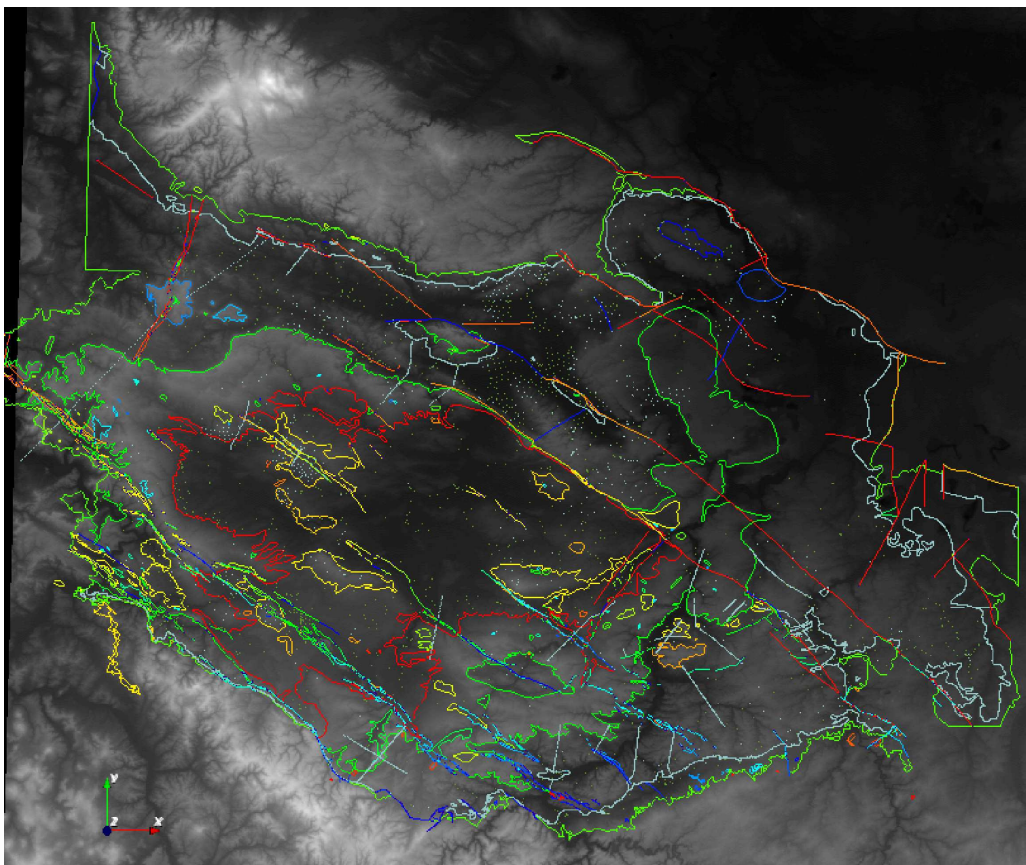


# Aufbau hydrologischer Modelle

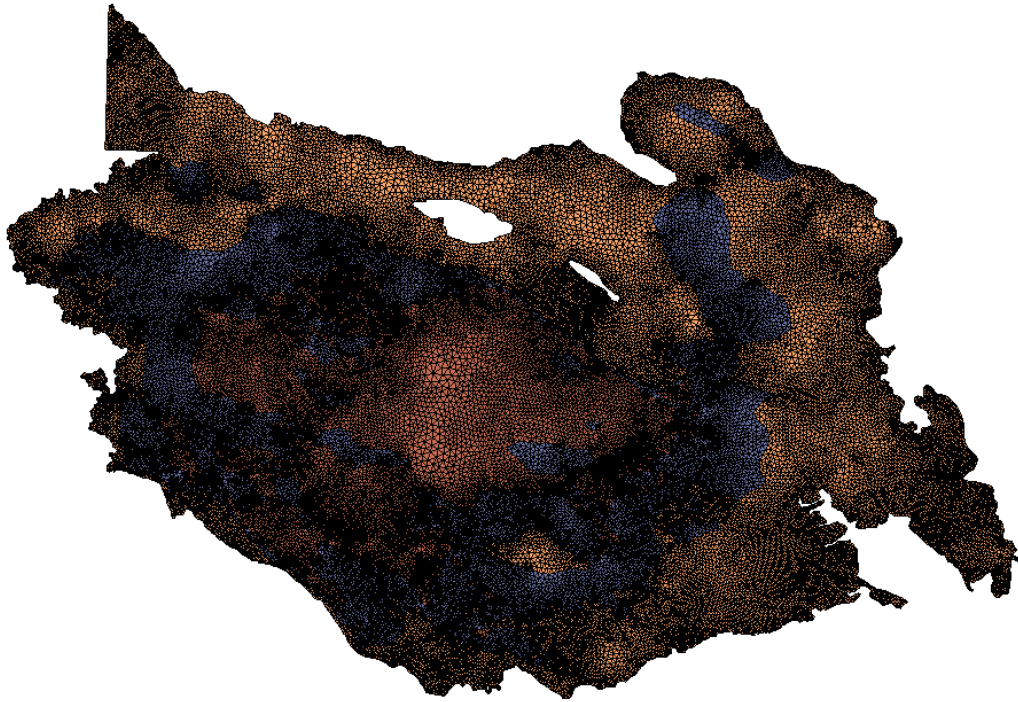
Karsten Rink, Thomas Fischer

08.07.2011

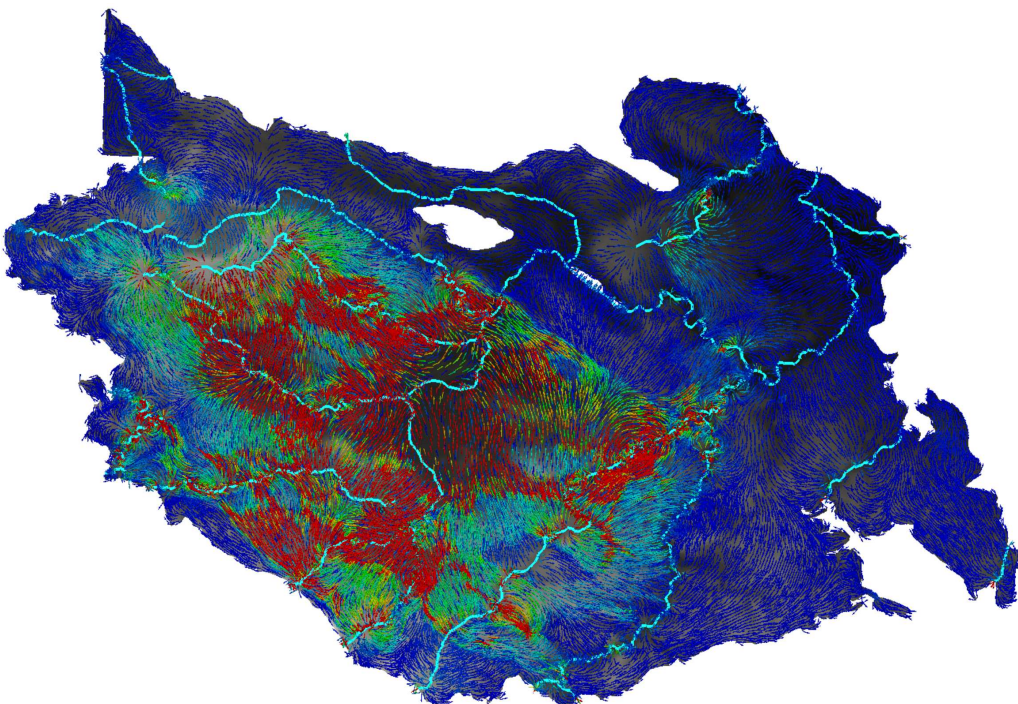
## Eingabedaten



# Vernetzung



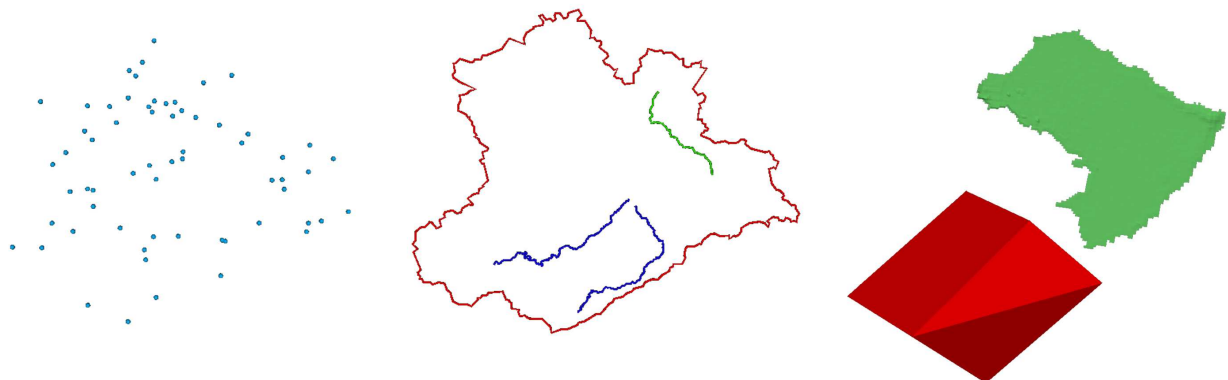
# Ergebnis



Wie erstellt man aus einer Sammlung hydrologischer und geologischer Daten ein hydrogeologisches Modell?

