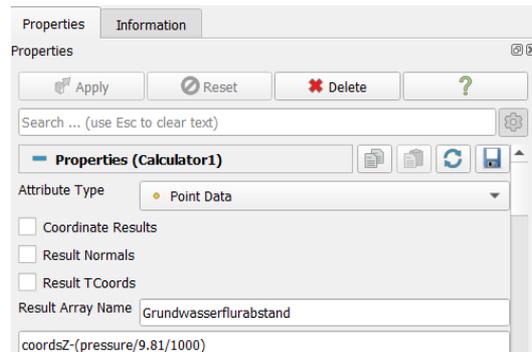
- Dirichlet



- Dirichlet+Neumann

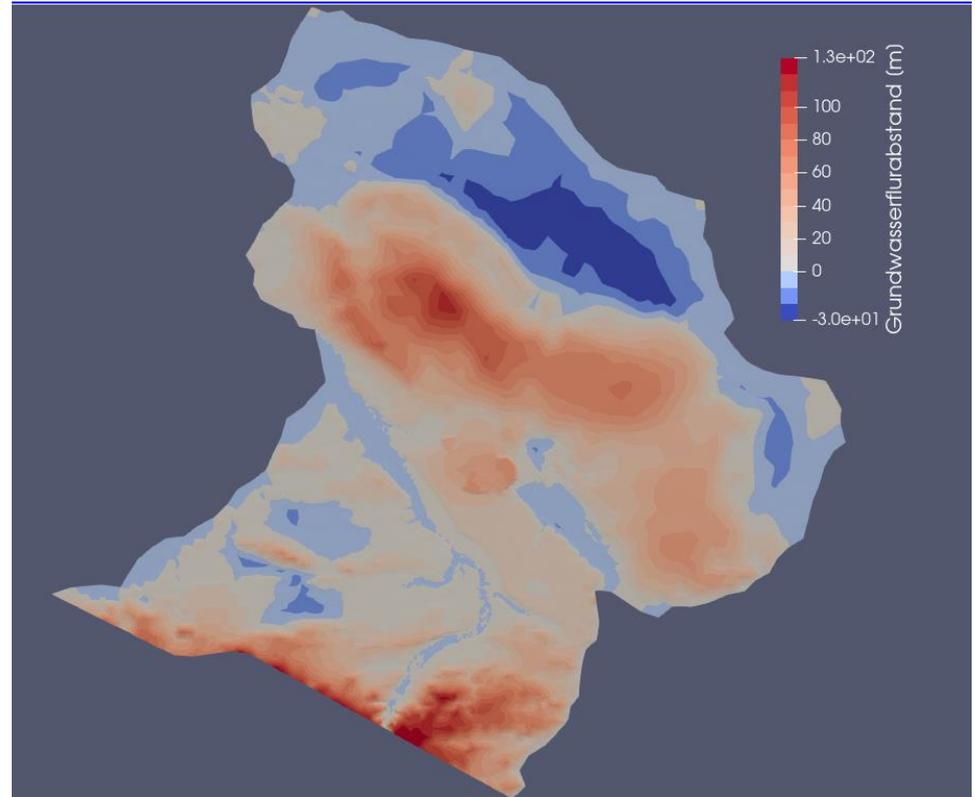
3. Grundwasserflurabstand

- Dadurch dass wir jedem FEM Knoten eine Z-Koordinate zugeordnet haben, kann der Grundwasserflurabstand berechnet werden
- In **ParaView** einen **Calculator** öffnen und das *Hydraulische Potential* von der **CoordZ** abziehen
- **Color Map Editor** öffnen und die Visualisierung so anpassen, dass alle überfluteten Flächen bläulich gefärbt sind



