

„Grundwassersysteme und Numerik“

Veranstaltung im Modul Hydrosystemanalyse

- Übung: Präprozessierung der Modellgeometrien

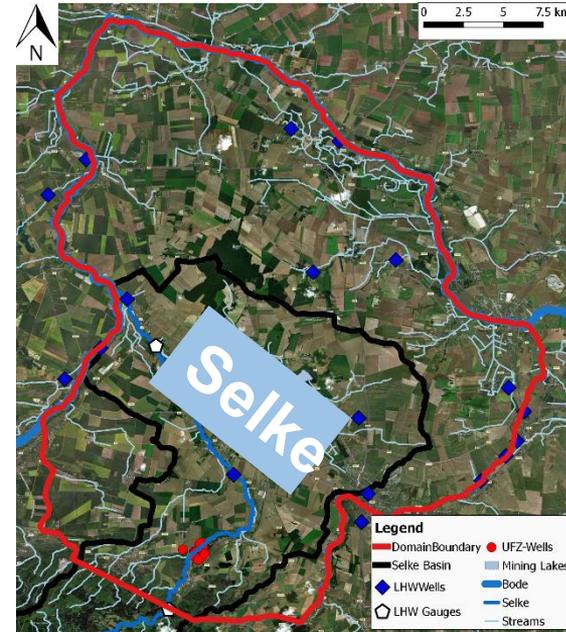
Prof. Dr. Olaf Kolditz
Dr. Erik Nixdorf

29.06.2021

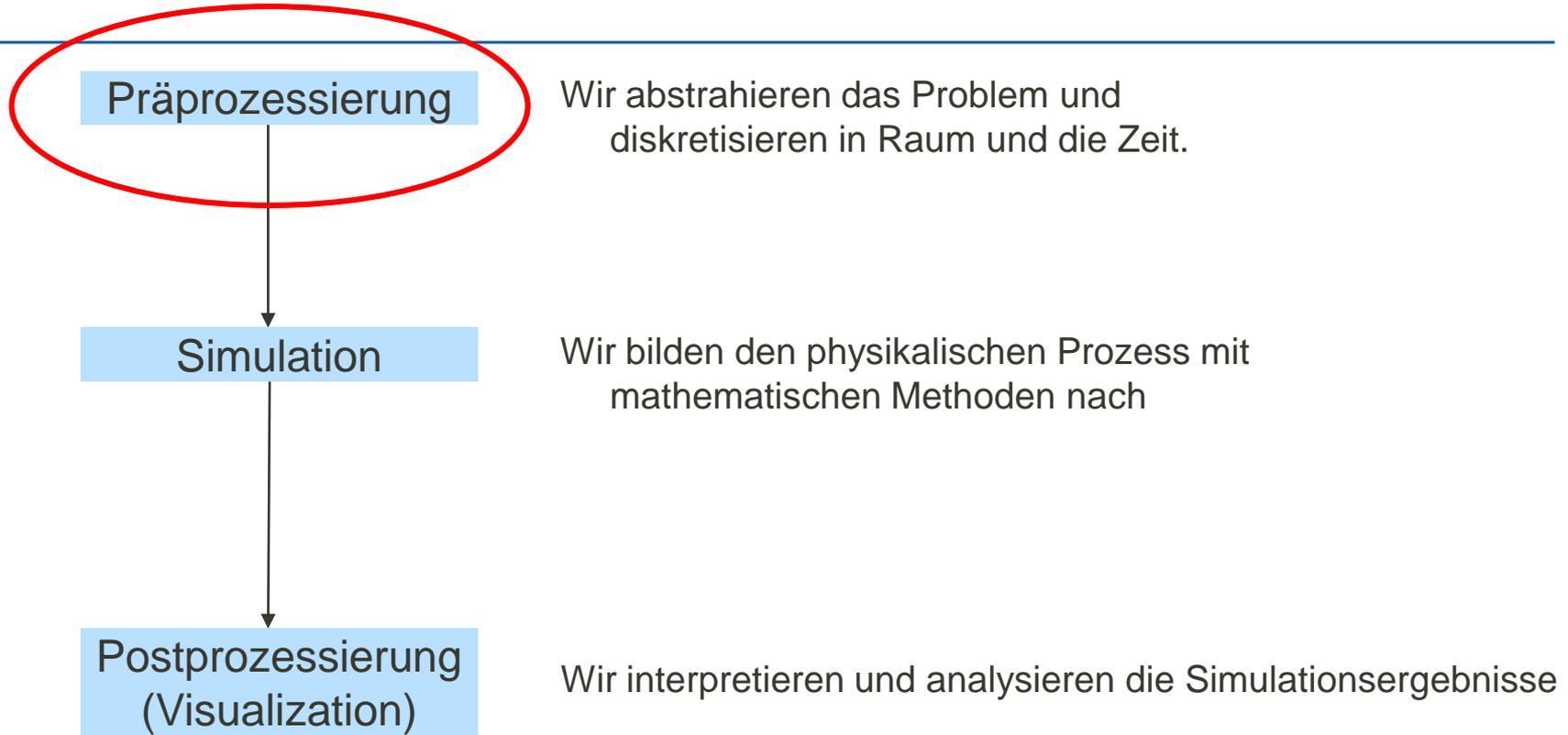
Einleitung

- Die Übung soll Ihnen einen Eindruck zu Konzepten zur Präprozessierung von Daten für die numerische Grundwassermodellierung mit QGIS vermitteln.
- 2 Übungsteile: 1) Generierung und Prozessierung der Randgeometrien sowie innerer Geometrien
2) 2D Vernetzung des Modelliergebietes unter Nutzung des Gmsh Plugins
- Es gibt Videos zu den Übungen (auf Englisch), diese befinden sich hier:
- <https://nc.ufz.de/s/9WyZYSokq8Y2q3m> (pw: **grundwasser**)

- Ein Grundwasserströmungsmodell für das untere Selkegebiet soll erstellt werden, um den Einfluss des bewirtschafteten Bergbausees auf die Grundwasserdynamik aufzuzeigen
- Aufgaben im GIS
 - Die Domänengrenze (eine geschlossene Polylinie) des Modells wird durch die Flüsse **Bode** und **Wipper** bestimmt. Darum hinaus muss die Randbedingung im Anstrombereich des Modells geometrisch und hydrogeologisch beschrieben werden
 - Die geometrischen Einheiten werden bereinigt (regelmäßige Scheitelpunktabstände)
 - Das FEM-Netz wird unter Einbeziehung dieser geometrischen Elemente erstellt

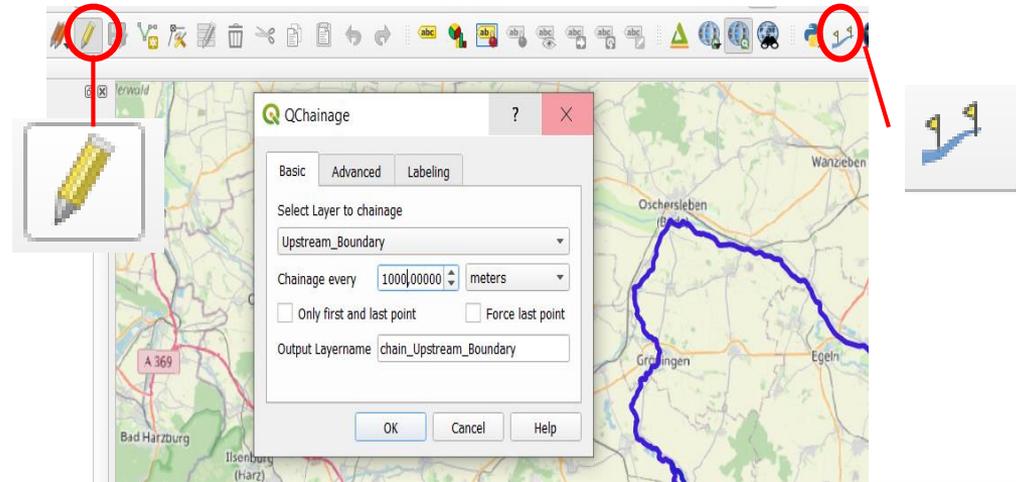
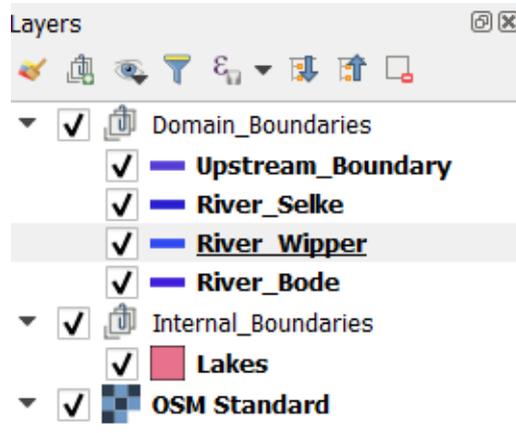