## Geometrische Objekte

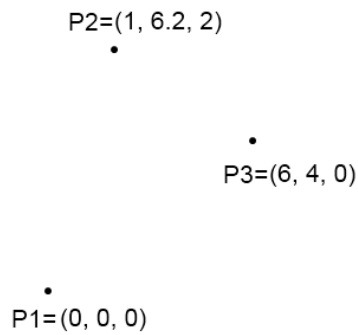
- Punkte (in 2D, 3D, ...)
- Polylinien (ggf. Linien, Polylinien, Polygone)
- Oberflächen (eben, uneben)



# Aufbau

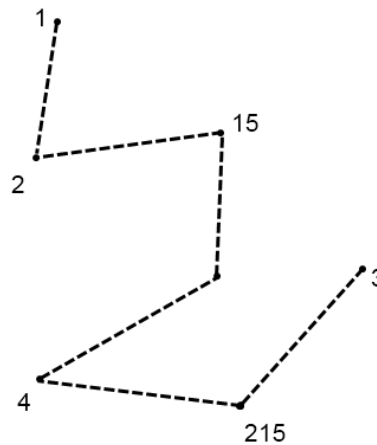
## Punkte

- Identifikation (ID)
- x, y, z Koordinaten



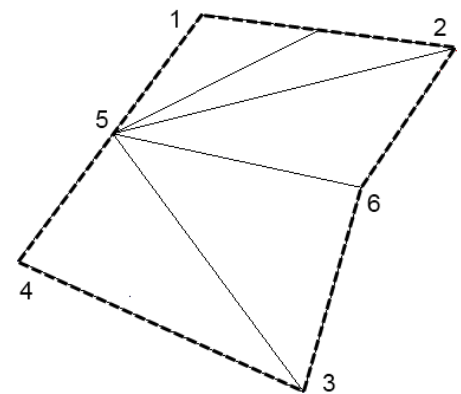