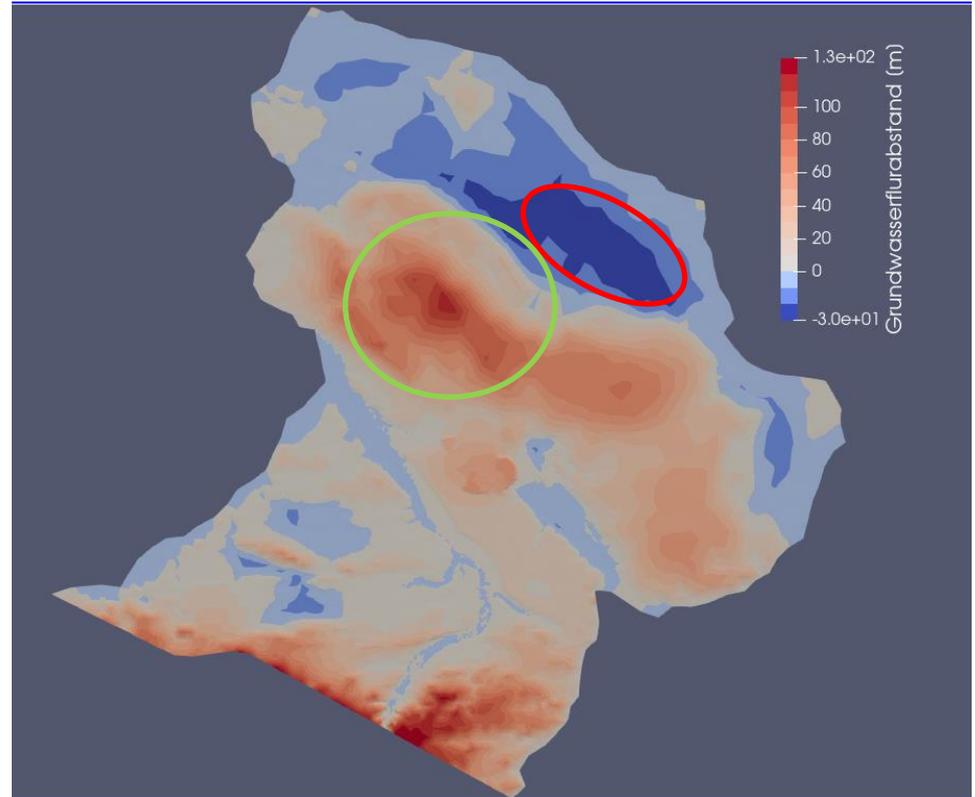
3. Grundwasserflurabstand

- Was fällt Ihnen auf?
- Was widerspricht ihrer Intuition als (fast) fertig ausgebildete Hydrologen?
- ...
- ...
- ...



3. Grundwasserflurabstand

- Was fällt Ihnen auf?
- Was widerspricht ihrer Intuition als (fast) fertig ausgebildete Hydrologen?
- Sehr hoher Grundwasserflurabstand im Havel und im Harz
- Deutliche Überflutungen im Bereich Cochstedt/Schneidlingen



3. Grundwasserflurabstand



ung Reisen Liebe/Bekanntschafte An- und Verkauf Themenwelten Gewinnspi... < > E-Paper Abbonn

Volksstimme Mogelburg, C

tschaft Sport Lokalsport Deutschland & Welt Panorama Kultur Leben Blaulicht

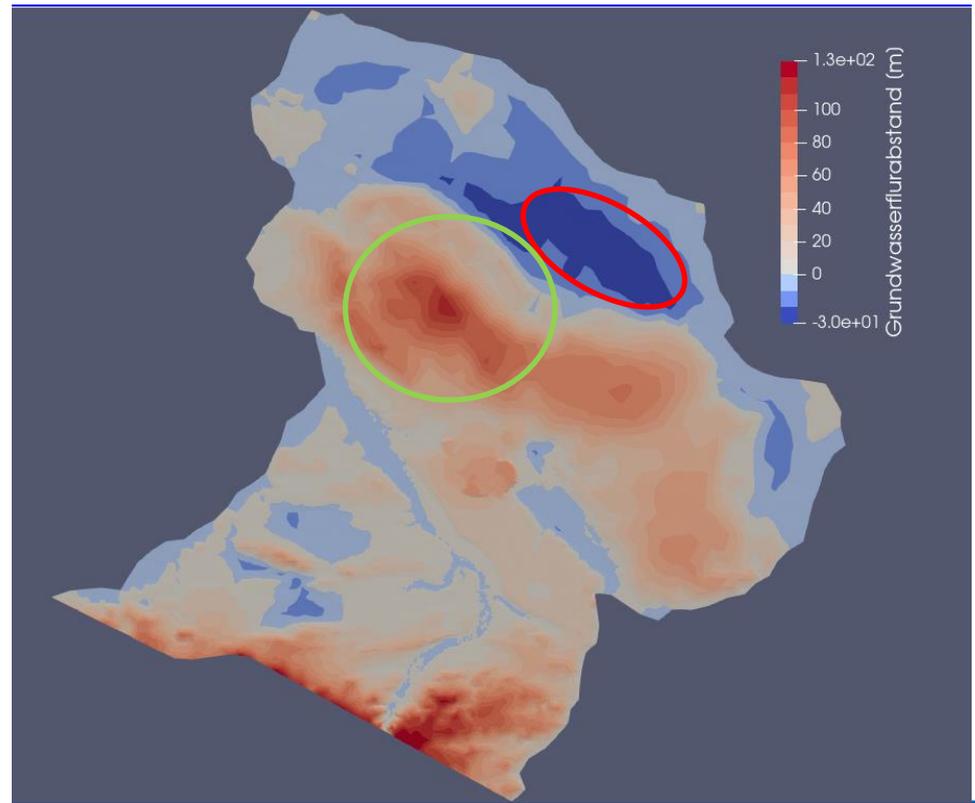
SCHLAMM LÄUFT NACH STARKREGEN VON ACKER IN LINDENSTRASSE / STADTARBEITER UND FEUERWEHR IM EINSATZ

