

„Grundwassersysteme und Numerik“ Veranstaltung im Modul Hydrosystemanalyse

- Geographische Informationssysteme in der Grundwassermodellierung

Prof. Dr. Olaf Kolditz
Dr. Erik Nixdorf

07.05.2021

Wiederholung Grundgleichungen

- Grundgleichungen

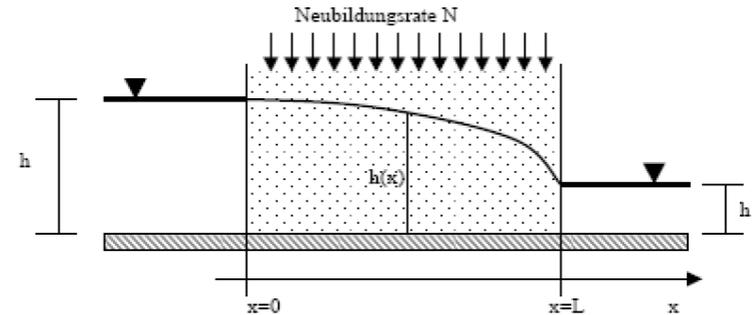
$$\frac{\partial(\phi\rho_f)}{\partial t} + \text{div}[\phi\rho_f\mathbf{v}_f] - Q_m = 0$$

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

Korrektur 1: V2 F.10: S ist nur raum und nicht richtungsabhängig

Korrektur 2: V2 F.9ff: Vorzeichenwechsel nach Einsetzen des Darcy Gesetzes

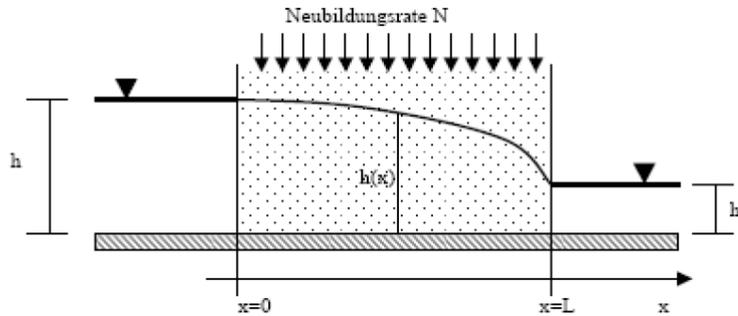
- Einfache Ableitungen: Hydraulisches Potential im Aquifer mit Grundwasserneubildung



- Nützliche Analytische Ansätze

$$\Delta h = \frac{RL^2}{mkb}$$

Wiederholung Grundgleichungen



$$h(x=0) = h_0$$
$$h(x=L) = h_L$$

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

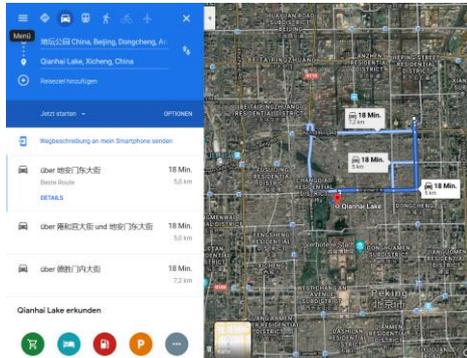


$$h^2(x) = \frac{h_L^2 - h_0^2}{L} x + h_0^2 + \frac{N}{K} x(L - x)$$

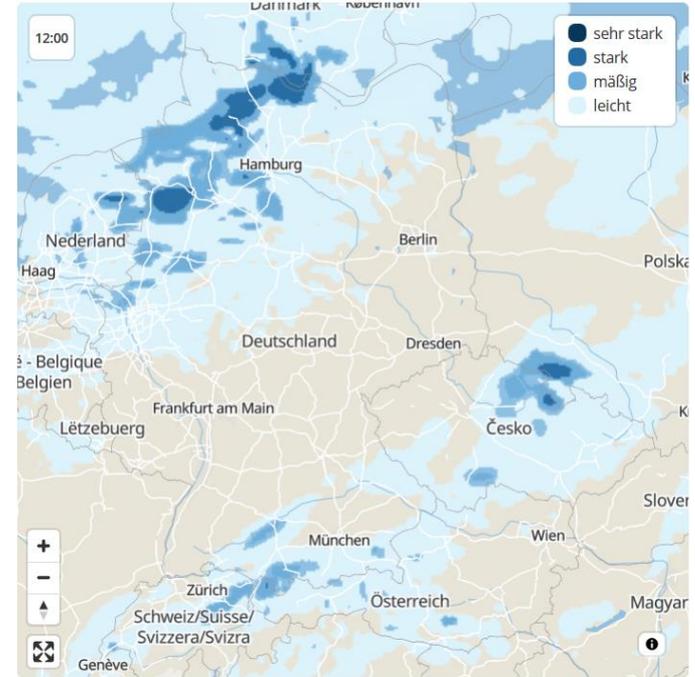
- Ungespannter Aquifer mit Grundwasserneubildung
- Wie wäre die Gleichung für Grundwasserspiegelhöhe beim ungespannten Aquifer ohne Neubildung, gespanntes Aquifer mit Neubildung?

Was ist GIS

- GIS steht für „Geographic Information System“ oder auf deutsch „Geoinformationssysteme“
- Computerprogramme, die **geographische Daten** sammeln, verarbeiten, organisieren, analysieren und präsentieren
- Die meisten von Ihnen haben mit GIS interagiert oder es benutzt



Google Maps route, 2020



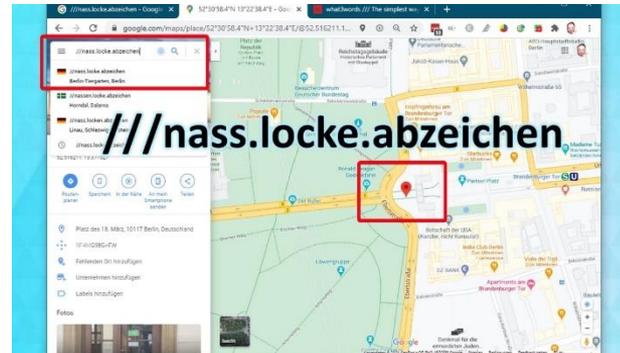
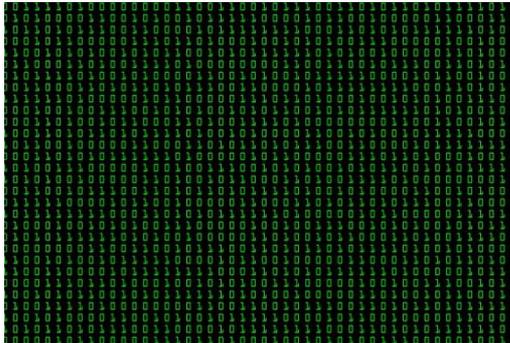
Rainfall Forecast (07.07.2020) retrieved from:
<https://www.wetter.de/deutschland/regenradar-karte-deutschland-c49.html#5/51.47/10.37>

Geodaten=Daten+ Raumbezug + Metadaten

Daten = maschinell
verarbeitbare Zeichen

Raumbezug=
Verortung in einem
räumlichen
Referenzsystem

Metadaten=
Strukturierte Daten,
die Informationen über
Merkmale anderer
Daten enthalten.



