



Vorlesung: Hydrosystemmodellierung

Hydrologische Modellierung (im humiden + ariden Raum)



Agnes Sachse^{1, 2}

Dresden, 16.05.2014

¹Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Department of Environmental Informatics, Leipzig
² TU Dresden, Applied Environmental System Analysis, Dresden



Vergangene Veranstaltung

Fragen?

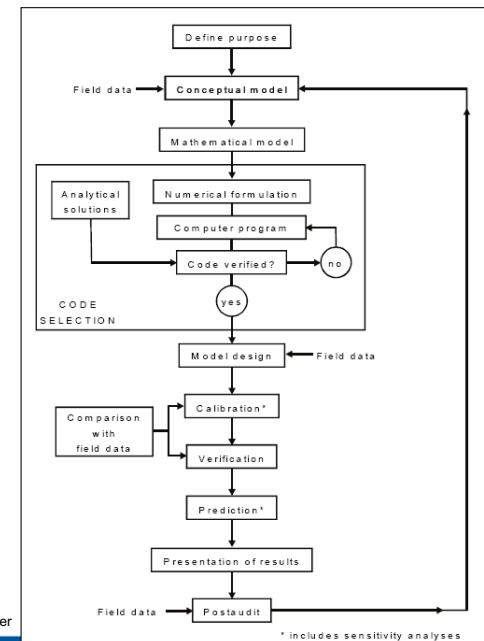
Hydrologische Modellierung im humiden Raum

- wissenschaftliche Fragestellungen + Kurzvorstellung von Fallstudien
- Modellklassifikationen
- Modellsoftware
- **Arbeitsplan der hydrologischen Modellierung:**
 - Problemanalyse
 - Datenerhebung
 - Konzeptionelles Modell
 - Modellaufbau/-prüfung
 - Modellanwendung
 - Modellpflege

Ammer-Einzugsgebiet

Arbeitsplan der (hydrologischen) Modellierung

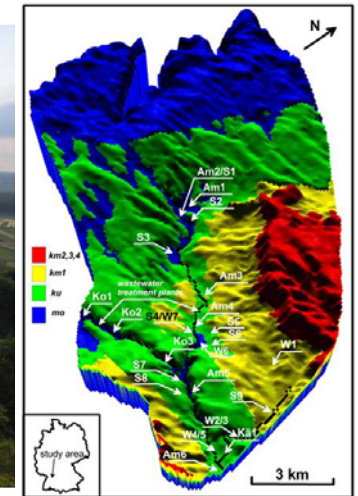
- 1) Problemanalyse
- 2) Datenerhebung
- 3) Konzeptionelles Modell
- 4) Modellaufbau/-prüfung
- 5) Modellanwendung
- 6) Modellpflege



Quelle: M. Walther

Exkurs: Fallbeispiel Ammer-Einzugsgebiet

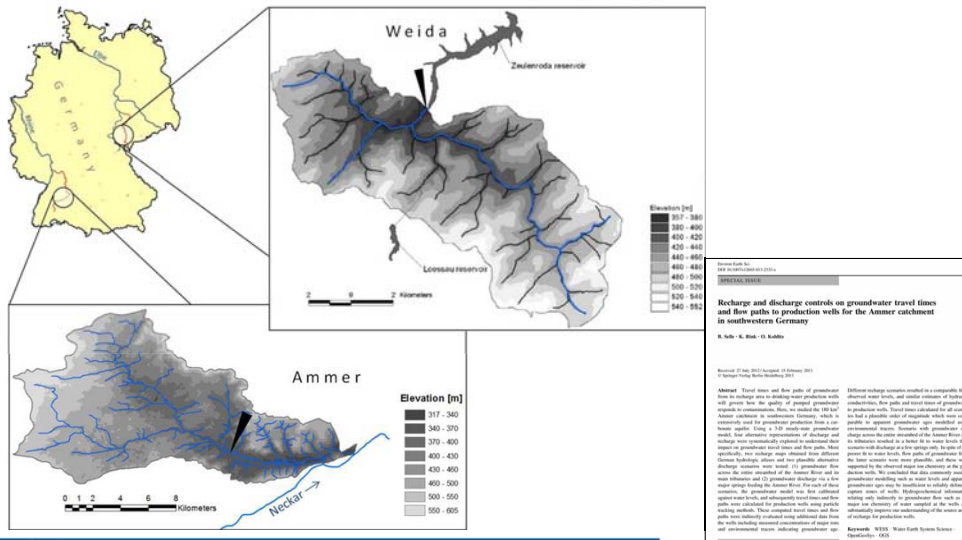
Ammer-Einzugsgebiet



Quelle: B.Selle

Recharge and discharge controls on groundwater travel times and flow paths to production wells for the Ammer catchment in southwestern Germany

Selle et al., 2013



Geologie

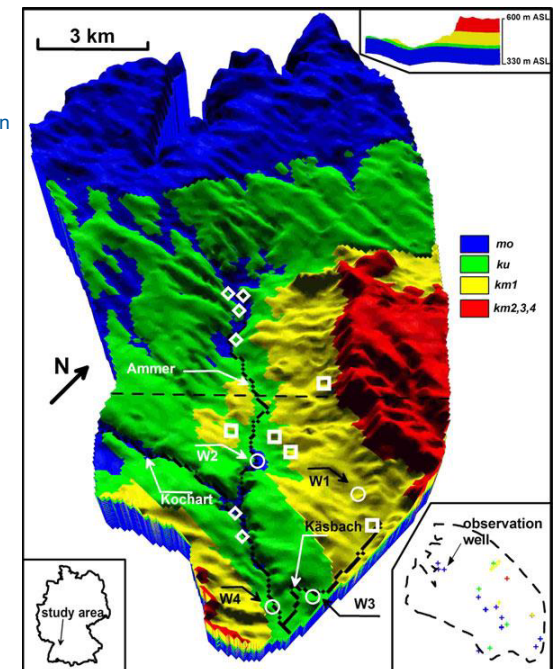
3-D Ansicht des Ammer-Einzugsgebietes mit den Flüssen Ammer, Kochart und Käsbach

- Gipskeuper-Quellen (Quadrat) und Obere Muschelkalk-Quellen (Trapez)
- Trinkwasserquellen (Kreise W1, 2, 3, 4).

Hydrogeologische Einheiten:

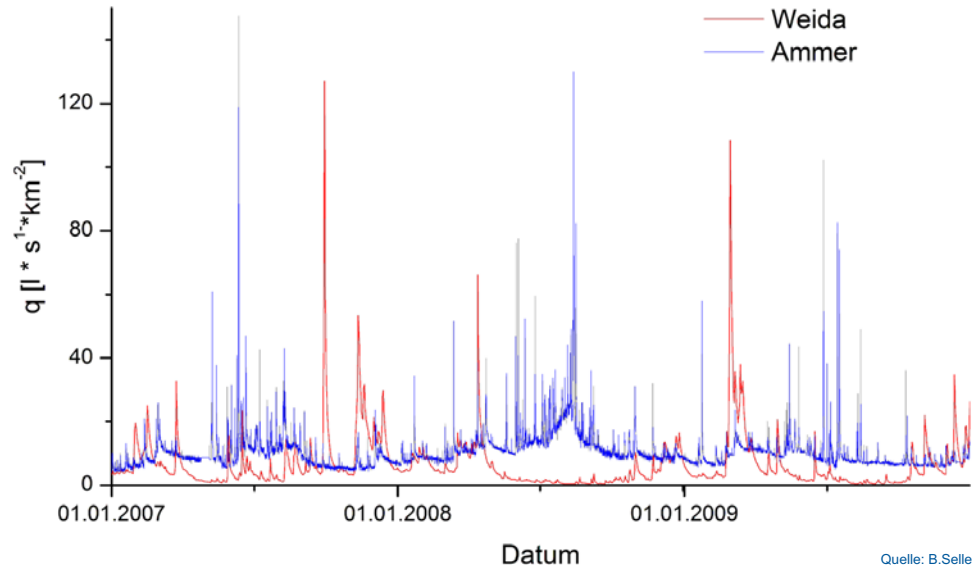
- Oberer Muschelkalk (mo)
- Gipskeuper (km1)
- Lettenkeuper (ku)
- Schilfsandstein (km2)
- Bunte Mergel (km3)
- Stubensandstein (km4)

kleine Karte: Observationsbrunnen zur Kalibrierung



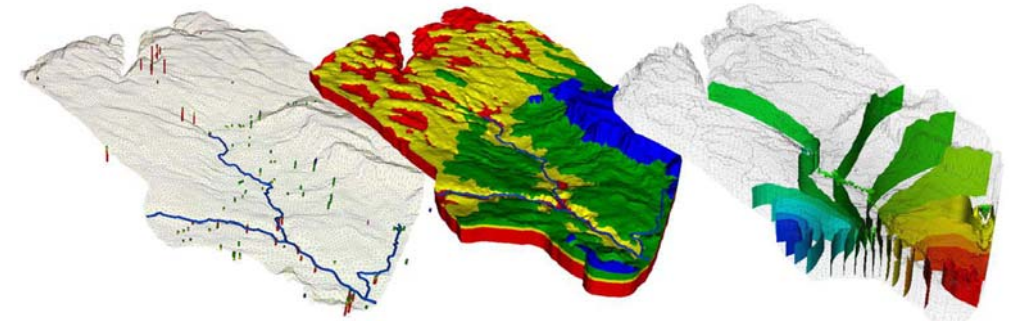
Quelle: B.Selle

kontinuierlicher Abfluss



Step by step Modellierung

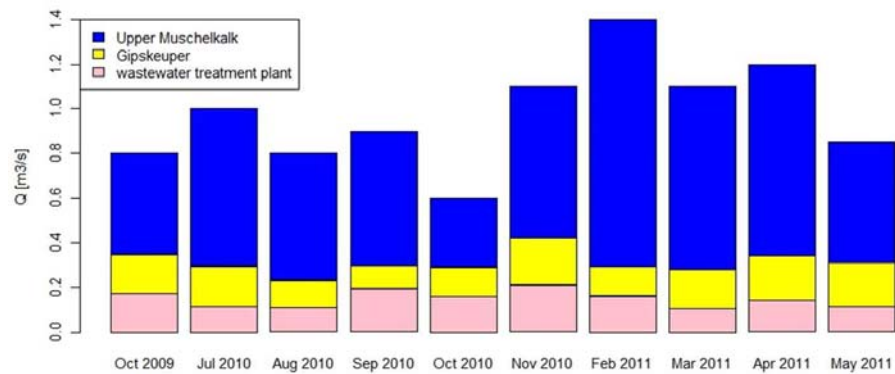
- Datenaufbereitung: z.B. im Geoinformationssystem (GIS)
→ kurze Einführung in ArcGis
- Fallbeispiel



Quelle: K. Rink

Herkunft des Grundwasserausflusses am Gebietsauslass

End Member Mixing Analysis (EMMA): Gebietsauslass



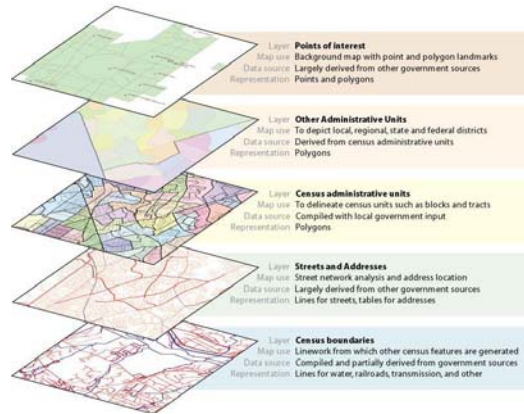
Quelle: B.Selle

Datenaufbereitung mit Geo-Informationssystemen (GIS)

- GIS
- Funktionen im ArcGIS
- Hydrologische Analyse mit ArcGIS

Was ist ein Geographisches Informations-System?

- Software zum Erstellen, Editieren, Organisieren, Analysieren und Visualisieren räumlicher Daten und Informationen
- Unterschied zu CAD: räumliche Daten enthalten nicht nur Geometrieinformationen sondern auch Attribute

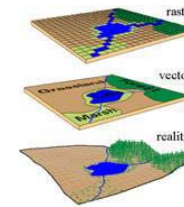


Source: esri.com

Feature- und Raster-Daten

Raster-Daten

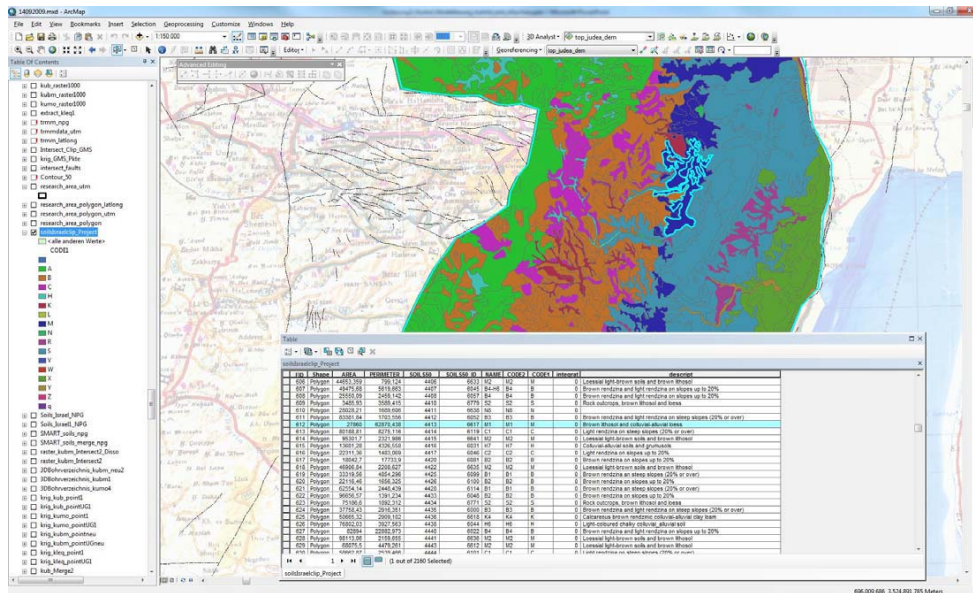
- Daten werden in Zellen- bzw. Pixelformat dargestellt
- jede Zelle bzw. Pixel enthält:
 - reales Merkmal, oder ein Teil davon
 - oder eine räumlich verteilte Menge (z.B. Niederschlag, Temperatur, Höhe)
- im Vergleich zu Vektordaten: Rasterdaten sind nicht geeignet räumlich diskrete Merkmale darzustellen
- Verwendung von Rasterdaten
 - Oberflächengeländemodell (DEM)



Verwendung von Raster- und Vektordaten zum Abbilden realer Objekte

(Streit, 2000)

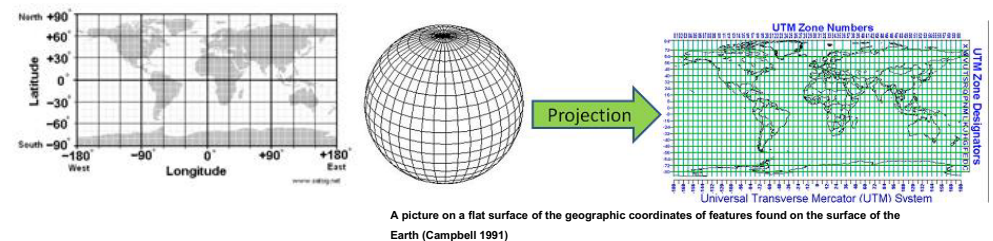
Feature- und Raster-Daten

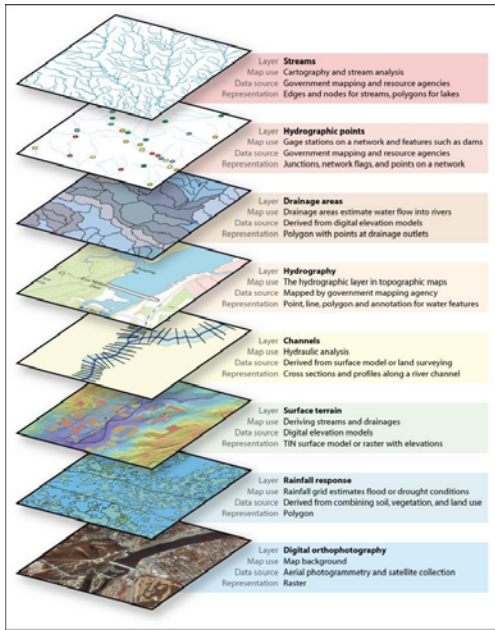


Projectionen und Koordinatensysteme

→ wichtig: korrekte Zuweisung von Koordinatensystemen und Projektionen für alle GIS-Daten
 Koordinaten können dargestellt werden:

- Breiten- und Längengrade → globales Referenzsystem
- projizierte Koordinaten → Projektionssystem
 - Referenz-Sphäroid
 - Projektionssystem Transverse Mercator = Gauss Krüger)





Lets start using ArcGIS

Räumliche analyse: Hydrology Tool

- Grenzen des Einzugsgebietes berechnen: Grundlage: DEM
- GIS-Software enthalten Routinen: z.B. Hydrology Tool

Workflow:

Watershed Delineation

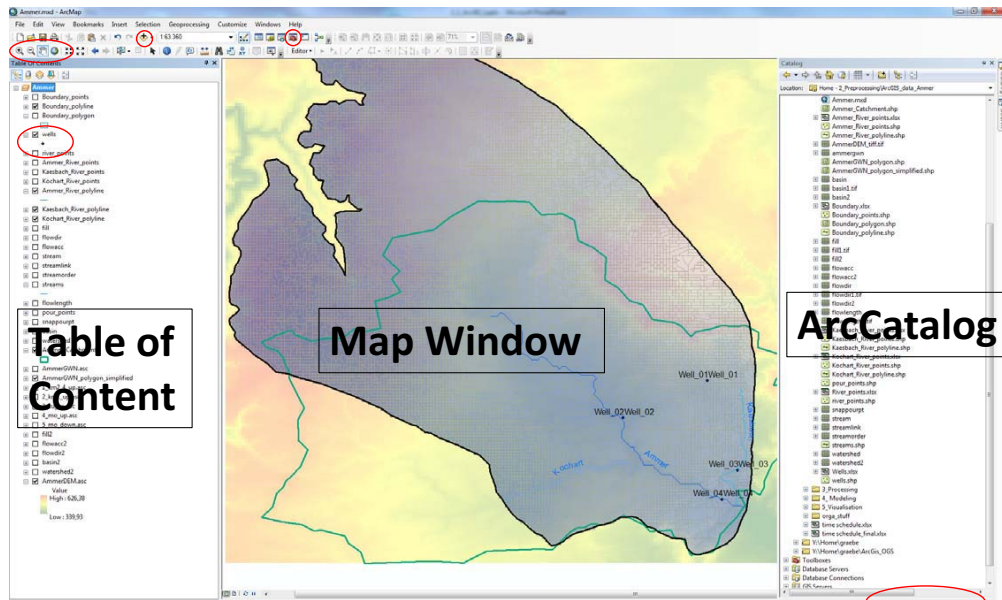
- Creating a depressionless DEM
- Flow direction
- Flow accumulation
- Watershed outlet points
- Delineating watersheds