Nach Grundwasser jetzt Probleme mit Schlamm in Cochstedt

Von Nora Stuhr 07.09.2011, 06:30

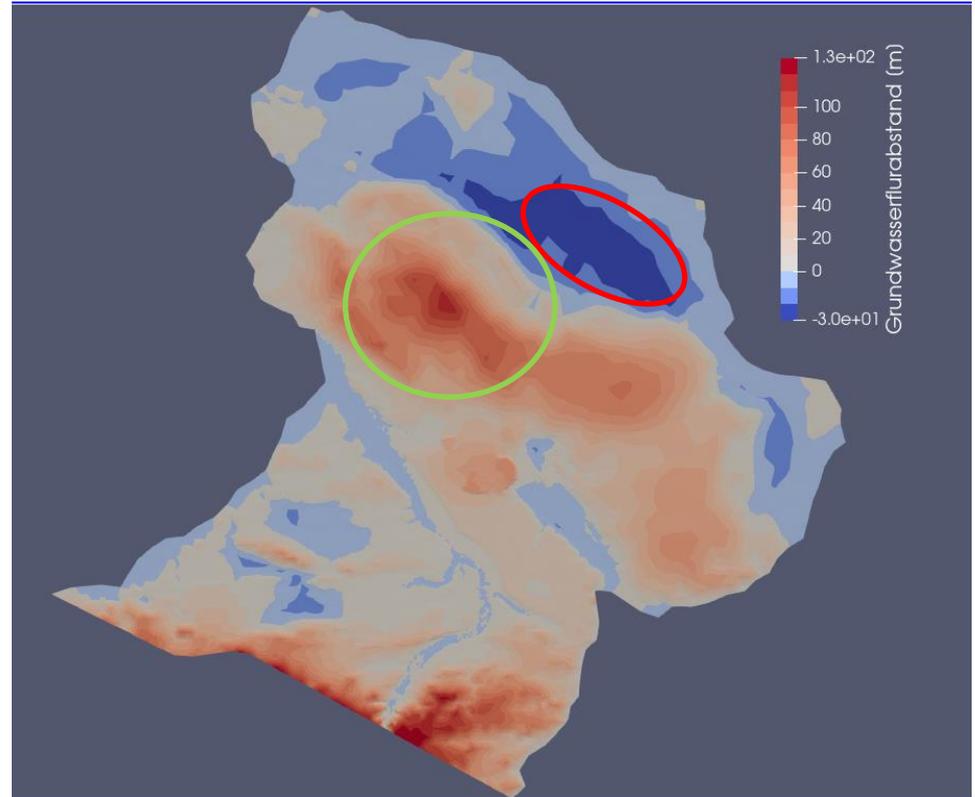
Anzeige

Nachdem das Grund- und Schichtenwasserproblem in Cochstedt seit Monaten mehr als 70 betroffene Haushalte in Atem hält, haben die starken Niederschläge der letzten Tage weitere Schäden angerichtet. Schlamm vom Feld ist in den Ort geflossen. Die Ursachen können bisher nicht eindeutig benannt werden. Betroffene Bürger und die Stadt arbeiten aber Hand in Hand.