## Polylinien

- Liste von Punkten (IDs)



## Oberflächen

- Begrenzung der Fläche
- Triangulierung



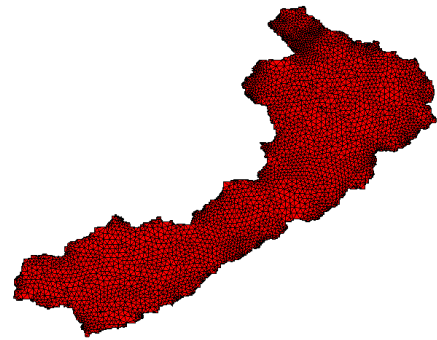
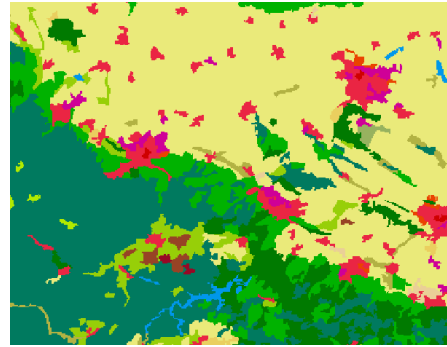
# Eingabedaten

- Welche Daten können in hydrologische Modelle eingebunden werden?
- Wie werden die Daten im Model repräsentiert?
- Welche Probleme können dabei auftreten?