750 km²



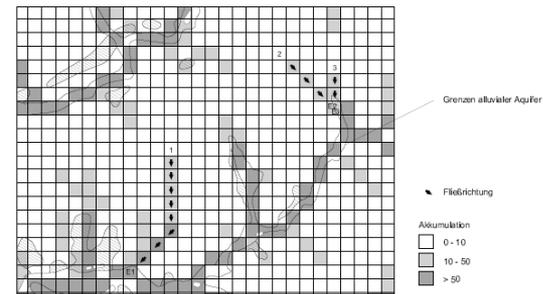
Prozessierung der Randgeometrien

- Öffnen Sie ein neues QGIS-Projekt
- Laden Sie alle Shapefiles aus .\U9\Eingabe in das Projekt
- Aktivieren Sie den Bearbeitungsmodus und verwenden Sie das Werkzeug **Qchainage** (Plugin), um alle 1000 m Punkte auf die Linien **Upstream_Boundary**, **River_Wipper** und **River_Bode** zu setzen



Prozessierung Polylinien

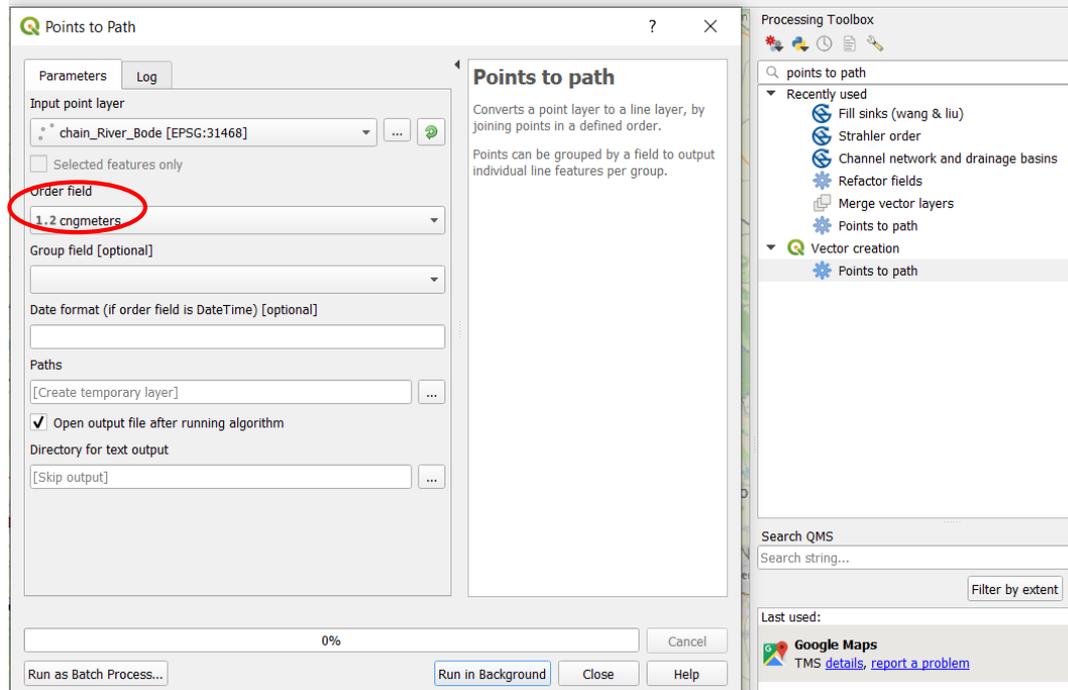
- Die Abgrenzung des oberen, durch Kluftaquifere, geprägten Einzugsgebiets vom Unterlauf erfolgt durch eine Polylinie, die möglichst den Verlauf des Harzrandes abbildet
- Annahmen:
 1. Alluviale Aquifere sind von vorrangigem Interesse für das Modellkonzept
 2. Ein Teil der Grundwasserneubildung im Unterlauf erfolgt aus dem Kluftaquifer
 3. Die Grundwasserfließrichtung entspricht dem normalen Vektor entlang der Randbedingung
 4. Die Wasserstände von Stauteichen im Harz entsprechen ungefähr dem lokalen hydraulischen Potential des Kluftaquifers



Alternativer Ansatz: Wolf 2006

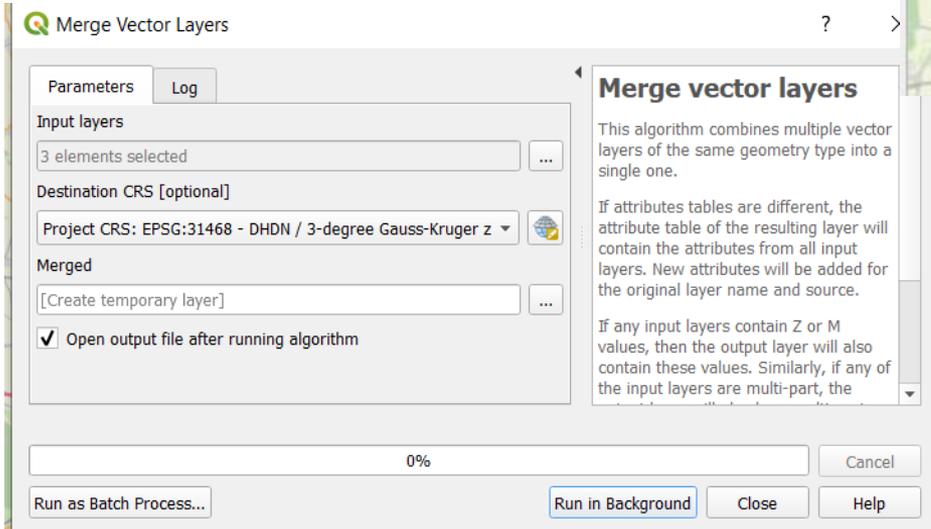
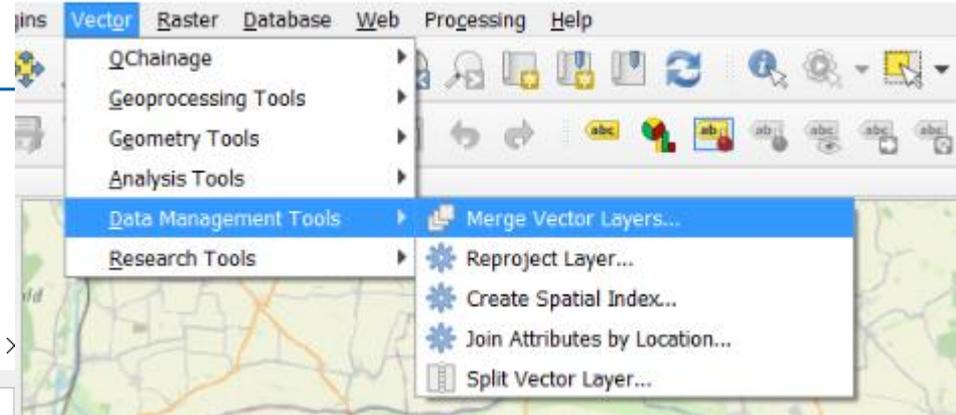
Prozessierung der Randgeometrien

- Wir wandeln die Punkte zurück in Polylinien mit dem Plugin **Points to Path**

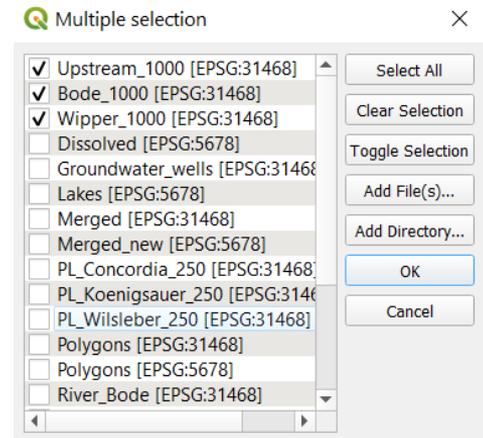


Prozessierung der Randgeometrien

- Führen wir die 3 Polylinien zusammen
- Klick auf **Vector > Data Management Tools > Merge Vector Layers**

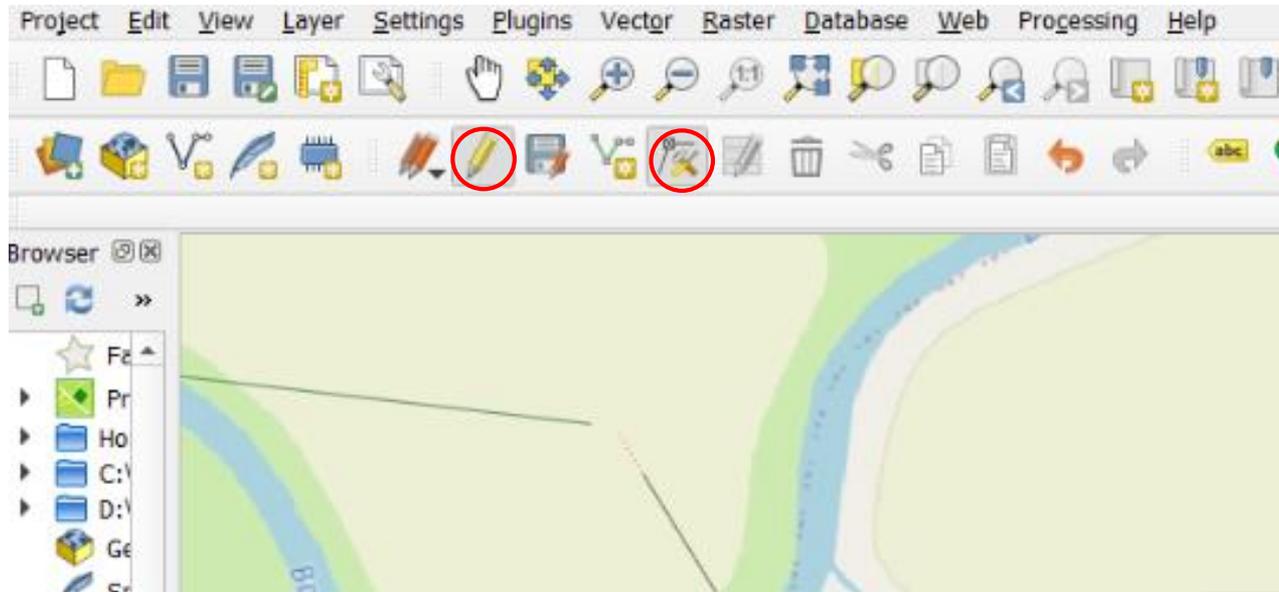


**Ordnen sie die
Polylinien im
Uhrzeigersinn
an**



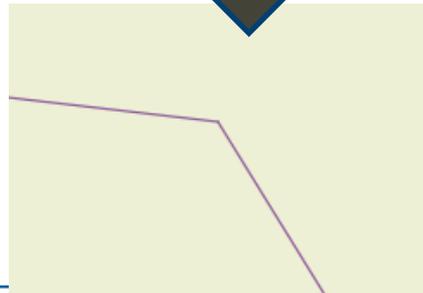
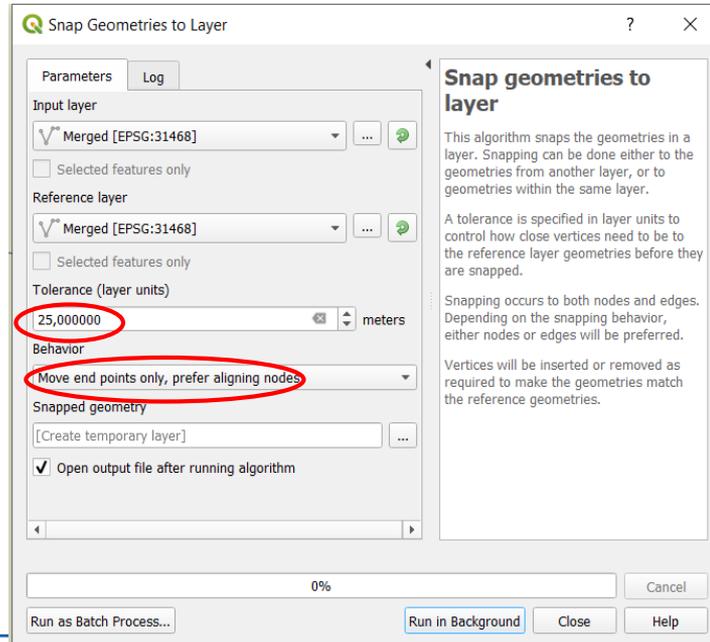
Prozessierung der Randgeometrien

- Der zusammengefügte Datensatz enthält weiterhin Lücken zwischen den Polylinien, topologische Konnektivität ist aber eine Grundvoraussetzung für den Rand des Modellgebiets
- Aktivieren sie den Editiermodus, nutzen sie das **Vertex tool** um die Endpunkte näher zusammen zu bringen



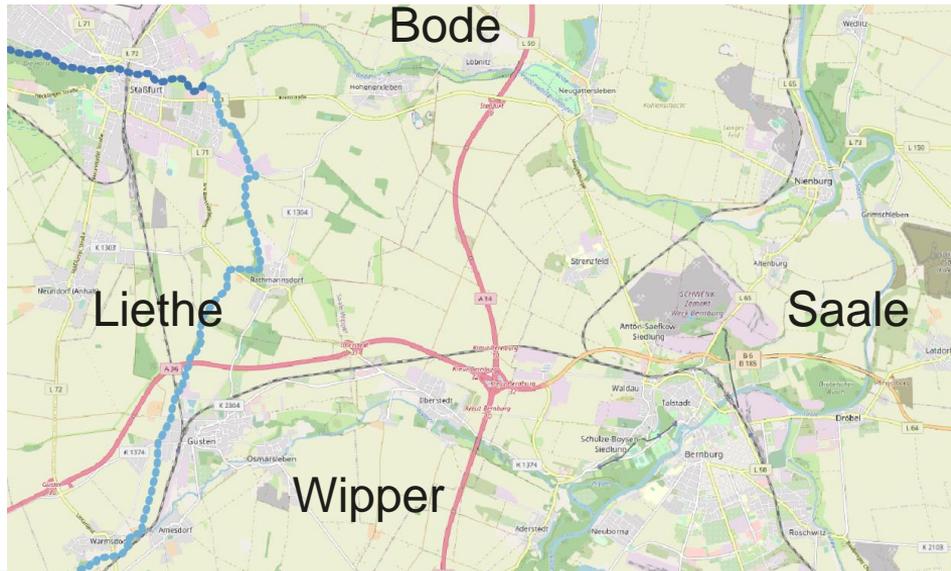
Prozessierung der Randgeometrien

- Klicken sie auf **Processing > Toolbox Snap geometries to layer**
- Falls es nicht funktioniert, bringen sie die Linien näher zusammen mit dem **Vertex tool** oder erhöhen sie die „Snapping“ Toleranz



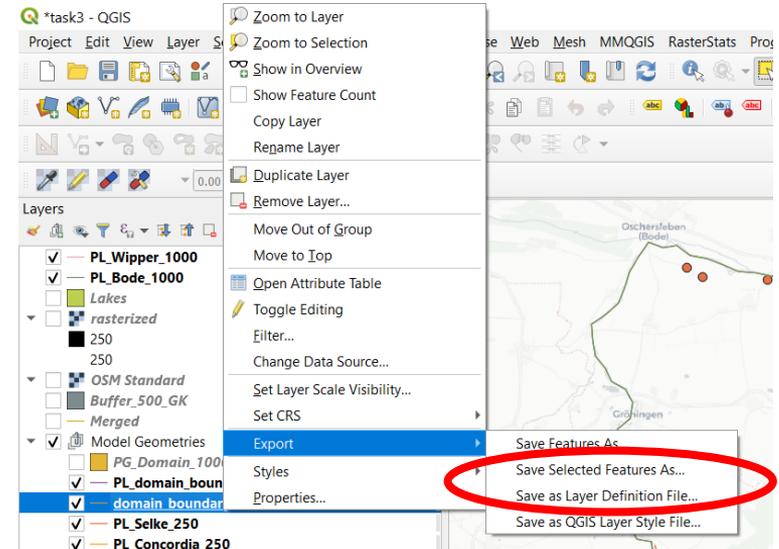
Prozessierung der Randgeometrien

- Die Wipper ist ein Nebenfluss der Saale
- Ein Mündungsarm führt zur Bode (die Liethe)
- Für normale Wasserstände ist dieser trocken → Randbedingung?



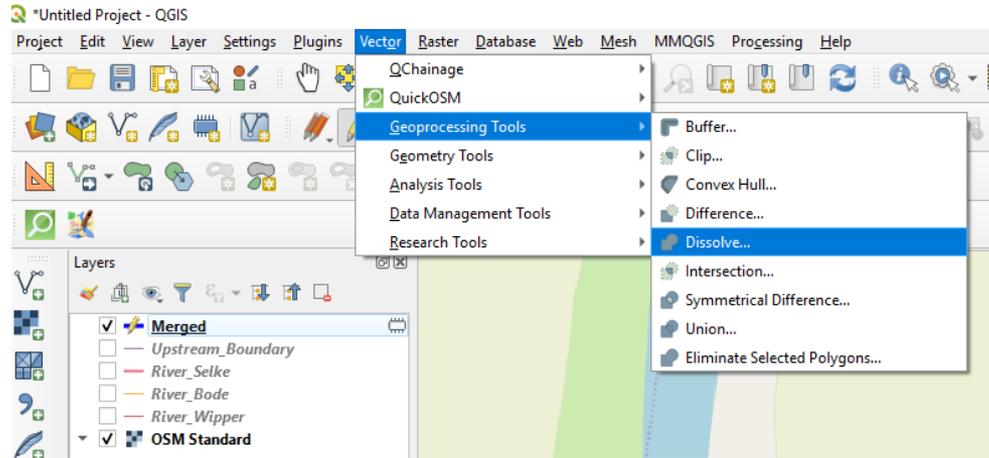
Export der Randgeometrien

- Nach der Manipulation der Stützpunkte können die Vektorgeometrien extrahiert und exportiert werden
- Als Erstes speichern sie die Einzelgeometrien der Teilränder
- Wählen sie die den entsprechenden Layer aus
- Speichern sie als **PL_Wipper_1000.shp**, **PL_Bode_1000.shp** bzw. **PL_Upstream_1000.shp** im **Ausgabe Ordner**



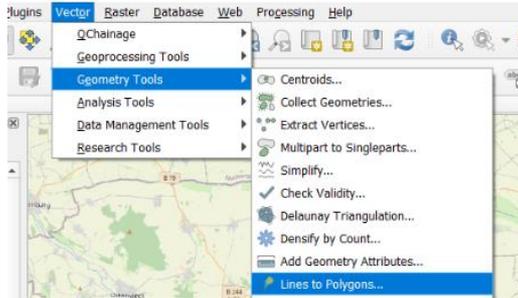
Speichern der Modelliergebietsbegrenzungsgeometrie

- Auflösen der Multipolylinien **Vector**→**Geoprocessing tools** →**Dissolve**
- Namen in der Attributtabelle zu „**Domain_Bound**“ ändern und die Datei als **PL_Domain_Bound.shp** speichern
- Wir haben eine konsistente Randgeometrie für unser numerisches Grundwassermodell!

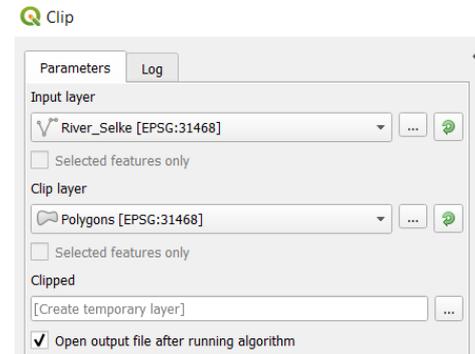
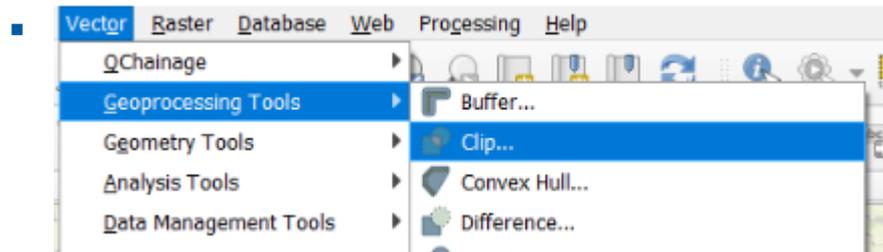


Modelliergebietsbegrenzungsgeometrie

- Die geschlossene Polylinie **Domain_Bound** in ein Polygon überführen:
Vector > Geometry Tools > Lines to Polygons

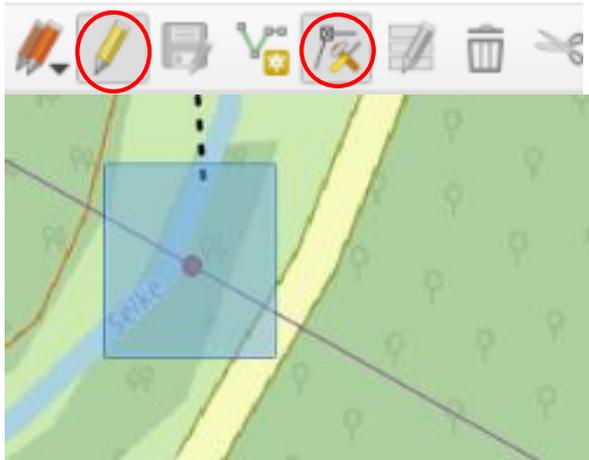


- Die Polylinie **River_Selke** mit dem Polygon schneiden, **Vector > Geoprocessing Tools > Clip**



Prozessierung der Randgeometrien

- Die Anzahl der Stützpunkte des Vektorlayers **River_Selke** ist zu groß ($\Delta x=25m$), Das Plugin **Qchainage** wird verwendet um den Stützpunktabstand auf 250m zu verändern
- Stützpunkte entfernen die direkt auf dem Rand **Domain_Bound** liegen.
- **Points to path** anwenden um eine Polylinie zu erzeugen und dann das Feature als Shapefile speichern, z.b: **PL_Selke_250.shp**

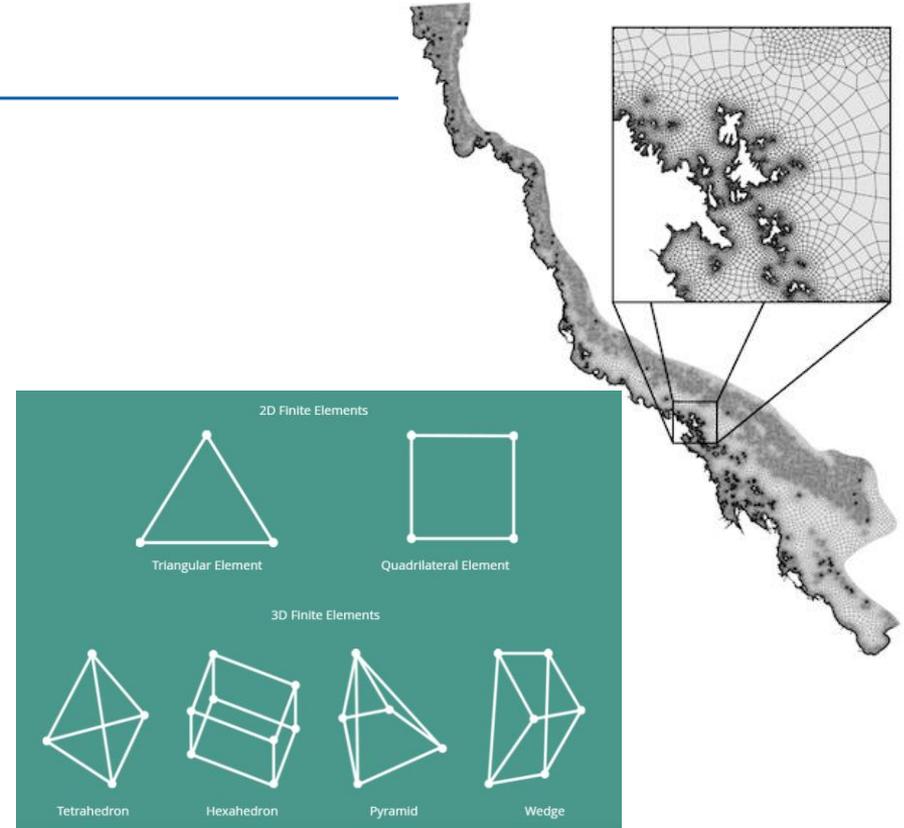


Order field

1.2 cngmeters

Meshgenerierung Gmsh-QGIS Plugin

- Grundlagen siehe **Schadstoffhydrologie V8** (letzte Woche)
- Gmsh ist ein sehr mächtiger Netzgenerator für 1D bis 3D Netze und unterstützt verschiedene Elementformen, Hybride Netze etc
- Es gibt ein QGIS Plugin zur Erzeugung von 2D Dreiecksnetzen :
<https://github.com/sebbelese/qgis-gmsh>
- Gmsh muss dabei auf ihrem Computer installiert sein: <http://gmsh.info/>
- Wir werden 3 verschiedene FEM-Netze erstellen und in ihrer Qualität beurteilen



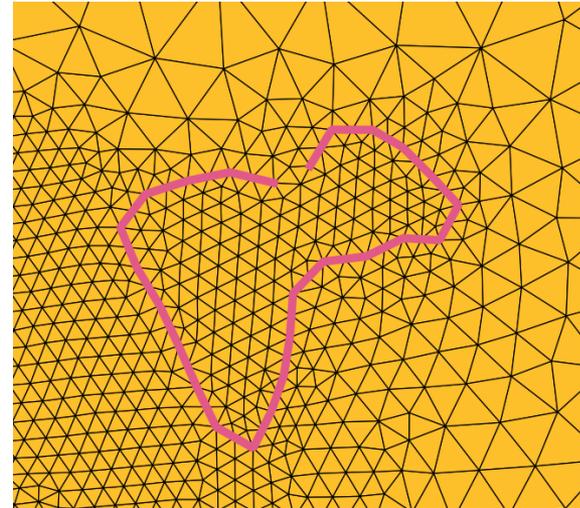
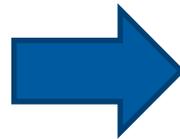
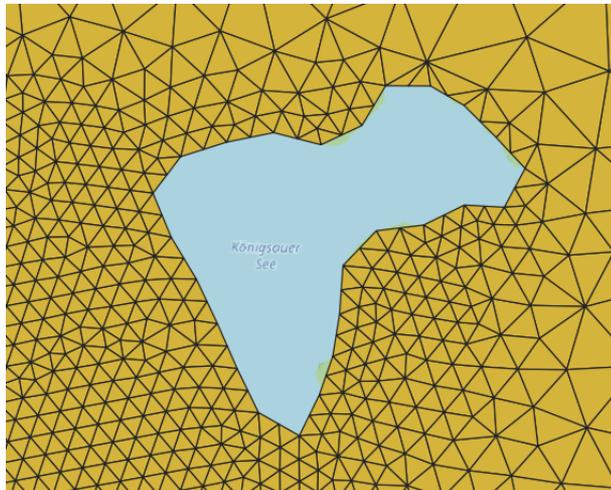
Gmsh.info

Netzgenerierung Gmsh-QGIS Plugin

- Seien Sie sich bewusst, dass es viele Möglichkeiten gibt, das Netz in QGIS zu erstellen und sie alle zu unterschiedlichen Ergebnissen führen!
- Sie können z.B. in der Auflösung variieren, was sich auf die Bearbeitungszeit für das Netz selbst, aber auch auf die Laufzeit und Stabilität des numerischen Prozessmodells auswirken kann
- **Bedenken Sie was Sie benötigen und sparen Sie wertvolle Ressourcen!**
- Wir werden **drei** verschiedene FEM-Netze erstellen und in ihrer Qualität beurteilen

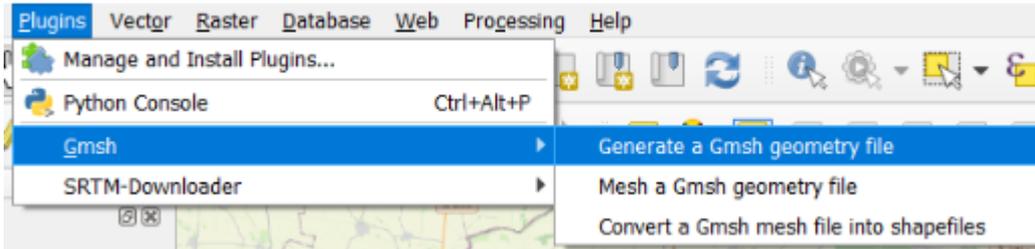
Gmsh Meshing

- Laden sie von den Inputdaten zusätzlich den Layer *PL_Lakes_Cutted_250.shp* in QGIS
- Dieses Vektorlayer beschreibt die Umrisse der Seen, jedoch fehlt je ein Linienelement
- Dadurch keine geschlossenen inneren Oberflächen im Netz → Keine Löcher im FEM Netz



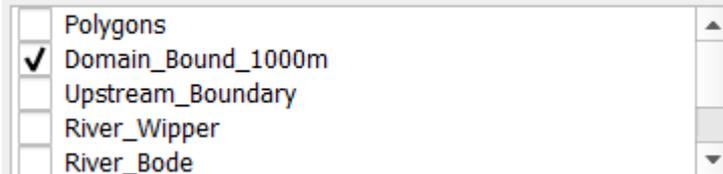
Gmsh Meshing I

- Öffnen sie Gmsh in QGIS durch klicken auf **Plugins > Gmsh > Generate a Gmsh geometry file**

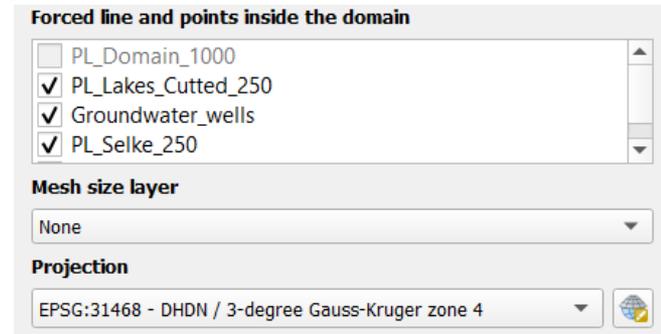


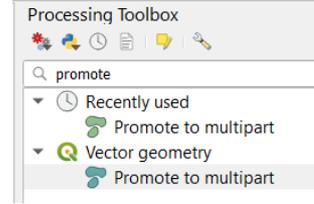
- Auswahl von **Domain_Bound** as Mesh Boundary and *PL_Selke*, *PL_Lakes_Cuttet_250*, *Groundwater_wells* as „forced line and points“ innerhalb des zu vernetzenden Gebiets
- Datei als **Mesh1.aeo** speichern

Mesh Boundaries



Force all boundary points





- **Warnung:** Falls eine Fehlermeldung bei der Generierung der *.geo Datei entsteht müssen die entsprechenden Linienzüge zu einem Multilinesstring umgewandelt werden
→ „Promote to multipart“
- Die *.geo Datei definiert die Geometrien zur Netzgenerierung
- In der *.geo Datei können Geometrien nicht zur explizit sondern auch über Funktionen definiert werden wie:

```
// We first create two cubes:
Box(1) = {0,0,0, 1,1,1};
Box(2) = {0,0,0, 0.5,0.5,0.5};

// We apply a boolean difference to create the "cube minus one eighth" shape:
BooleanDifference(3) = { Volume{1}; Delete; }{ Volume{2}; Delete; };

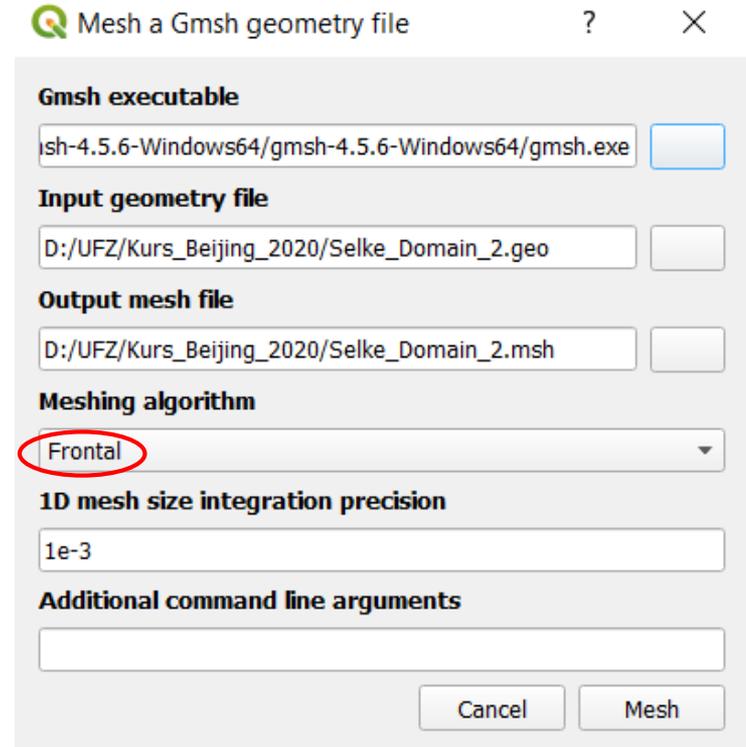
// Boolean operations with OpenCASCADE always create new entities. Adding
// 'Delete' in the arguments allows to automatically delete the original
// entities.

// We then create the five spheres:
x = 0 ; y = 0.75 ; z = 0 ; r = 0.09 ;
For t In {1:5}
  x += 0.166 ;
  z += 0.166 ;
  Sphere(3 + t) = {x,y,z,r};
  Physical Volume(t) = {3 + t};
EndFor
```

```
1 IP = newp;
2 IL = newl;
3 IS = news;
4 ILL = newll;
5 Point (IP+0) = {4433461.507, 5735687.493, 0};
6 Point (IP+1) = {4434366.930766966, 5735238.608115808, 0};
7 Point (IP+2) = {4435262.438533976, 5734793.562231597, 0};
8 Point (IP+3) = {4436157.946102923, 5734348.515948851, 0};
9 Point (IP+4) = {4437053.453869931, 5733903.470064639, 0};
10 Point (IP+5) = {4437948.961636926, 5733458.424180434, 0};
11 Point (IP+6) = {4438844.468807244, 5733013.377095805, 0};
12 Point (IP+7) = {4439739.976574227, 5732568.331211613, 0};
13 ....
14 Spline (IL+0) = {IP+0, IP+1};
15 Spline (IL+1) = {IP+1, IP+2};
16 Spline (IL+2) = {IP+2, IP+3};
17 Spline (IL+3) = {IP+3, IP+4};
18 Spline (IL+4) = {IP+4, IP+5};
19 Spline (IL+5) = {IP+5, IP+6};
20 Spline (IL+6) = {IP+6, IP+7};
21 Spline (IL+7) = {IP+7, IP+8};
22 ...
23 Line Loop (ILL+1) = {IL+153, IL+154, IL+155, IL+166};
24 ....
25 Plane Surface (IS) = {ILL:ILL+3};
26 ...
27 Physical Surface ("Domain") = {IS};
```

Gmsh Netzgenerierung

- Öffnet sich das eigentliche Vernetzungsdialogfenster
- Suchen Sie die ausführbare Datei **Gmsh** in dem Verzeichnis, in das Sie die Gmsh-Software heruntergeladen haben (falls dieses leer ist)
- Wählen Sie **Frontal** als Vernetzungsalgorithmus und klicken Sie auf Mesh (Details siehe <http://gmsh.info/#Documentation>)

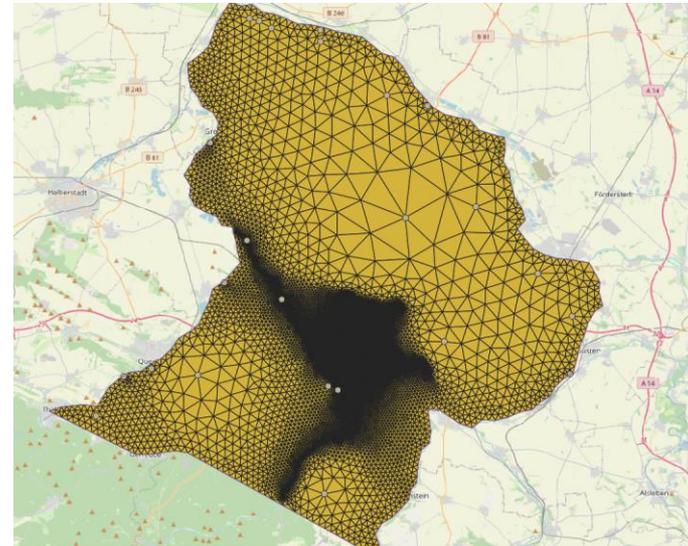


Gmsh Netzgenerierung

- Wenn die Vernetzung abgeschlossen ist, klicken Sie auf Netzdatei laden
- Wählen Sie im neuen Fenster GK4 als Projektion und konvertieren Sie das Netz
- Verschieben Sie den neuen Layer nach oben, um ihn richtig zu sehen
- Exportieren Sie den Layer als Shapefile/shp
- **Herzlichen Glückwunsch, Ihr erstes Mesh ist fertig. Weiter geht's!**

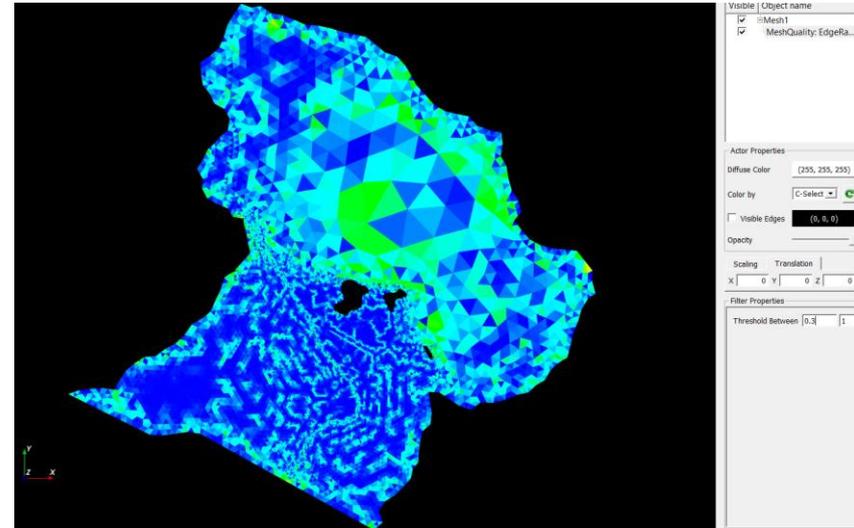
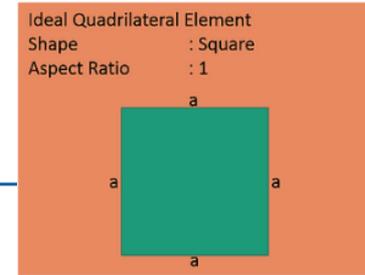
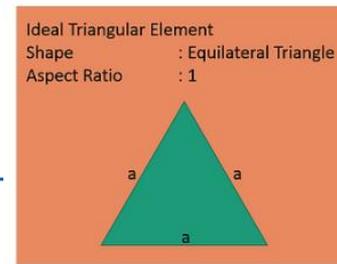
Projection

EPSG:31468 - DHDN / 3-degree Gauss-Kruger zone 4



Gmsh Netzqualität

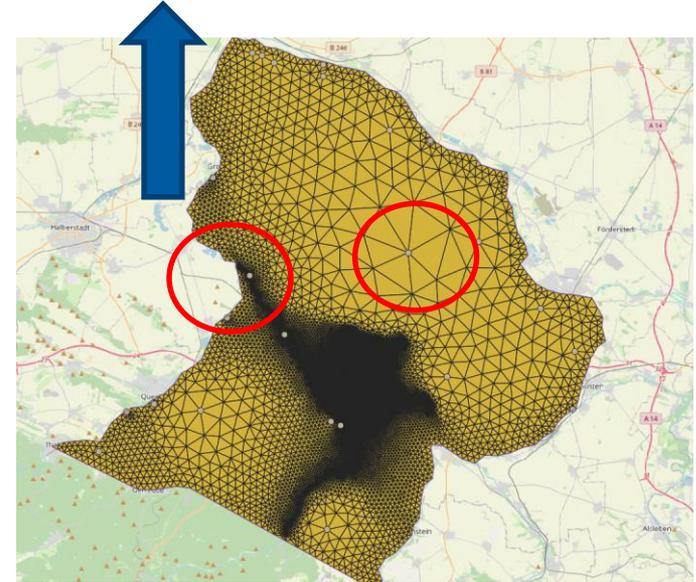
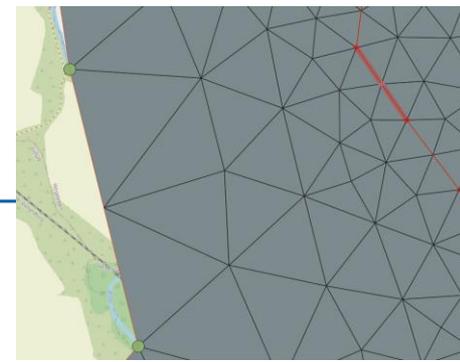
- FEM Elemente sind verzerrt wenn komplexe geometrische Formen vernetzt werden.
- Jedes Element ist so konzipiert, dass es innerhalb eines bestimmten Bereichs der Formverzerrung ordnungsgemäß funktioniert.
- Ideale Form 2D Dreieckselements ist ein gleichseitiges Dreieck bzw ein Quadrat
- Mesh Qualität kann über verschiedene Parameter bewertet werden wie „*Seitenverhältnis, Skewness, Warping, Parallel deviation, Maximum corner angle, Jacobian and Orthogonal Quality*“
- Z.B wirken sich $\ll 1$ Seitenverhältnisse nachteilig auf die Konvergenz von Finite-Elemente-Lösungen aus.



- *Seitenverhältnis* im OGS Data Explorer

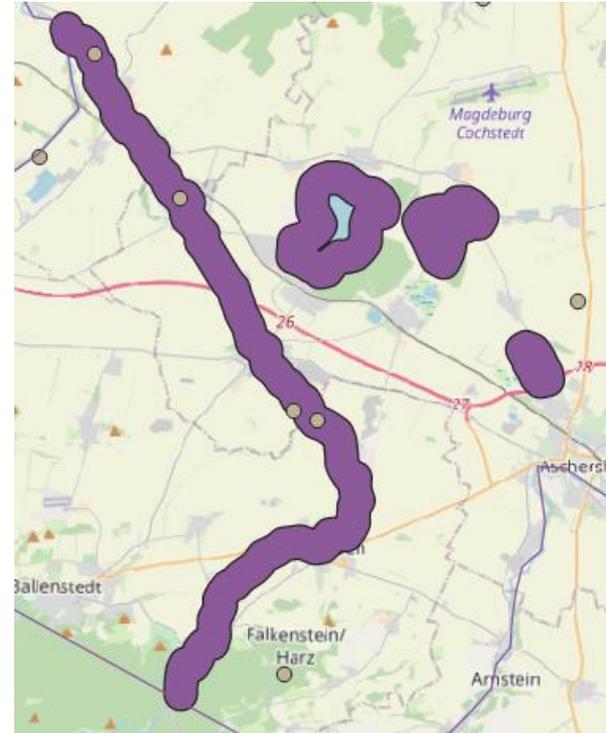
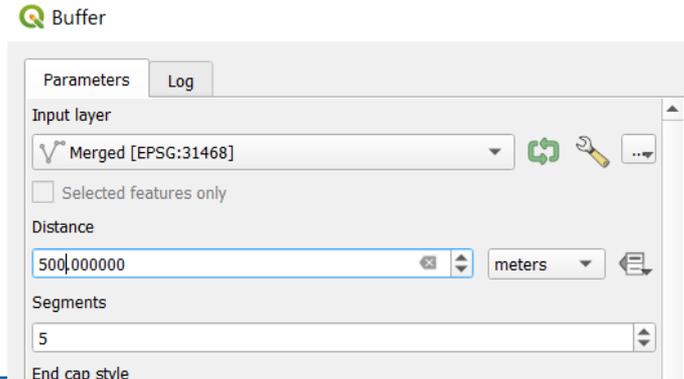
Gmsh Netzqualität

- Die Auflösung des generierten Dreiecksnetz verringert sich in Abhängigkeit der Entfernung der geometrischen Entitäten zueinander
- Der Vernetzungsalgorithmus setzt zwischen zwei Stützpunkte der Geometrie 2 Elemente -
> Verdopplung der Auflösung
- Sehr hohe Netzauflösungen im gesamten Bereich Selke/Seen möglicherweise unnötig und verlangsamten das Modell
- -> Reduzierung der Elementanzahl durch Einführung einer hochauflösten Pufferzone entlang der Geometrien



Gmsh Netz 2

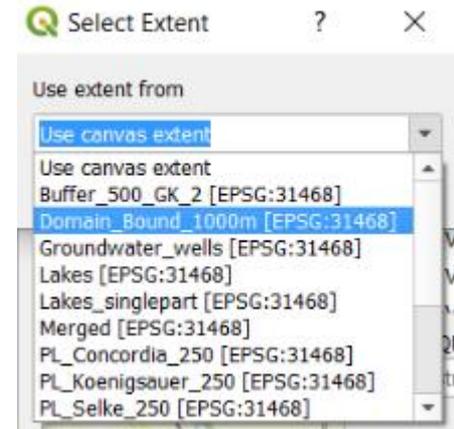
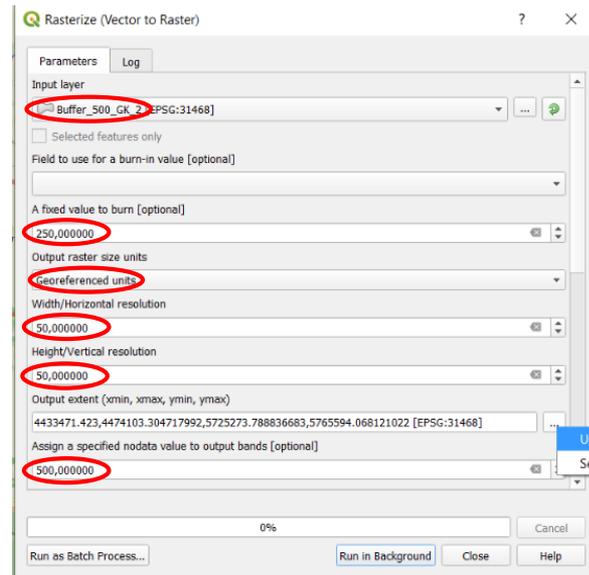
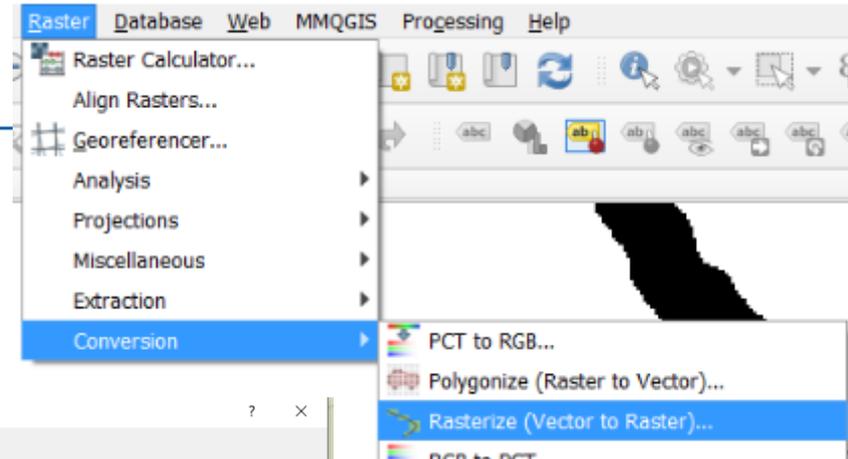
- Vereinigen der 2 PL Layer (*PL_Selke*, *PL_Lakes_Cuttet_250*) durch klicken auf: **Vector > Data Management Tools > Merge Vector Layers**, GK4 als CRS auswählen
- In der **Toolbox** die **Buffer** Funktion auswählen
- Auswahl des vereinigten Layers als Eingabe, radius auf 500 setzen und Ergebnis speichern



500m Buffer

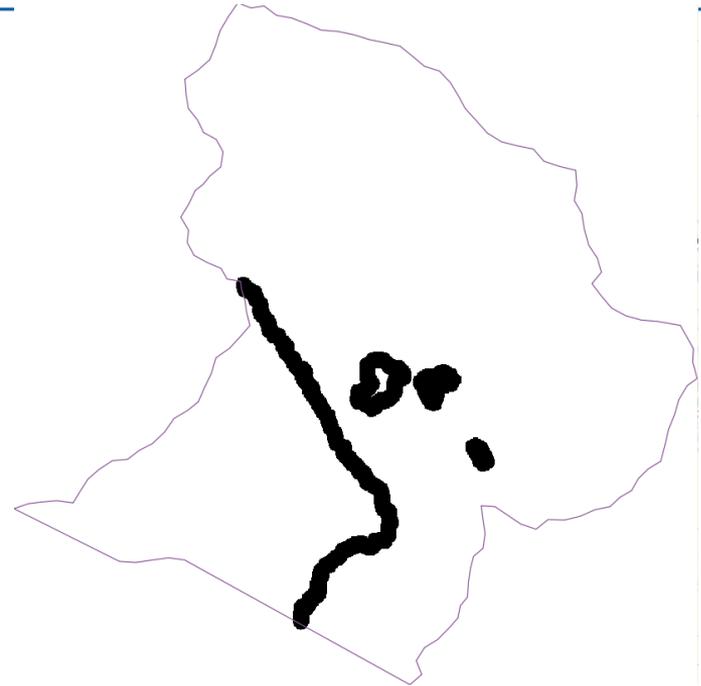
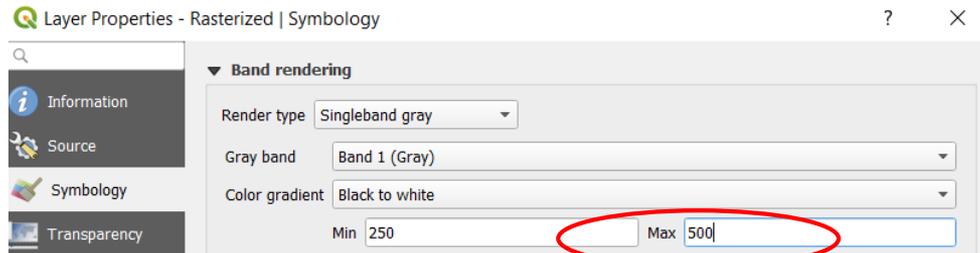
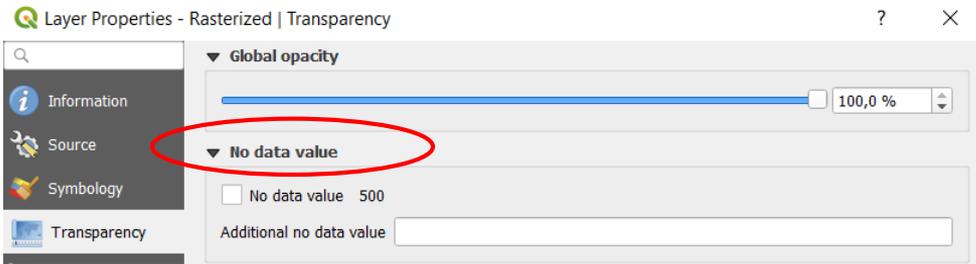
Gmsh Netz 2

- Einzelne Features des Multipolygon Layer umfassen beidseitigen Abstand von 500 um die Polylinien herum
- Dieser Bereich kann als Zone mit einer höheren Auflösung in Gmsh definiert werden
- Dazu muss das Polygonlayer in Rasterlayer überführt werden
- Klicken auf **Raster > Conversion > Rasterize**



500m Buffer

- Deaktivieren des „no data value“ in den Layer Eigenschaften



→ 250 m in der Puffer zone, 500m außerhalb

Gmsh Netz 2

- Klicken auf **Plugins > Gmsh > Generate a Gmsh geometry file**
- **Domain_Bound** as Mesh Boundary auswählen
- **Groundwater_wells** als *Forced points* auswählen
- **Rasterized** as *Mesh size layer* auswählen
- *.geo Datei und das FEM Netz erstellen

```
462 NF = newf;  
463 Field[NF] = Structured;  
464 Field[NF].TextFormat = 0;  
465 Field[NF].FileName = "E:/UFZ/Lehre/Angewandte_Grundwassermodellierung_Dresden_2021/  
466 Background Field = NF;
```

Field Definition in geo file

 Generate a Gmsh geometry file

Mesh Boundaries

- Polygons
- Domain_Bound_1000m
- Upstream_Boundary
- River_Wipper
- River_Bode

- Force all boundary points

Forced line and points inside the domain

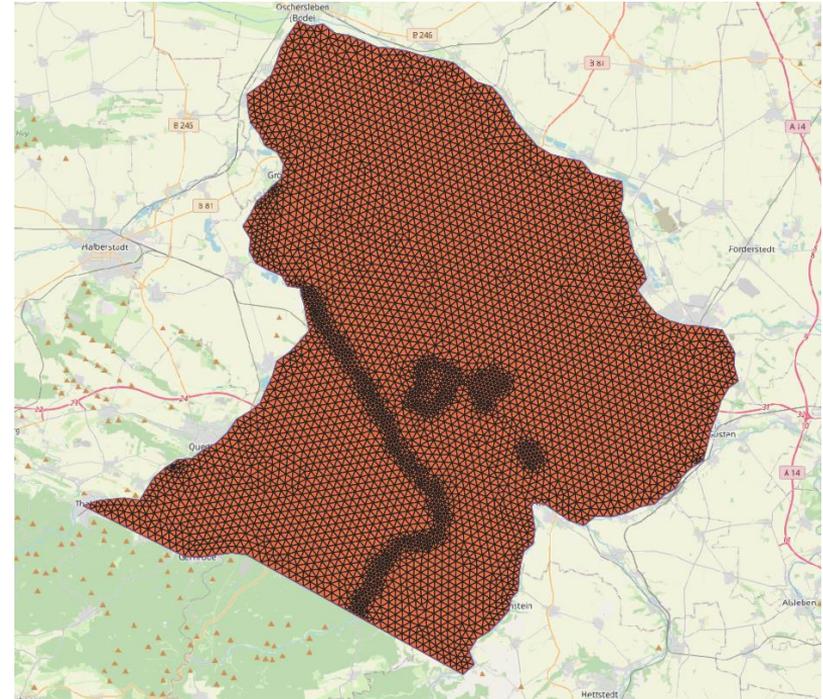
- Groundwater_wells
- River_Selke
- PL_Selke_250
- PL_Koenigsauer_250
- PL_Wilsleber_250

Mesh size layer

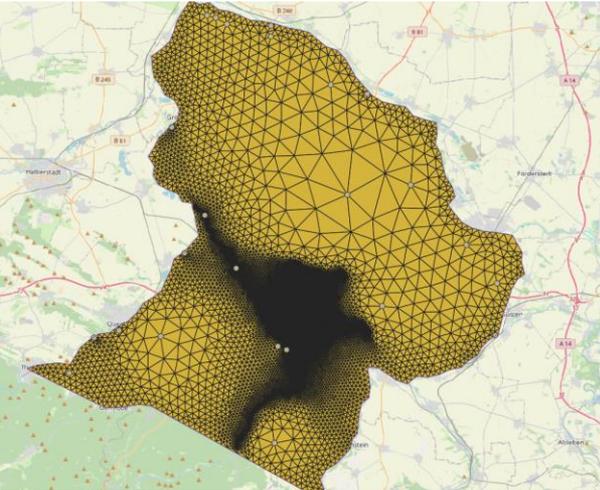
Rasterized

Gmsh Netz 2

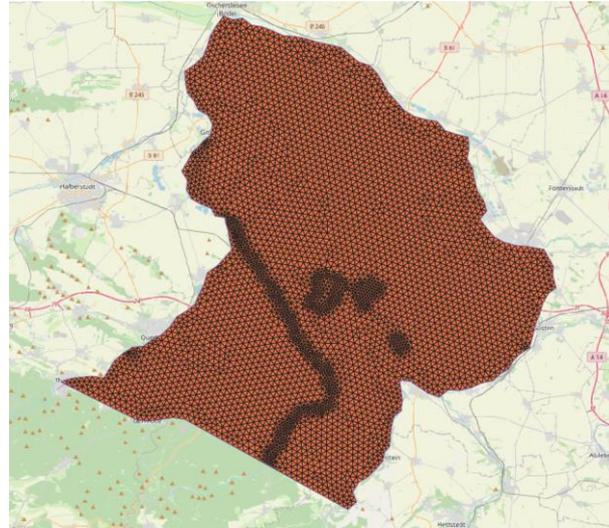
- Man kann deutlich die unterschiedliche Auflösung im Mesh sehen, gut gemacht!
- Allerdings befinden sich die Netzknoten nicht genau an der Stelle der Stützpunkte
- Wahrscheinlich ist es besser, Die genaue Linienführung der Randbedingung mit der Modifikation der Netzauflösung durch die Raster-Option zu kombinieren
- →Erstellung eines neuen Meshes notwendig



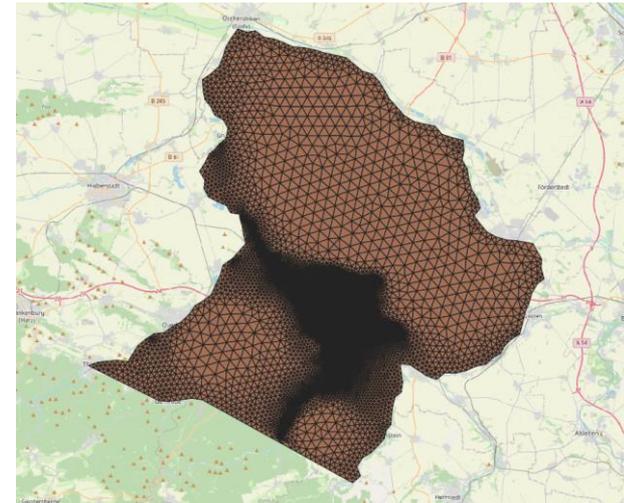
- Erstellung des finalen Dreiecks FEM Netzes durch Definition einer Elementauflösung für das gesamte Modellierungsgebiet
- Klicken auf **Vector > Geometry Tools > Lines to Polygons**, Auswahl des Layers *Domain_Bound* und umbenennung des resultierenden Layers zu z.B *PG_Domain_1000m*
- Umwandlung in ein Raster durch **Raster > Conversion > Rasterize**
- Auswahl von *PG_Domain_1000m* als Eingabelayer und *1000* sowohl als Zellauflösung für die **Raster** und *1001* für die **No_Data** Werte, erstelltes Raster als **Mesh_Size_Raster** speichern
- Im Anschluss wie im vorherigen Beispiel die geo Datei sowie das FEM Netz erstellen
- Die Layer *Groundwater_wells*, *PL_Selke*, *PL_Lakes_Cuttet_250.shp* als “Forced Geometries” aktivieren und inside **Mesh_Size_Raster** als “Mesh size layer” auswählen



Netz I



Netz II

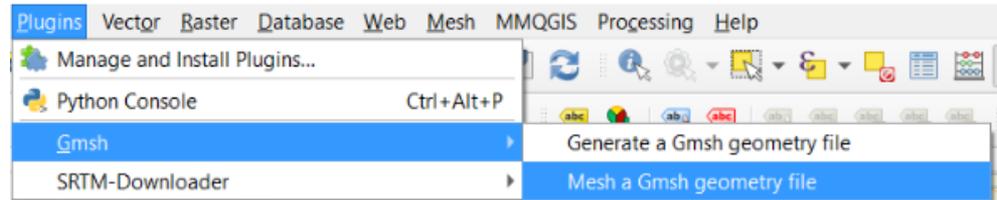


Netz III

- Netz III zeigt eine regelmäßige FEM Struktur im Gesamtgebiet sowie eine höhere Auflösung in dem interessanten Strömungsbereich zwischen den Seen und der Selke

QGIS Gmsh Export

- Speichern des Meshs als Shapefile



 Convert a Gmsh mesh file into shapefiles

A screenshot of the 'Convert a Gmsh mesh file into shapefiles' dialog box. The dialog has a title bar with a close button (X) on the right. It contains three main sections: 'Mesh file' with a text input field containing 'D:/UFZ/Kurs_Beijing_2020/Sally_Kurs_Beijing_2020/Selke_Domain_Rast_2.msh'; 'Projection' with a dropdown menu showing 'EPSG:31468 - DHDN / 3-degree Gauss-Kruger zone 4'; and 'Output directory' with a text input field containing 'D:/UFZ/Kurs_Beijing_2020/Output', which is circled in red. Below the input fields is a checked checkbox labeled 'Open generated files'. At the bottom right are 'Cancel' and 'Convert' buttons.

- Als letzte Aufgabe für diese Übung konvertieren Sie die Polylinien (**PL_Koenigsauer/Concordia/Wilsleber**) in Polygone, indem Sie auf **Vector > Conversion > Lines to Polygon** klicken
- Achten Sie darauf, dass Sie die Dateien speichern und nicht nur eine temporäre Datei anlegen!
- Sie können sie z.B. **PG_Koenigsauer/Concordia/Wilsleber_250** nennen
- Speichern Sie auch die **Domain_boundary** Polylinie als **PL_domain_boundary_1000.shp**

Das war's, wir sind fertig!

Herzlichen Glückwunsch und vielen Dank fürs Mitmachen!