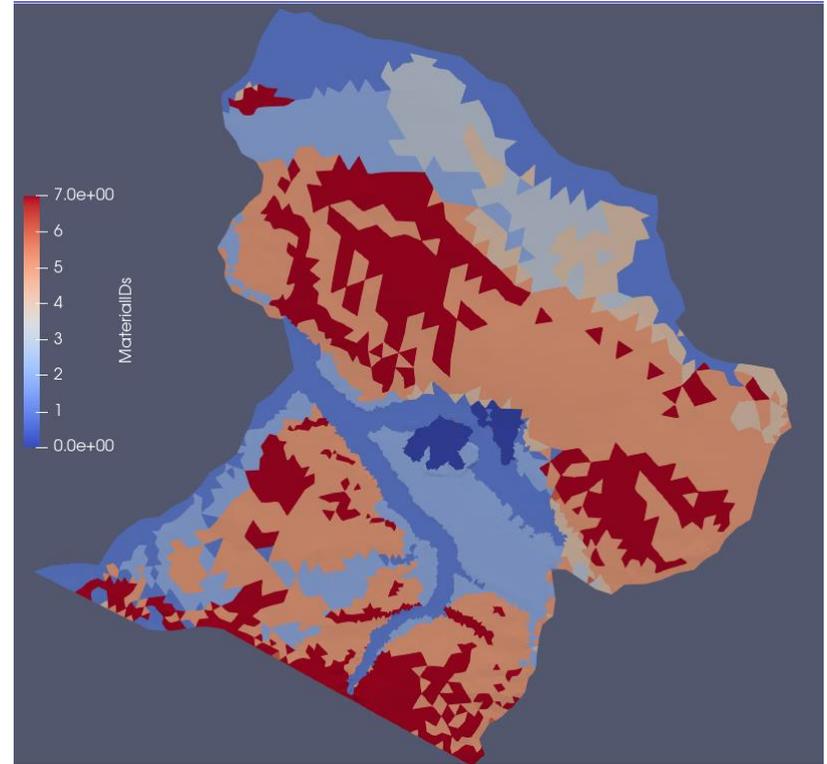
3. Grundwasserflurabstand

- Die Simulation kann weiter verbessert werden durch z.B.:
 - Berücksichtigung der Aquiferheterogenität
 - Robin Randbedingung in der Selke
-
- 3D
 - Ungespannter Aquifer
 - Transiente Simulation
 - ...



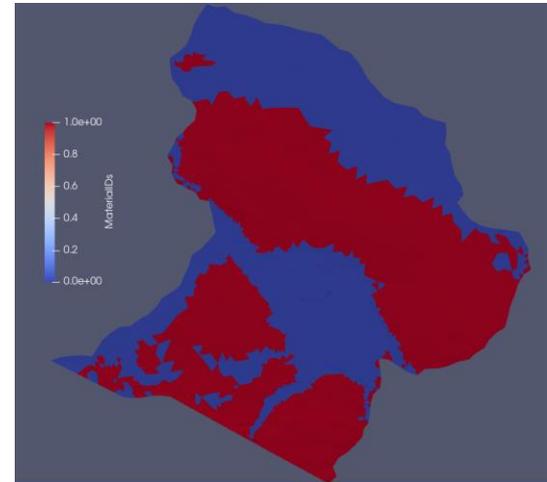
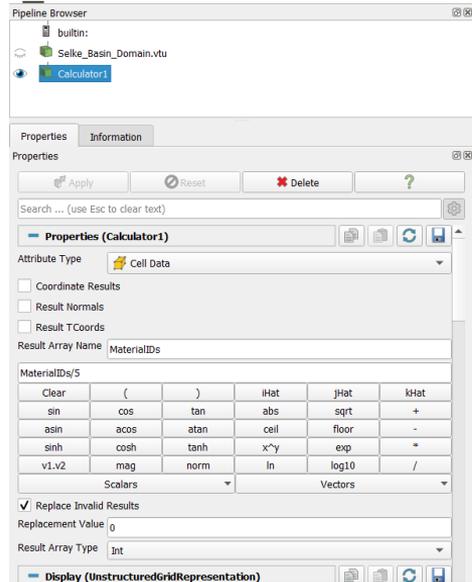
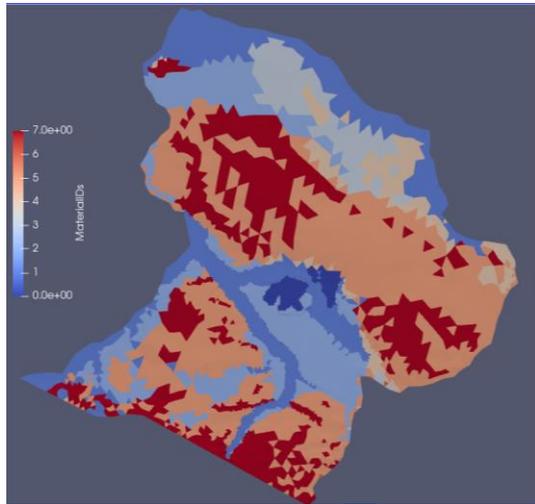
3. Aquiferheterogenität

- Erstellen sie einen neuen Ordner *Selke_Dirichlet_Neumann_2D_heterogeneous* und kopieren sie alle Dateien aus dem vorherigen Simulationsordner
- 8 verschiedene Materialgruppen sind auf dem Originalnetz *Selke_Basin_Domain.vtu* abgebildet
- Die MaterialIDs 0-5 gehören zu quartären Materialien (glaziale Serie), 6 zu tertiären Materialien und 7 zu prätertiären MaterialienE
- Erhöhung der Modellkomplexität durch Einführung von Materialheterogenität, zunächst durch Verwendung von zwei MaterialIDs (quartär und nicht quartär)
- Laden Sie *Selke_Basin_Domain.vtu* in **ParaView**