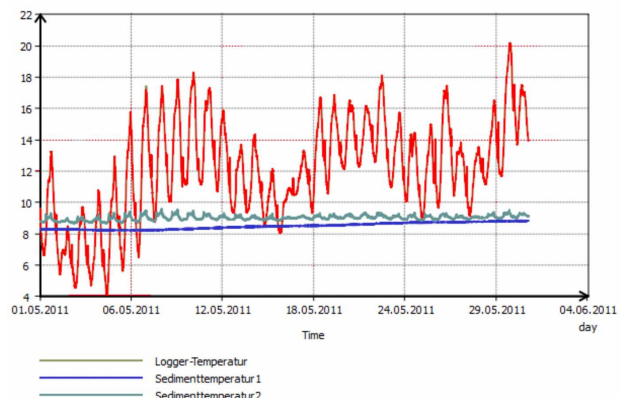
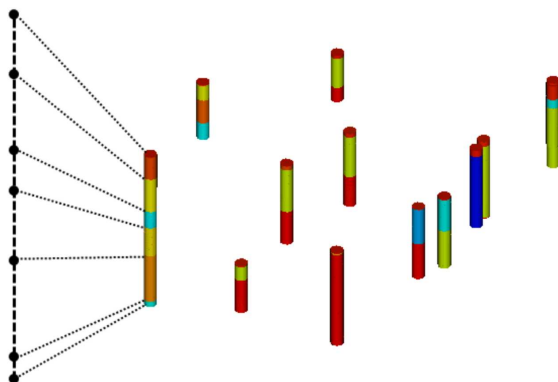
# Eingabedaten

- Rasterdaten
  - ▶ Digitale Höhenmodelle
  - ▶ Landnutzungsklassen
  - ▶ Interpolierte Meßdaten (z.B. Niederschlag)
- Feature- bzw. Vektordaten (Shapes)
- TINs (Triangulated Irregular Networks)
- Bohrlöcher
- Loggerdaten von Meßstationen
- etc.



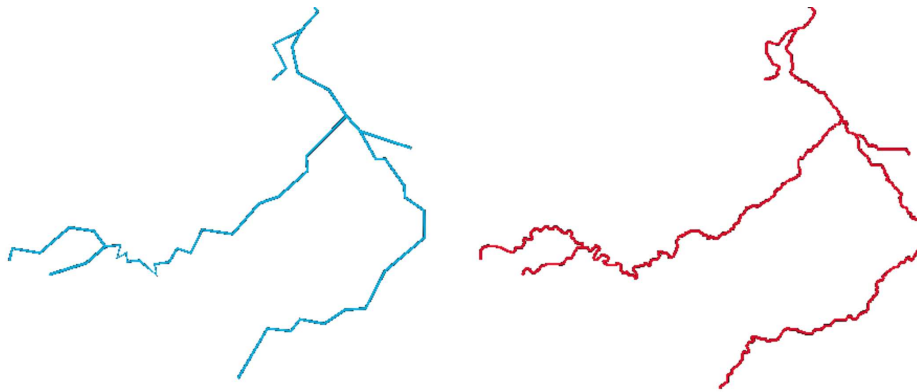
## Repräsentation hydrologischer Daten

- Shapes: Geometrische Daten (Punkte, Polylinien, Polygone)
- TINs: Oberflächen, Netze (Meshes)
- Bohrlöcher: Schichtgrenzen als Punkte für Polylinien
- Loggerdaten: Randbedingungen für Simulation
- Rasterdaten: Oberflächen, Randbedingungen, etc.



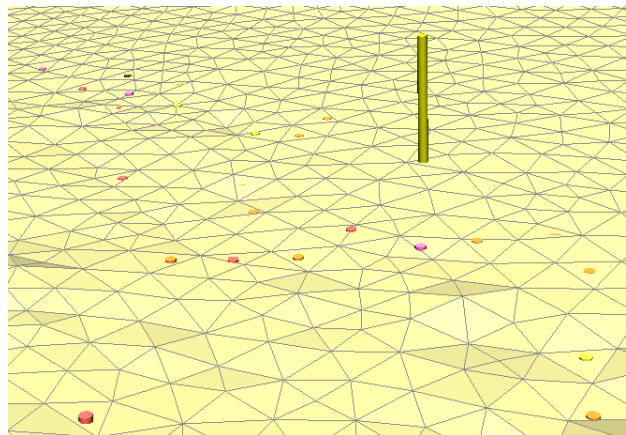
## Mögliche Probleme vorhandener Daten

- Verschiedene oder fehlende Koordinatensysteme
- Unvollständige Informationen (z.B. fehlende z-Koordinate)
- Zu grobe oder zu feine Auflösung der Daten



## Fehler in den Daten

- Inkonsistenzen bei Daten aus verschiedenen Quellen  
z.B. unterschiedliche Koordinatensysteme, Höhendifferenzen zwischen Satellitendaten und manuellen Messungen, etc.
- Fehler oder Artefakte in den Daten  
z.B. nicht geschlossene Polygone, Wolkenartefakte in Satellitendaten