<https://www.netzwelt.de/anleitung/185820-what3words-google-maps-nutzen-so-gehts.html>

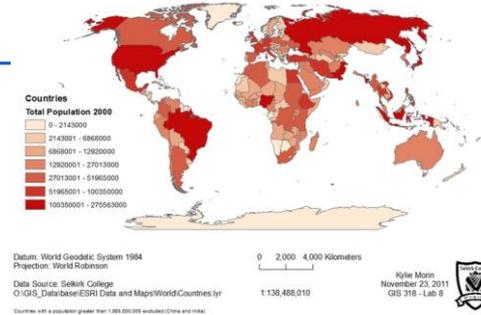
<https://www.ontotext.com/knowledgehub/fundamentals/metadata-fundamental/>

Warum GIS Nutzen

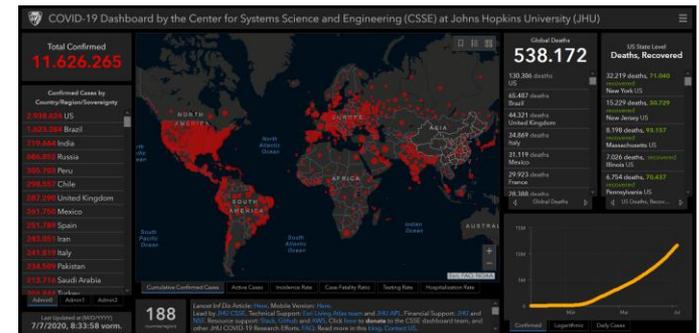
- Leistungsstarke und vielseitige Programme mit vielfältigen Einsatzmöglichkeiten:

1. Interaktives Werkzeug zur Datenanalyse, -integration und -visualisierung
2. Beurteilung von räumlichen und zeitliche Trends oder variable Beziehungen
3. Ableitung neuer Informationen durch Überlagerung und Kombination von Datensätzen
4. Vermitteln Sie Informationen auf intuitive und zugängliche Weise

World Population



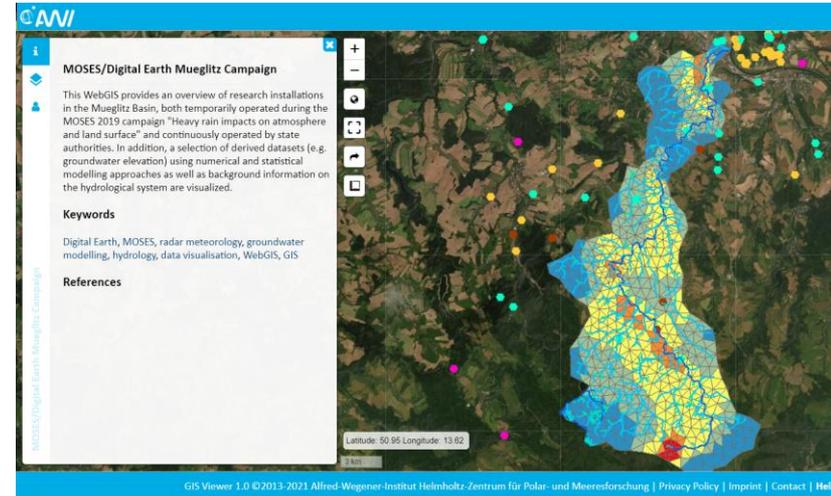
World Population, retrieved (07.07.2020) from:
https://kyliemorin.wordpress.com/projects/lab8_1b_kylie_morin-2/



COVID-19 Dashboard, retrieved (07.07.2020) from:
<https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>

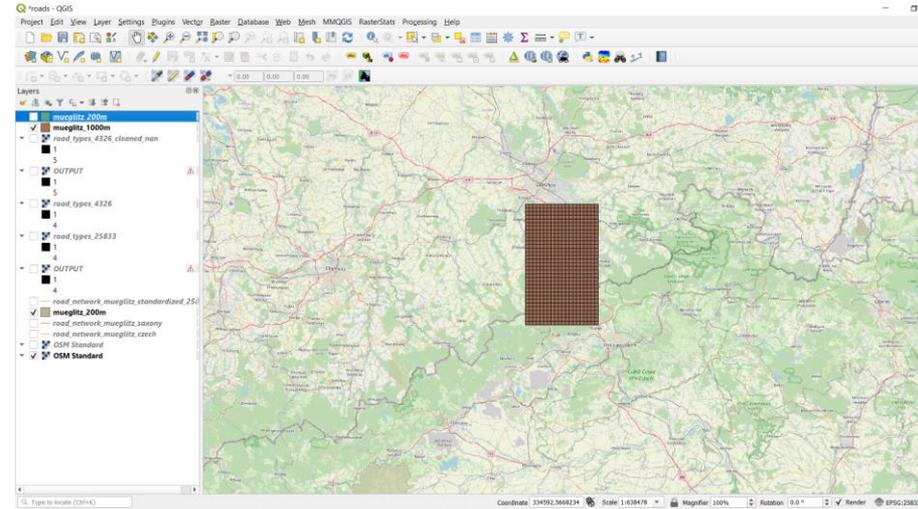
Arten von GIS :Online/Web GIS

- Geodaten und -Sachverhalte liegen auf einem Server mit installiertem GIS-System (MapServer, ArcGIS Server)
- Anwender benötigt nur WebBrowser zum Zugang
- Funktionalität fokussiert auf Darstellung von Geoinformationen aus öffentlichen Datenbanken
- Datenprozessierung und Integration meist eingeschränkt
 - Bsp: [IDA-Umweltportal Sachsen](#)
 - maps.awi.de