3. Aquiferheterogenität

- Verwenden Sie den **Calculator**, um die *MaterialIDs* zu reduzieren (ein einfacher Weg ist die Verwendung der Eigenschaft, dass Gleitkommazahlen auf die nächste Ganzzahl gerundet werden)
- Ergebnis als *Selke_Basin_Domain_2ids.vtu* in dem neuen Simulationsordner



3. Aquiferheterogenität

- In der Projektdatei das Input Mesh ändern und die Ausgabe auch entsprechend anpassen
- Einen zweiten Block `<medium id=1>` einfügen
- Die Permeabilität der Quartäraquifere auf $5.0E-9 m^2$ und die der Nicht-Quartärquifere auf $9.5E-11$ setzen
- Porosität des Nichtquartärs auf 0.05 reduzieren
- Alle anderen Eigenschaften übernehmen

```
] <OpenGeoSysProject>CRIF
[ ..... <meshes>CRIF
[ ..... <mesh>Selke_Basin_Domain_2ids.vtu</mesh>CRIF
[ ..... <mesh>Selke_Basin_PG_Concordia.vtu</mesh>CRIF
```

```
<medium id="1">
  <phases>
    <phase>
      <type>AqueousLiquid</type>
      <properties>
        <property>
          <name>viscosity</name>
          <type>Constant</type>
          <value>0.0011373</value>
        </property>
        <property>
          <name>density</name>
          <type>Constant</type>
          <value>1000</value>
        </property>
      </properties>
    </phase>
  </phases>
  <properties>
    <property>
      <name>permeability</name>
      <type>Constant</type>
      <value>9.5E-11</value>
    </property>
    <property>
      <name>reference_temperature</name>
      <type>Constant</type>
      <value>288.15</value>
    </property>
    <property>
      <name>porosity</name>
      <type>Constant</type>
      <value>0.05</value>
    </property>
    <property>
      <name>storage</name>
      <type>Constant</type>
      <value>0</value>
    </property>
  </properties>
</medium>
```

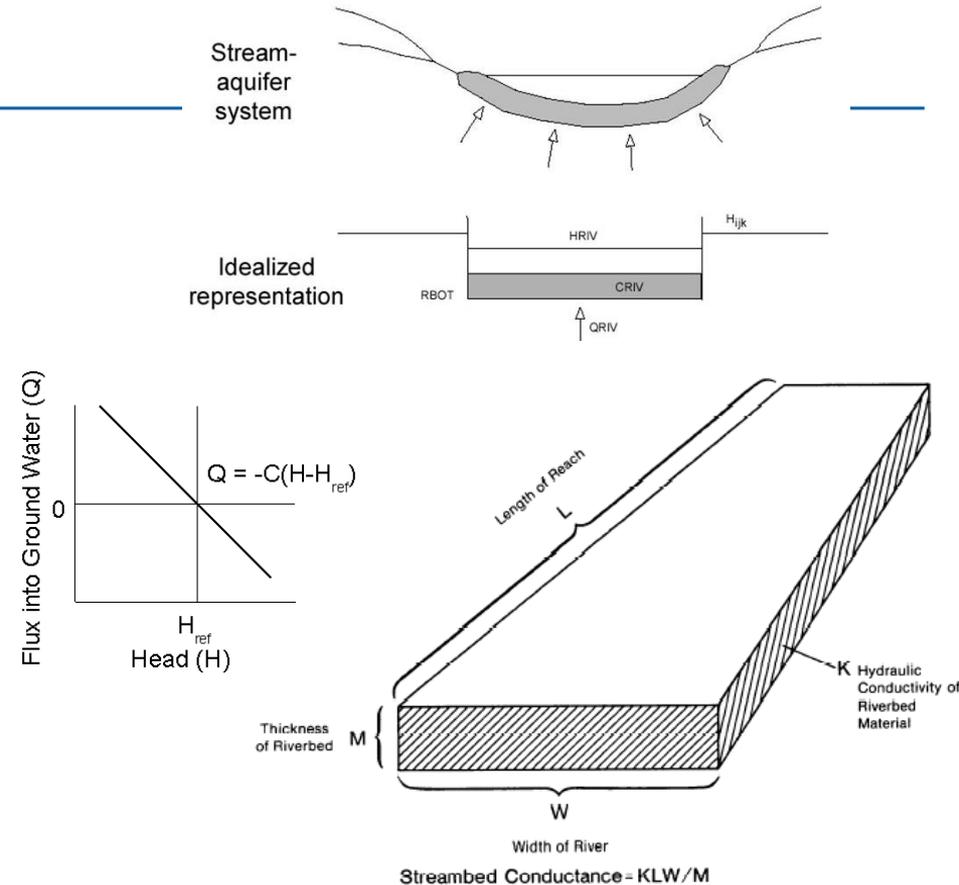
3. Robin

- Der aktuelle BC vom Dirichlet-Typ für die Flussknoten kann die GW-Werte überbewerten
- Besser ist es, beide Bereiche durch einen zu koppeln (Robin BC) zu koppeln → **Siehe Vorlesung**