# Finite Elemente Gitter (Meshes)

- Gitter bilden Grundlage zur Simulation von Prozessen mit der Finiten-Elemente-Methode
- Lückenlose und überlappungsfreie Aufteilung eines Bereichs des Raumes durch eine Menge von Gitterzellen
- Gitterzellen sind meist einfache geometrische Objekte
- Gitterzellen werden im Kontext der FEM auch als Element bezeichnet
- Für aussagekräftige Simulationsergebnisse sollte Aufteilung fein genug sein
- Rechenzeit abhängig von der Anzahl der Elemente

## Strukturierte vs. unstrukturierte Gitter

strukturiert:

- Elemente: Vierecke oder Hexahedra
- gleiche Anzahl Zeilen und Spalten



unstrukturiert:

- Elemente: Dreiecke oder Tetrahedra
- beliebige Anordnung



Strukturierte Gitter vereinfachen viele Berechnungen, sind aber nicht für alle Anwendungen geeignet.

# Adaptive vs. homogene Gitter

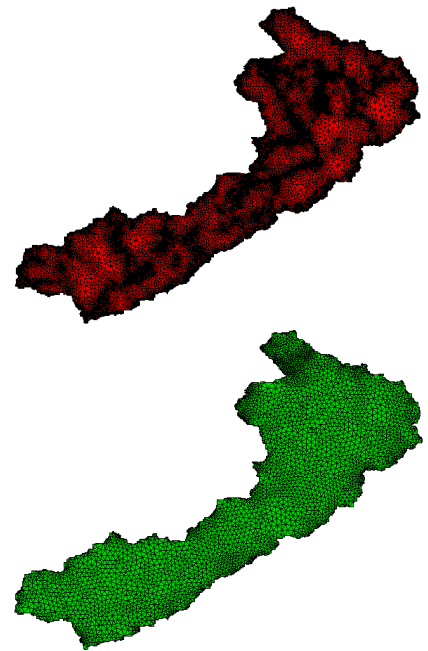
adaptiv:

- Verfeinerung der Elemente in "interessanten" Bereichen
- ggf. kleine Elementzahl da unwichtige Bereiche nur grob unterteilt werden








homogen:

- Annähernd gleiche Elementgröße in allen Bereichen

Bessere Variante hängt von Anwendung ab.



## Elementtypen

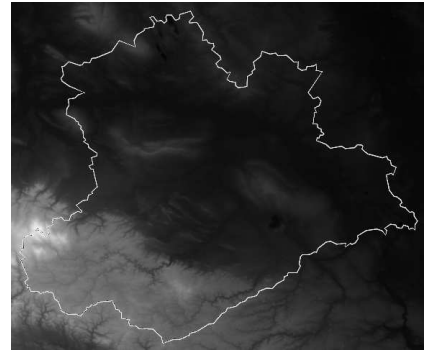
Elementname	Beispielabbildung	Dimensionen
Linie		1
Dreieck		2
Viereck		2
Tetraeder		3
Pyramide		3
Prisma		3
Hexahedron		3



## Netzgenerierung in 2D

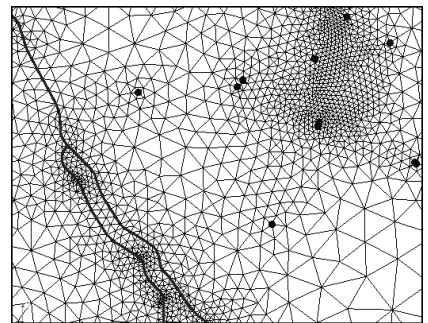
### Minimale Informationen

- Begrenzung des Modellgebiets, um Ausdehnung des Meshes zu spezifizieren
- Digitales Höhenmodell, um Höheninformation zu integrieren



### Zusätzliche Informationen:

- Verwerfungen
- Messstationen
- Bohrlöcher
- Flussverläufe
- etc.



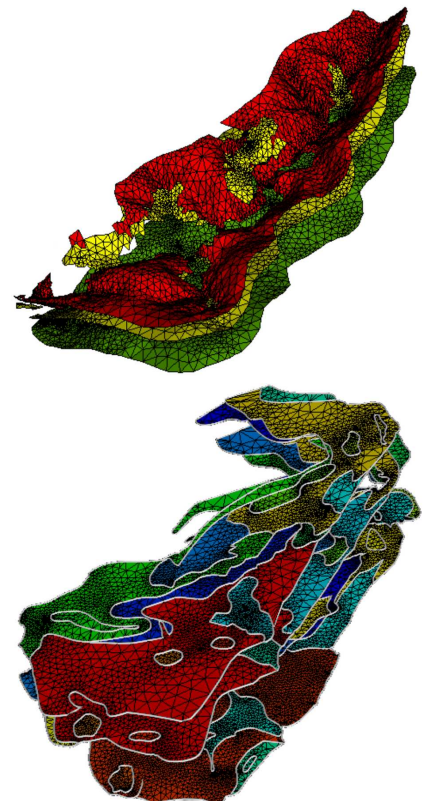
## Netzgenerierung in 3D

### Voraussetzungen für Erstellung von 3D Netzen:

- 2D Netz (z.B. Oberflächennetz)
- Anzahl der Untergrundschichten
- Interpolation der Schichten aus Bohrlochinformation oder digitale Höhenmodelle für Schichten im Untergrund

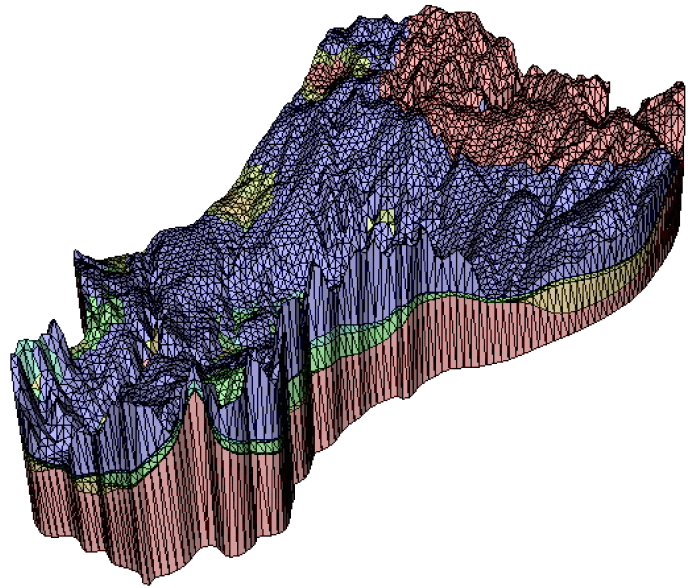
### Alternativ:

Interpolation zwischen Gesteinsschichten in festen Tiefen



# Software für Netzerstellung

- GMS
- GoCad
- Petrel
- Gmsh\*
- Netgen\*
- TetGen\*
- (OpenGeoSys\*)



\*freie Software für privaten und wissenschaftlichen Gebrauch

## Netzqualität

- Netzqualität ist prozessabhängig
- Netzqualität bestimmt (u.a.) Konvergenzgeschwindigkeit
- Qualitätskriterien für Gitter

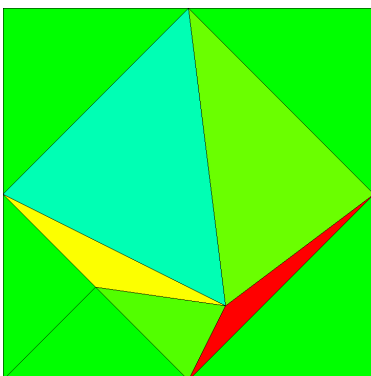


Abbildung: Verhältnis kürzeste zu längster Seite des Elements

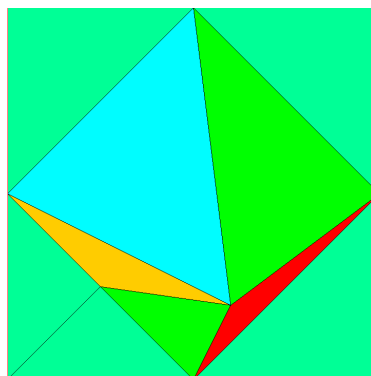


Abbildung: Winkelkriterien

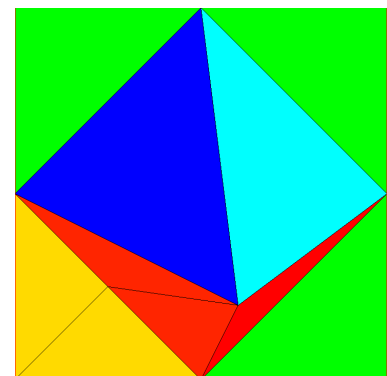
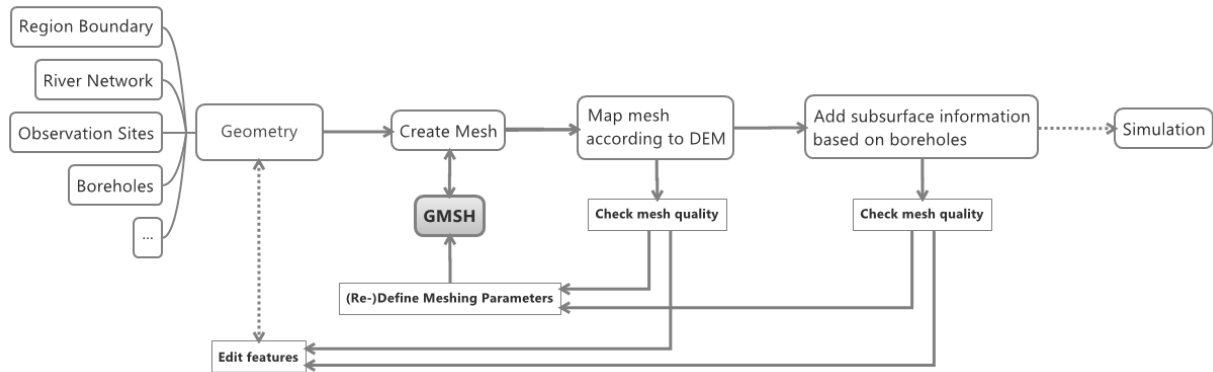


Abbildung: normalisierte Flächen/Volumen

# Schrittweise Anpassung der Netze

Die Erstellung geeigneter Netze ist oft ein iterativer Prozess.



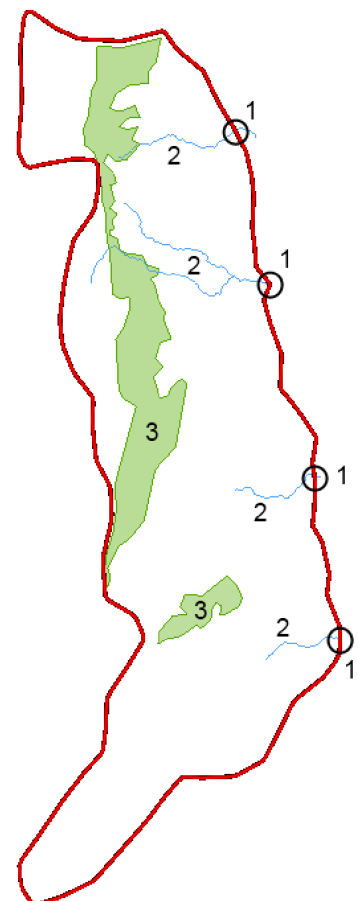
## FEM Bedingungen

Simulation wird beeinflusst durch

- Boundary Conditions
- Initial Conditions
- Source Terms

Repräsentiert durch

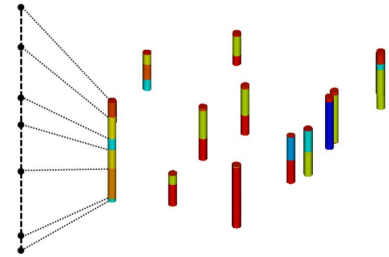
- ① Ein- und Ausfluss von Fließgewässern
- ② Flussverläufe
- ③ Durch Shapes begrenzte Regionen



# Materialeigenschaften

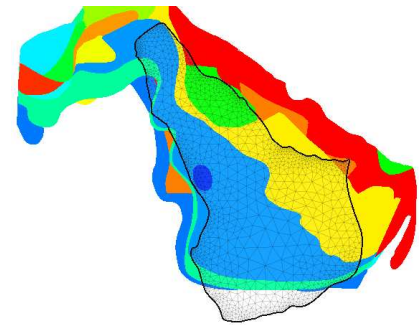
Unterschiedliche Materialien haben unterschiedliche Eigenschaften, z.B.

- Porosität
- Permeabilität



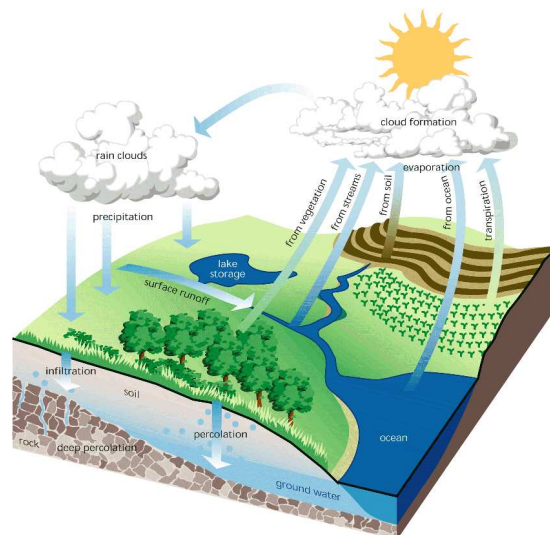
Welche Netzelemente bekommen welche Eigenschaften?

- Begrenzung durch Shapefiles
- Zuordnung durch Bohrlochstratigraphie
- Zuordnung durch Raster

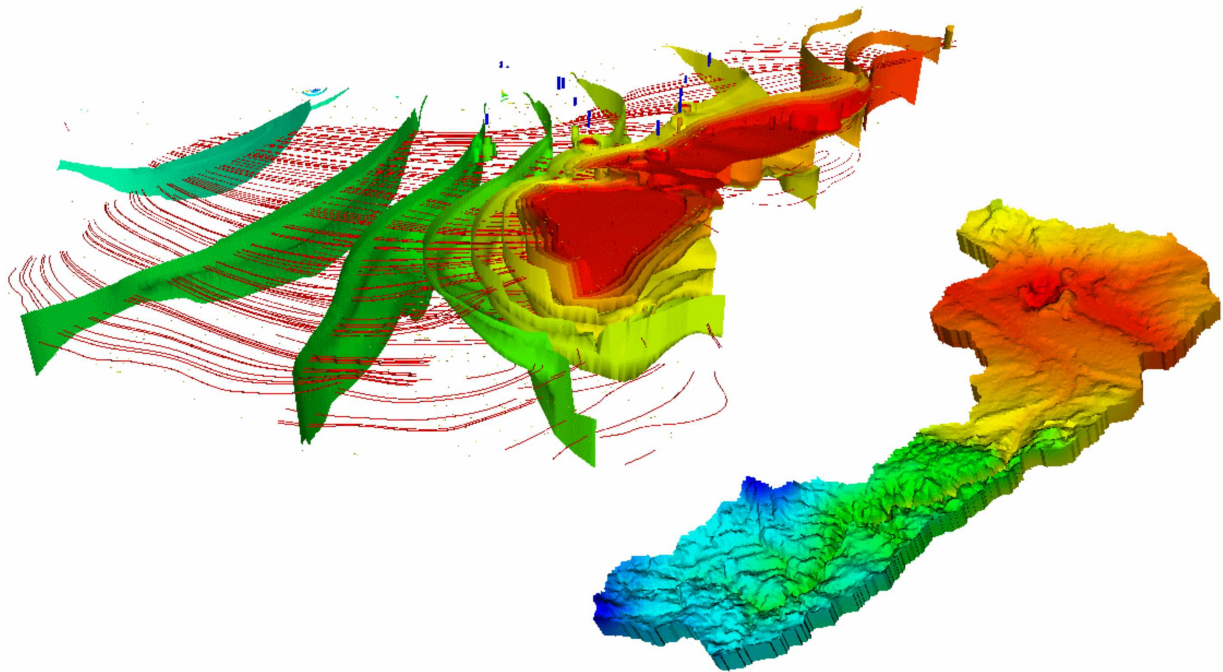


# Prozesstypen

- Oberflächenabfluss (Saint-Venant Gleichung)
- Bodenhydraulik (Richards Gleichung)
- Grundwasserströmung (Darcy- / Forchheimer-Gesetz)



# Ergebnissvisualisierung



## Datenquellen

- INFLUINS Projekt (Thüringer Becken):  
Thomas Fischer, Alraune Zech, Björn Zehner
- IWAS Brazil Projekt: Tatiana Diniz Goncalves
- IWAS Middle East Projekt (Saudi Arabien):  
Edda Kalbus, Thomas Kalbacher, Gero Friedrich
- SUMAR Projekt (Totes Meer): Agnes Gräbe
- TERENO Projekt (Harz): Karsten Rink, Wenqing Wang
- WESS Projekt (Ammertal): Benny Selle