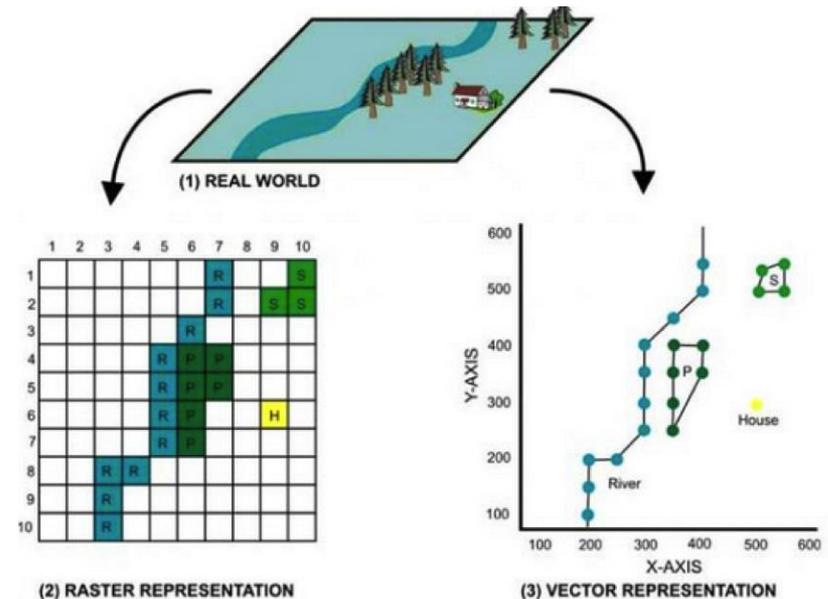
Arten von GIS: Desktop GIS

- GIS-Software und (teilweise) Geodaten liegen auf „lokalen“ Rechnerressourcen
- Geodaten können vollumfänglich erzeugt und prozessiert werden
- (oftmals) Möglichkeit zur Automatisiert über Skripte und „Graphical Modeller“
- Schnittstelle zu MapServern über OGC (OpenGeoSpatialFoundation) Interface Standards möglich (z.B. WMS/WFS/WCS)
- Bsp: **QGIS**, ArcGIS, SAGA GIS, Smallworld GIS



Raster vs. Vector

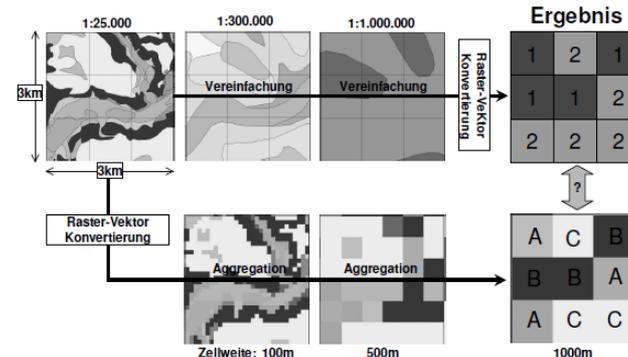
- GIS bietet zwei verschiedene Datentypen zur Darstellung räumlicher Daten = Beobachtungen konzentrieren sich auf Standorte.
- **Rasterdaten** bestehen aus Pixeln (auch als Gitterzellen bezeichnet). Sie sind normalerweise in regelmäßigen Abständen angeordnet.
- **Vektordaten** bestehen nicht aus einem Raster von Pixeln. Stattdessen bestehen Vektorgrafiken aus Punkten und Pfaden.



Raster vs Vektor: Konzepte

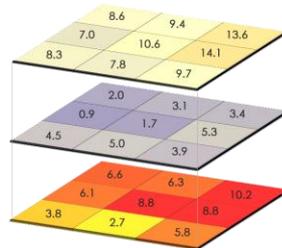
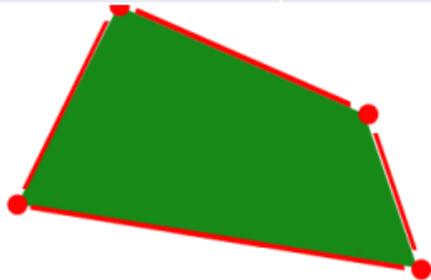
- Rasterdaten repräsentieren das **Feldkonzept**:
- Eine physikalische Größe (z.B. die Durchlässigkeit eines Gesteins) im Raum ist eine Funktion der Ortskoordinaten $A = f(x, y, z, t)$
- Rasterdaten teilen den Raum gleichmäßig auf und weisen jedem Element einen Wert von A zu
- Voraussetzung ist, dass die Funktion zur Beschreibung der Größe stetig ist
- Bei nichtstetigen Funktionen (z.B. Landnutzungsclassen) oder starken Gradienten (DEM im Gebirge) führen Rasteroperationen zu Fehlern

- Vektordaten repräsentieren das **Objekt-konzept**:
- Beim objektbasierten Ansatz wird die zu beschreibende Informationsmenge in homogene Objekte eingeteilt
- Diesen Objekten werden gewisse Attribute und Eigenschaften zugeordnet



Raster vs Vector

Type	Vorteile	Nachteile
Vektordaten	<ul style="list-style-type: none">• ästhetisch ansprechender• höhere geografische Genauigkeit• Ermöglicht Netzwerkanalyse und Näherungsoperationen	<ul style="list-style-type: none">• Algorithmen zur Vektormanipulation sind komplex• Daten sind schlecht gespeichert• Topologische Probleme
Rasterdaten	<ul style="list-style-type: none">• Einfache Datenstruktur – Eine Matrix aus Zellen mit Werten• Leistungsfähiges Format für erweiterte räumliche und statistische Analysen• Möglichkeit, kontinuierliche Oberflächen darzustellen und Oberflächenanalysen durchzuführen	<ul style="list-style-type: none">• Lineare Features und Pfade sind schwer darstellbar• Datensatzwerte für jede Zelle• Eingeschränkte Flexibilität bei Rasterdaten-Attribut-Tabellen• Skalierung ist nichtlinear



“raster is faster,
but vector is
corrector”

Raster vs Vektor

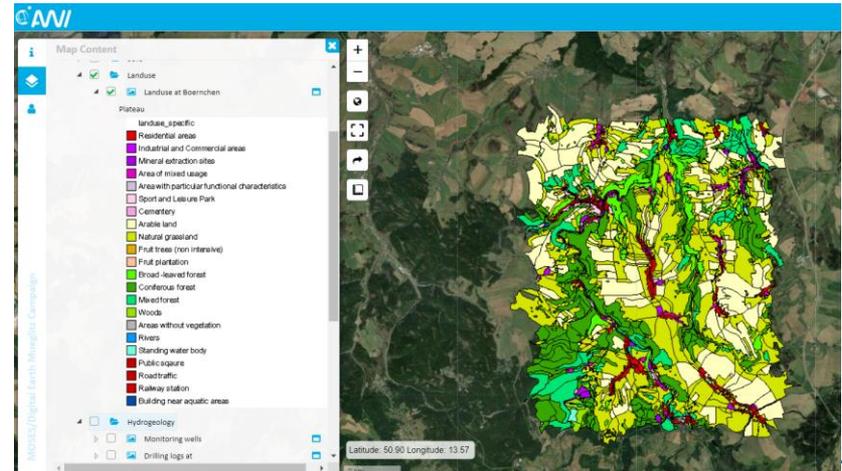
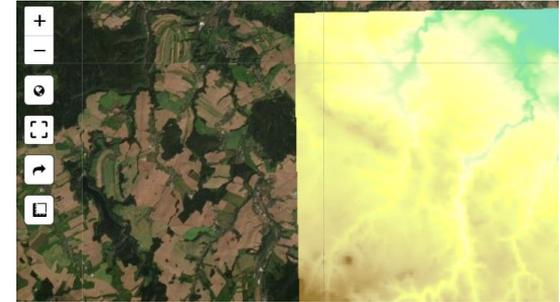
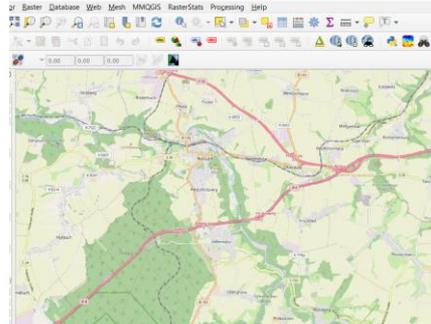
https://docs.qgis.org/3.4/de/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html



- Digitalisieren sie die Landschaft, welche Charakteristika lassen sich besser mit Vektor und welche mit Rasterdaten beschreiben?