$$Q_{ex} = K \cdot W \cdot L \cdot \frac{(H_{SW} - H_{GW})}{M}$$

- In **OGS** werden die vier konstanten Parameter K, W, L, M zu einem Parameter bed_conductance zusammengefasst

River Package



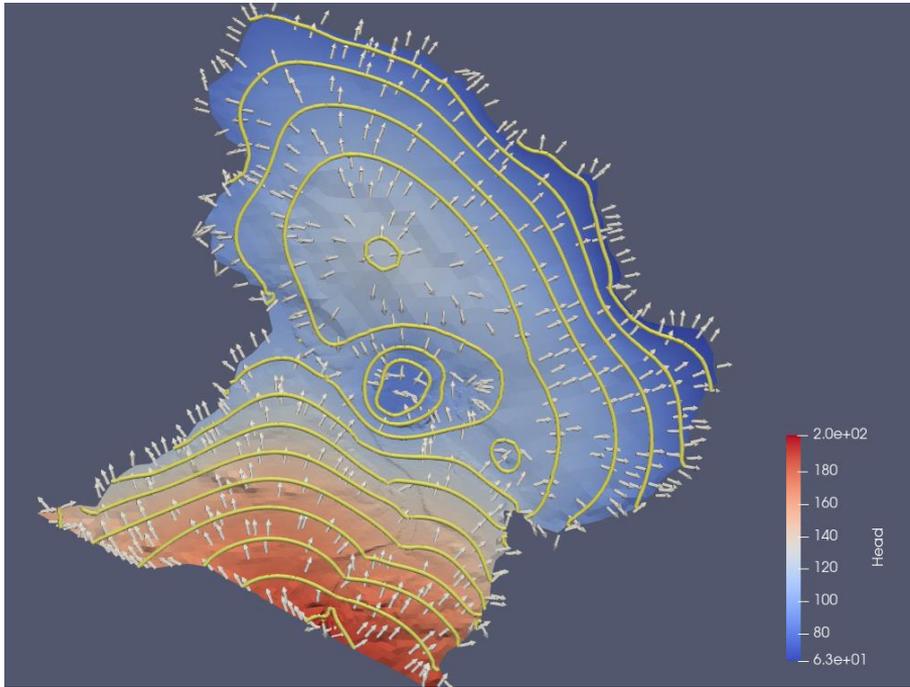
3. Robin

- Definieren Sie im Parameterbereich einen neuen Parameter *bed_conductance*
- Ersetzen Sie für die Flüsse *Selke*, *Bode* und *Wipper* Randbedingungen vom Typ Dirichlet durch **<Typ>Robin</typ>**
- Führen Sie das Modell erneut aus