Automatically delineating watersheds

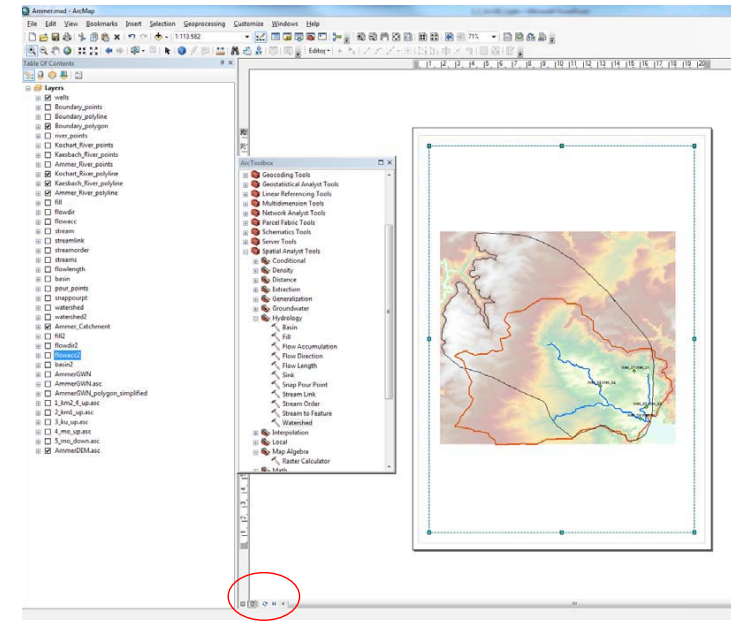
Calculating flow length



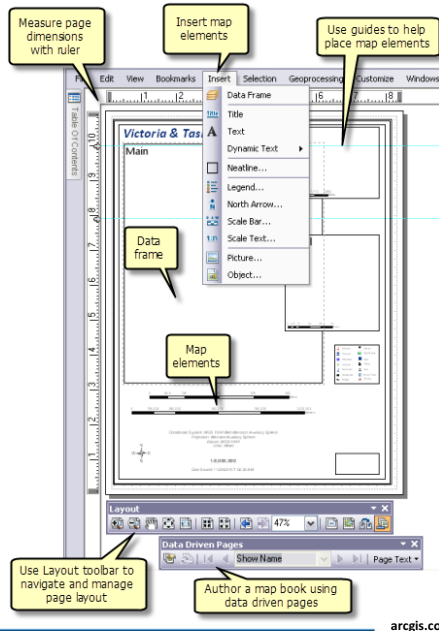
First impression of ArcGIS



Kartenlayout



Kartenlayout



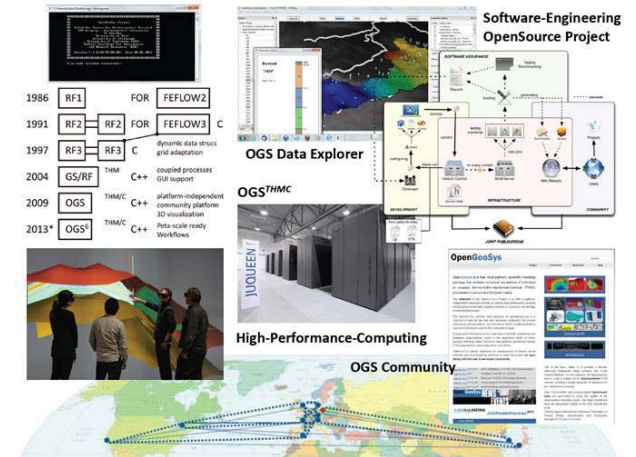
arcgis.com

Fallbeispiel – Hydrogeologisches Modell, umgesetzt im OpenGeosys

Software: OpenGeoSys

OpenGeoSys (OGS)

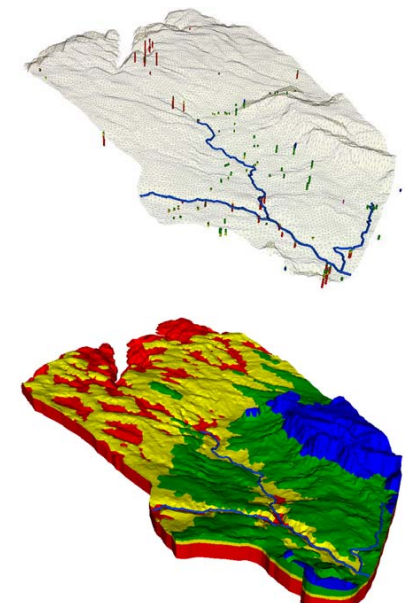
- wiss. Open Source Software Projekt zur Entwicklung numerischer Methoden für die Simulation von thermo-hydro-mechanisch-chemische (THMC) Prozesse in porösen Medien
- in C++
- objekt-orientiert, mit Fokus auf numerische Lösungen von gekoppelten multi-physikalischen Problemen
- Anwendungsgebiete: CO₂-Speicherung, geothermale Energie, Wasserbewirtschaftung, Hydrologie, Abfallmanagement



Kolditz, 2013

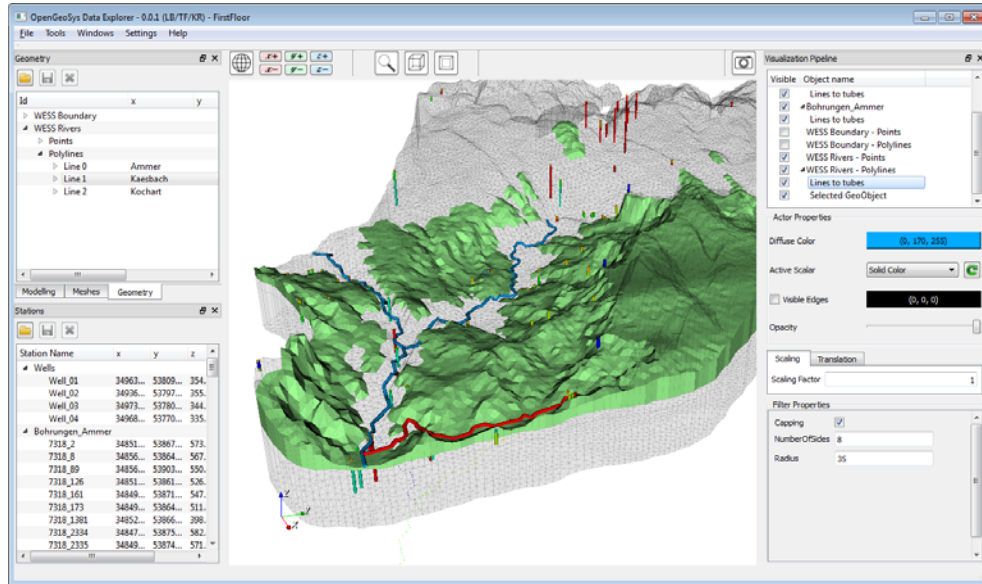
Fallbeispiel: Ammer Einzugsgebiet

- **Eingangsdaten:**
 - Modellgrenze
 - Flussnetzwerk
 - Bohrdaten
 - Grundwasserbohrungen
 - Digitales Geländemodell
 - Raster der hydrogeologischen Layer
 - Grundwasserneubildungsverteilung



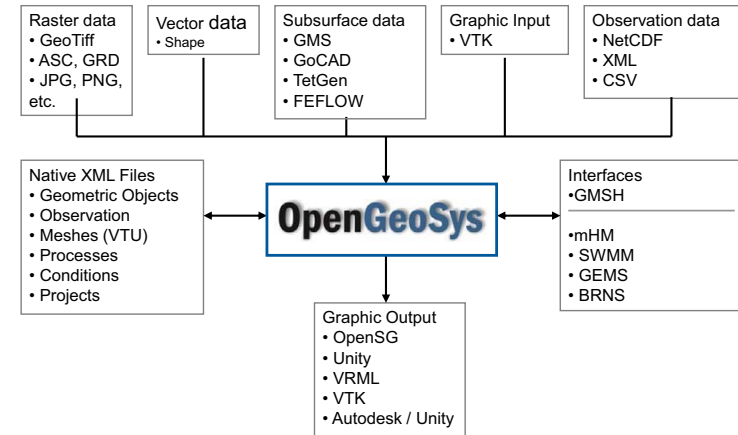
Quelle: K. Rink et al.

OGS Data Explorer



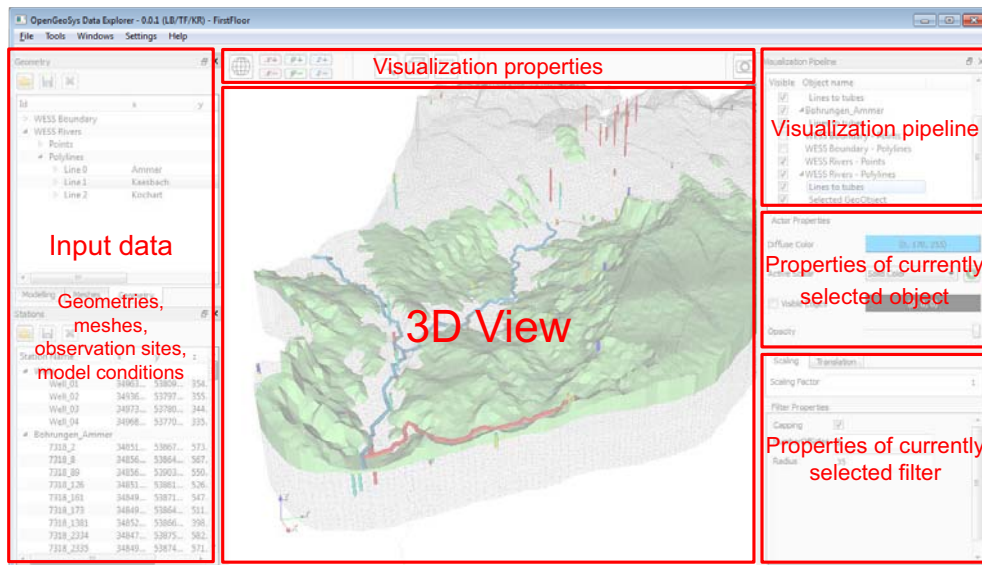
Quelle: K. Rink et al.

Unterstützte Datei-Formate



Quelle: K. Rink et al.

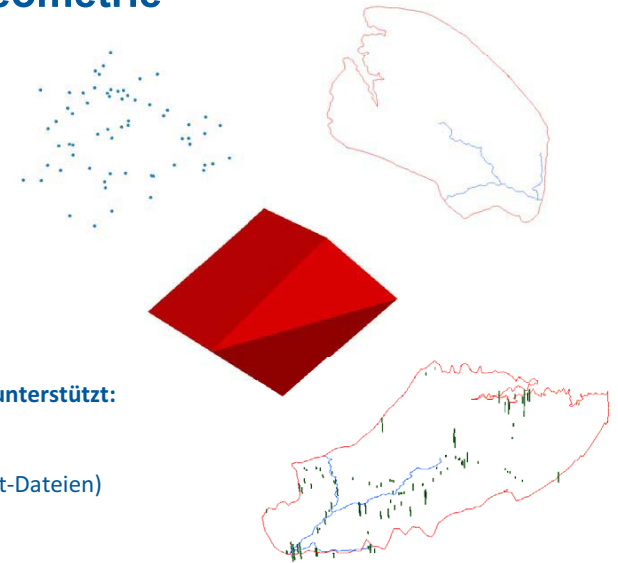
Graphische Oberfläche



Quelle: K. Rink et al.

Vektordaten / Geometrie

- **Datentypen:**
 - Punkte
 - Polylinien
 - Oberflächen



- **folgende Formate werden unterstützt:**
 - ESRI Shapefiles
 - GMS Bohrlochdaten (txt-Dateien)
 - Petrel Bohrlochdaten

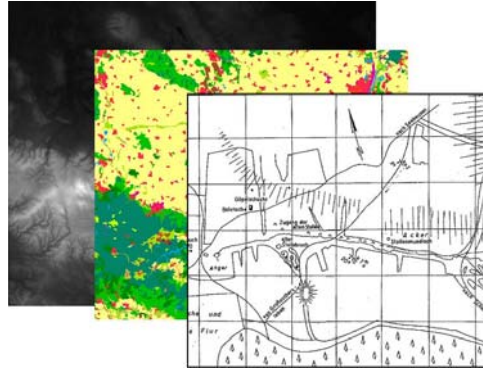
Quelle: K. Rink et al.

Rasterdaten

- **Datentypen:**
 - Fernerkundungsdaten (z.B. digitale Geländemodelle)
 - statistische Daten (z.B. Landnutzung, Bodenfeuchte, etc.)
 - Karten

- **folgende Formate werden unterstützt:**

- ESRI ASCII, Surfer Grids
- GeoTIFF
- NetCDF
- BMP, JPEG, PNG, TIFF



Quelle: K. Rink et al.

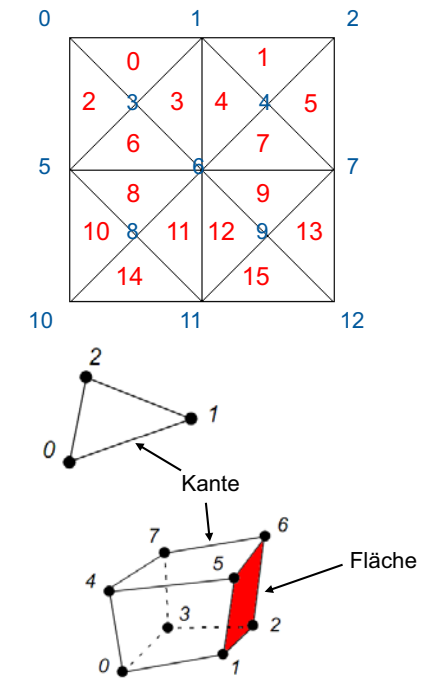
Mesh-Struktur im OGS

- **Knoten**
 - Knoten ID + Koordinaten
- **Elemente**
 - Element ID + Typ + Knoten IDs

ASCII File Content

#Nodes			
0	0.0	0.0	0.0
1	0.5	0.0	0.0
2	1.0	0.0	0.0
.	.	.	.
.	.	.	.
12	1.0	1.0	0.0

#Elements				
0	tri	0	3	1
1	tri	1	4	2
.
.
15	tri	11	12	9



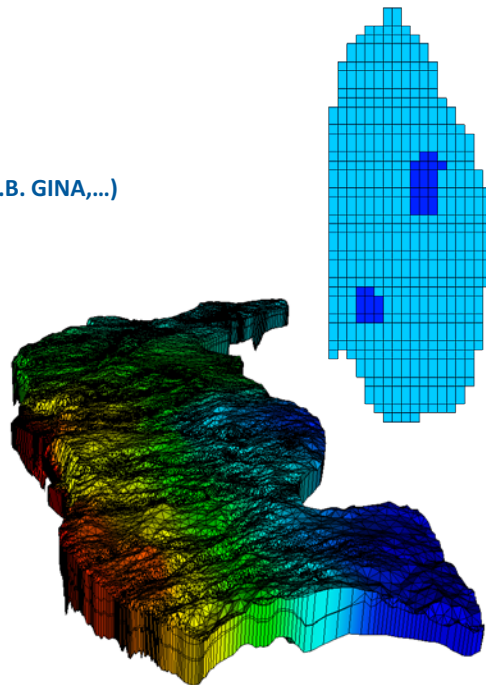
Quelle: K. Rink et al.

Mesh-Daten

- Mesh-Import durch andere Software (z.B. GINA,...)
- Simulationsergebnisse

- **folgende Formate werden unterstützt :**

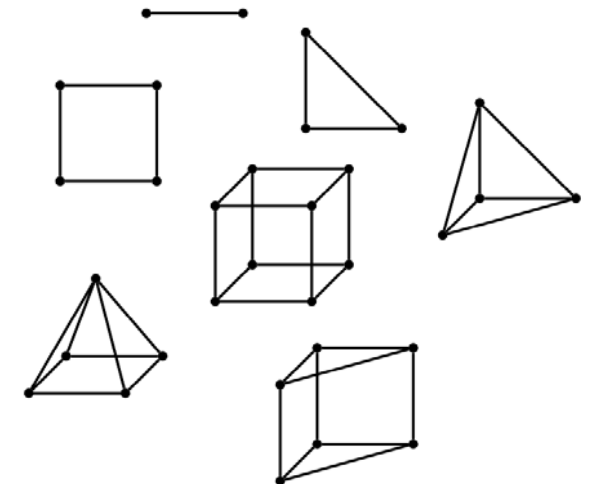
- FEFLOW
- GMS
- GMSH
- TetGen
- VTK



Quelle: K. Rink et al.

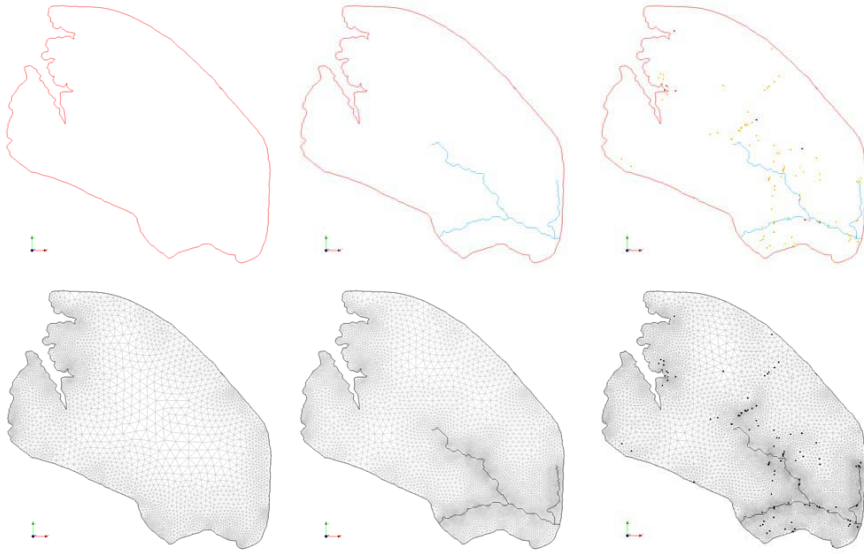
unterstützte Elementtypen in OGS

- Linie
- Dreieck
- Viereck
- Tetraeder
- Hexaeder
- Pyramide
- Prisma



Quelle: K. Rink et al.

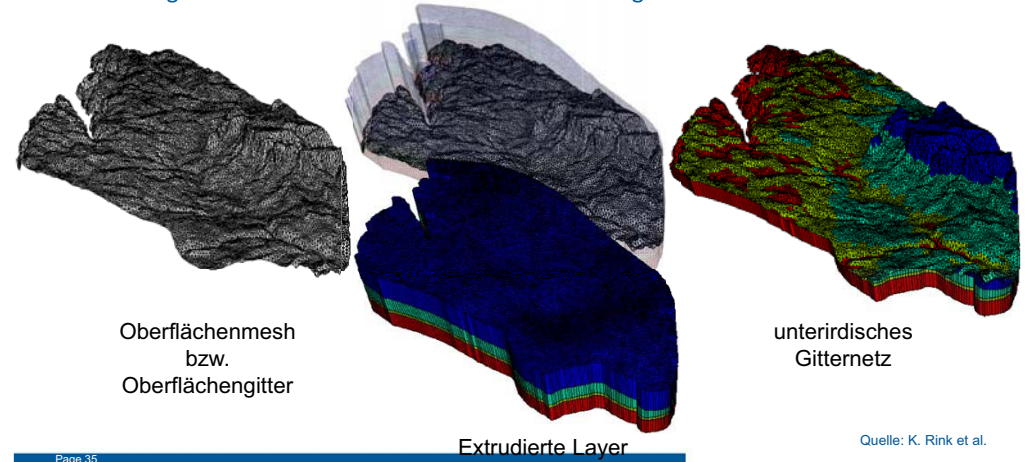
Hinzufügen von Vektordaten zur 2D-Mesh-Generierung



Quelle: K. Rink et al.

3D Mesh-Generierung

- 2D Mesh wird extrudiert (erweitert), d.h. die gewünschten Anzahl von Schichten wird unter Verwendung von Hexaedern oder Prismenelementen hinzugefügt
- Schichtgrenzen werden auf Basis von Rasterdaten zugeordnet



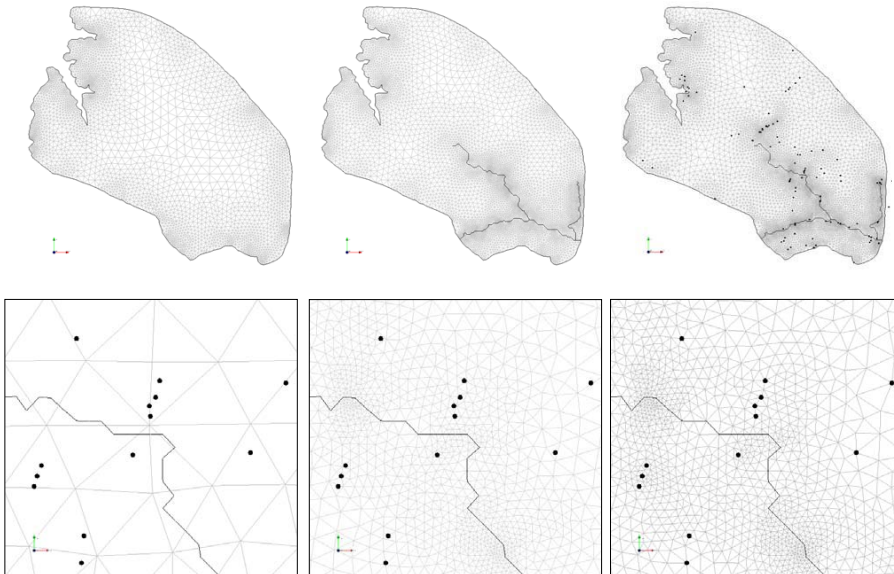
Oberflächenmesh
bzw.
Oberflächengitter

unterirdisches
Gitternetz

Extrudierte Layer

Quelle: K. Rink et al.

Hinzufügen von Vektordaten zur 2D-Mesh-Generierung



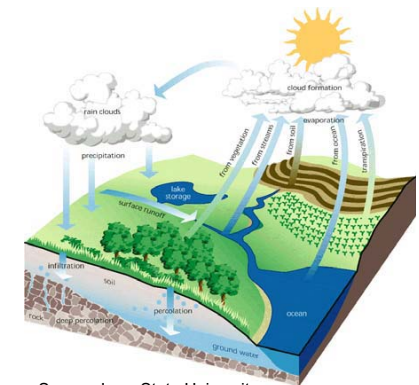
Quelle: K. Rink et al.

Randbedingungen / Initiale Randbedingungen

- Randbedingungen müssen festgelegt sein, um die PDE lösen zu können
- = Einflussfaktoren von außerhalb der Modellgrenze

- Niederschlag
- Abfluss
- Druck
- ...

- wird angewendet auf
 - Mesh-Knoten
 - geometrische Objekte



Source: Iowa State University

Randbedingungen

- **direkt auf Mesh-Knoten (Zugriff via Knoten-ID)**
 - + schnell während der Simulation
 - aufwendig zu berechnen
 - muss angepasst werden, wenn sich das Mesh ändert
- **direkt auf Objekte (Zugriff via eindeutigen Namen)**
 - langsamer in der Simulation (verbundene Netzknoten müssen gefunden werden)
 - + einfach anzuwenden
 - + muss normalerweise nicht angepasst werden, wenn sich das Mesh ändert

Quelle: K. Rink et al.

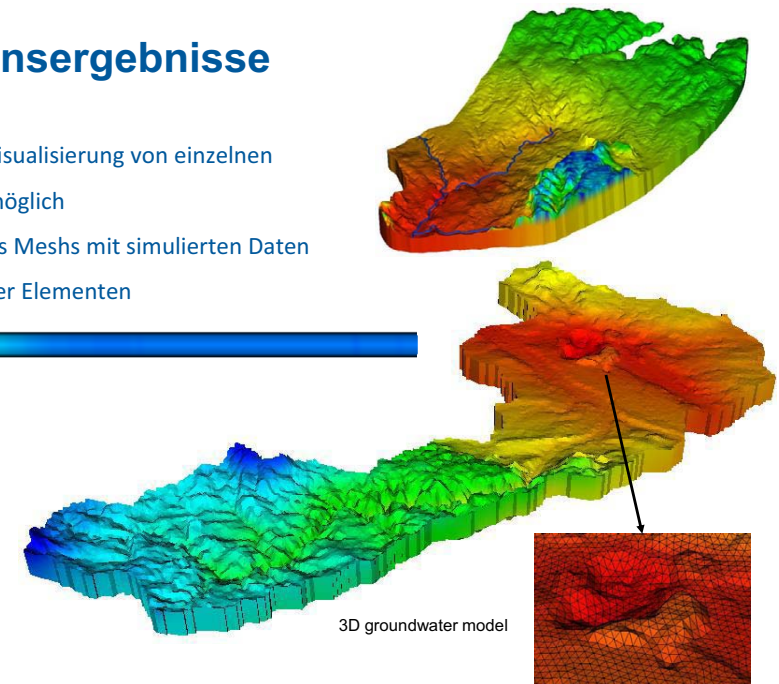
Page 37

Simulationsergebnisse

- (derzeit) nur Visualisierung von einzelnen Zeitschritten möglich
- Darstellung des Meshs mit simulierten Daten auf Knoten oder Elementen



1D test example

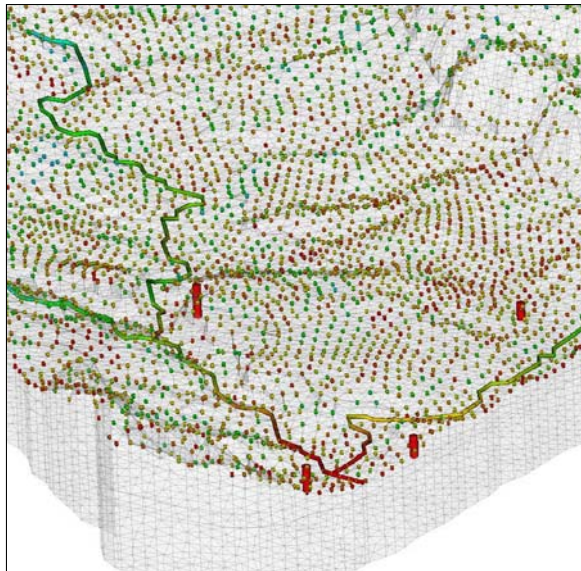


3D ground water model

Quelle: K. Rink et al.

Page 39

Visualisierung der Randbedingungen



Quelle: K. Rink et al.

Page 38

Mehr zu OpenGeoSys.....

OpenGeoSys

Home News Project Community Resources Help

OpenGeoSys is a free, multi-platform, scientific modeling package that enables numerical simulations of individual or coupled thermo-hydro-mechanical-chemical (THMC) processes in porous and fractured media.

OpenGeoSys Training Course
Computational Hydrology & Geo-Reservoirs

Symposium & OpenGeoSys Training Course
Numerical Simulation of Geo-Reservoirs

NEW

www.opengeosys.org and <https://svn.ufz.de/ogs>

bzw. im Vislab (UFZ Leipzig) zur Exkursion im Juli 2014

Page 40

verwendete Literatur

u.a.

- Nemec, 1993: Groundwater modeling
- M. Walther + T. Reimann: Ü Grundwasserbewirtschaftung "Hydrogeologische Modellierung, TU Dresden
- "An Overview on Current Free and Open Source Desktop GIS Developments - Steiniger and Bocher". Retrieved 2011-Aug-05.
- Prof. Dr.-Ing. Manfred W. Ostrowski: V Ingenieurhydrologie I, TU Darmstadt
- K. Rink + L. Bilke: OGS Data Explorer

Hydrologische Modellierung im ariden Raum

Management von Wasser-Ressourcen in hydrologisch sensitiven Regionen:

- Charakterisierung arider Gebiete
- Israel / Palästina
- Saudi Arabien
- Oman

Regional groundwater flow model of the Western Dead Sea Escarpment (SUMAR-Project)

Scientific Question:

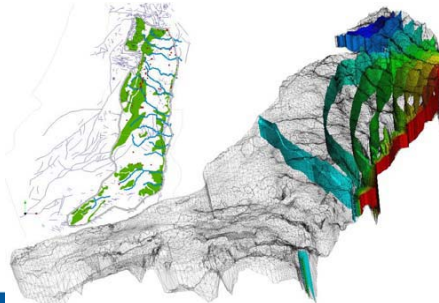
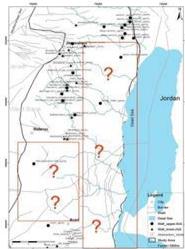
The cretaceous aquifer system is the only fresh water resource in the arid catchment of the Western Dead sea escarpment. Unsustainable water management led to an overexploitation of the aquifer and to an enormous decrease of the water level of the Dead sea. The aim of the modeling was the quantification of the water balance parameters and the current groundwater recharge.

Method:

hydrological model to calculate water balance (J2000g) and three-dimensional groundwater flow (OGS) model to simulate groundwater recharge scenarios

Result:

Contamination concentrates on the quaternary channels, which are also preferred outflow tracks and reinforce the contamination inflow in the tertiary aquifer



Aridität

= Ausdruck zur Kennzeichnung der Trockenheit eines Gebietes:

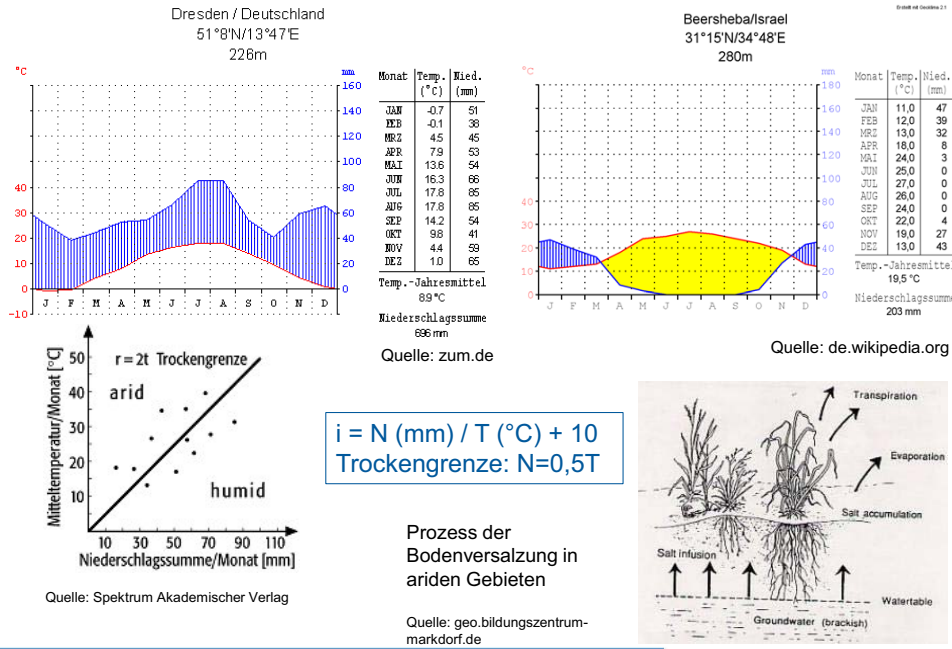
jährlich potentielle Verdunstung > Jahresniederschlag

lateinisch „aridus“ = trocken, dürr

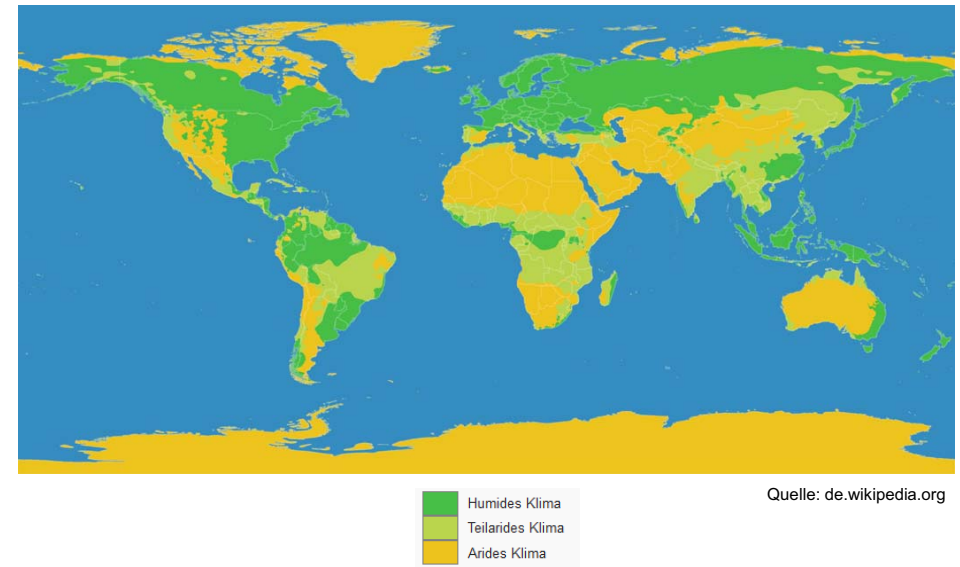
- vollarides Klima: Niederschlag < Verdunstung gilt für 10-12 Monate im Jahr
- semiarides Klima: Niederschlag < Verdunstung gilt für 6-9 Monate im Jahr
- humides Klima: im Jahresmittel Niederschlag > Verdunstung

Klimaindize: = Ariditätsfaktor

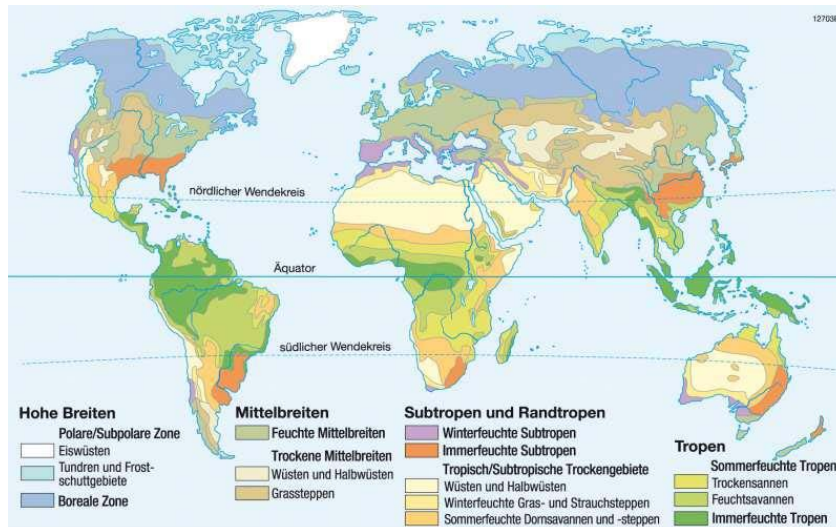
Vergleich: humid vs. arid



Klimate der Erde (nach ihrer Humidität)



Ökozonale Gliederung



Ökozonale Gliederung nach J. Schultz) diercke.de

Auswirkung der Aridität

Zentrale Kerne sind $\Sigma P < 150 \text{ mm/a}$; $\Sigma ET_{pot} \gg \Sigma P$

Merkmal:

- Oberflächengewässer (Seen, Sabkhas, Fleys): abflusslos, zumeist salinar
- Flüsse: ausschliesslich ephemeral



Wirkung:

- keine langfristige oberflächliche Speicherung von Wasser (möglich),
- Verlust von Wasser durch Versalzung



Auswirkung der Aridität

Zentrale Kerne sind $\Sigma P < 150 \text{ mm/a}$; $\Sigma ET_{pot} \gg \Sigma P$

Merkmal:

- Verwitterung physikalisch \gg chemisch
- ET_{pot} sehr groß
- geringe Vegetationsbedeckung



Quelle: C. Siebert

Wirkung:

- kaum Bodenbildung (vermind. B-Horizont,
- geringe Mineralsierung von Organik – Humusbildung)
- Versalzung der Substrate

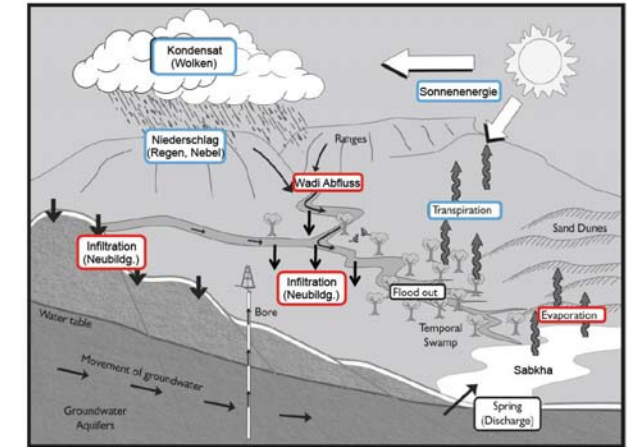


Quelle: israel-tourguide.info

Charakterisierung des ariden Wasserkreislaufs

$$N = Q + ET \pm \Delta S$$

- geringe aber intensive Niederschläge
- hohe Temperaturen (Evapotranspiration)
- Vegetationsarmut
- geringe Bodenbildung
- kaum Oberflächenspeicher
- Grundwasser die einzige (quantitative) Wasserressource



nach CSIRO 2003

Auswirkung der Aridität

Zentrale Kerne sind $\Sigma P < 150 \text{ mm/a}$; $\Sigma ET_{pot} \gg \Sigma P$

Merkmal:

- Niederschläge kurz, zumeist intensiv
- Trockenzeit begleitet von T-peak (heißarid)



Tröpfchenbewässerung

Wirkung:

- starke Erosion (äolisch, flash-floods)
- Kurze Vegetationsperiode
- Bewässerungswirtschaft – Versalzung



Quelle: kkl.org.il

Wasserressourcen Management arider Gebiet

Kenntnis aller Komponenten des Wasserhaushaltes nötig

$$N = Q + ET + \Delta S$$

Niederschlag N Abfluss Q Evapotranspiration ET Speicheränderung ΔS

Methoden zur Abschätzung der Grundwasserneubildung im humiden Raum

- direkte Grundwasserneubildung (vertikale Infiltration von Niederschlag)
- Grundwasserneubildung ist generell abhängig von folgenden Faktoren:
 - klimabedingte Faktoren (Niederschlag, Evapotranspiration)
 - bodenbürtige Faktoren (Infiltrationsvermögen, Wassergehalt, nutzbare Feldkapazität, Grundwasserflurabstand)
 - Landnutzung (Nutzungsart und -form, Versiegelungsgrad)

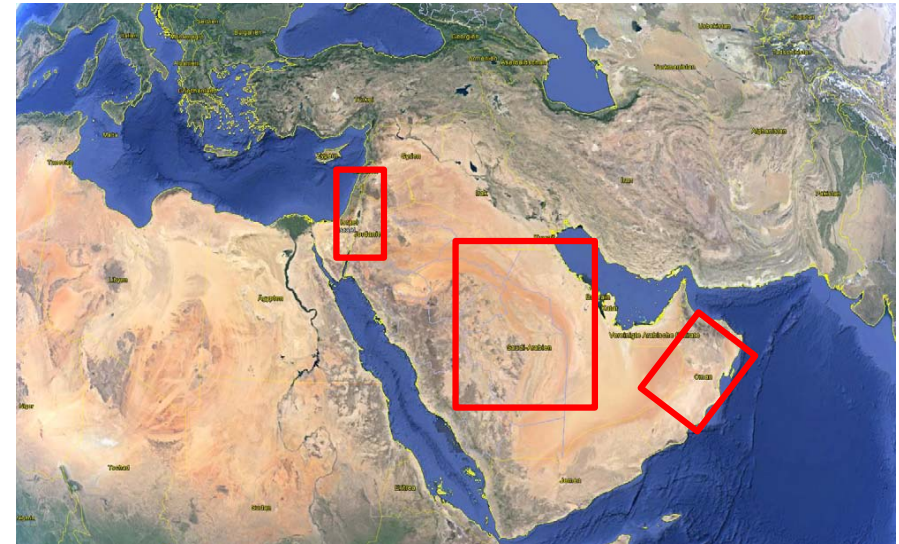
→ nennenswerte Grundwasserneubildung: Oktober - März

Methoden:

typ. Berechnungsverfahren in Deutschland:

- Verfahren nach RENGIER & WESSOLEK: Differenz zwischen Niederschlag und realer Verdunstung entspricht der Grundwasserneubildung
- Verfahren nach BAGROV-GLUGLA: Berechnung auf Basis der potentiellen Evapotranspiration (nach TURC und PENMAN) sowie bewuchs- und bodenart-spezifischen Niederschlagswerten

aride Gebiete: Fallstudien



Methoden zur Abschätzung der Grundwasserneubildung im ariden Raum

- indirekte Grundwasserneubildung (Infiltration von [akkumuliertem] Oberflächenabfluss)

Methoden:

- Chloridbilanz (Theiss, 1937; Sanford, 1994; Marei et al., 2010)
- Bodenfeuchte-Defizit (Lerner et al. 1998)
- empirische Ansätze: Niederschlags-Abfluss-Relation, z.B. Guttman (2000)

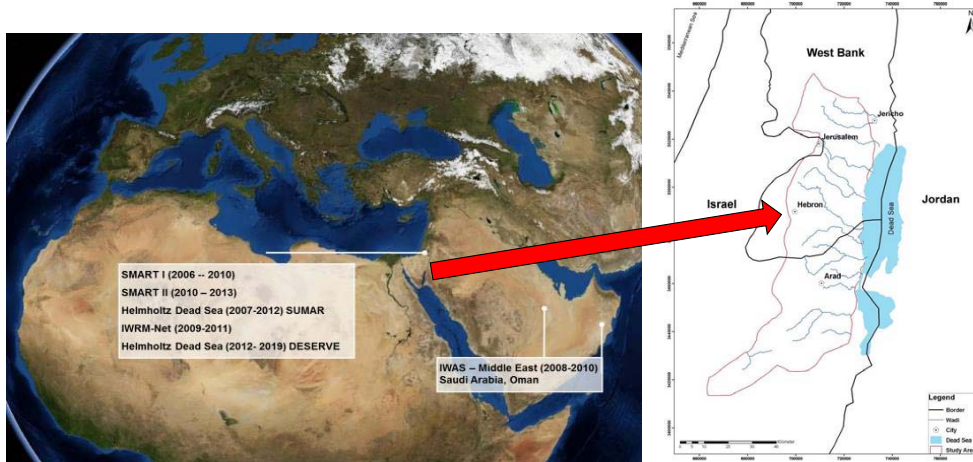
→ und außerdem: hydrologische Modellierung, z.B. Verschneidung aller infiltrationsabhängigen Parameter → zeitlich + räumliche Auflösung

→ Fallbeispiel: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina

Israel / Palästina



Überblick: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina



Untersuchungsgebiet: unterirdisches Einzugsgebiet des westl. Toten Meeres, ca. 3800 km²

Überblick: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina



Überblick: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina



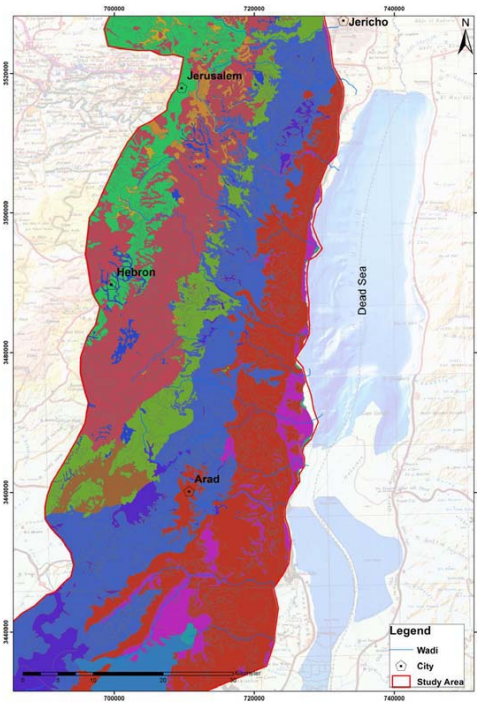
Datenerhebung



Fotos: C. Siebert, A. Sachse

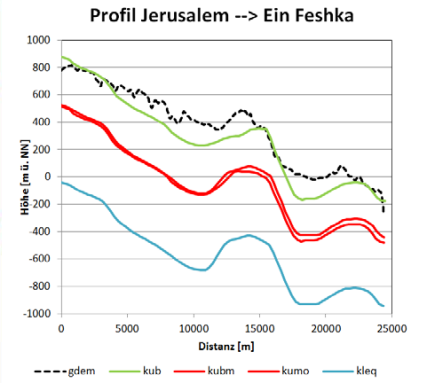
Böden

- soil_type
- Clay-silt
- Desertic alluvium
- Gromosol-Rendzina
- Gromosol-Brown
- Gromosol-Heavy
- Loess
- Loess alluvium
- Loess brown dark
- Loess brown light
- Regosol-sand
- Rendzina light
- Terra Rossa
- lithosoil desertic
- outcrop rock-no soil



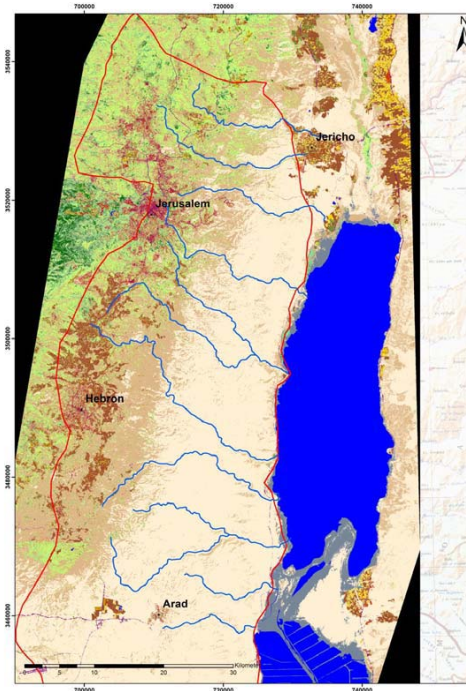
Hydrogeologie

STRATIGRAPHY				HYDROLOGY	Hydraulic Conductivity
Age	Lithology	Formation	Group		
EOCENE		Zor'a	Avedat	Aquitard	
PALEOCENE		Isatve	Mount Scopus	Aquiclude	5.00E-08 m/s
		Ghareb			
MAASTRICHTIAN		Mishash		Aquitard	
SENONIAN		Menuha		Aquiclude	
TURONIAN		Bi'na	Upper sub-aquifer	Aquifer	3.00E-06 m/s
		Weradin			
		Kefar Sha'ul			
		'Aminadav			
CENOMANIAN		Moza	Lower sub-aquifer	Aquiclude	5.00E-09 m/s
		Bet Me'ir			
		Kesalon			
		Soreq			
ALBIAN		Giv'at Ye'arim		Aquifer	3.00E-06 m/s
		Kefira			

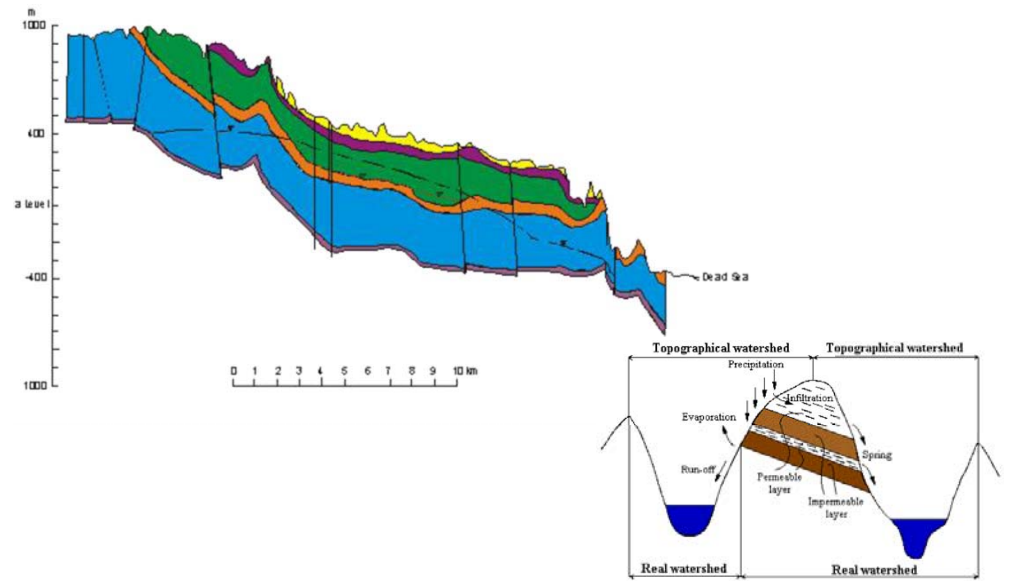


Landnutzung

- Legend**
- Wadi
 - City
 - Study Area
 - Undefined
 - Urban (high impervious)
 - Urban (moderate impervious)
 - Olives
 - Palm plantation (dense cover)
 - Palm plantation (moderate cover)
 - Greenhouses
 - Reed
 - Agricultural crop land (dense cover)
 - Agricultural crop land (moderate cover)
 - Agricultural crop land (low cover)
 - Agricultural crop land (no cover)
 - Sparse vegetation
 - Shrubs
 - Coniferous forest
 - Deciduous forest
 - Meadow
 - Water
 - DS Sediment
 - Open Soil
 - Sand / Rock



Hydrogeologie

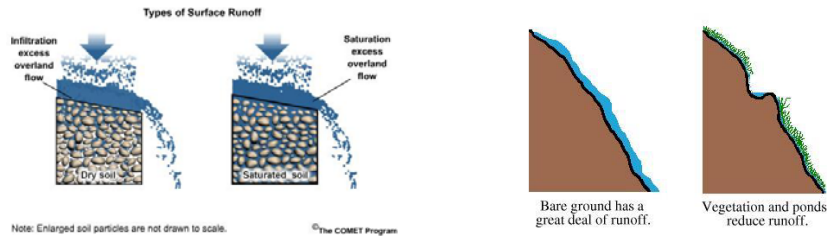


(Musy, 2001)

Hydrologische Charakterisierung

Generell:

- kurz und heftige Niederschlagsereignisse
- im Wadi akkumulierte Abfluss → erzeugt Welle, Flashflood
- Oberflächenabfluss ist höher als Infiltrationsvolumen
- keine durchgehende Bodenbedeckung, die den Oberflächenabfluss abbremst und Infiltration begünstigt
- Verkrustungen an "Boden"-Oberfläche verhindern Infiltration



Flashflood

<http://www.jta.org/2014/03/18/news-opinion/united-states/flash-flood-in-israels-desert-video>

Flash flood in Israel's desert (VIDEO)

By Uziel Heilman | March 18, 2014 3:54pm

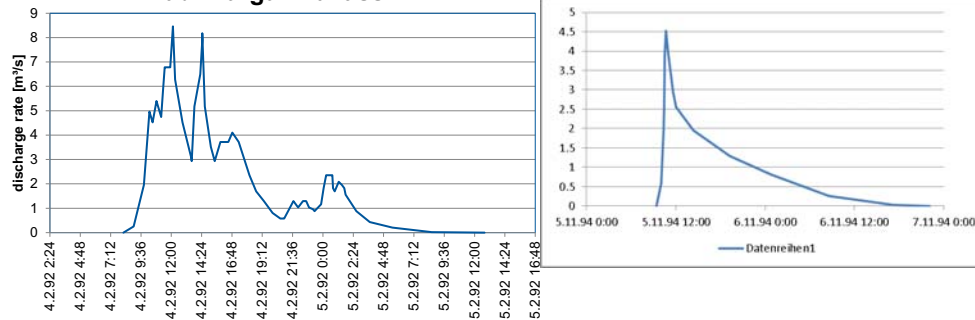
Is this what the Red Sea looked like when the waters came rushing back after the Israelites had crossed?

Watch this flash flood from Israel's Negev Desert as an empty riverbed comes roaring back to life.



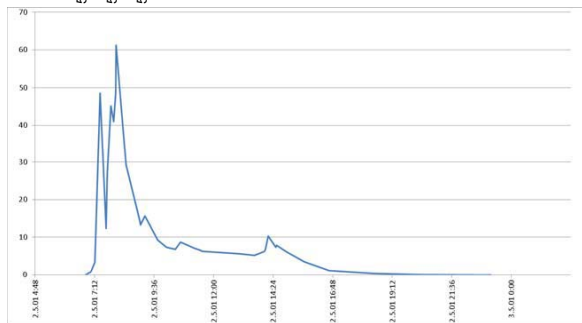
Hydrologische Charakterisierung

Wadi Darga: Abfluss



- kein Basisabfluss
- steiler Anstieg des Hydrographen
- Ereignisdauer: max. 2,5 Tage

Extremereignis: Mai 2001 (ebenso wie Okt 2004 und Mai 2007)



Ein Gedi – Arugot Wadi
Floods
25 – Feb - 2008

Pictures: Eyal Shemesh

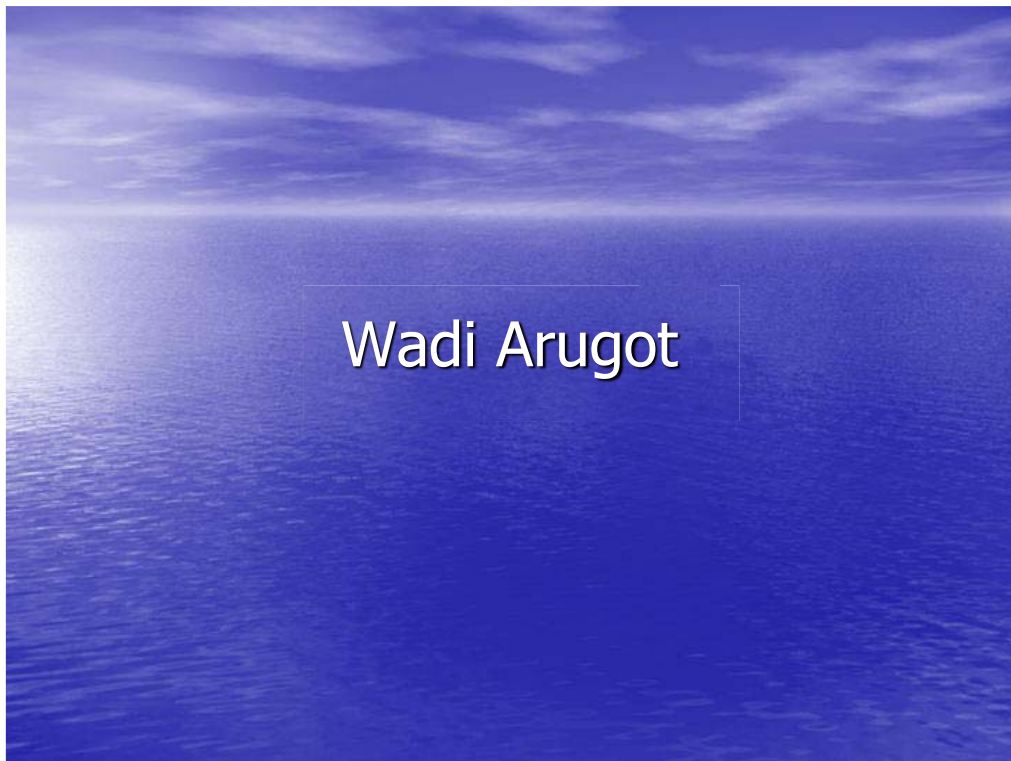
All rights reserved



Wadi David (Ein Gedi)









Watch out here I come....(3)



Blocking route 90



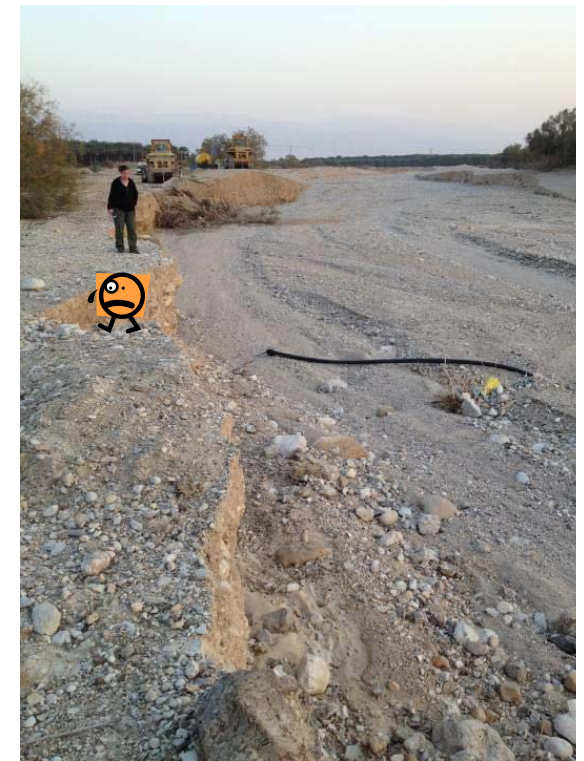


Messung von Abflussereignissen in Wadis



Wadi Og (25 November 2012) looking downstream at the perforated pipe which contains the sensors and the pipe for the sampler. Notice the unnatural, very strong topographic relief between the right (southern) and the left sides of the wadi bed.

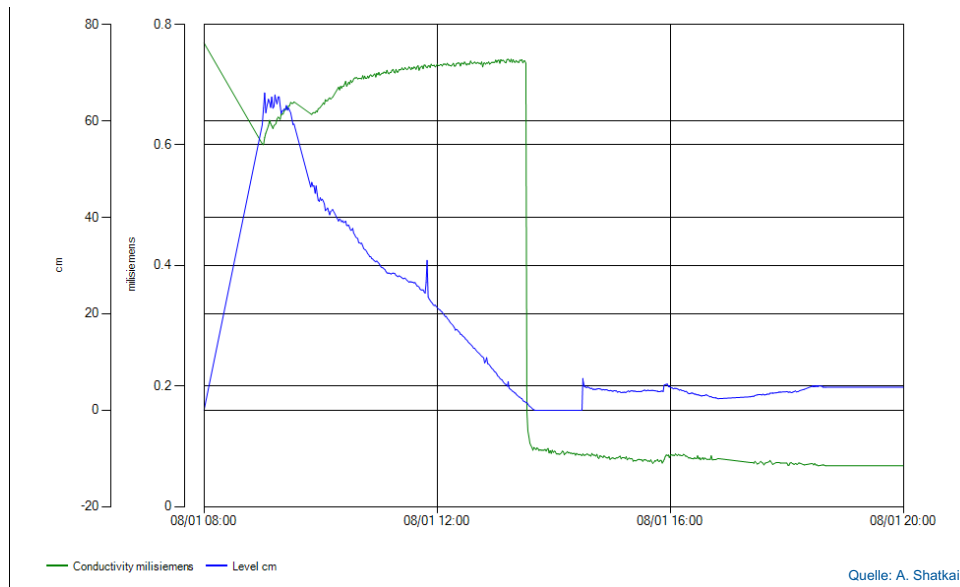
Quelle: A. Shatkai



Wadi Og (20 January 2013 post January 8-9 m medium-sized flow event) looking downstream at the remains of the pipe which lead the cables for the sensors and sampler. The sad face is the location of the hydrometric station.

Quelle: A. Shatkai

Messung von Abflussereignissen in Wadis



Quelle: A. Shatkai



Quelle: A. Shatkai



Wadi Og (20 January 2013 post January 8-9 m medium-sized flow event) looking to the left (northern) bank at the remains of the pipe which lead the cables for the sensors and sampler and the location of the hydrometric station marked by an arrow. The sad face is the location of the hydrometric station. Notice that all the wadi topography created by the tractors has metamorphosed into a more 'natural' channel, where channel bed topography is minimal and channel width is one third larger.

Quelle: A. Shatkal

Wissenschaftliche Fragestellungen im ariden Raum



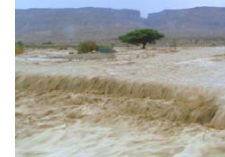
bedeutende Fragen:

- GW-Neubildungsbedingungen
- Grundwasserfließdynamik (submarine Quellsutritte, Sinkholes,...)
- Wasserbilanz des kretazischen Aquifersystems
- nachhaltiges Wasserressourcenmanagement



Herausforderungen

- Semi-aride bis aride Klimabedingungen (Flashflood, Trockenzeit)
- Datenknappheit
- sinkende Wasserspiegel (Dead Sea, lokales Aquifer-System)
- verkarsteter Kalksteinaquifer
- politischer Hot Spot
- starkes Bevölkerungswachstum



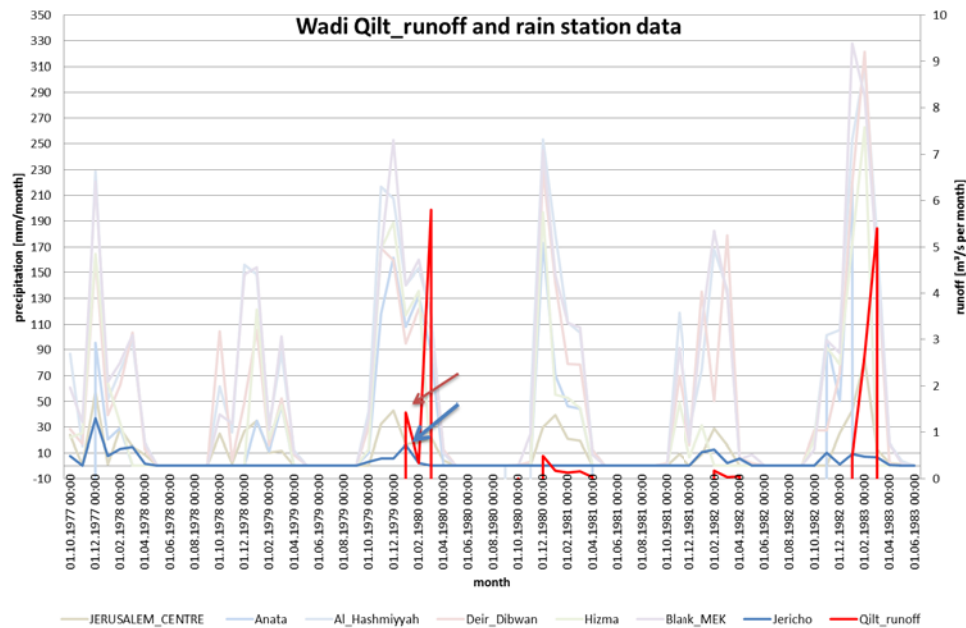
Methoden

- Konzeptionelles Modell
- Strukturmodell
- Hydrologisches Modell
- Hydrogeologisches Modell



Page 95

Hydrologische Charakterisierung



Page 94

Wissenschaftliche Fragestellungen im ariden Raum



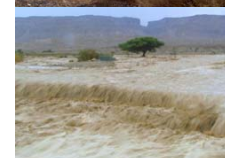
bedeutende Fragen:

- Neubildungsbedingungen
- Grundwasserfließdynamik (submarine Quellsutritte, Sinkholes,...)
- Wasserbilanz des kretazischen Aquifersystems
- nachhaltiges Wasserressourcenmanagement



Herausforderungen

- Semi-aride bis aride Klimabedingungen (Flashflood, Trockenzeit)
- Datenknappheit
- sinkende Wasserspiegel (Dead Sea, lokales Aquifer-System)
- verkarsteter Kalksteinaquifer
- politischer Hot Spot
- starkes Bevölkerungswachstum



Methoden

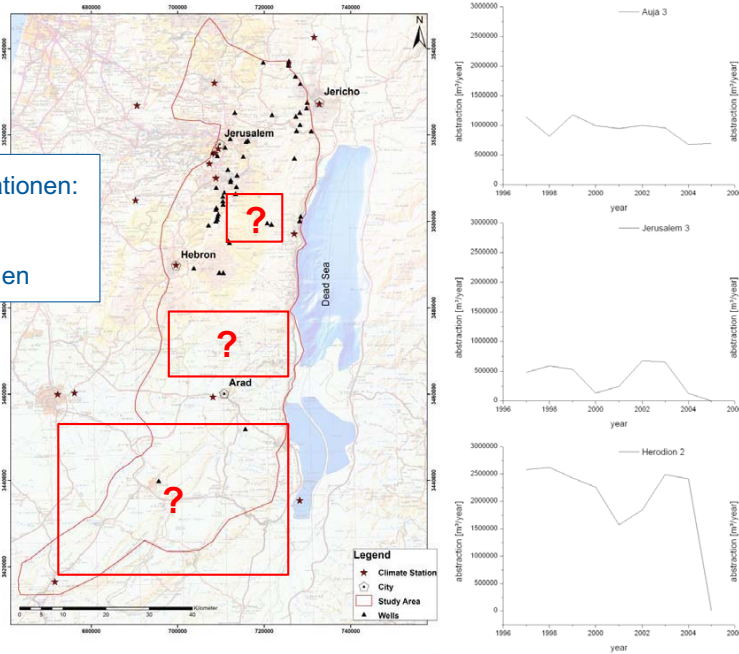
- Konzeptionelles Modell
- Strukturmodell
- Hydrologisches Modell
- Hydrogeologisches Modell



Page 96

Herausforderung - Datenknappheit

Brunneninformationen:
Stratigraphie
Entnahmemengen



Herausforderung - Datenverfügbarkeit

Zur Beschreibung des heterogenen Untersuchungsgebietes (hinsichtlich Wasserverfügbarkeit) ist eine adäquate räumliche und zeitliche Datensammlung notwendig:

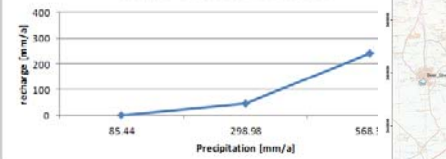
Herausforderungen:

- Verfügbarkeit von Stationsdaten
- Zeitreihen
- gleichzeitige Verfügbarkeit von Niederschlags- und Abflussdaten

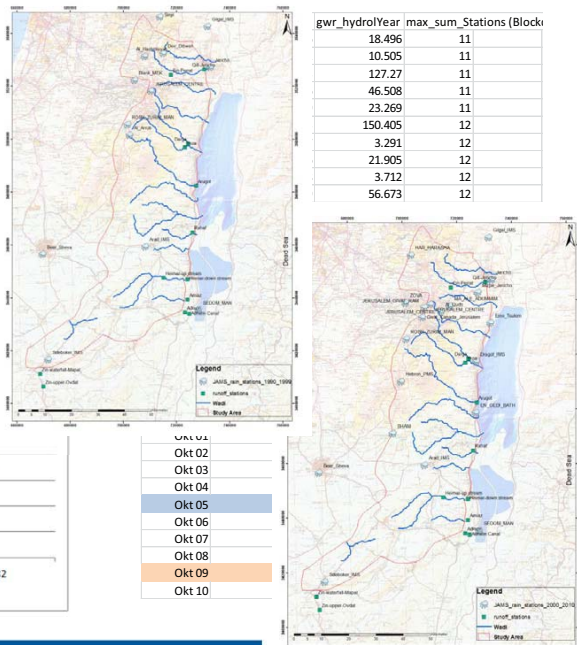
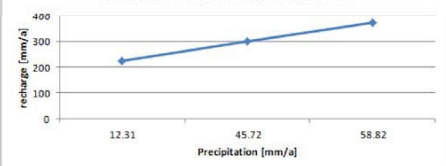
Herausforderung - Datenknappheit

Klima- und Niederschlagsdaten

dry, mean, wet hydrological year
(Precipitation)
max. 9 stations available



dry, mean, wet hydrological year
(Precipitation)
max. 23-35 stations available



Wissenschaftliche Fragestellungen im ariden Raum



bedeutende Fragen:

- Neubildungsbedingungen
- Grundwasserfließdynamik (submarine Quelltzuträfte, Sinkholes,...)
- Wasserbilanz des kretazischen Aquifersystems
- nachhaltiges Wasserressourcenmanagement



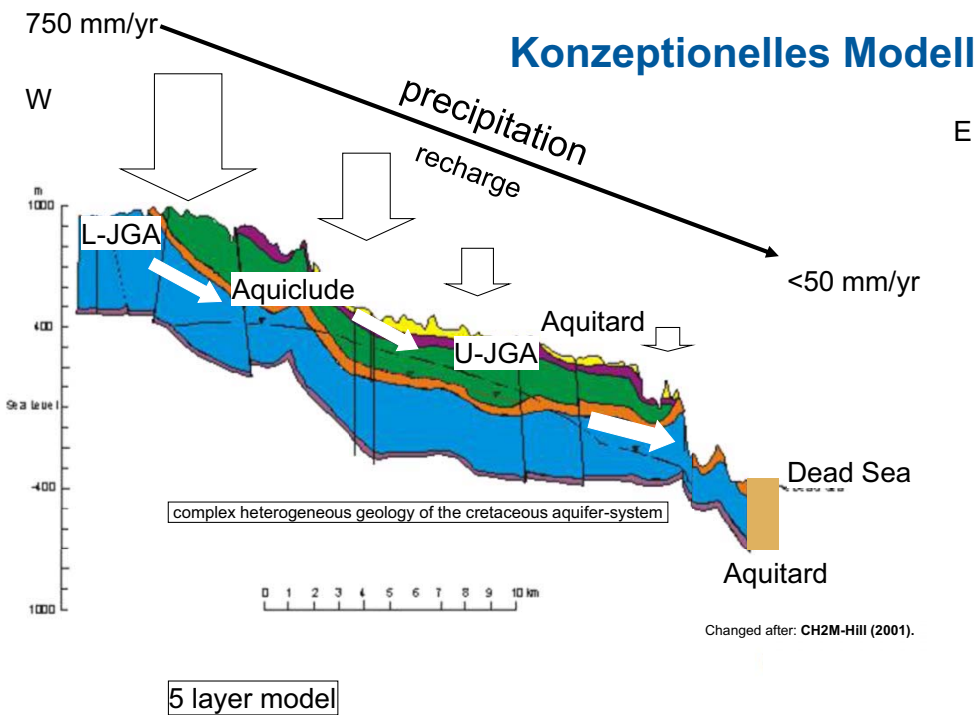
Herausforderungen

- Semi-aride bis aride Klimabedingungen (Flashflood, Trockenzeit)
- Datenknappheit
- sinkende Wasserspiegel (Dead Sea, lokales Aquifer-System)
- verkarsteter Kalksteinaquifer
- politischer Hot Spot
- starkes Bevölkerungswachstum

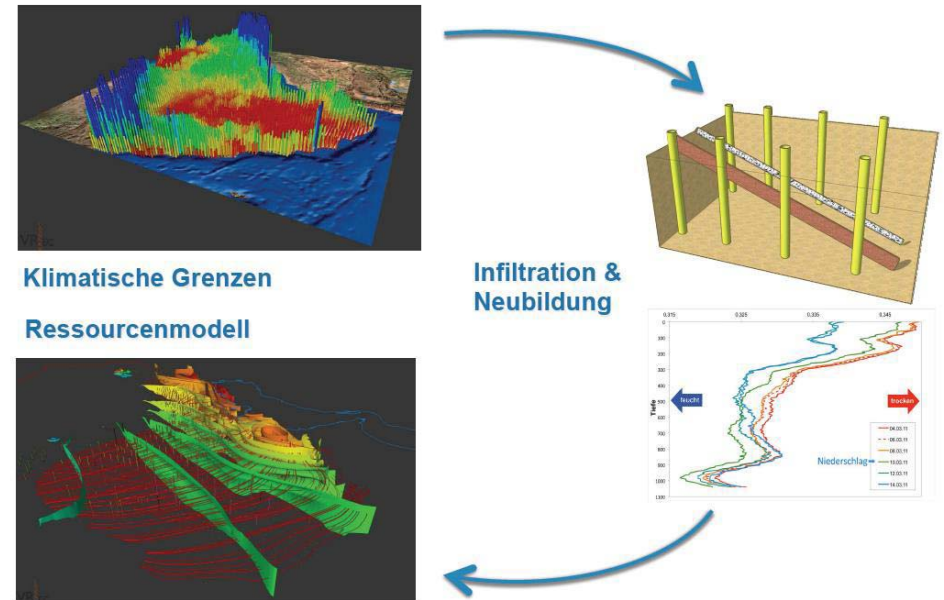


Methoden

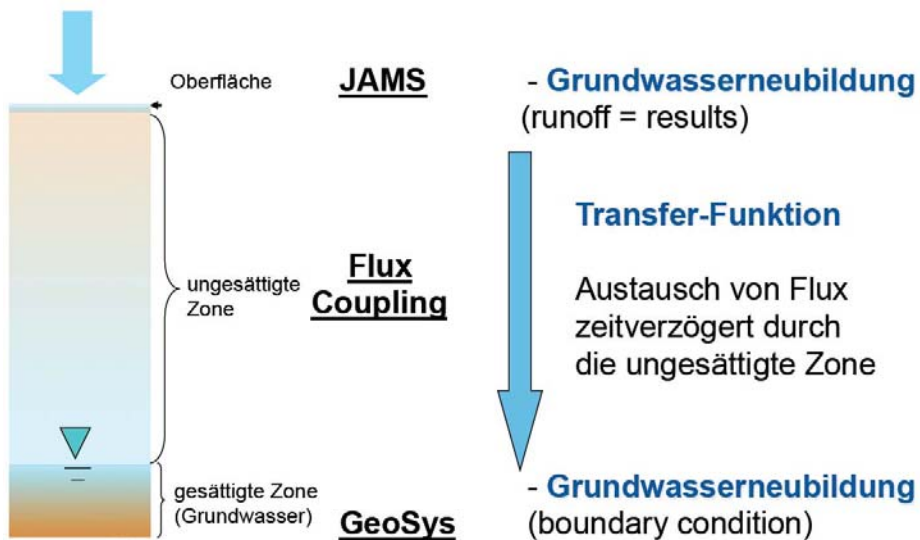
- Konzeptionelles Modell
- Hydrologisches Modell
- Strukturmodell
- Hydrogeologisches Modell



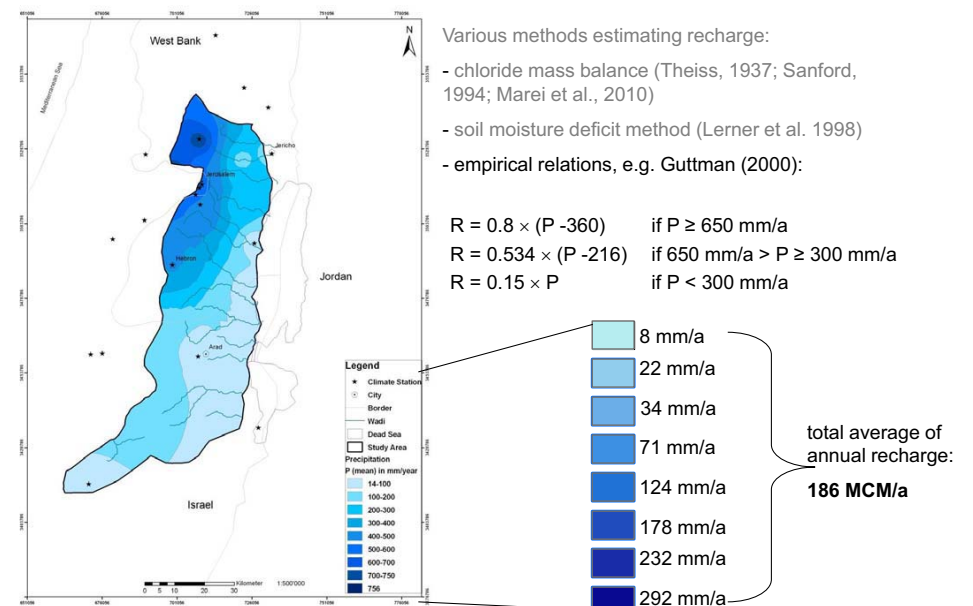
Flux: unter ariden Bedingungen existent?



Konzeptionelles Modell: Konzept der Flux-Kopplung



Grundwasserneubildung



Various methods estimating recharge:

- chloride mass balance (Theiss, 1937; Sanford, 1994; Marei et al., 2010)
- soil moisture deficit method (Lerner et al. 1998)
- empirical relations, e.g. Guttman (2000):

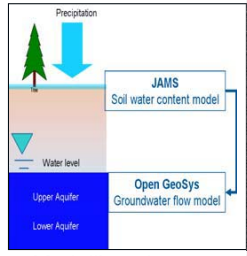
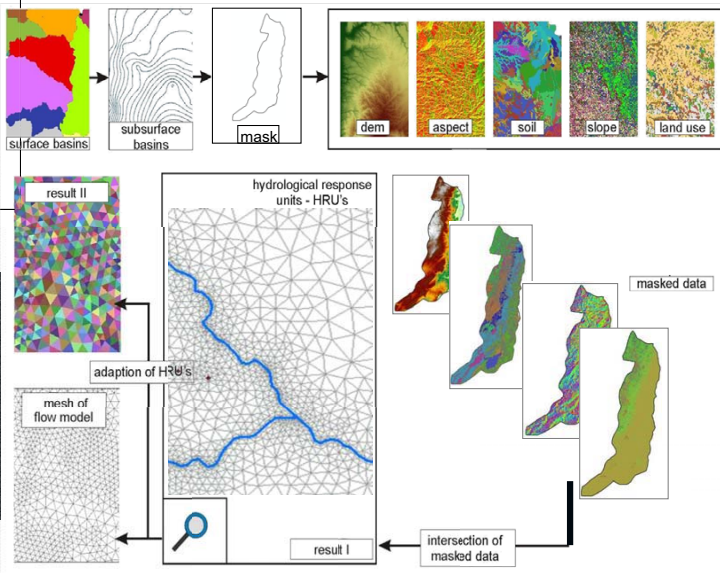
$$R = 0.8 \times (P - 360) \quad \text{if } P \geq 650 \text{ mm/a}$$

$$R = 0.534 \times (P - 216) \quad \text{if } 650 \text{ mm/a} > P \geq 300 \text{ mm/a}$$

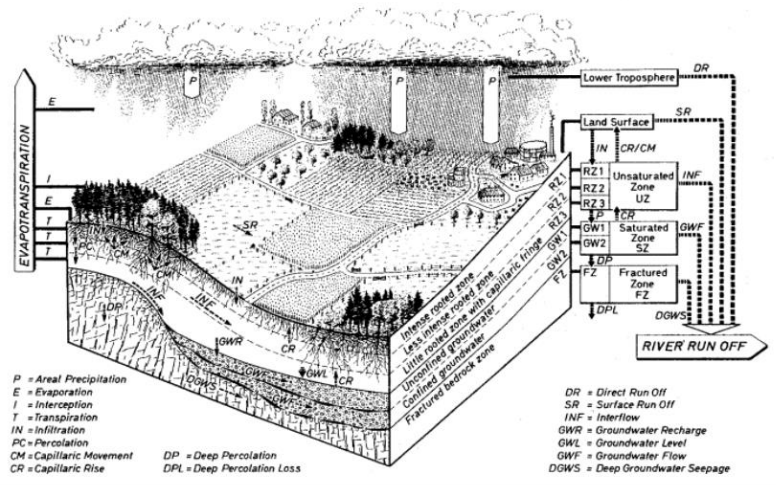
$$R = 0.15 \times P \quad \text{if } P < 300 \text{ mm/a}$$

Welches Hydrologische Modell zur Berechnung der GWN verwenden?

- J2000g:
- JAMS (Jena Adaptable Modelling System) – J2000g
 - simplified hydrological model
 - HRU-concept
 - Transient model: 1977 – 2010
 - calibration with runoff data
 - result: groundwater recharge



Physiographisch-prozessorientiertes Konzept der HRUs

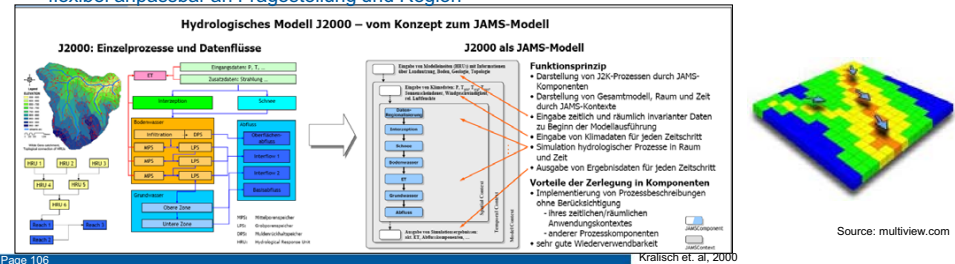


Quelle: Flügel (1996)

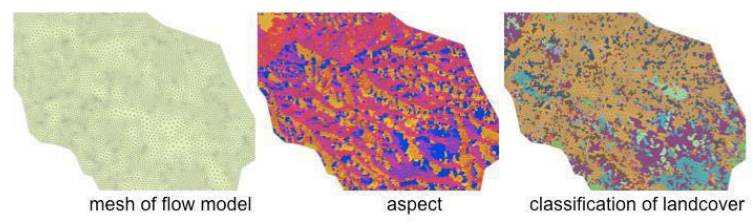
JAMS

Die J2000g Modellierungssystem mit seinen objektorientierten modularen Ansatz ist eine der Modellierung des Jena Adaptable Modelling System (JAMS).

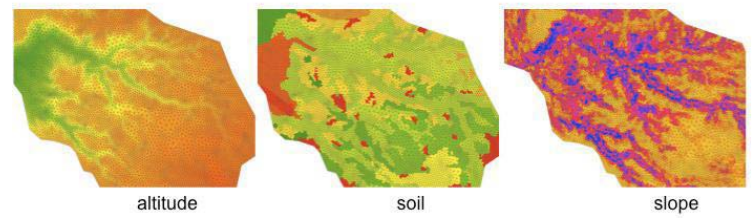
- basierend auf dem HRU-Prinzip
- Randbedingungen der Modellierung:
 - kontinuierliche Modellierung in der Tages-oder Monatszeitschritte,
 - anwendbar für komplexe, aber auch Einzel-Einzugsgebiete
 - prozess-orientiertes Modellkonzeptprozess
 - robust, mit wenig Kalibrierparametern
 - anwendbare für historische und zukünftige Klimaszenarien
 - flexibel anpassbar an Fragestellung und Region



HRU-Prinzip des Hydrologischen Modells



intersection of input parameter of JAMS



Hintergrundinformationen zu J2000g

- HRU-Konzept
- Regionalisierung von Klima- und Niederschlagsdaten: höhenabhängige Berechnung, IDW,..)
- Korrekturverfahren: Korrektur des Verdunstungs-, und Windfehlers: nach Richter
- Evapotranspiration: Berechnung nach Penman-Monteith
- Spez. Anpassung: Verdunstung wird entsprechend Hangneigung + Exposition angepasst
- aus Sonnenscheindauer wird Globalstrahlung abgeleitet → alternativ wurde J2000g erweitert um Globalstrahlungsdaten (MJ/m²)
- kein Routing
- Parameteranzahl geeignet für datenarme Regionen

Klimadaten und Berechnung ET

ET = Evaporation + Transpiration

- ET_{pot} = klimatisch mögliche Verdunstung ohne dass Wassermangel diese limitiert

- Et_{akt} = tatsächlich mögliche Verdunstung an einem Ort

Der vollständigste Ansatz ist der nach Penman-Monteith:

$$E_v = \frac{\Delta \cdot (Q - B) + \rho \cdot c_p \cdot \frac{(E_L - e_L)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \frac{1 + r_s}{r_a}}$$

Δ = Steigung der Wasserdampfsättigungskurve; Q = Strahlungsbilanz; B = Bodenwärmestrom

γ = Psychrometerkonstante; ρ = Dichte der Luft; c_p = Spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck;

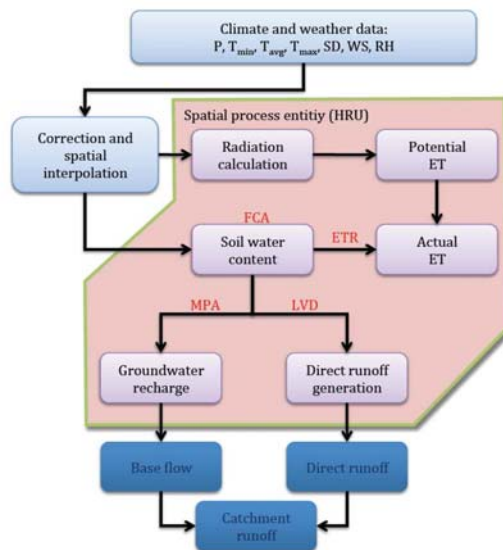
E_L = Sättigungsdampfdruck; e_L = aktueller Dampfdruck; r_a = aerodynamischer Widerstand;

r_s = Bestandswiderstand

Hydrologisches Modell J2000g

Eingangsparameter:

- Klimadaten
- Gebietsparameter



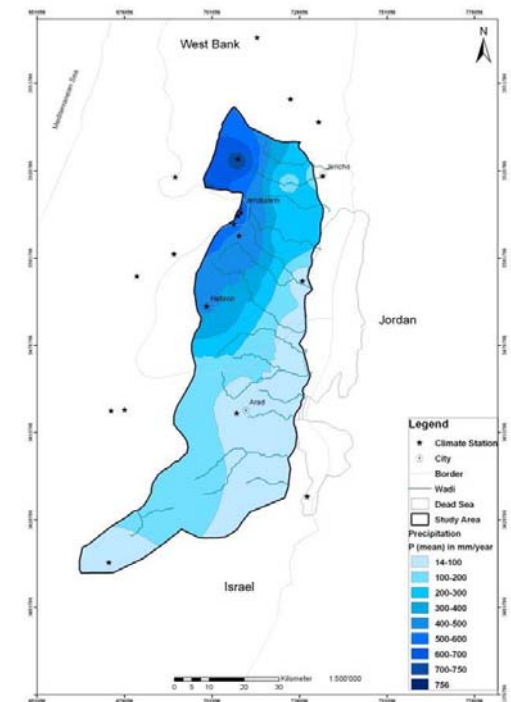
Zeitliche Auflösung:

- stündlich, täglich, ...

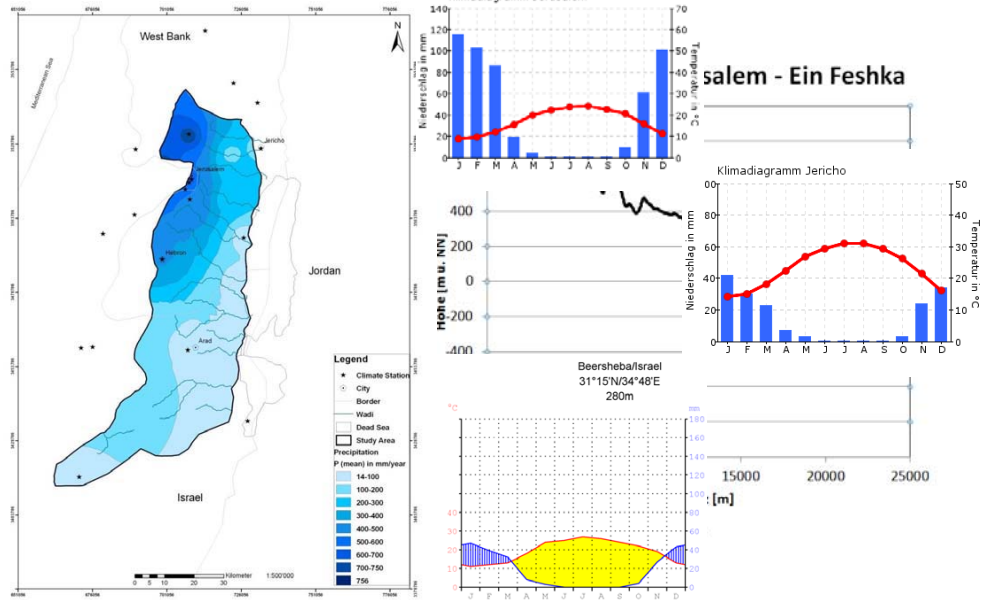
Klimatengrundlage

Observationsdaten:

- Netz aus Stationen zu grob
- Klimadatenbanken inkonsistent
- hoher Messfehler
- hohe räumliche Variabilität



Klima



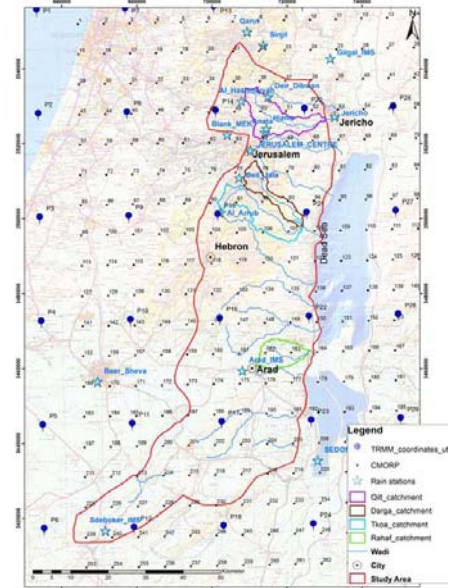
Klimatengrundlage

Bestimmung Niederschlagsmengen und -raten anhand von Satellitendaten:

- Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM),
- NOAA CPC Morphing Technique (CMORPH)

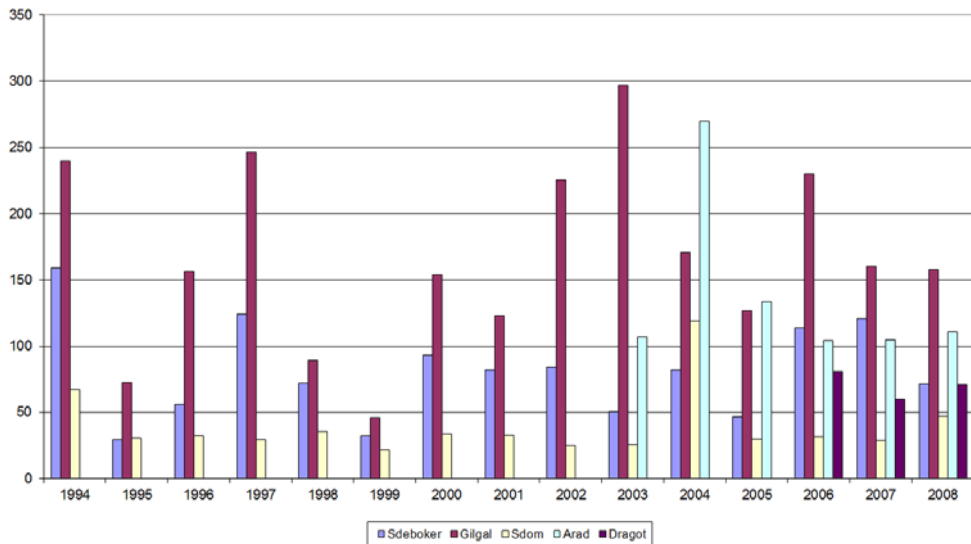
TRMM-Daten für Israel / Palästina (10a)

- höhere räumliche Auflösung und Validierung
- allerdings keine Abbildung des Gradienten (N→S; W→O) möglich



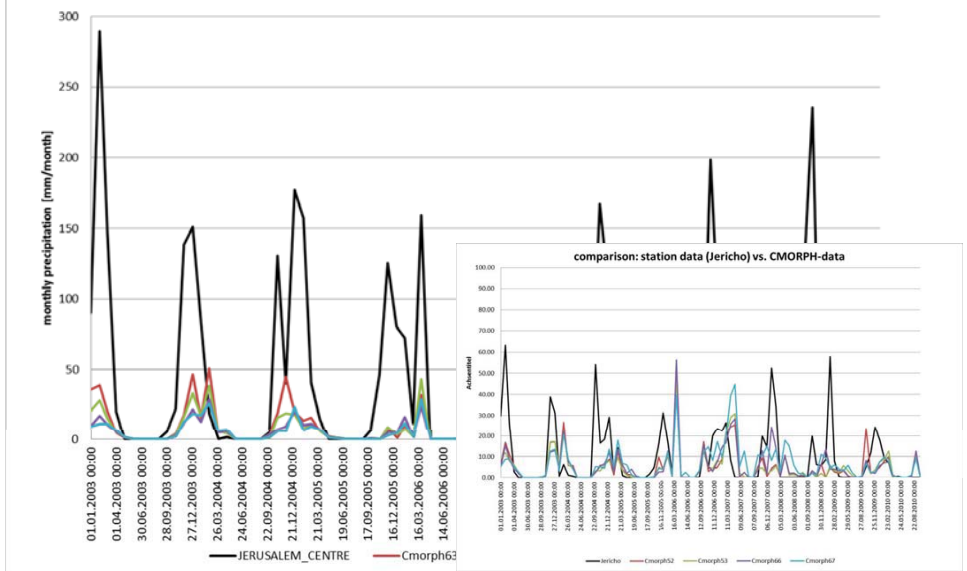
Klimatengrundlage

Jahressumme Niederschlag



Klimatengrundlage

comparison: station data (Jerusalem Centre) vs. CMORPH data

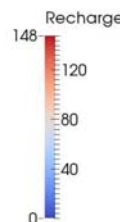
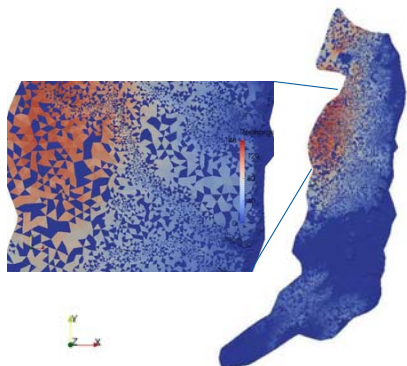


Erste Ergebnisse des hydrolog. Modells

Modellzeitraum: Okt1977-Nov2010

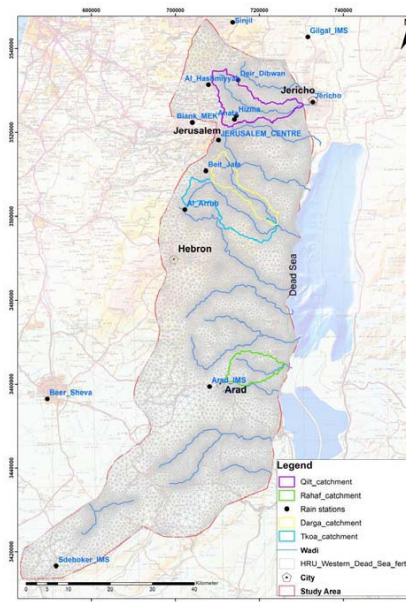
Grundwasserneubildung:

- ~ 158 MCM/year (mean)
- Januar 1980 (0-78 mm)



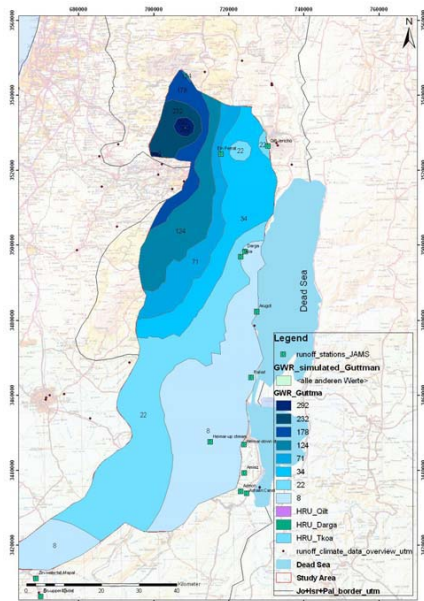
Monat	GWN_pro HRU_J20009
Januar	10.7
Februar	16.4
März	3.2
April	0.001
Mai	0
Juni	0
Juli	0
August	0
September	0
Oktober	0
November	0.5
Dezember	7.1

Hydrologisches Modell: Schlussfolgerungen

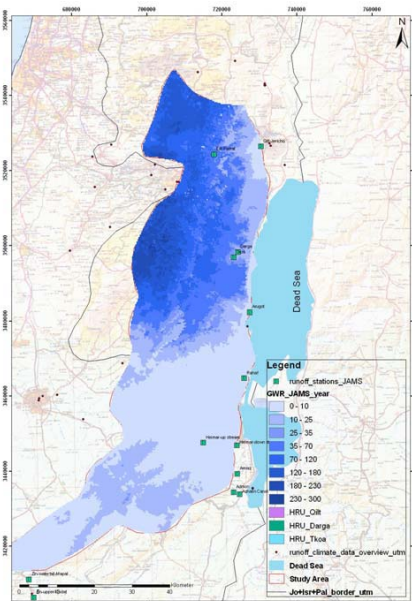


- erste Berechnungen des Western Dead Sea-Einzugsgebietes ohne Kalibrierung (average)
- Wadi- EZG's im J2000g rechnen + kalibrieren → relevant für "Western Dead Sea"
- vorhandene Datenbasis ermöglicht max. Berechnung von Wadi Darga, Tekoa + Qilt , Rahaf (Arugot)

Vergleich der Grundwasserneubildung

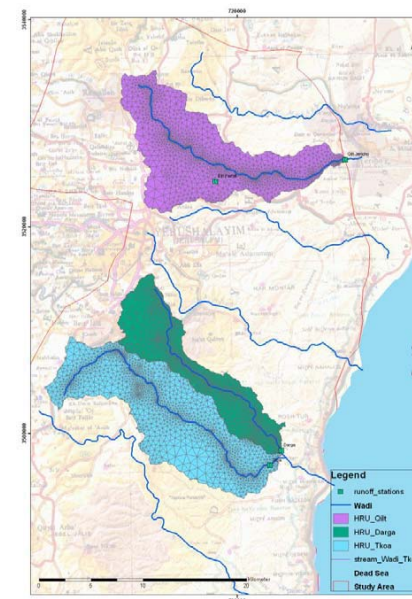


empirical approach: Guttman et al.



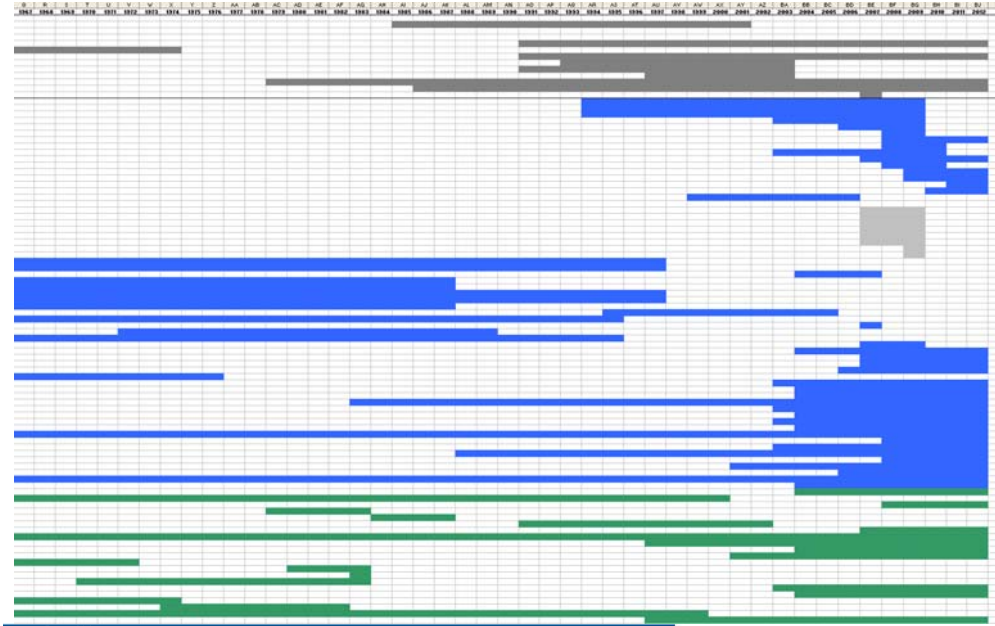
numerical approach (HRU-concept): J2000g (Krause et al.)

Hydrologisches Modell

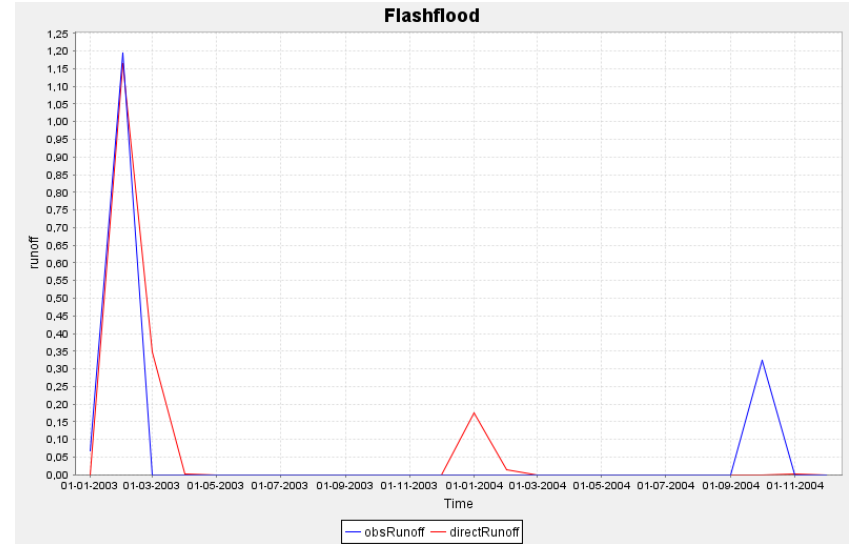


Hydrologisches Modell - Datenverfügbarkeit

entscheidend für Kalibrierung des hydrologischen Modells



Hydrologisches Modell - Ergebnisse



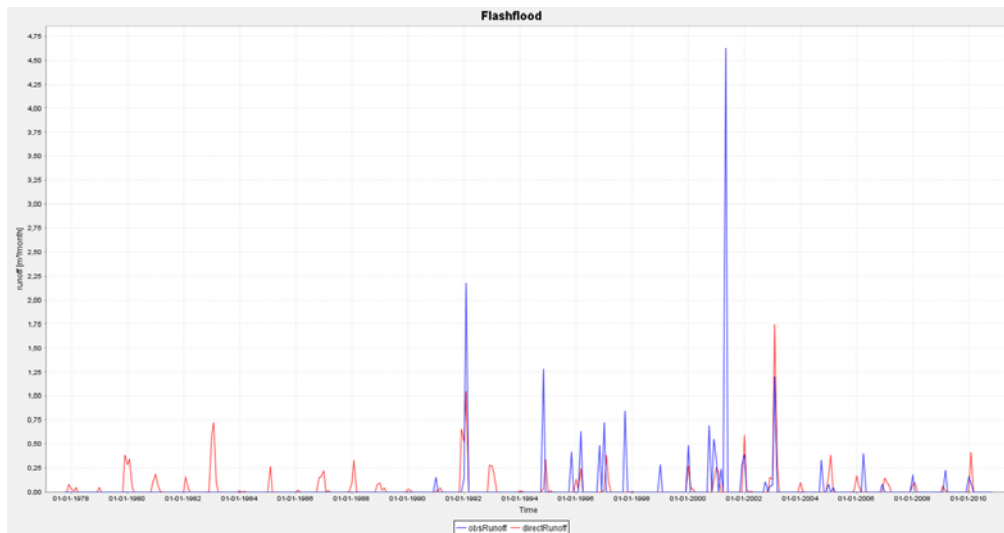
Verkleinertes Zeitfenster: Darga_monthly_2003-2004 IMS Daten

Zeitlich: weniger gute Abbildung des Abflusses

Quantitativ: zu niedrige Abflussmengen werden simuliert



Hydrologisches Modell - Ergebnisse

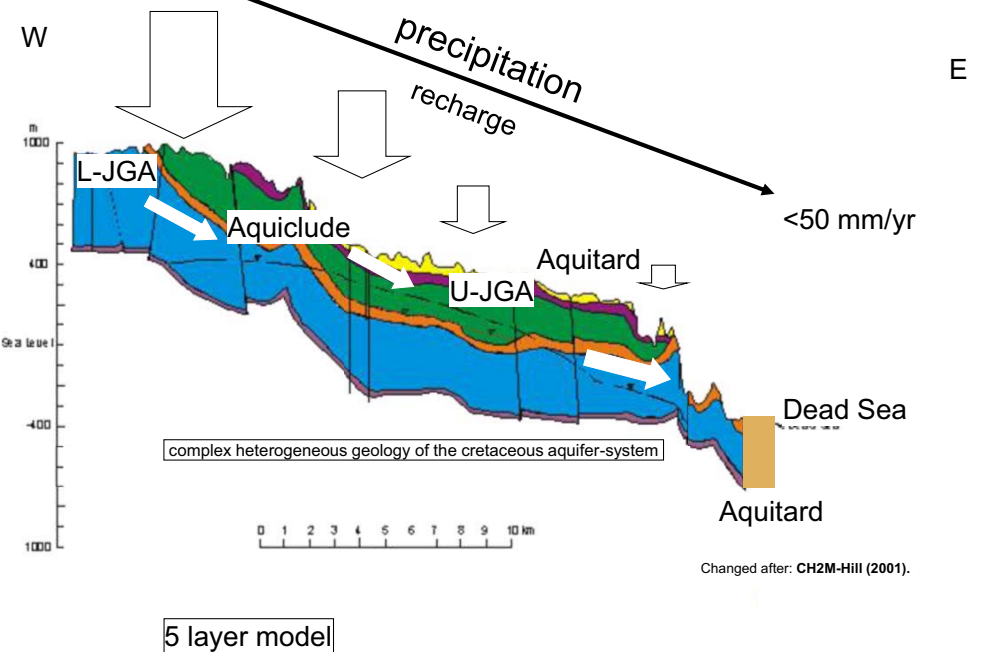


Darga_monthly_1977-2010 IMS Daten

Zeitlich: gute (zeitl.) Abbildung des Abflusses

Quantitativ: z.T. werden zu niedrige Abflussmengen simuliert

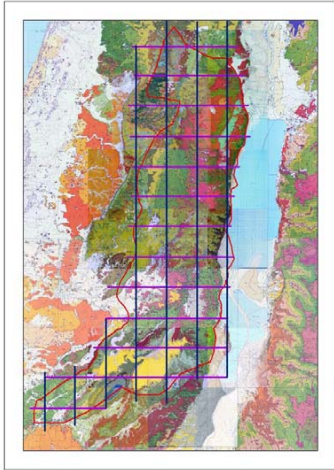
750 mm/yr Grundwasserströmungsmodell



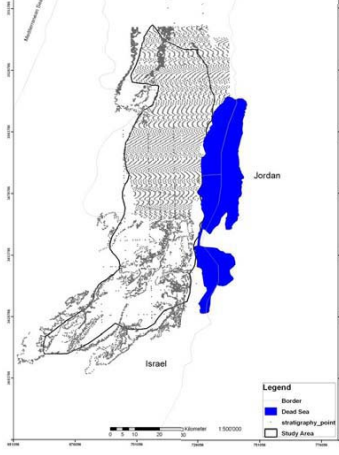
Changed after: CH2M-Hill (2001).

Structural model

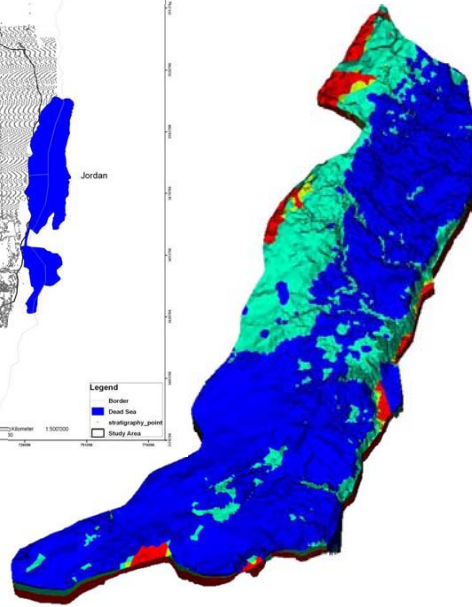
Geology



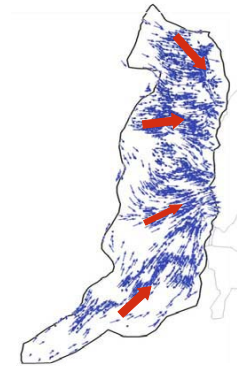
Stratigraphic information



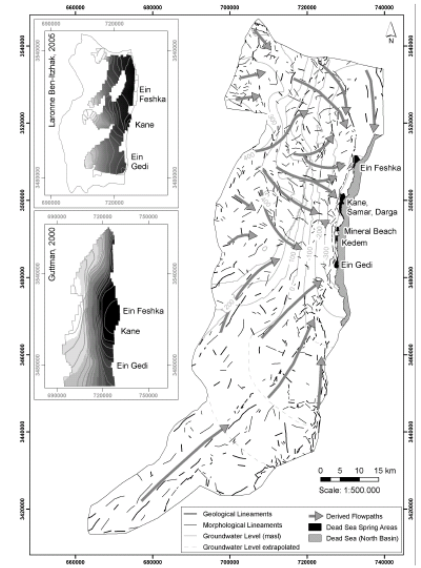
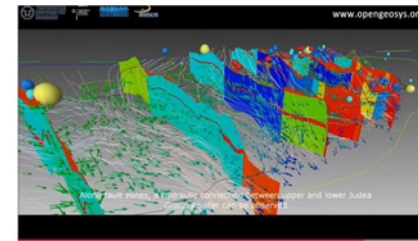
Structural model



Ergebnis: Grundwasserfließdynamik



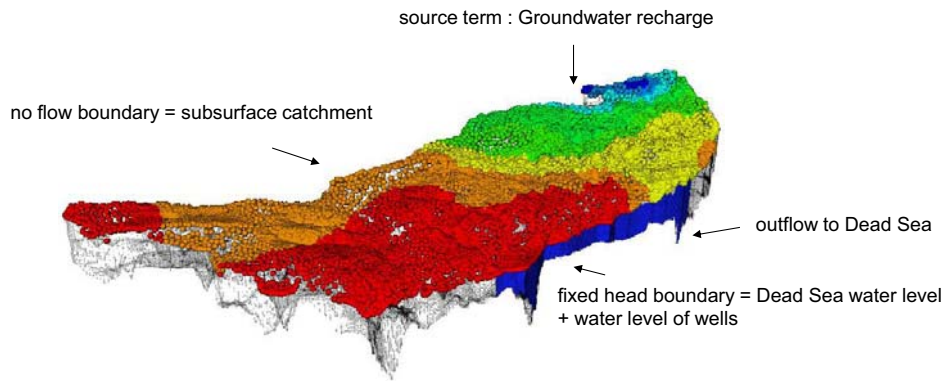
Groundwater flow directions (Gräbe et al., 2013)



Results from the lineament-analysis (Mallast et a., 2011)

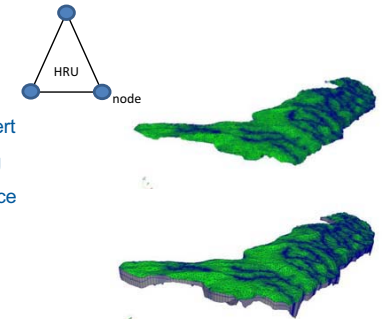
Grundwasserströmungsmodell– OpenGeoSys

Boundary conditions



Rink et al., 2011

Transientes Modell – “model coupling”



Ausgabe aus hydrolog. Modell (J2000g): = GWN → wird transferiert auf Knoten des GW-Modells (OGS) via Neumann-Randbedingung

- dazu muss GWN als st-Datei umgewandelt werden (Top surface mesh-Knoten)

Arbeitsablauf:

- Oberflächenmesh extrahieren
- Interpolation der GWN (Kriging)
- für jeden Zeitschritt wird eine Datei mit Knoten-ID + GWN erstellt

Fig. 3D mesh (top) and its subtracted top surface mesh (bottom) (Wang, 2013)

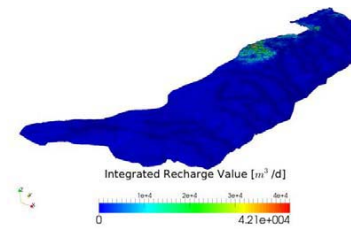
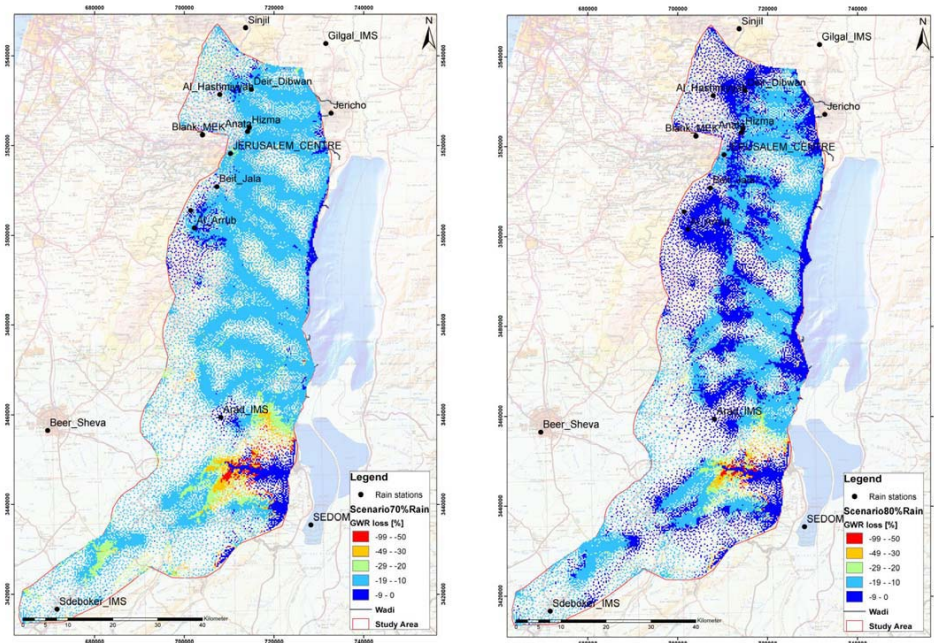


Fig. Example of recharge distribution of October 1977. Each time step is visualized by vtk-file. (Wang, 2013)

Monat	GWN_pro HRU_J20009
Januar	10.7
Februar	16.4
März	3.2
April	0.001
Mai	0
Juni	0
Juli	0
August	0
September	0
Oktober	0
November	0.5
Dezember	7.1

- DIRECT
- 14 Dez78.asc
 - 15 Jan79.asc
 - 17 Mrz79.asc
 - 25 Nov79.asc
 - 26 Dez79.asc
 - 27 Jan80.asc
 - 28 Feb80.asc
 - 29 Mrz80.asc
 - 38 Dez80.asc

Szenarien



Saudi Arabien



Inlands-Aquifer

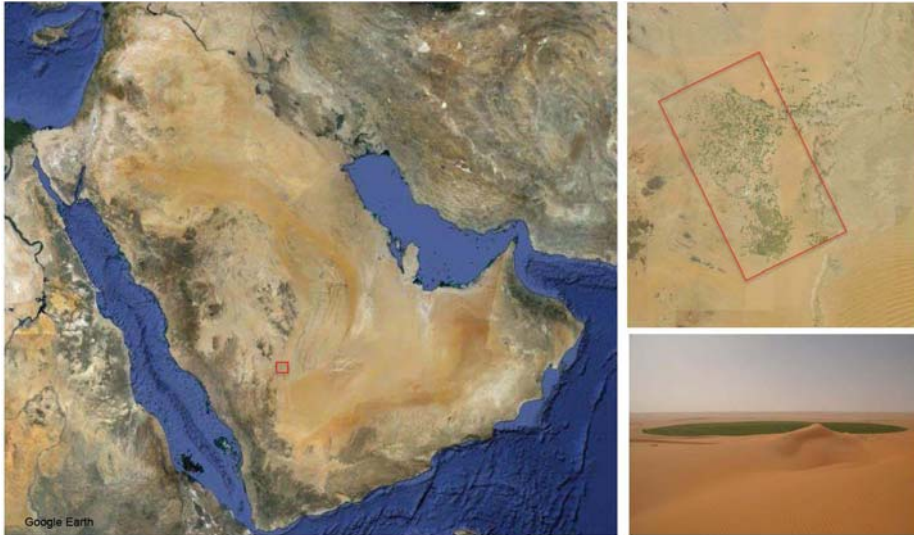
- hyper-arid
- geringe Bevölkerungsdichte
- lokal (intensive) Landwirt.
- Ausbeutung tiefer Aquifer
- mit fossilem (???) Wasser
- Ressourcengröße und Neubildungsmenge unsicher

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Kontakt:
Agnes Sachse
agnes.sachse@ufz.de
<https://geosys.ufz.de/trac/wiki/sumar>

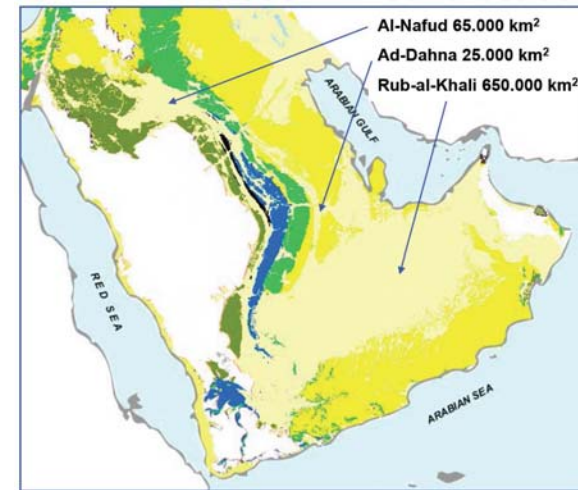
Arabische Halbinsel - Verbrauch



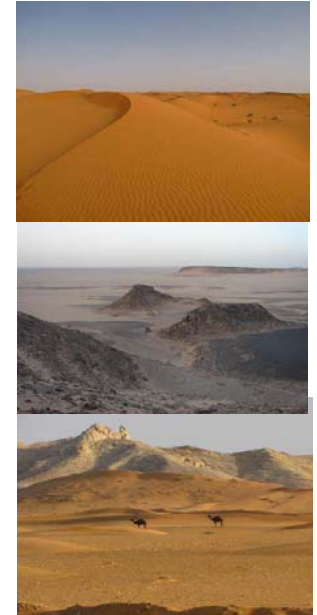
Page 133

Quelle: Google Earth + C. Siebert

Modellierung auf Skala Upper Mega Aquifer: 740.000 km² Sand bedeckt



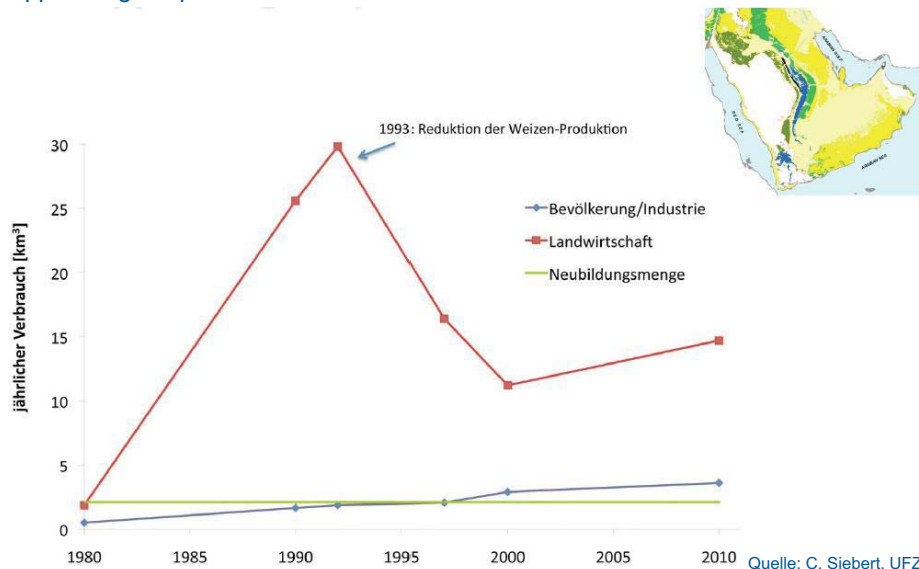
Quelle: C. Siebert



Page 135

Arabische Halbinsel - Verbrauch

Upper-Mega-Aquifer: 500-2500 km³ Wasser



Quelle: C. Siebert, UFZ

Page 134

Modellierung

Ziel Lösung: $GWNB = N - Q - ET$

Niederschlag

- klimatische Größe, messbar

Evapotranspiration

- bestimmbar auf Basis von empirischen Funktionen (z.B. Penman-Monteith)
- beeinflusst von Vegetation, Landoberfläche, Klimaparametern, Morphologie (Exposition)

Oberflächenabfluss

- messbar

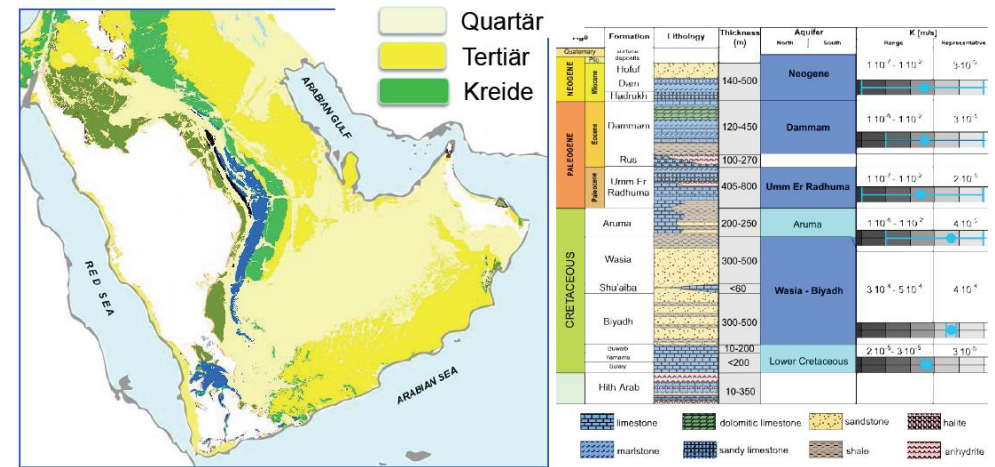
Page 136

Modellierung

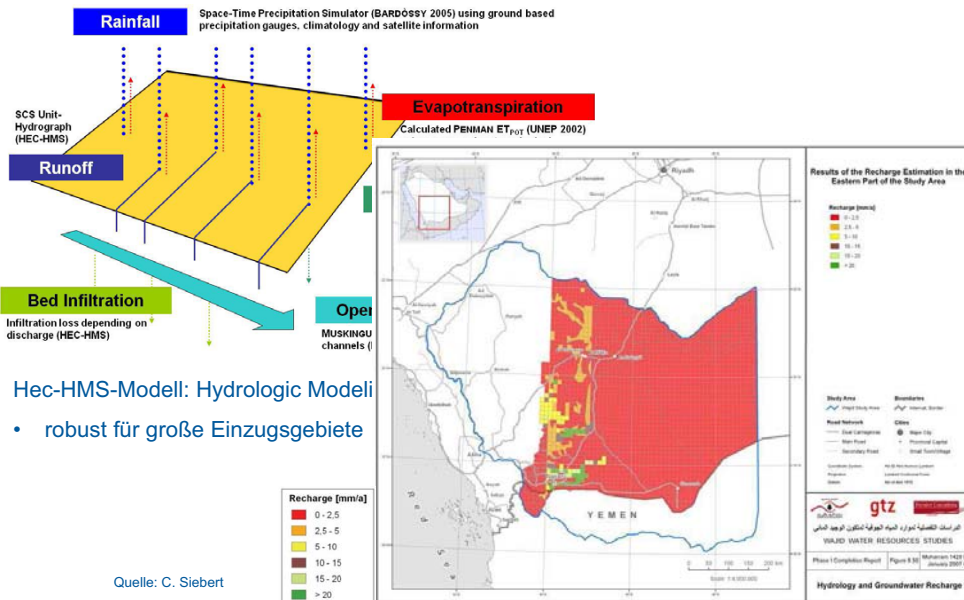
Nutzung von Modellsystemen

- Niederschlag
 - klimatische Größe, messbar
 - Evapotranspiration
 - bestimmbar auf Basis gebietscharakteristischer Parameter – hydrologisches Modell
 - Oberflächenabfluss/Grundwasserneubildung
 - synthetisch ableitbar aus physikalischen Gebietscharakteristika und -kennwerten – hydrologisches Modell
- ↓
- Überführung der Informationen (GWNB) in ein numerisches Grundwasserströmungsmodell

Definition des Modellraumes



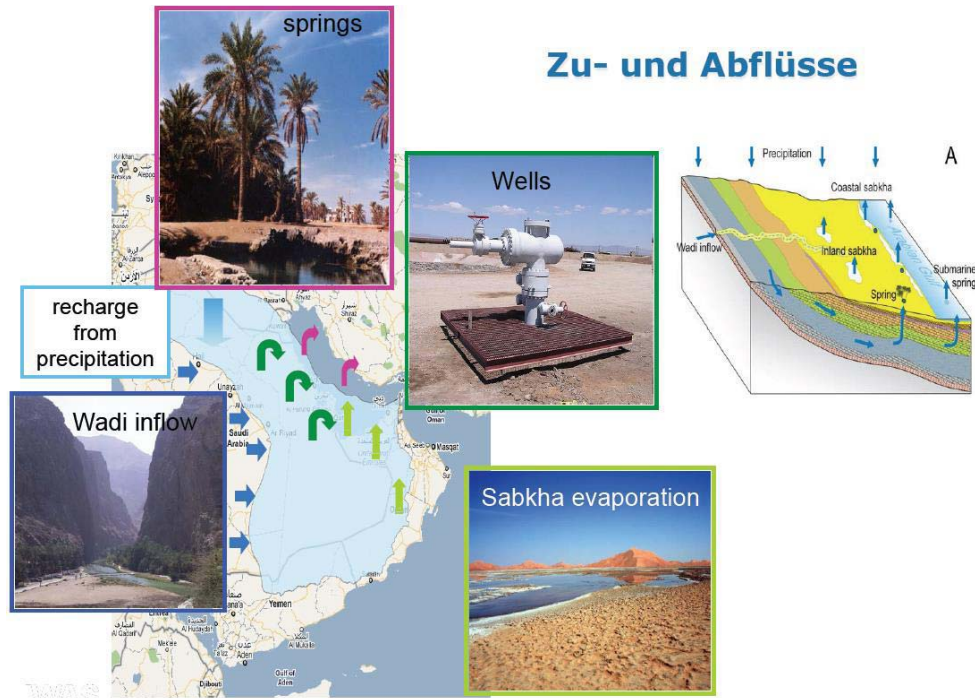
Modellierung der Grundwasserneubildung



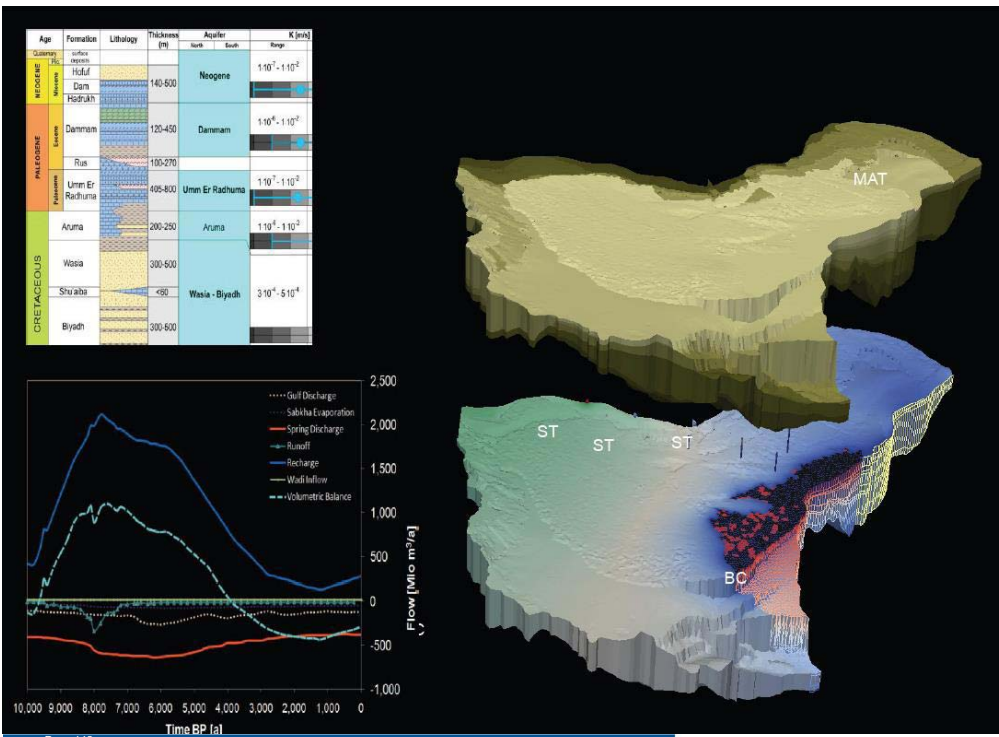
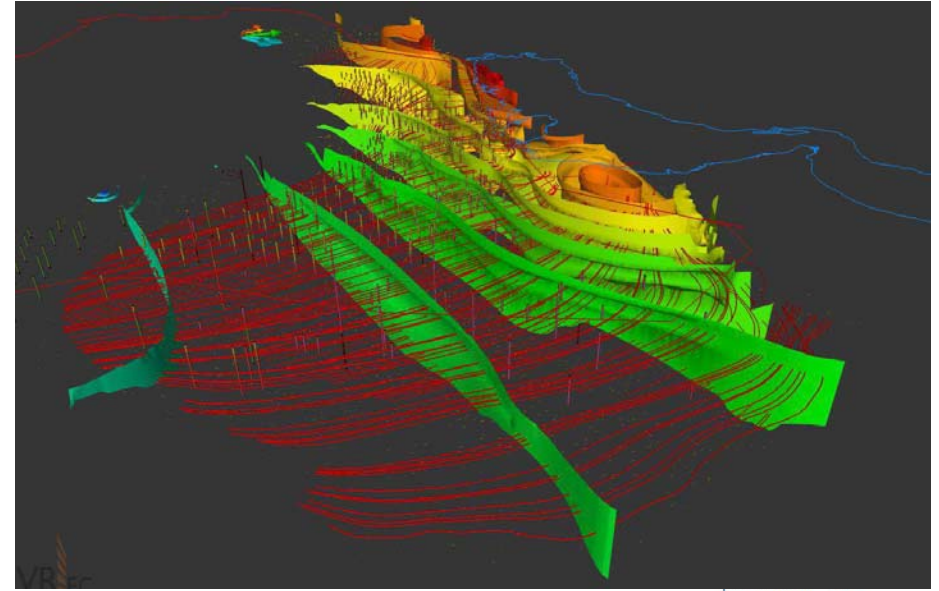
System- und Modellgrenzen



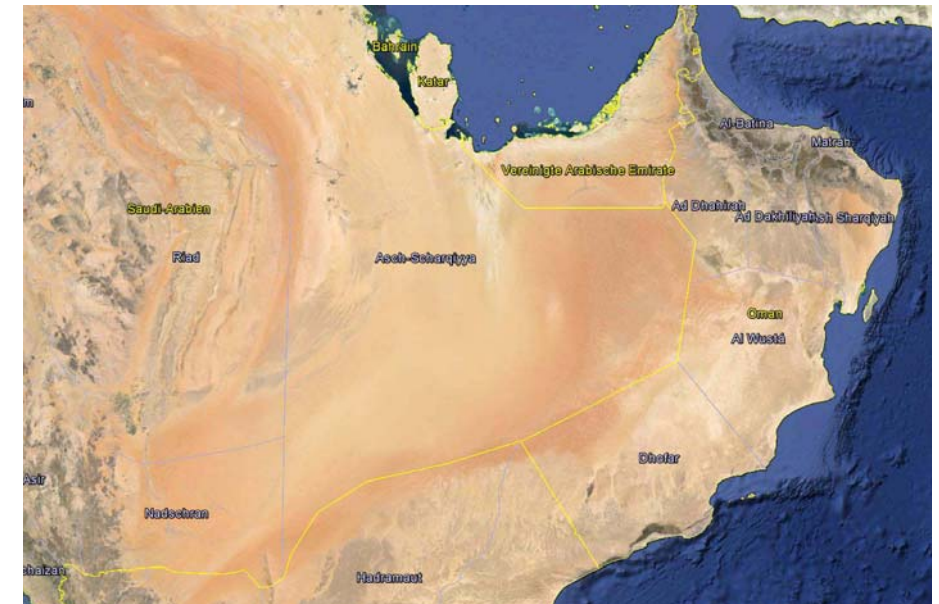
Zu- und Abflüsse



Ergebnis der Modellierung: Exkursion ins Vislab, Juli 2014



Oman



Oman I - Recharge and residence times in an arid area aquifer

Scientific question:

The study investigates recharge to the Najd groundwaters as part of an active flow system and evaluates the mean residence time in the deep groundwaters.

Methods:

groundwater flow model combined with environmental isotope tracer data (Modflow)

Results:

The two-dimensional flow model replicates the characteristics of the aquifer system from the potential recharge area in the south (Dhofar Mountains) to the discharge area in the north (Sabkha Umm as Sammim).

Based on the used parameters the model calibration indicated, that a recharge rate of around 4 mm a^{-1} is sufficient to reproduce current groundwater levels.

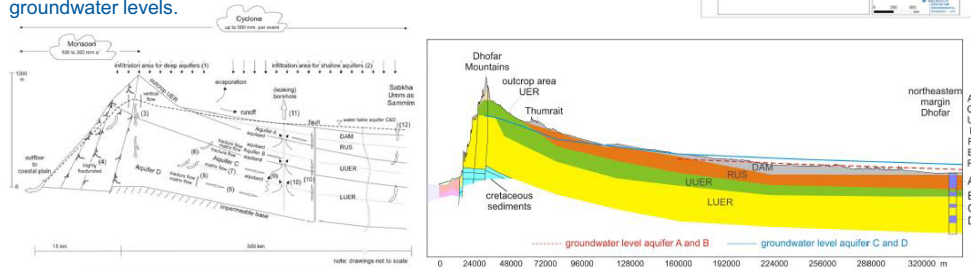
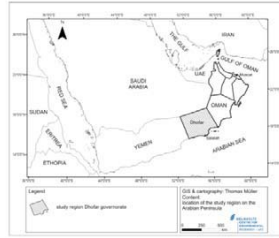


Figure 4.6: Generalized conceptual model of today's Najd hydrology.

Müller, 2013

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Kontakt:
Agnes Sachse
agnes.sachse@ufz.de
<https://geosys.ufz.de/trac/wiki/sumar>



Oman II

Scientific question:

Saltwater Intrusion in an Agricultural Used Coastal Aquifer System.

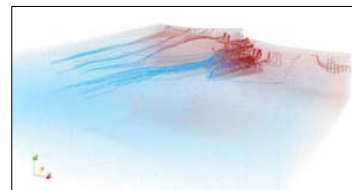
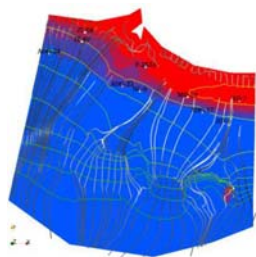
The "Al-Batinah" plains, a coastal region in Oman, are used for agriculture. Irrigation water is taken from limited, non-renewable subsurface water. Due to groundwater levels lowering: marine saltwater pollutes the aquifer.

Method:

three-dimensional groundwater model was set up to simulate the complex flow processes

Result:

best-case scenario simulation provided information on the potential of the aquifer to remove the saltwater in a long-term perspective



Stream tracers show areas of main groundwater flow paths

Advanced visualization techniques helped to validate complex model output

Walther, 2013

verwendete Literatur

u.a.

- "An Overview on Current Free and Open Source Desktop GIS Developments - Steinger and Bocher". Retrieved 2011-Aug-05.
- SELLE, B., SCHWIENTEK, M. & LISCHIED, G. (2013): Understanding processes governing water quality in catchments using principal component scores, Journal of Hydrology 486, 31-38.
- Maliva, R. & Missimer, T. (2012): Arid Lands Water Evaluation and Management
- K. Rink + L. Bilke: OGS Data Explorer, OGS Training Course
- C. Siebert: V (heiß-) Aride Hydrogeologie, TU Dresden