Rasterdaten Beispiele

- Raster als Grundkarten
- Raster als Oberflächenkarten
- Raster als thematische Karten
- Raster als Features von Vektordaten

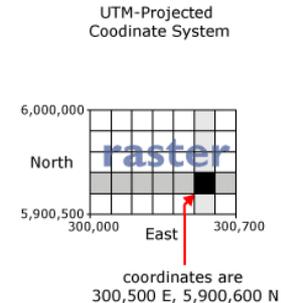
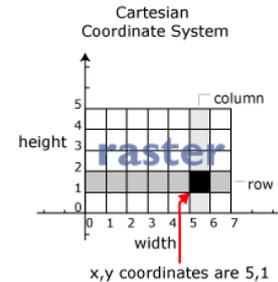


Rastergeodaten Struktur

- Raster werden als geordnete Liste von Zellwerten gespeichert
- Die Position jeder Zelle wird durch die Zeile und Spalte definiert, in der sie in der Raster-Matrix gespeichert ist.
- Umrechnung in geographische Koordinaten erfolgt über die Metadaten (z.B File Header)

```
ncols 480
nrows 450
xllcorner 378923
yllcorner 4072345
cellsize 30
nodata_value -32768
43 2 45 7 3 56 2 5 23 65 34 6 32 54 57 34 2 2 54 6
35 45 65 34 2 6 78 4 2 6 89 3 2 7 45 23 5 8 4 1 62 ...
```

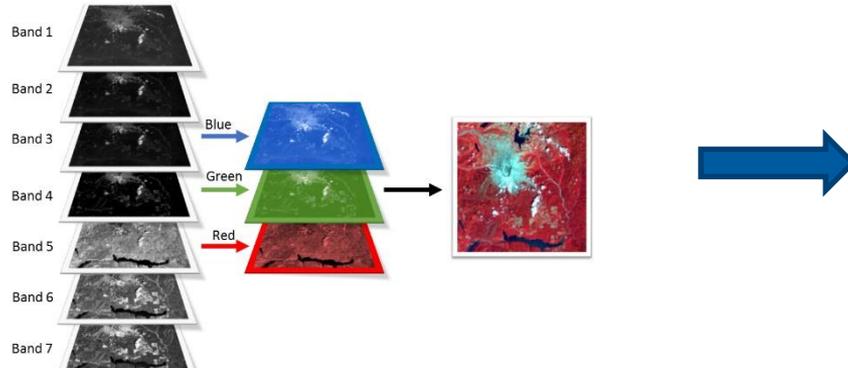
80	74	62	45	45	34	39	56
80	74	74	62	45	34	39	56
74	74	62	62	45	34	39	39
62	62	45	45	34	34	34	39
45	45	45	34	34	30	34	39



<https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>

Rasterdaten Struktur

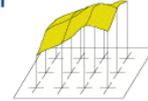
- Zellwerte können entweder sich auf den Zellenmittelpunkt, den Rand? oder die Fläche beziehen
- Ein Raster kann mehrere mehrere Bändern enthalten, die aus lagegleiche Matrizen von Zellwerten bestehen, die denselben räumlichen Bereich darstellen (z.B Satellitendaten)



Value applies to the center point of the cell

For certain types of data, the cell value represents a measured value at the center point of the cell. An example is a raster of elevation

+ 315	+ 319	+ 321	+ 323
+ 317	+ 323	+ 328	+ 326
+ 313	+ 318	+ 325	+ 323



Value applies to the whole area of the cell

For most data, the cell value represents a sampling of a phenomenon, and the value is presumed to represent the whole cell square.

50	45	40	35
35	40	35	25
20	25	30	20



<https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>

<https://doi.org/10.5194/hess-2020-569>
Preprint. Discussion started: 16 December 2020
© Author(s) 2020. CC BY 4.0 License.



Hydrology and
Earth System
Sciences
Discussions
EGU

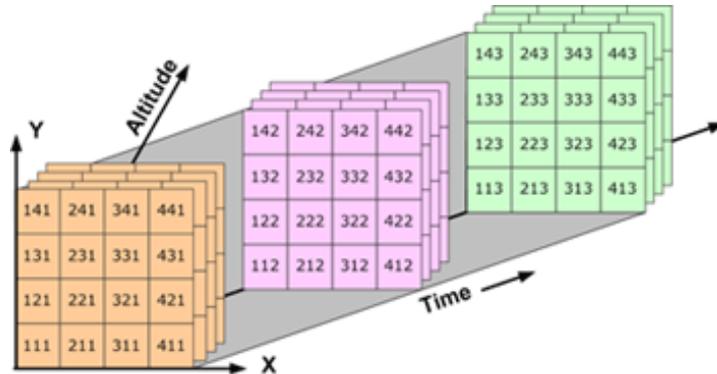
Applicability of Landsat 8 Thermal Infrared Sensor to Identify Submarine Groundwater Discharge Springs in the Mediterranean Sea Basin

Sònia Jou-Claus ^{1,2}, Albert Folch ^{1,2}, Jordi Garcia-Orellana ^{3,4}

5

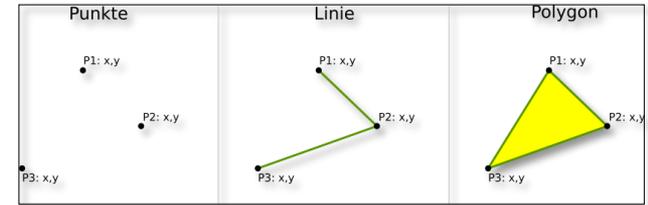
Georasterdaten Formate

- Recht häufig ist **GeoTIFF** (*.tiff oder *.tif). GeoTiff besitzt eingebette Informationen zum Raumbezug (Koordinatenbezugssystem). Dabei ist keine weitere Datei notwendig
- **Einbandraster** (z.B. Esri ASCII-Raster-Format) und **Punktwolken** (z.B. **XYZ-Format**) können auch in ASCII Formaten gespeichert werden wie und. Informationen zum Koordinatenbezugssystem müssen separat mitgeliefert werden
- Für Multidimensionale und sehr große Rasterdaten können offene selbstbeschreibende Formate wie **NetCDF** genutzt werden