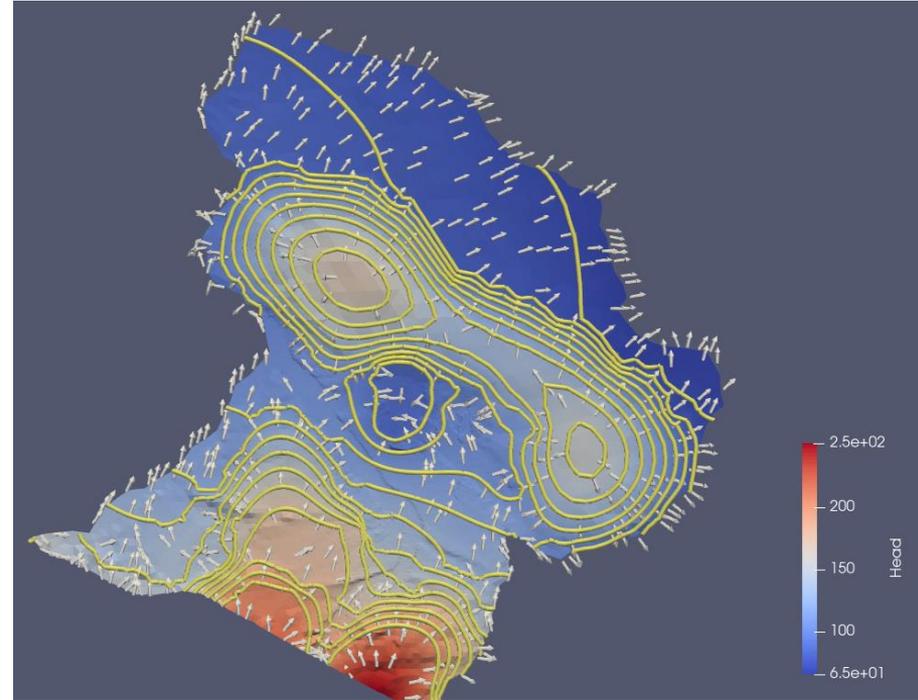
```
<parameter>  
  <name>bed_conductance</name>  
  <type>Constant</type>  
  <value>5.0E-09</value>  
</parameter>  
</parameters>
```

```
</parameter>  
</boundary_condition>  
<boundary_condition>  
  <type>Dirichlet</type>  
  <mesh>Selke_Basin_PG_Wilsleber</mesh>  
  <parameter>p_lake_wilsleber</parameter>  
</boundary_condition>  
<boundary_condition>  
  <type>Robin</type>  
  <mesh>Selke_Basin_PL_Selke</mesh>  
  <u_0>p_river_selke</u_0>  
  <alpha>bed_conductance</alpha>  
</boundary_condition>  
<boundary_condition>  
  <type>Robin</type>  
  <mesh>Selke_Basin_PL_Bode</mesh>  
  <u_0>p_river_bode</u_0>  
  <alpha>bed_conductance</alpha>  
</boundary_condition>  
<boundary_condition>  
  <type>Robin</type>  
  <mesh>Selke_Basin_PL_Wipper</mesh>  
  <u_0>p_river_wipper</u_0>  
  <alpha>bed_conductance</alpha>  
</boundary_condition>
```