Vektorgeodaten Struktur

- **Vektorgrafik** besteht aus **Punkten**, **Linien** oder **Polygonen**
→ **Vektorgeometrien**
- **Vektorgeodaten**: Koordinaten der Vektor-Punkte sind geographische Koordinaten
- Jede Vektorgeometrie (kann auch Multi-Geometrie sein) besitzt eine Zeile in einer Attributdatenbank, ermöglicht flexiblen Dateneintrag
- Vektorgeodaten (und ihre Attribute) sind sehr leicht editierbar, bis auf das verschieben einzelner Stützpunkte



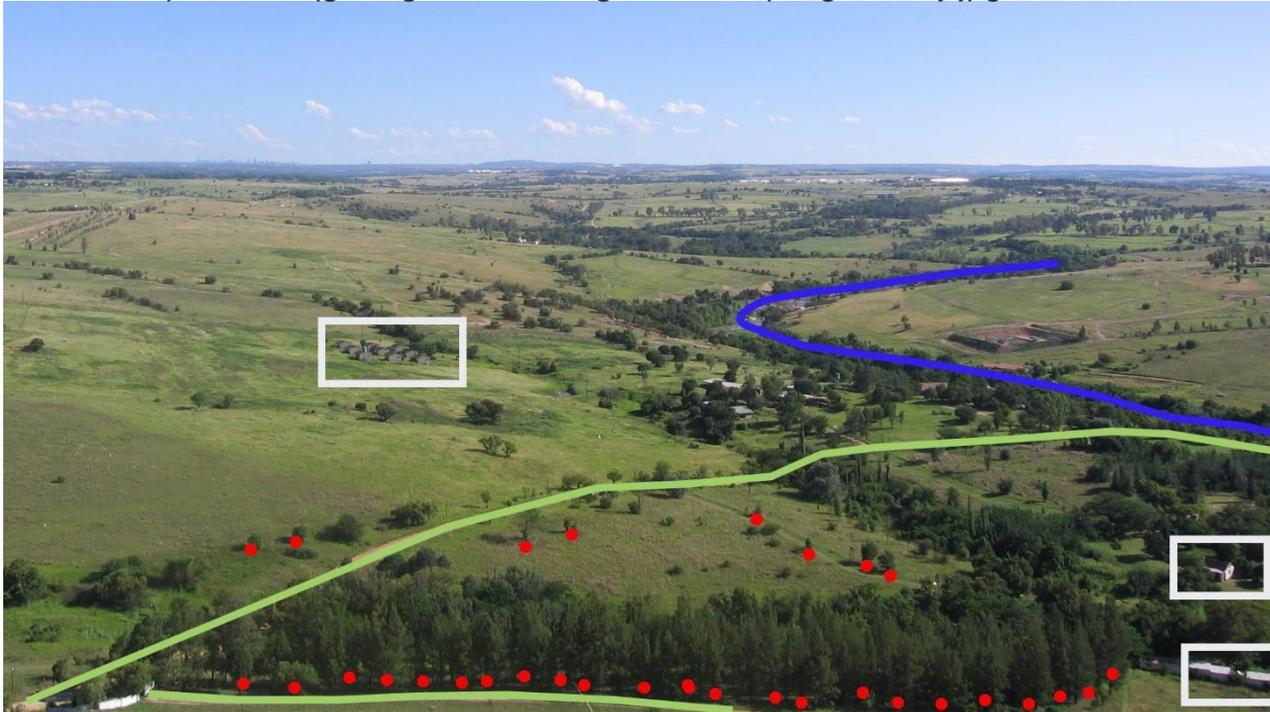
<https://lernplattform.map-site.de/lib/exe/fetch.php?media=qgis:basic:images:vect.png>

OBJECTID	left	bottom	right	top	Shape	
1	434	419000.000000...	5621800.000000...	420000.000000...	5622800.000000...	0.04
2	435	419000.000000...	5622800.000000...	420000.000000...	5623800.000000...	0.04
3	436	419000.000000...	5623800.000000...	420000.000000...	5624800.000000...	0.04
4	437	419000.000000...	5624800.000000...	420000.000000...	5625800.000000...	0.04
5	438	419000.000000...	5625800.000000...	420000.000000...	5626800.000000...	0.04
6	439	419000.000000...	5626800.000000...	420000.000000...	5627800.000000...	0.04
7	440	419000.000000...	5627800.000000...	420000.000000...	5628800.000000...	0.04
8	441	419000.000000...	5628800.000000...	420000.000000...	5629800.000000...	0.04
9	442	419000.000000...	5629800.000000...	420000.000000...	5630800.000000...	0.04
10	443	419000.000000...	5630800.000000...	420000.000000...	5631800.000000...	0.04
11	444	419000.000000...	5631800.000000...	420000.000000...	5632800.000000...	0.04
12	445	419000.000000...	5632800.000000...	420000.000000...	5633800.000000...	0.04
13	446	419000.000000...	5633800.000000...	420000.000000...	5634800.000000...	0.04
14	447	419000.000000...	5634800.000000...	420000.000000...	5635800.000000...	0.04

Haben Polygone minimal 3 oder 4 Stützpunkt?
Wie unterscheiden sich Polygone von geschlossenen Linienzügen?

Vektorgeodaten Beispiele

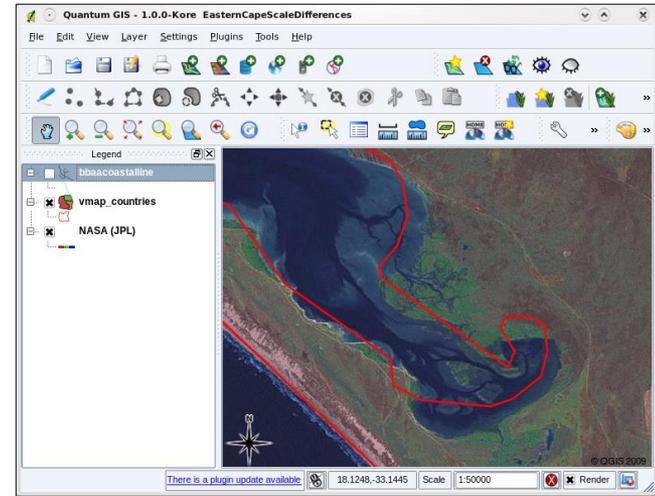
https://docs.qgis.org/3.4/de/_images/landscape_geometry.jpg



- Bäume=Punkte
- Häuser=Polygone
- Fluss/Straße=Polylinien

Vektorgeodaten Probleme

- Erstellen von Vektorgeodaten (z.B aus Rasterdaten) erfordert sorgfalt
- Häufige Probleme sind in den **Topologischen Beziehung** und in der **Diskretisierung** von >0-dimensionalen Vektorgeodaten



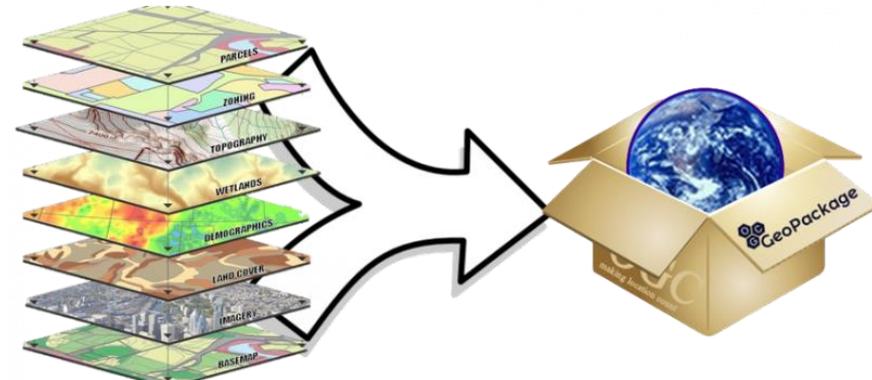
https://docs.qgis.org/3.4/de/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html#figure-vector-shoots

Vektorgeodaten Formate

- „Standard“ ESRI™ Shapefiles Die frühen 90er wollen ihr Format zurück weil:
 1. Max 2 Gbyte
 2. 3-10 Dateien je Vektorgeodatensatz
 3. Fließkommazahlen als String
 4. 10 Zeichen Attributnamen
 5. ≤ 255 Attribute
 6. $\leq 4D$ Geometrie (Vektoren in x,y,z,m Koordinaten)
- Tolle Alternativen wie
 - GeoJSON
 - Geopackage

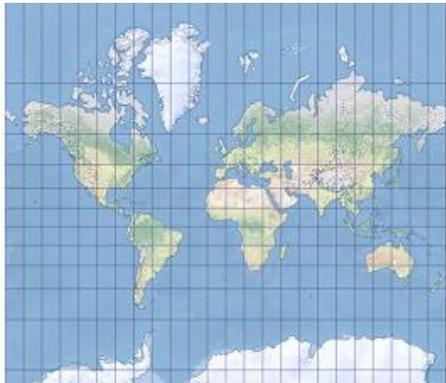
GEOJSON

```
{  
  "type": "Feature",  
  "geometry": {  
    "type": "Point",  
    "coordinates": [125.6, 10.1]  
  },  
  "properties": {  
    "name": "Dinagat Islands"  
  }  
}
```



Projektionen

- Verebnung der dreidimensionalen Erdgestalt auf eine Fläche verstehen wir als **Projektion**
- <https://www.youtube.com/watch?v=XRbZnZyiZRQ>



<https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/map/projections/mercator.htm>

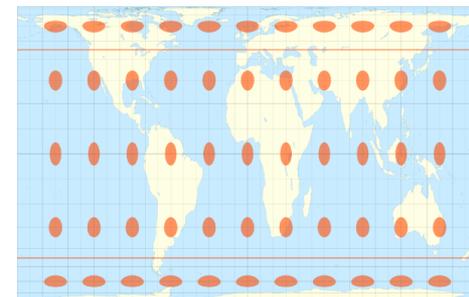
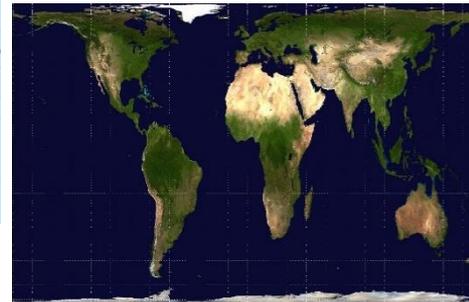


Winkeltreue Projektion (Mercator)



<https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/map/projections/behrmann.htm>

Flächentreue Behrmann Projektion



Peters Projektion
<http://bk.dgfk.net/2015/02/04/die-peters-projektion/> 21

Koordinatenbezugssysteme

■ Beispiel : **EPSG 25832** **514.829,222** **5.283.238,040**

- EPSG (*European Petroleum Survey Group*) entwickelte ein 4-5 stellige Schlüsselnummer für
- Koordinatenbezugssystem= **Geodätisches Datum + Projektion + Koordinatensystem**
- In **Deutschland** wird seit 1995 das **Universal Transvers Mercator System (UTM, auf Grundlage der transversalen Mercator-Projektion in Kombination mit einem kartesischen Koordinatensystem)** in den Zonen 32 und 33 Nord verwendet

EPSG:25832

ETRS89 / UTM zone 32N

Available transformations: Europe - onshore and offshore, accuracy 1.0 m, code 1149 (default) [grid]

Selected transformation: Method: Geocentric translations (geog2D domain), Information source: OGP, Revision date: 2017-07-14

Attributes: Unit: metre, Geodetic CRS: ETRS89, Datum: European Terrestrial Reference System 1989, Ellipsoid: GRS 1980, Prime meridian: Greenwich, Data source: OGP, Revision date: 2000-10-19

Remarks: The distinction in usage between ETRF89 and ETRS89 is confused: although in principle conceptually different in practice both are used as synonyms.

Area of use: Europe between 6°E and 12°E: Austria, Belgium, Denmark - onshore and offshore, Germany - onshore and offshore, Norway including - onshore and offshore, Spain - offshore.

Coordinate system: Cartesian 2D CS. Axes: easting, northing (E,N). Orientations: east, north. UoM: m.

Center coordinates: 677016.63 64911.69 04

Projected bounds: -1877994.66 3932281.56 836715.13 9440581.95

WGS84 bounds: -16.1 32.88 40.18 84.17

Europe - onshore and offshore: Albania, Andorra, Austria, Belgium, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czechia, Denmark, Estonia, Faroe Islands, Finland, France, Germany, Gibraltar, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Kosovo, Latvia.

Ein paar Beispiele für GIS aus der Grundwassermodellierung : Groundwater Vulnerability Mapping

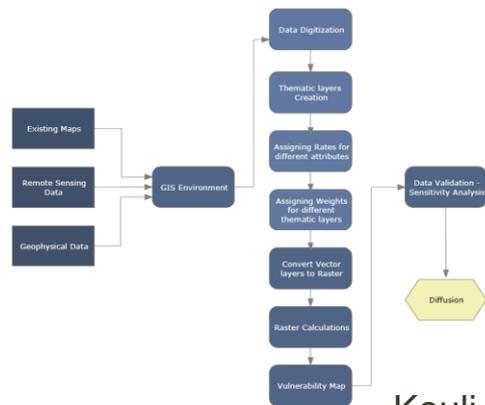
- Ziel: Erstellung von Karten zur Beschreibung der räumlichen (oder auch zeitlichen) Verteilung der Aquifervulnerabilität
- Simpelster Ansatz: Indexmethoden wie DRASTIC

$$DRASTIC = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

Table 1. Description of the DRASTIC model parameters (Babiker et al. 2005).

FACTOR	DESCRIPTION	RELATIVE WEIGHT	DATA SOURCES	DATA TYPE
Depth to water	Depth to the water table. Deeper water table levels imply lesser chance for contamination occurrences.	5	Borehole Data	Point Data
Recharge	Water which penetrates the ground surface and reaches the water table. Recharge represents also the vehicle for transporting pollutants.	4	Mean Annual Rainfall	Point Data
Aquifer media	Properties of the saturated zone material which controls the pollutant attenuation processes.	3	Geological Maps	Polygon Data
Soil media	The upper weathered portion of the unsaturated zone which controls the amount of recharge that can infiltrate.	2	Soil Maps	Polygon Data
Topography	The slope of the land surface. Dictate whether the runoff will remain on the surface to allow contaminant percolation.	1	Topographic Maps	Polyline Data (Contours) -> Digital Elevation Model
Impact of vadose zone	Unsaturated zone material. Control the passage and attenuation of the contaminants.	5	Geological/Soil Maps	Polygon Data
Hydraulic Conductivity	The ability of the aquifer to transmit water and contaminants material within the aquifer.	3	Hydraulic Conductivity	Point Data

(2).



Kouli et al, 2008

Figure 2. Flow chart of the main processing steps of GVM.

Groundwater Vulnerability Mapping

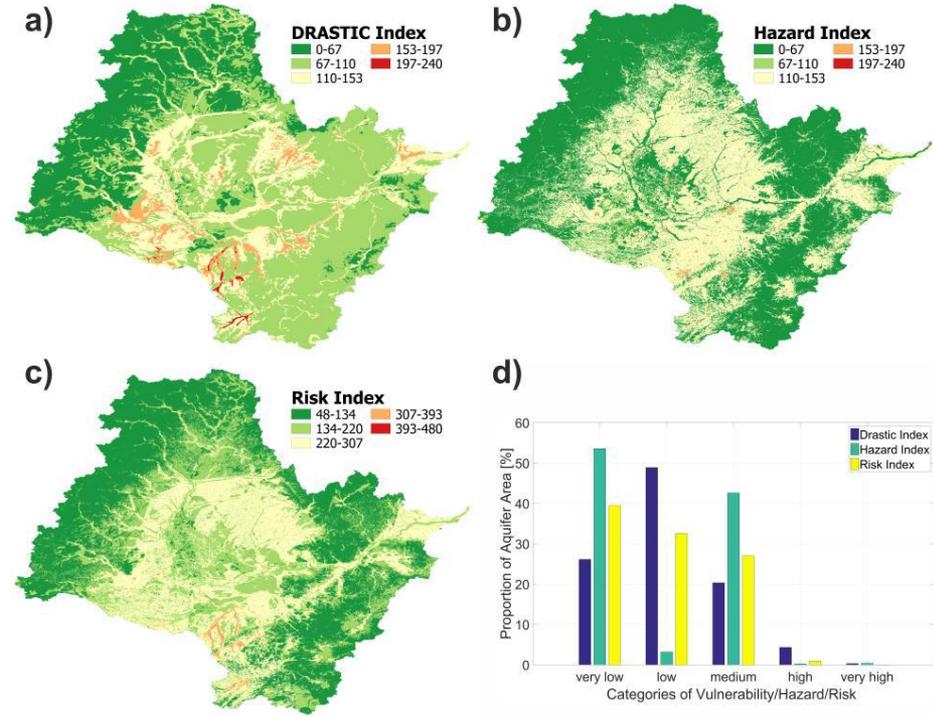
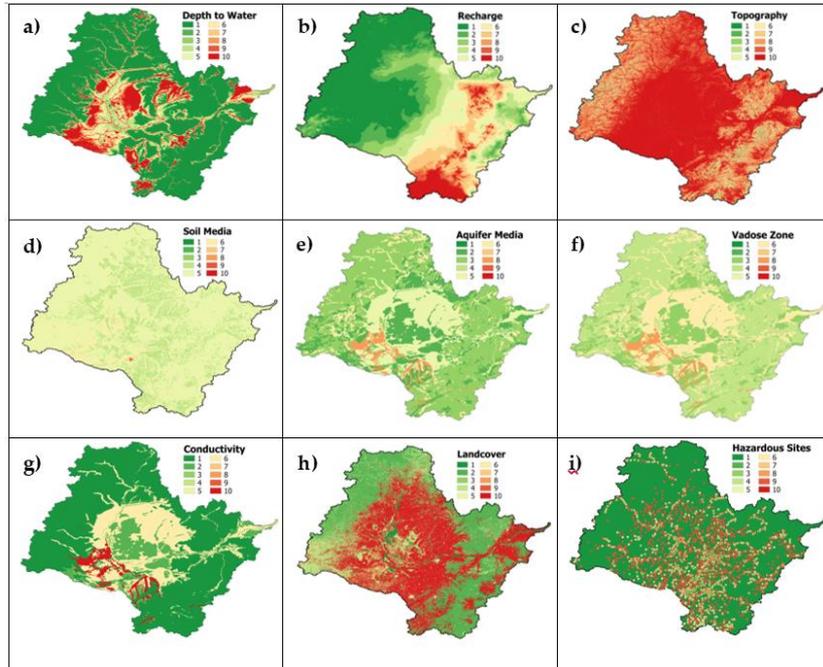


Figure 5: Selected rating maps used for DRASTIC (Fig.3 a-g) and Hazard index (Fig. 3 h-i) computation in Songhua River Basin. High and low ratings are visualized by red and green color, respectively. The ratings of the point hazardous sites are shown as vector points.

GIS as Groundwater Modelling Preprocessing Tool

- GIS Systeme können hilfreich für die Prä- und Postprozessierung von Grundwassersimulationen sein

http://www.freewat.eu/sites/default/files/FREEWAT_vol0.pdf

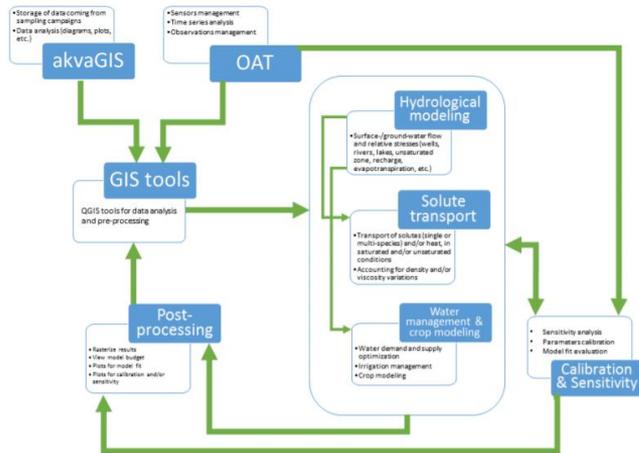


Figure 1.3 - Interconnection among FREEWAT tools and modules.

FREEWAT ~ QGIS +MODFLOW

https://www.researchgate.net/publication/237502497_ARC_HYDRO_GROUNDWATER_DATA_MODEL

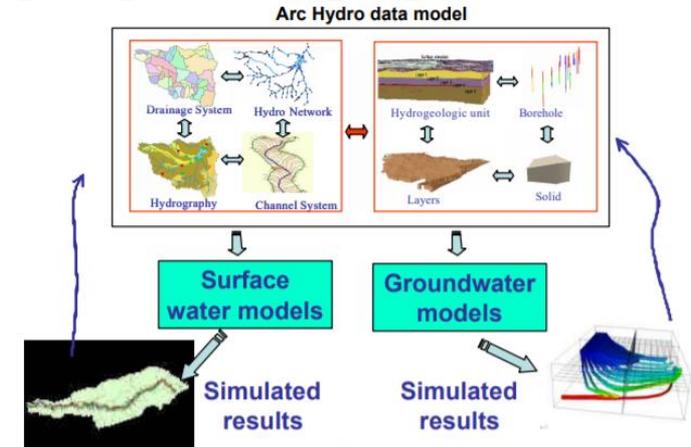
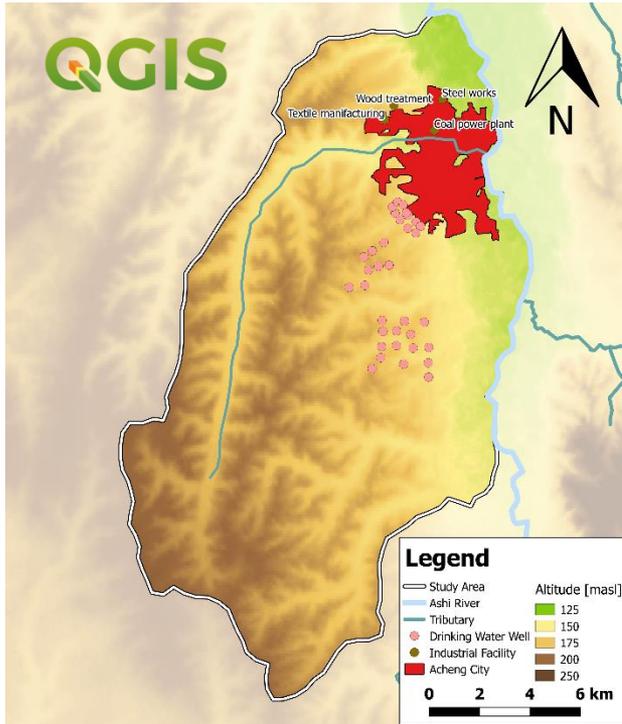


Figure 6. Integration of models using the data model structure

AHGW ~ ArcGIS +MODFLOW

GIS as Groundwater Modelling Preprocessing Tool

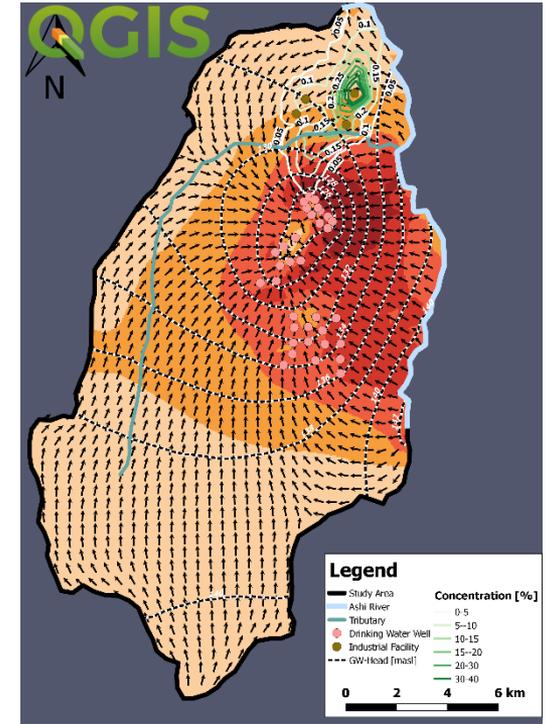


Präprozessierung

```
5 * Copyright
6 * Copyright (c) 2013, OpenGeoSys Community (http://www.opengeosys.org)
7 * Distributed under a Modified BSD License.
8 * See accompanying file LICENSE.txt or
9 * http://www.opengeosys.org/project/license
10
11 #ifndef SHAPEQUAD_H_
12 #define SHAPEQUAD_H_
13
14 namespace NumLib
15 {
16
17 class
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28 * Shape function for a quadrilateral element of four nodes in natural coordinates
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
```

OpenGeoSys

OPEN-SOURCE MULTI-PHYSICS



Visualisierung

- QGIS (einst Quantum GIS) ist ein **plattformübergreifendes, freies geografisches Informationssystem (GIS)**
- **Freie Software (GNU Lizenz) geschrieben in C++**
- Einbindung von Funktionalität aus anderen freier Programme und Bibliotheken einbindet (GRASS, SAGA, GvSIG, GDAL, ...).
- QGIS wird seit 2002 kontinuierlich weiter entwickelt. Seit Version 2.0 (September 2013) wird QGIS immer in jeweils **3 laufenden Versionen** angeboten:

Bezeichnung	Zielgruppe	Turnus	Aktuell
Long Time Release (LTR)	Unternehmen, Behörden und Einrichtungen	jährlich im Oktober	3.16.x „Hannover“
Latest Release (LR)	Anwender mit Bedürfnis nach den neusten Funktionen	Quartalsweise	3.18.x „Zürich“
Master oder Development Version	Entwickler, Tester und extrem ungeduldige Anwender	Nächtlich	3.19



QGIS Warum QGIS

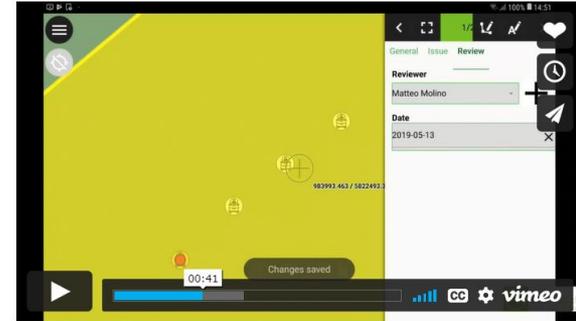
- 1. QGIS ist kostenlos
- 2. QGIS ist plattformübergreifend
- 3. Einsteigerfreundliche GUI
- 3. Die Nutzung von Open-Source-GIS nimmt zu
- 4. Jede Menge QGIS-Support und Tutorials
- 5. Reichlich Erweiterungen
- 6. Python-Unterstützung

Wir werden es viel anwenden!

QField - your mobile [Q]GIS solution

QField allows you to efficiently work on your GIS data outdoor.

QField's optimized user interface for hides the full power of QGIS under the hood.



Job Trends from Indeed.com