3. Results Gradienten und Fließverhalten

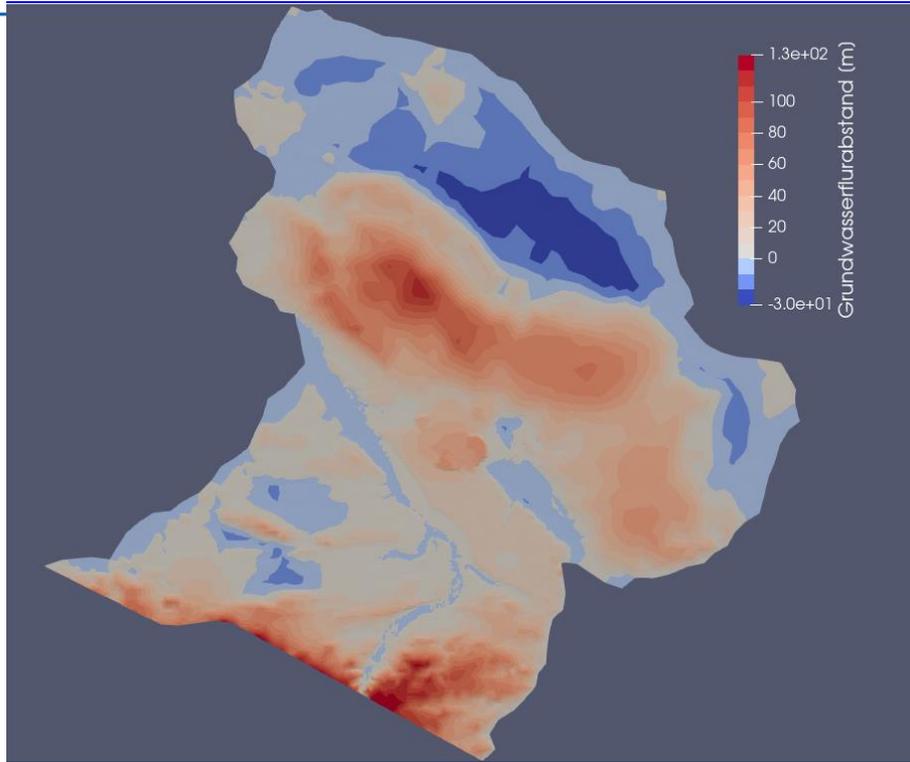


■ Dirichlet + Neumann

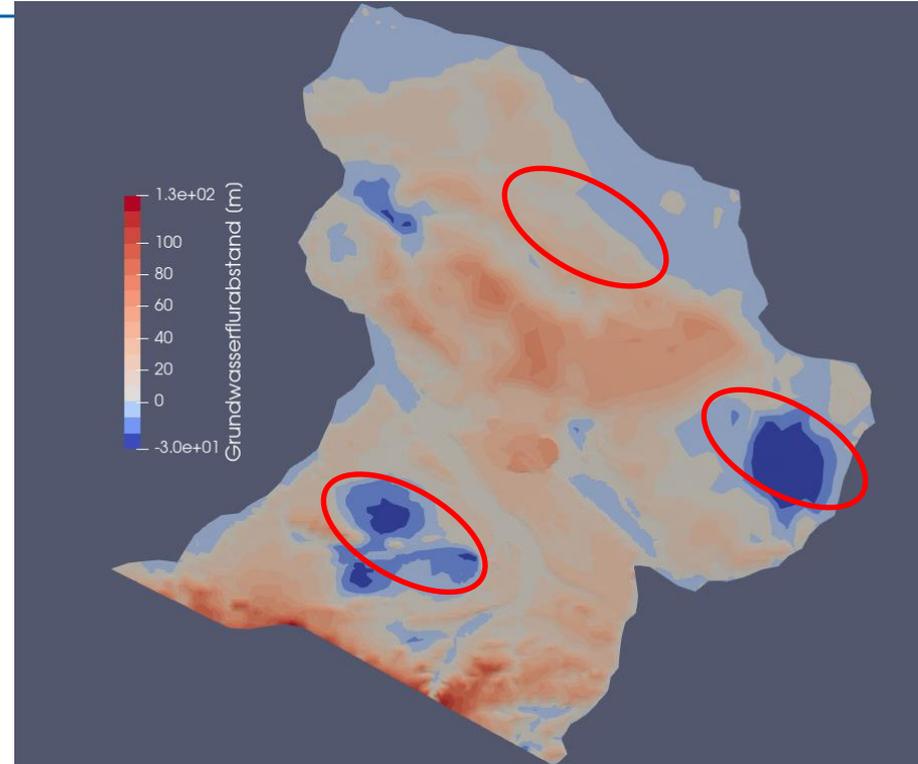


Dirichlet + Neumann + Hetero + Robin

3. Results Grundwasserflurabstand



▪ Dirichlet + Neumann

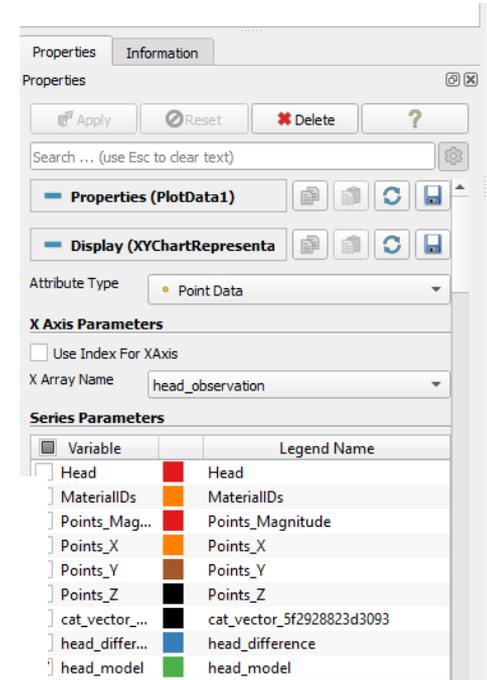


Dirichlet+Neumann+Hetero+Robin

3. Robin

- Ergänzen sie die Teilnetze `Selke_Basin_PL_Selke` und `Selke_Basin_PG_Concordia` zum **<output>**
- **<timesteps>** auf 1 setzen
- Starten sie die Simulation und laden sie die PVD Dateien
- Laden sie die Ergebnisdateien in ParaView
- Vergleichen sie modelliertes und gemessenes hydraulischen Potential in den Grundwassermessstellen
- ParaView Filter **PlotData**

```
<type>VTK</type>
<prefix>{:meshname}</prefix>
<suffix>_ts_{:timestep}_t_{:time}</suffix>
<data_mode>Ascii</data_mode>
<meshes>
  <mesh>Selke_Basin_Domain_2ids</mesh>
  <mesh>Selke_Basin_Pnt_Wells</mesh>
  <mesh>Selke_Basin_PG_Concordia</mesh>
  <mesh>Selke_Basin_PL_Selke</mesh>
</meshes>
<timesteps>
  <pair>
    <repeat>1</repeat>
    <each_steps>1</each_steps>
  </pair>
</timesteps>
```



4. Postprozessierung → Fluxes

- Wir erreichen mit unserer bisherigen Modellierung eine sehr gute Übereinstimmung in den Messstellen: $R^2 = 0.99665$
- Weitere Kalibriermöglichkeiten:

