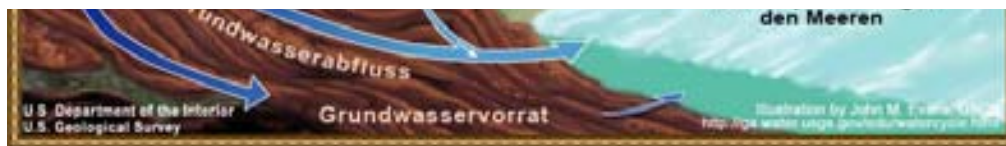




## Vorlesung: Hydrosystemmodellierung

### Hydrologische Modellierung (im ariden Raum)



Dresden, 08.05.2015

Agnes Sachse<sup>1, 2</sup>

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



## Vergangene Veranstaltung

## Fragen?

### Hydrologische Modellierung im humiden Raum

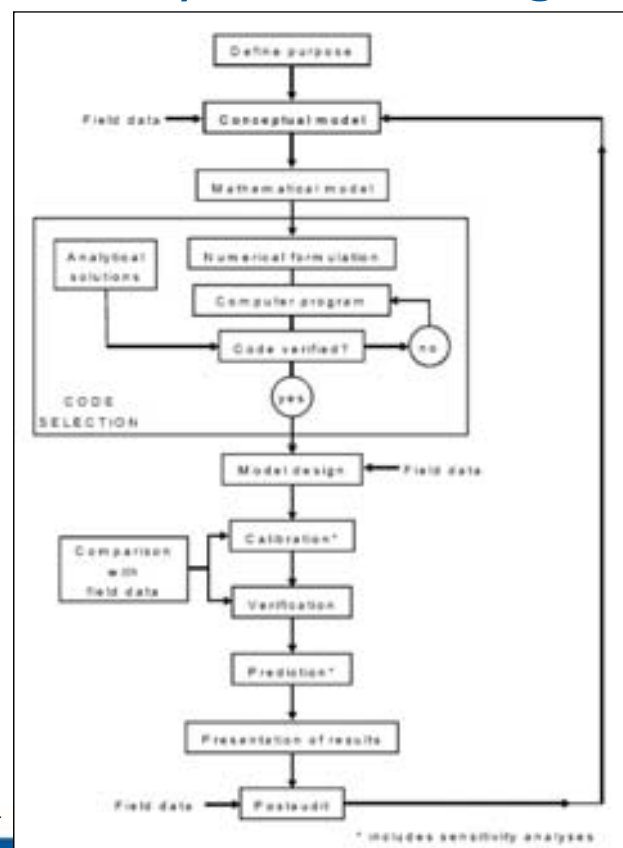
- wissenschaftliche Fragestellungen + Kurzvorstellung von Fallstudien
- Modellklassifikationen
- Modellsoftware
- Arbeitsplan der hydrologischen Modellierung:
  - Problemanalyse
  - Datenerhebung
  - Konzeptionelles Modell
  - Modellaufbau/-prüfung
  - Modellanwendung
  - Modellpflege

# heute: hydrologische Modellierung im ariden Raum

- Beispiel aus dem ariden Raum: Totes Meer

## Arbeitsplan der (hydrologischen) Modellierung

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



# Fallbeispiel – Hydrogeologisches Modell, umgesetzt im OpenGeosys

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

### Scientific Question:

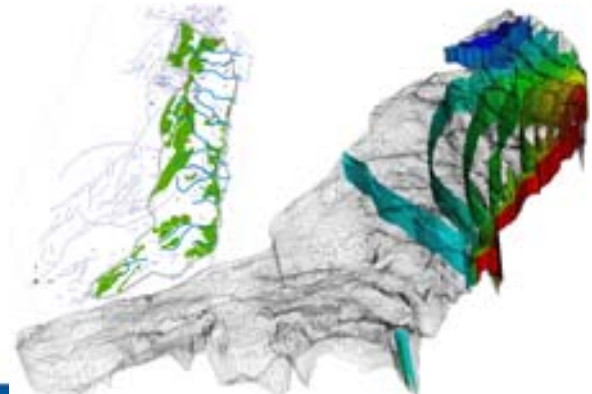
The cretaceous aquifer system is the only fresh water resource in the arid catchment of the Western Dead sea escarpment. Unsustainable water management led to an overexploitation of the aquifer and to an enormous decrease of the water level of the Dead sea. The aim of the modeling was the quantification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



# Hydrologische Modellierung im ariden Raum

Management von Wasser-Ressourcen in hydrologisch sensitiven Regionen:

- Charakterisierung arider Gebiete
- Israel / Palästina

## Aridität

= Ausdruck zur Kennzeichnung der Trockenheit eines Gebietes:

.....

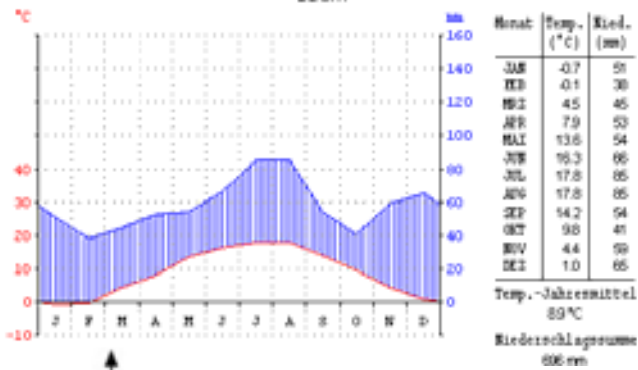
lateinisch „aridus“ = .....

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

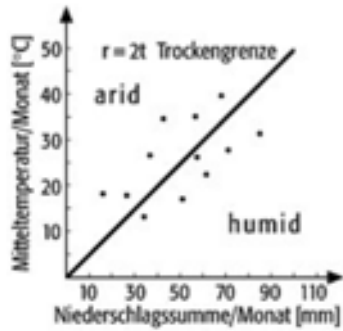
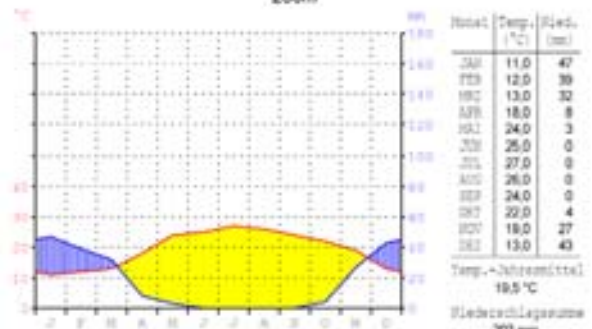
Klimaindize: = Ariditätsfaktor

# Vergleich: humid vs. arid

Dresden / Deutschland  
51°8'N/13°47'E  
226m



Beersheba/Israel  
31°15'N/34°48'E  
280m

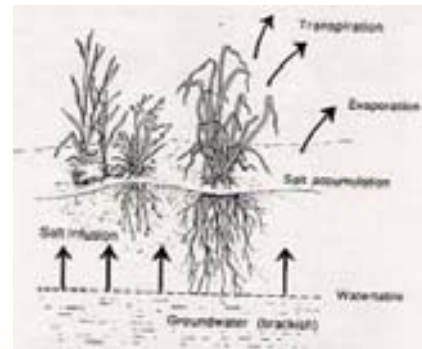


Quelle: Spektrum Akademischer Verlag

$$i = N \text{ (mm)} / T \text{ (}^\circ\text{C)} + 10$$

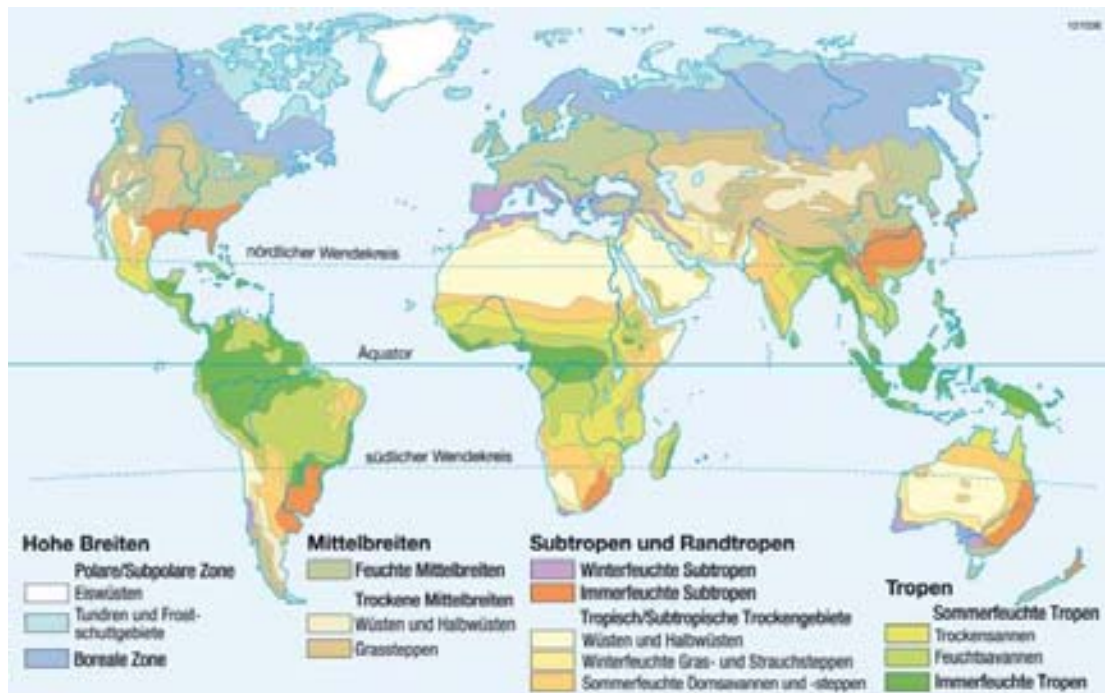
Trockengrenze:  $N = 0,5T$

Prozess der Bodenersalzung in ariden Gebieten



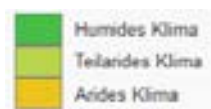
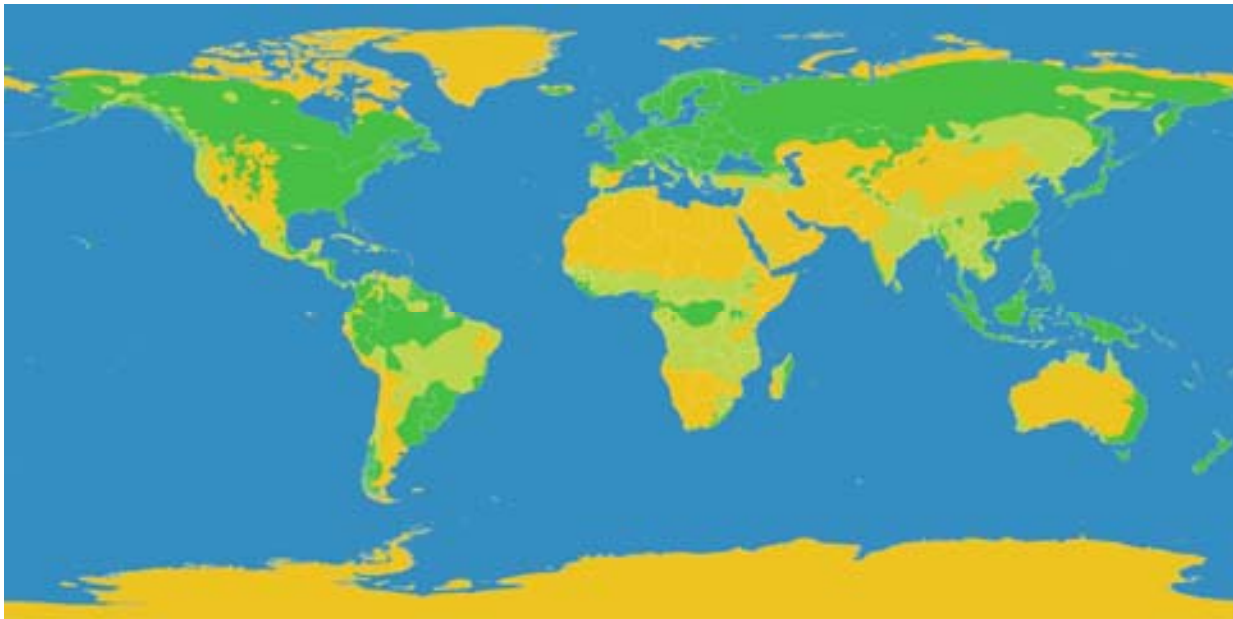
Quelle: geo.bildungszentrum-markdorf.de

# Ökozonale Gliederung



Ökozonale Gliederung nach J. Schultz) diercke.de

# Klimate der Erde (nach ihrer Humidität)



Quelle: de.wikipedia.org

## 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: .....



Quelle: southampton.ac.uk

### Wirkung:

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



Quelle: gailandjohninuae.blogspot.com

# Auswirkung der Aridität

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

## Merkmal:

- Verwitterung physikalisch  $\gg$  chemisch
- .....
- .....



Quelle: C. Siebert

## Wirkung:

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



Quelle: israel-tourguide.info

# Auswirkung der Aridität

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

## Merkmal:

- .....
- Trockenzeit begleitet von T-peak (heißarid)



Tröpfchenbewässerung

## Wirkung:

- starke Erosion (äolisch, flash-floods)
- .....
- .....

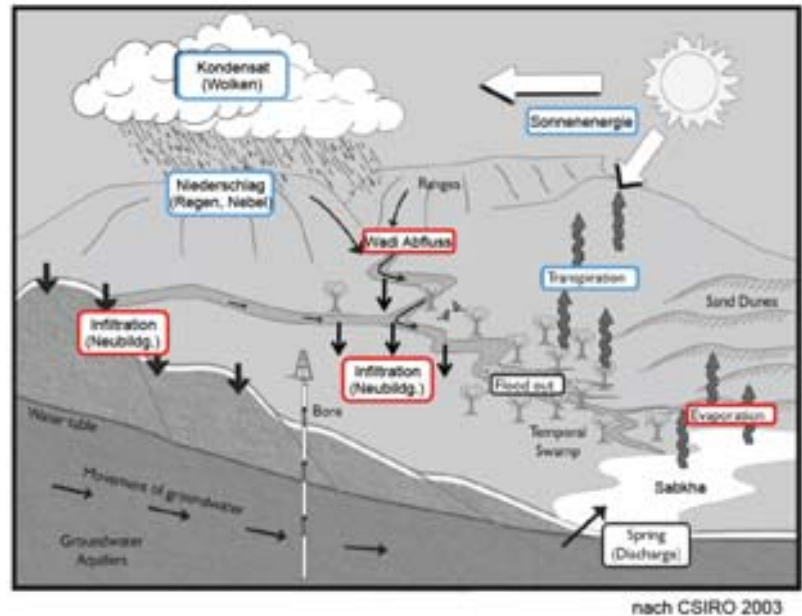


Quelle: kkl.org.il

# Charakterisierung des ariden Wasserkreislaufs

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

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



## Wasserressourcen Management arider Gebiet

Kenntnis aller Komponenten des Wasserhaushaltes nötig

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

Niederschlag N

- heterogen (zeitl. & räuml.)

Abfluss Q

- flash floods
- sekundäre Infiltration
- starke Evaporation

Evapotranspiration ET

- Oberflächengewässer
- Vegetation
- Substrat

Speicheränderung  $\Delta S$

- Oberflächengewässer
- Böden, unges. Zone
- Schnee, Eis
- Grundwasser



# 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 RENGER & WESSOLEK: .....
- Verfahren nach BAGROV-GLUGLA: .....

# Methoden zur Abschätzung der Grundwasserneubildung im ariden Raum

- indirekte Grundwasserneubildung (Infiltration von [akkumuliertem] Oberflächenabfluss)

## Methoden:

- Chloridbilanz (Theiss, 1937; Sanford, 1994; Marei et al., 2010)

- .....

- empirische Ansätze: Niederschlags-Abfluss-Relation, z.B. Guttman (2000)

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

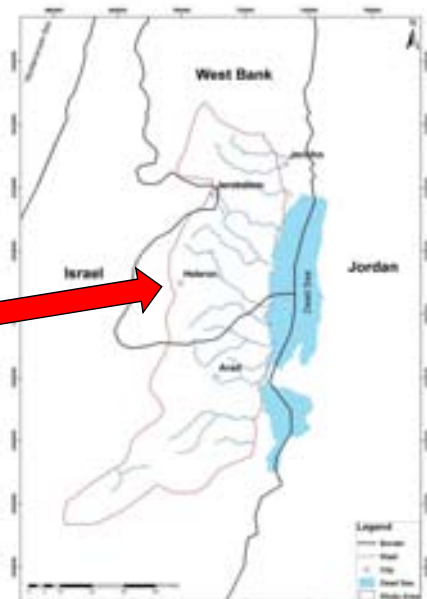
→ Fallbeispiel: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina

## aride Gebiete: Fallstudien



Page 19

## Überblick: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina



Untersuchungsgebiet: unterirdisches Einzugsgebiet des westl. Toten Meeres, ca. 3800 km<sup>2</sup>

Page 20

## Überblick: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina



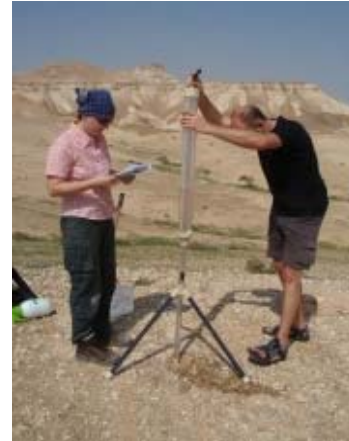
Page 21

## Überblick: Untersuchungsgebiet in Israel / Palästina



Page 22

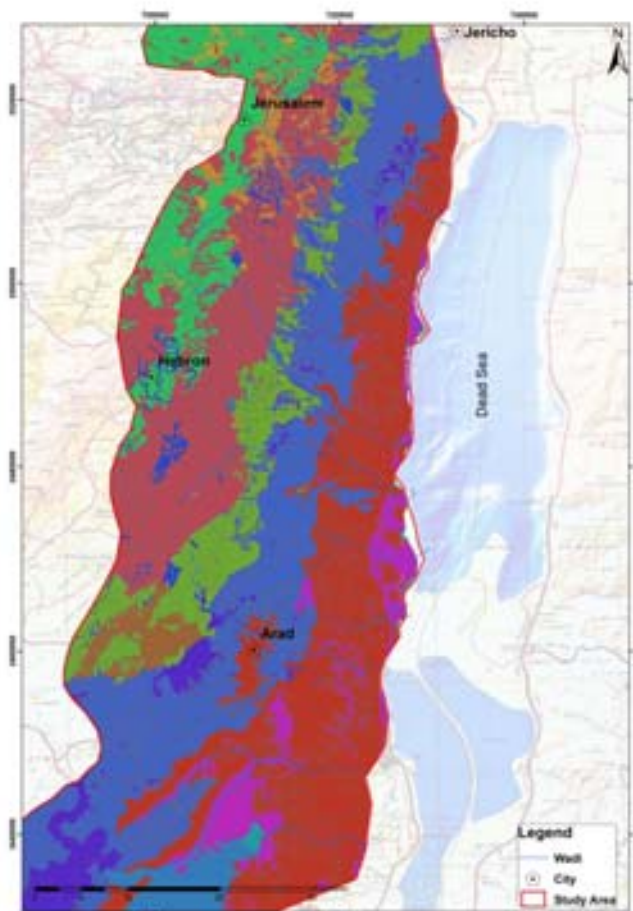
# Datenerhebung



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
- lithosol desertic
- outcrop rock-no soil



# Landnutzung

## Legend

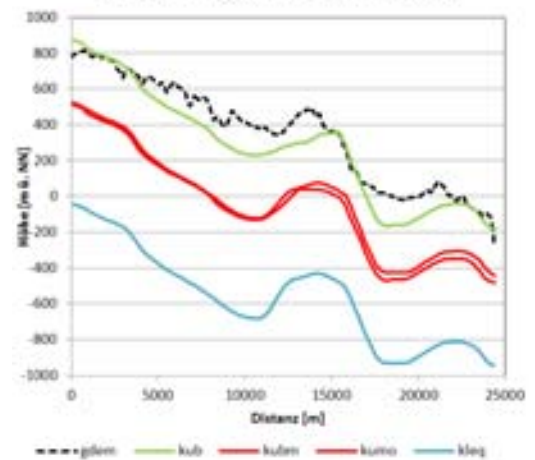
- Wadi
- City
- Study Area
- Undefined
- Urban (high impervious)
- Urban (moderate impervious)
- Olives
- Palm plantation (dense cover)
- Palm plantation (moderate cover)
- Greenhouses
- Reed
- Agricultural crop land (dense cover)
- Agricultural crop land (moderate cover)
- Agricultural crop land (low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



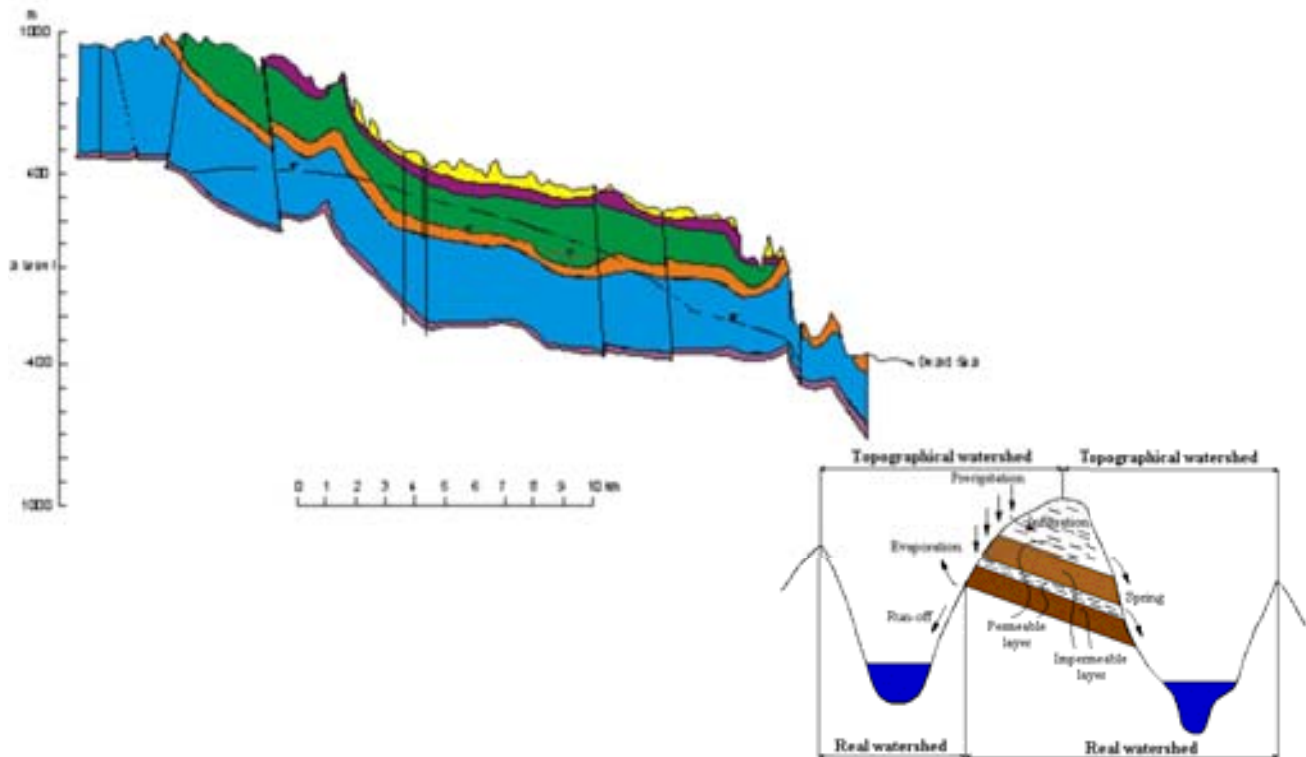
# Hydrogeologie

STRATIGRAPHY				HYDROLOGY	
Age	Lithology	Formation	Group		Hydraulic Conductivity
Eocene		Zor'a	Avedat	Aquiclude	
Paleocene		Engur	Mount Scopus	Aquiclude	5.00E-08 m/s
Maastrichtian		Gharib		Aquiclude	
		Mukash		Aquiclude	
Senonian		Mondja	Judea	Aquifer	3.00E-06 m/s
Turonian		Bi'na		Aquifer	
Cenomanian		Waradin		Aquifer	
		Kefir Sha'al		Aquifer	
		'Ammudav		Aquifer	
Albian		Miza	Aquiclude	5.00E-09 m/s	
		Beit Me'ir	Aquifer, Aquifer	3.00E-06 m/s	
		Kevulun	Aquifer		
		Soroq	Aquifer		
		Giv'at Ye'arim	Aquifer		
		Kefir			

Profil Jerusalem --> Ein Feshka



# Hydrogeologie

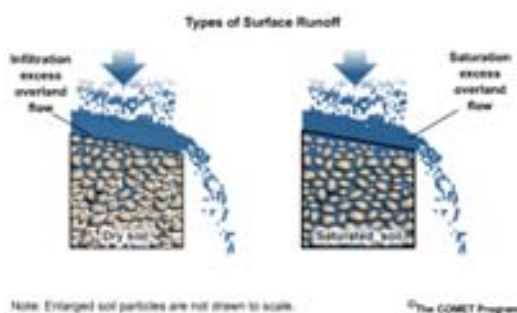


(Musy, 2001)

## Hydrologische Charakterisierung

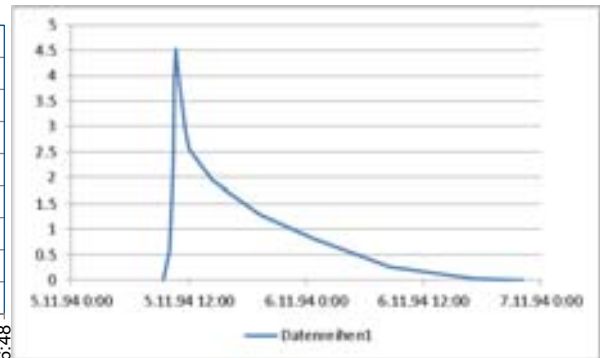
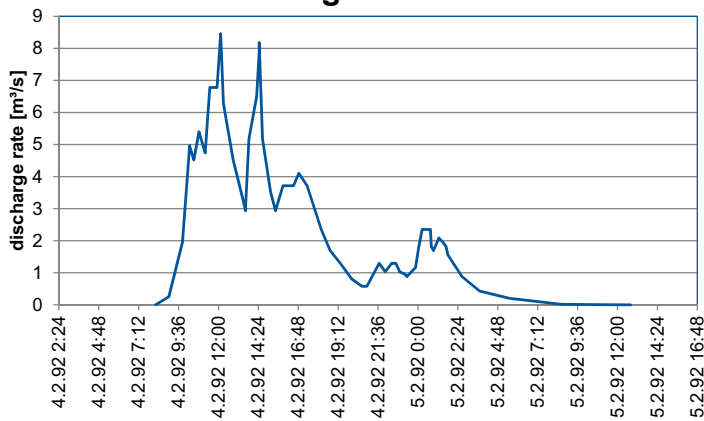
Generell:

- kurz und heftige Niederschlagsereignisse
- .....
- Oberflächenabfluss ist höher als Infiltrationsvolumen
- keine durchgehende Bodenbedeckung, die den Oberflächenabfluss abbremst und Infiltration begünstigt
- .....



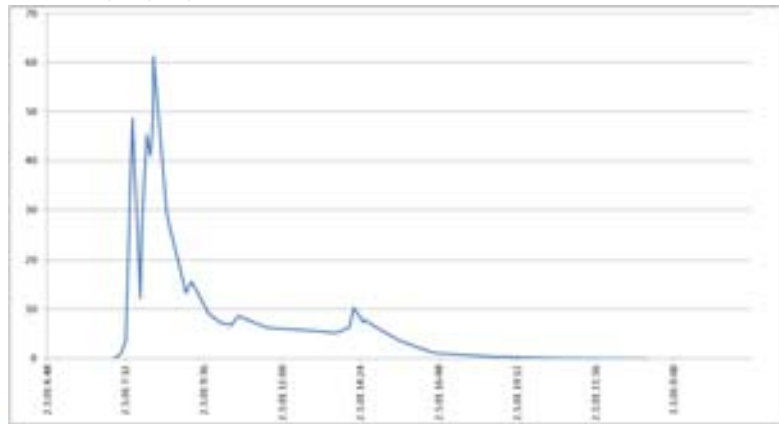
# Hydrologische Charakterisierung

## Wadi Darga: Abfluss



- .....
- steiler Anstieg des Hydrographen
- Ereignisdauer: .....

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



## 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 Halberstam | March 18, 2014 3:59pm

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.





# Ein Gedi – Arugot Wadi Floods 25 – Feb - 2008

Pictures: Eyal Shemesh

All rights reserved

## Messung von Abflussereignissen in Wadis

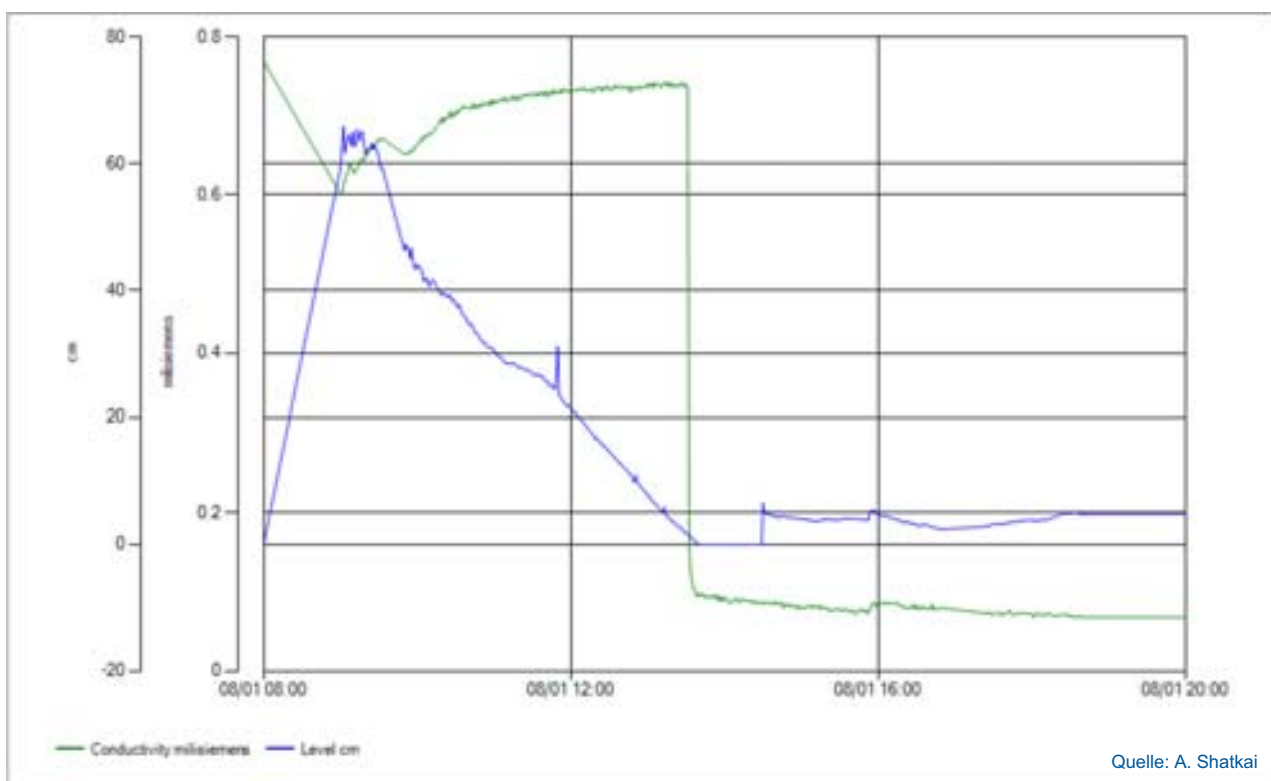




Wadi Og (25 November 2012) looking downstream at the perforated pipe which contains the sensors and the pipe for the sampler. Notice the unnatural, very strong topographic relief between the right (southern) and the left sides of the wadi bed.

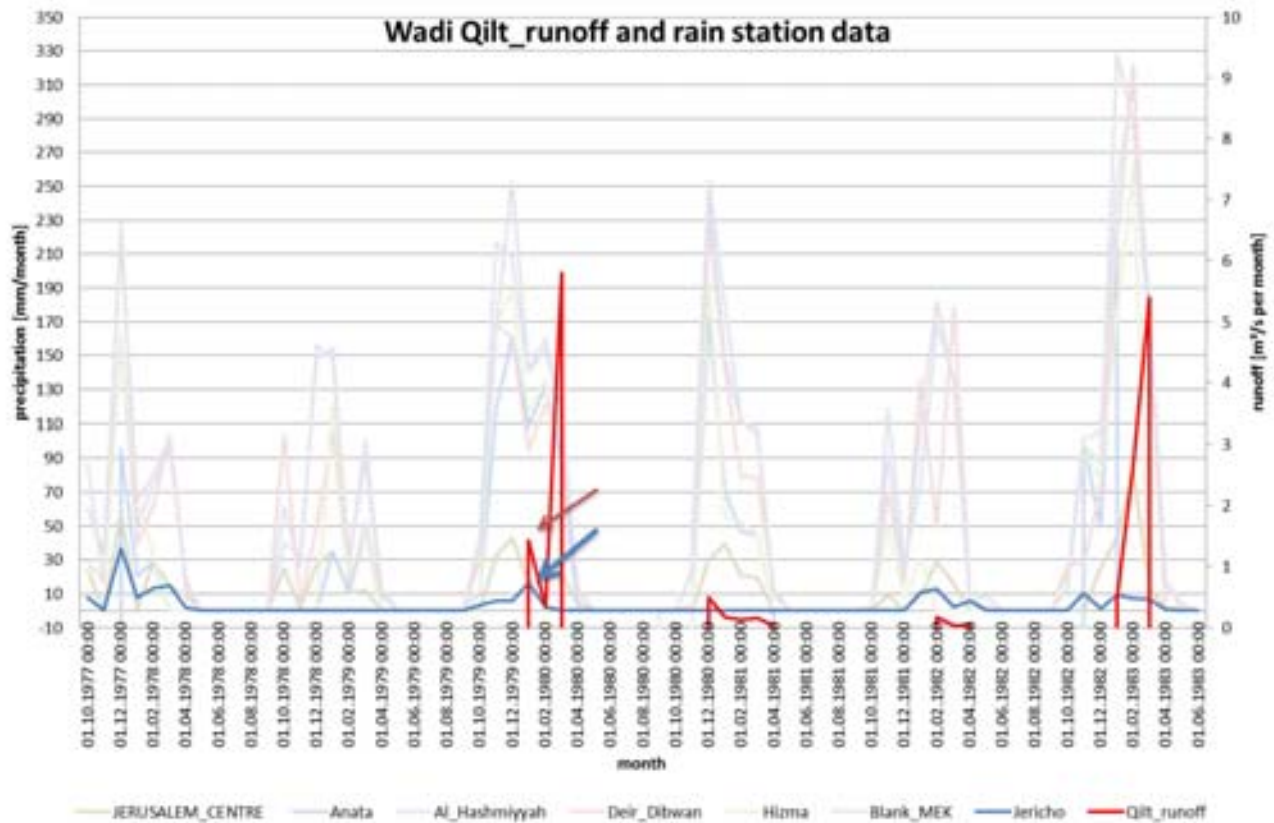
Quelle: A. Shatkai

## Messung von Abflussereignissen in Wadis



Quelle: A. Shatkai

# Hydrologische Charakterisierung



Page 35

## 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

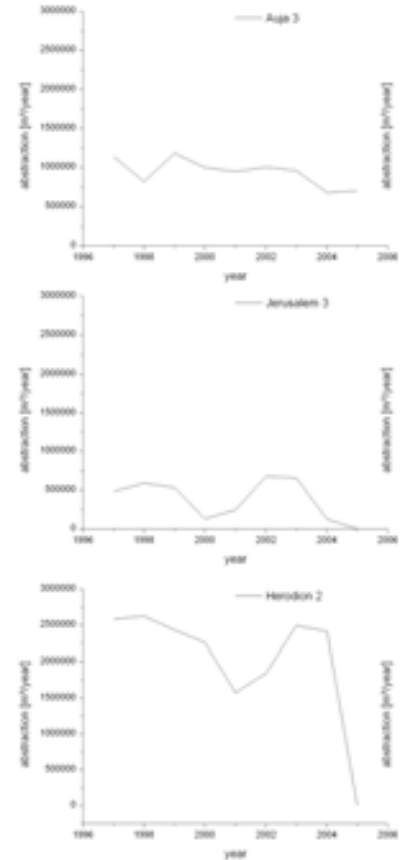
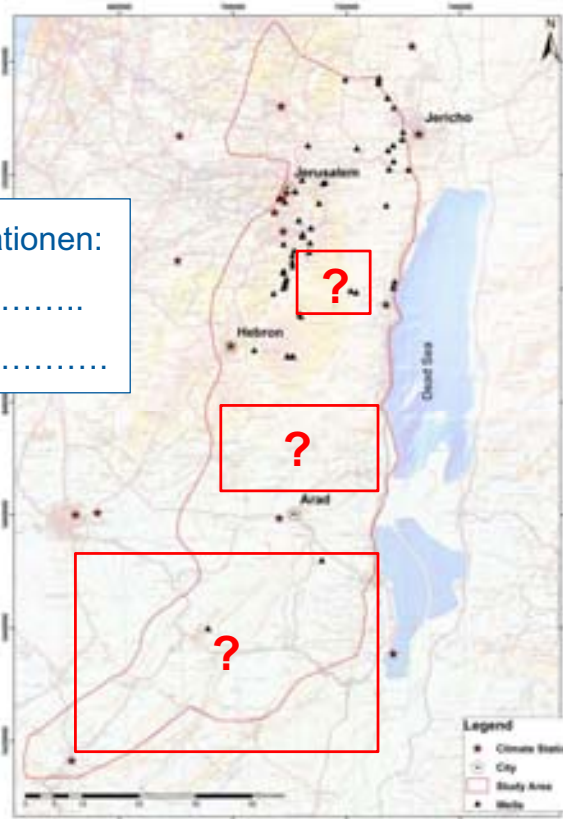


Page 36

# Herausforderung - Datenknappheit

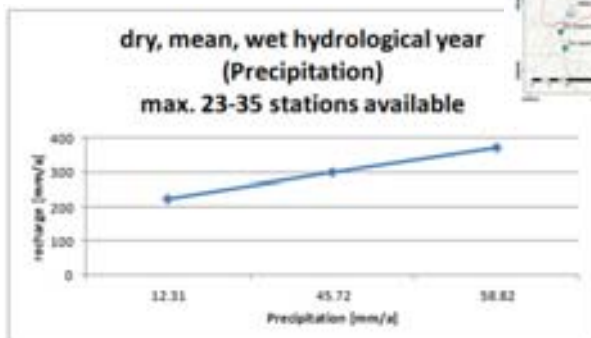
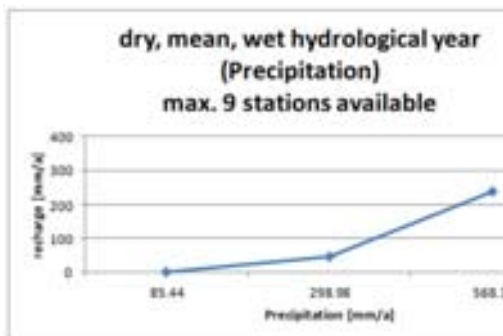
Brunneninformationen:

.....  
 .....



# Herausforderung - Datenknappheit

Klima- und Niederschlagsdaten

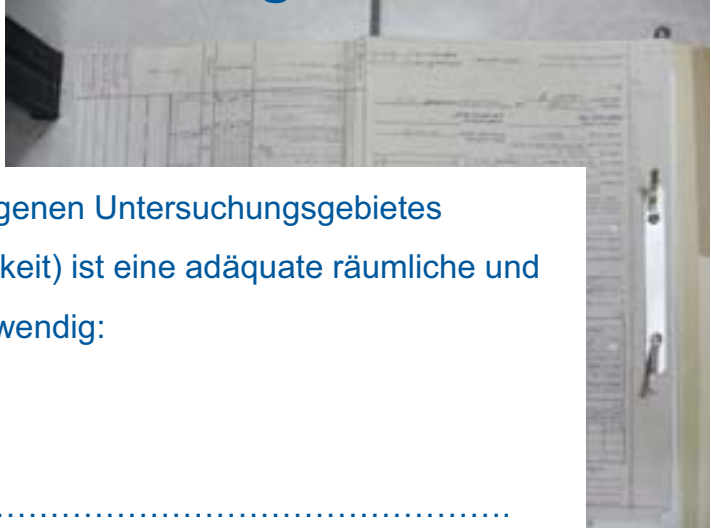
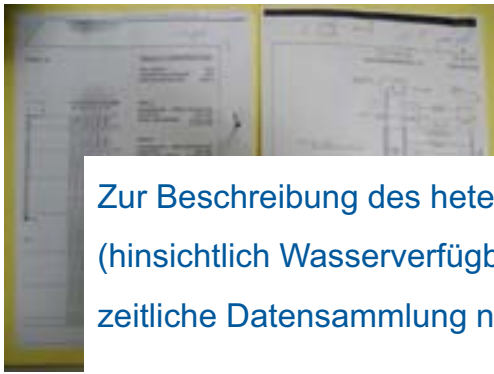


gwr_hydrYear	max_sum_Stations (Block)
18.496	11
10.505	11
127.27	11
46.508	11
23.269	11
150.405	12
3.291	12
21.905	12
3.712	12
56.673	12

- Okt 01
- Okt 02
- Okt 03
- Okt 04
- Okt 05
- Okt 06
- Okt 07
- Okt 08
- Okt 09
- Okt 10



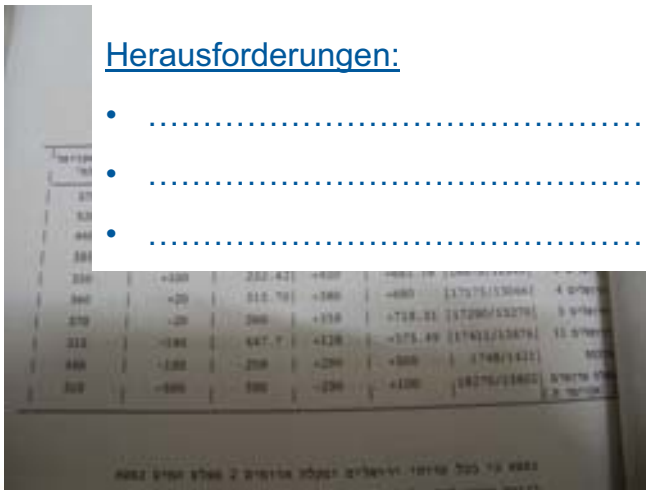
# Herausforderung - Datenverfügbarkeit



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

## Herausforderungen:

- .....
- .....
- .....



# Wissenschaftliche Fragestellungen im ariden Raum



## bedeutende Fragen:

- Neubildungsbedingungen
- Grundwasserfließdynamik (submarine Quellzutritte, 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

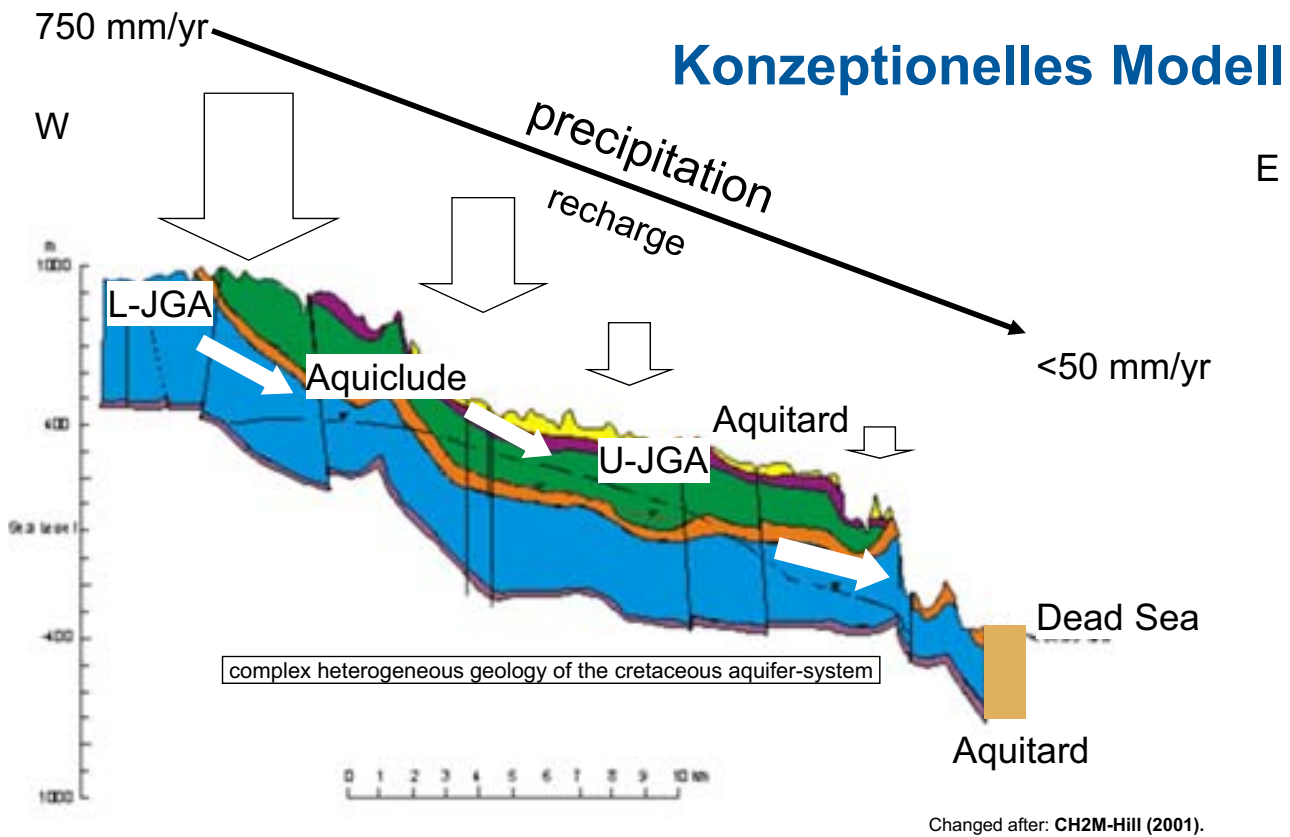


## Methoden

- Konzeptionelles Modell
- Hydrologisches Modell
- Strukturmodell
- Hydrogeologisches Modell

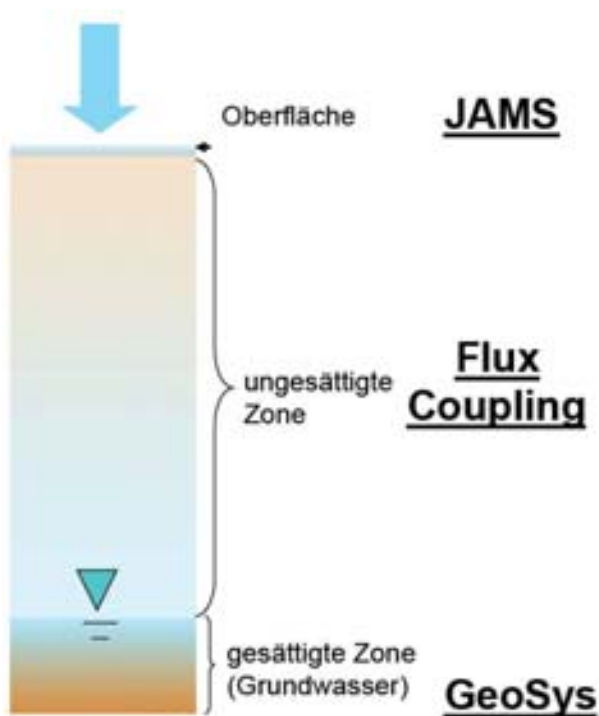


# Konzeptionelles Modell

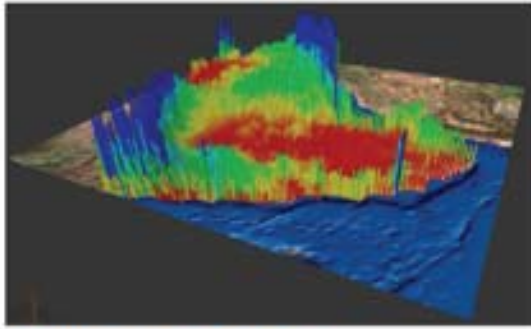


5 layer model

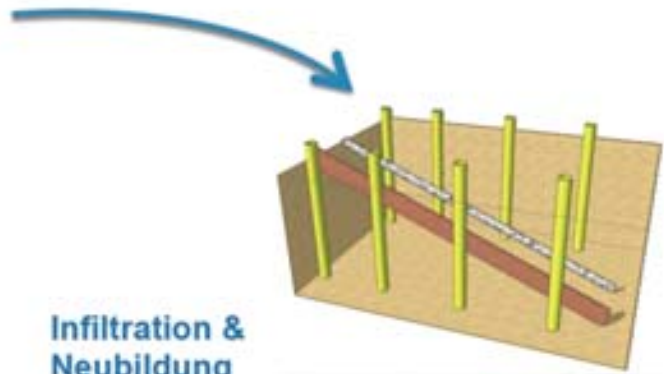
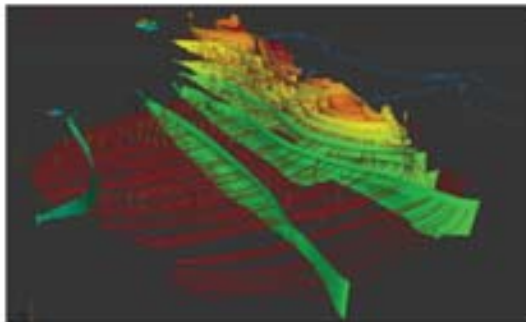
## Konzeptionelles Modell: Konzept der Flux-Kopplung



## Flux: unter ariden Bedingungen existent?



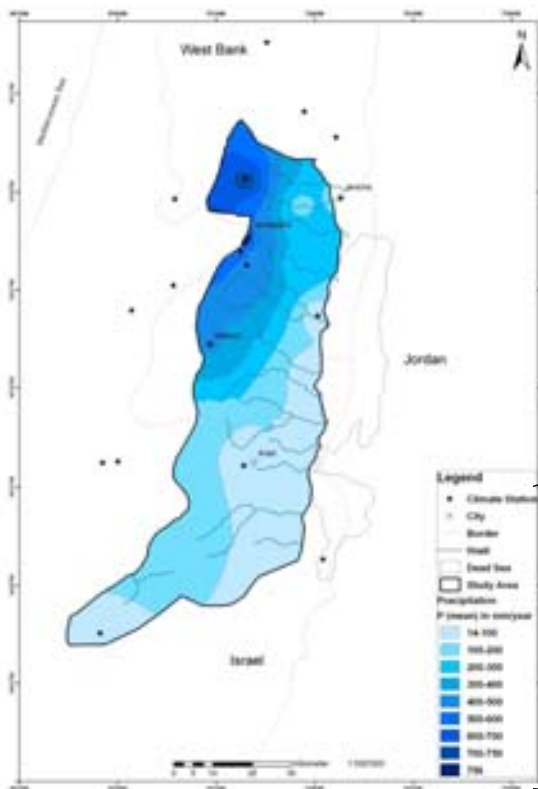
Klimatische Grenzen  
Ressourcenmodell



Infiltration & Neubildung



## Grundwasserneubildung



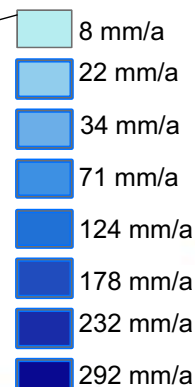
Various methods estimating recharge:

- 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):

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

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

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

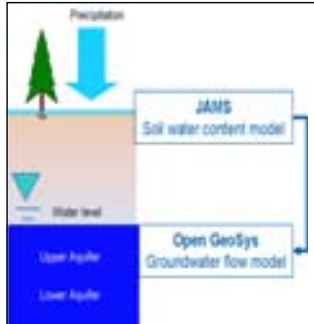


total average of  
annual recharge:  
**186 MCM/a**

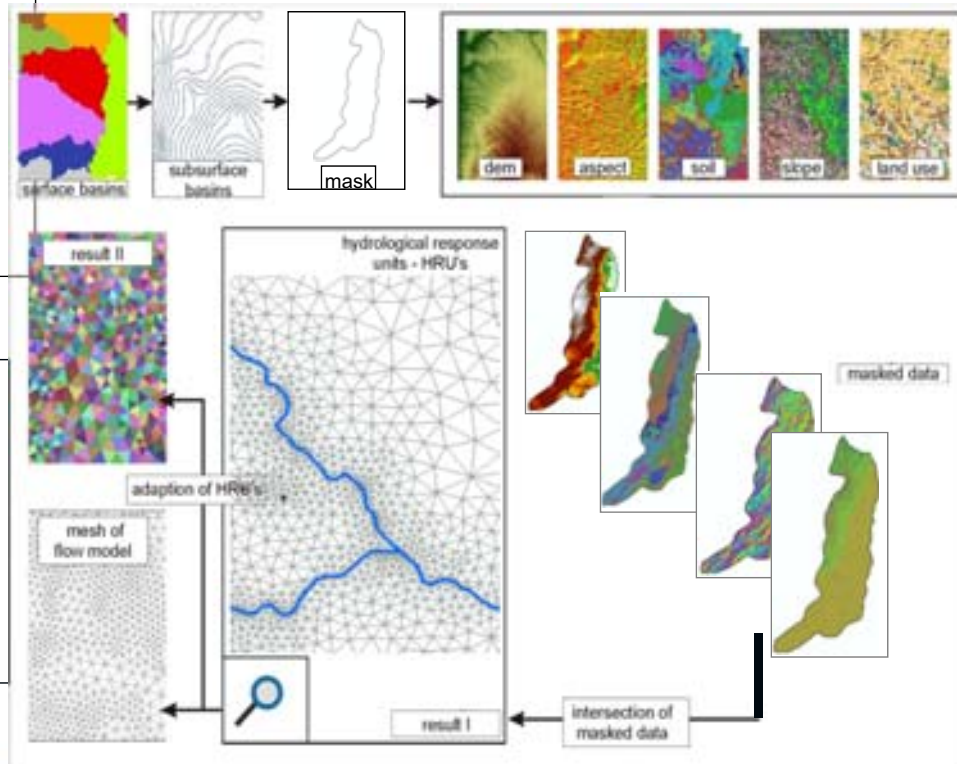
# Welches Hydrologische Modell zur Berechnung der GWN verwenden?

J2000g:

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



Modellkopplung



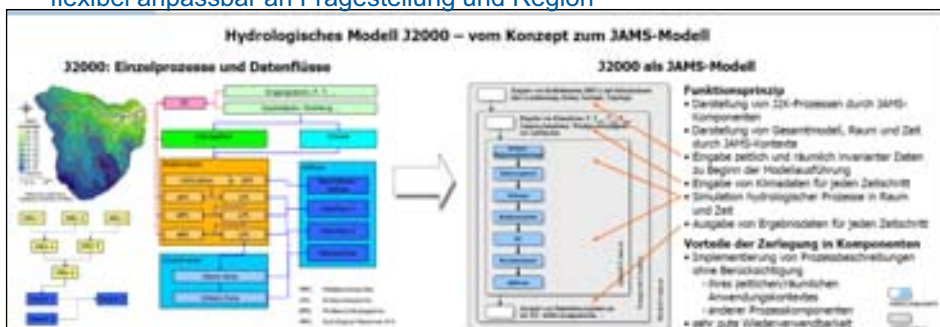
## JAMS

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

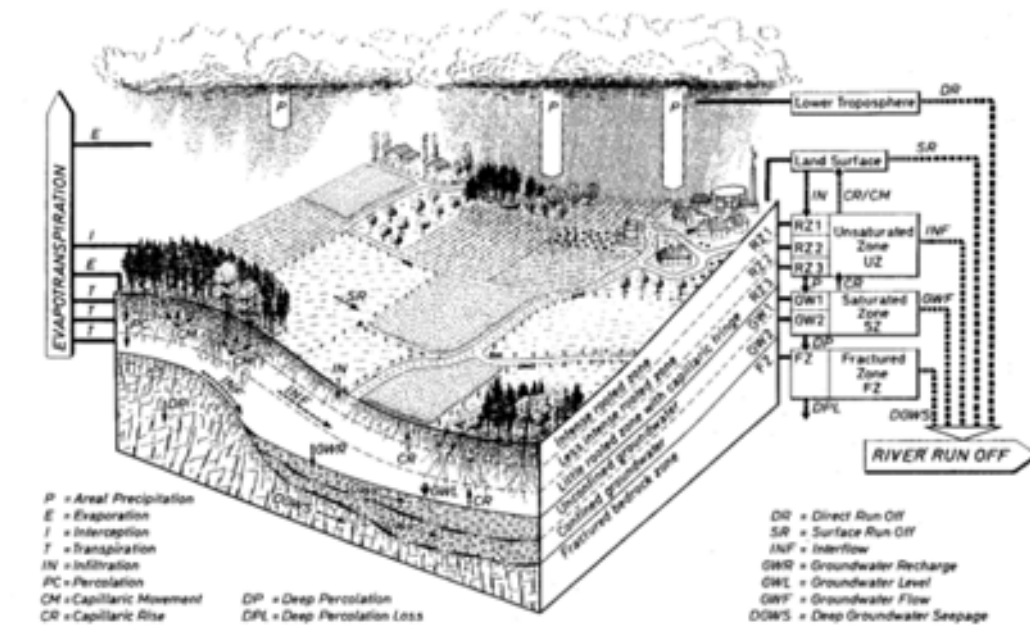
- basierend auf dem HRU-Prinzip

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



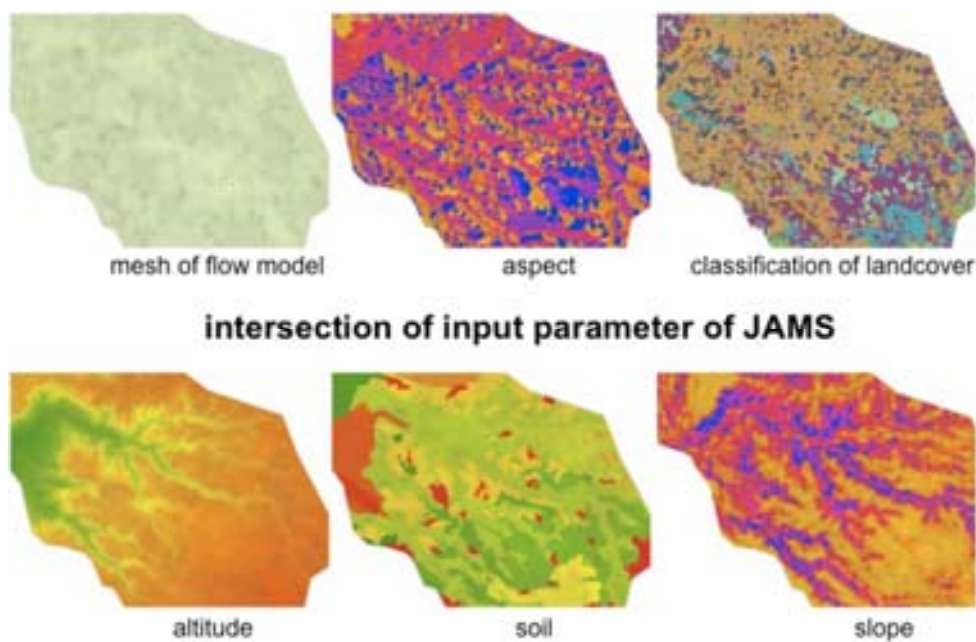
# Physiographisch-prozessorientiertes Konzept der HRUs



Quelle: Flügel (1996)



# HRU-Prinzip des Hydrologischen Modells





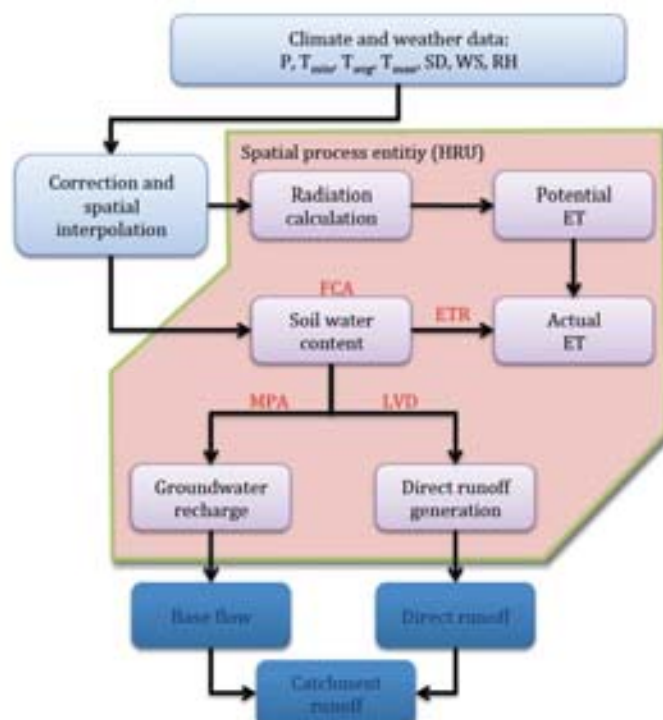
# Hintergrundinformationen zu J2000g

- HRU-Konzept
- Regionalisierung von Klima- und Niederschlagsdaten: höhenabhängige Berechnung, IDW,...)
- Korrekturverfahren: .....
- Evapotranspiration: Berechnung nach .....
- Spez. Anpassung: Verdunstung wird entsprechend Hangneigung + Exposition angepasst
- aus Sonnenscheindauer wird Globalstrahlung abgeleitet → alternativ wurde J2000g erweitert um Globalstrahlungsdaten (MJ/m<sup>2</sup>)
- kein .....
- Parameteranzahl geeignet für datenarme Regionen

# Hydrologisches Modell J2000g

## Eingangsparameter:

- Klimadaten
- Gebietsparameter



## Zeitliche Auflösung:

- stündlich, täglich, ...

# 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:

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

$\Delta$  = Steigung der Wasserdampfsättigungskurve;  $Q$  = Strahlungsbilanz;  $B$  = Bodenwärmestrom

$\gamma$  = Psychrometerkonstante;  $\rho$  = Dichte der Luft;  $c_p$  = Spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck;

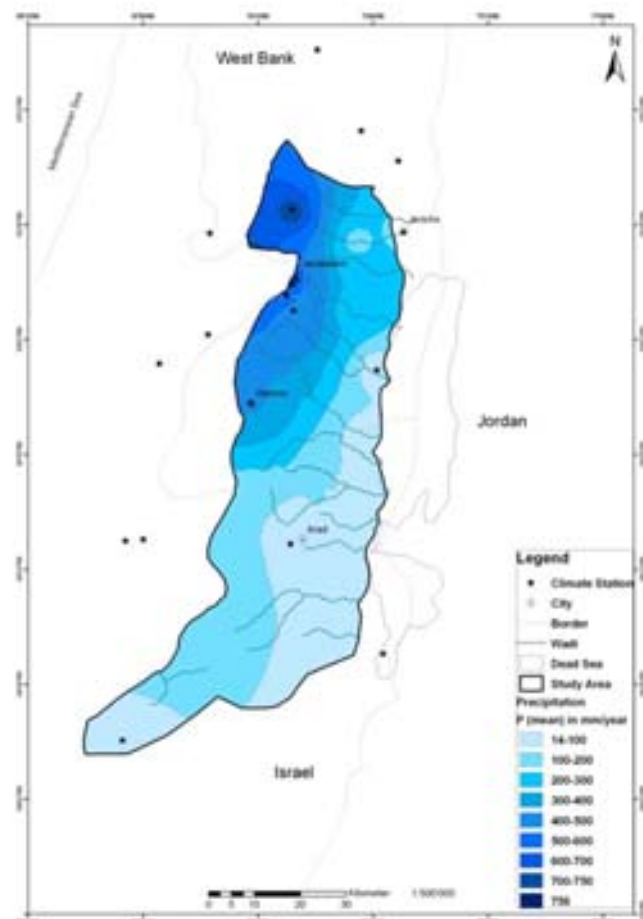
$E_L$  = Sättigungsdampfdruck;  $e_L$  = aktueller Dampfdruck;  $r_a$  = aerodynamischer Widerstand;

$r_s$  = Bestandswiderstand

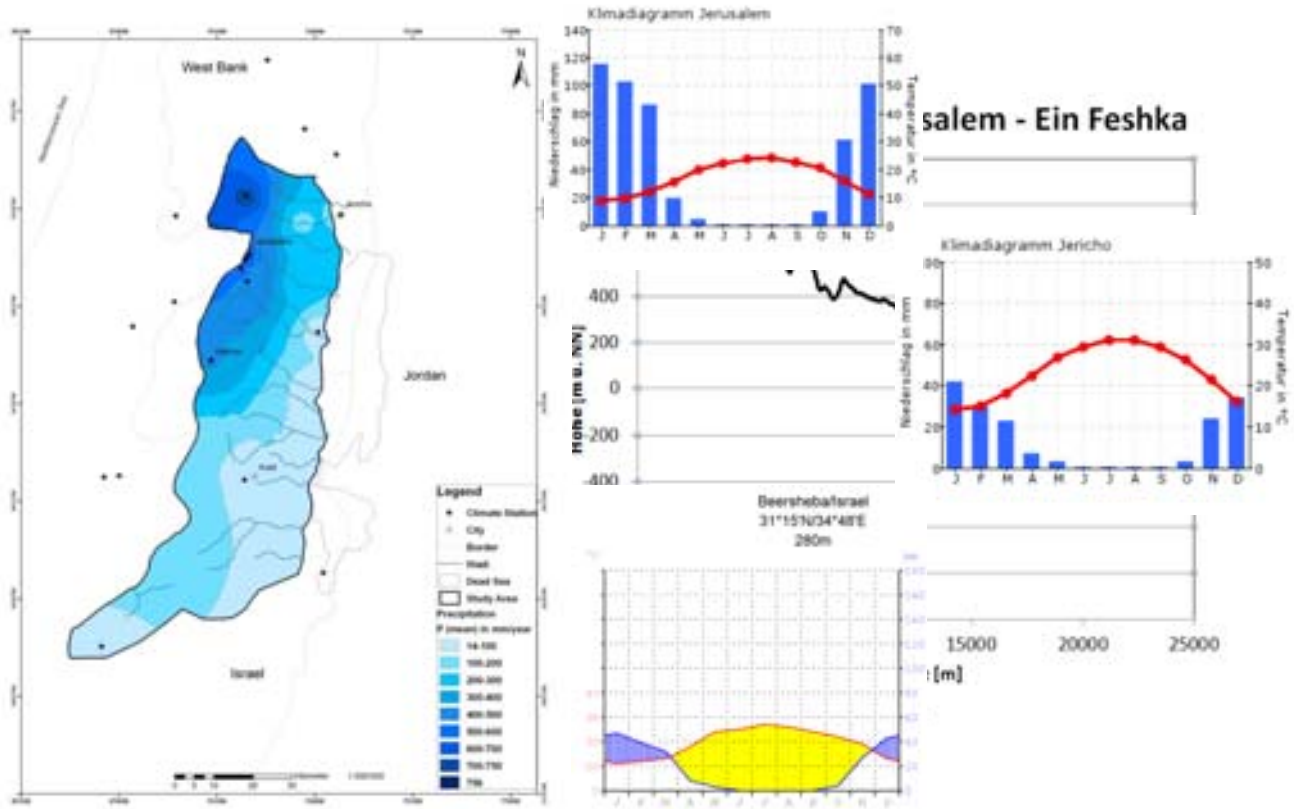
## Klimadatengrundlage

### Observationsdaten:

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

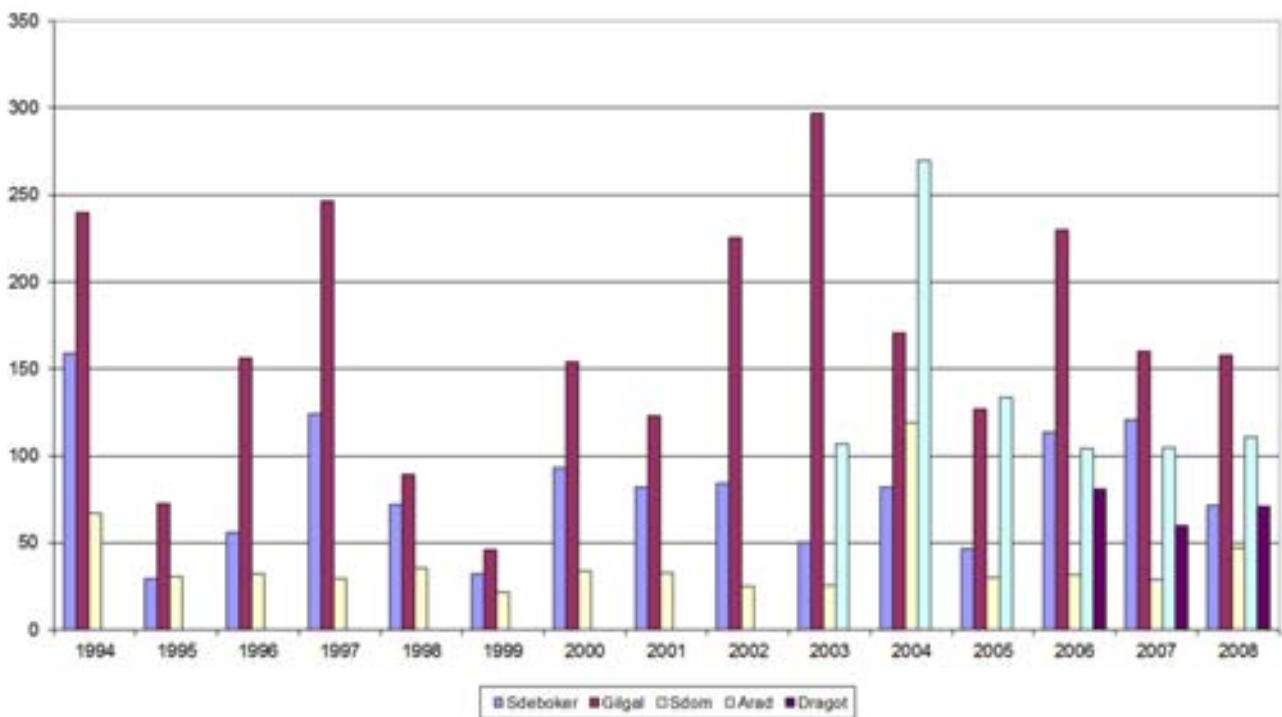


# Klima



# Klimadatengrundlage

Jahressumme Niederschlag



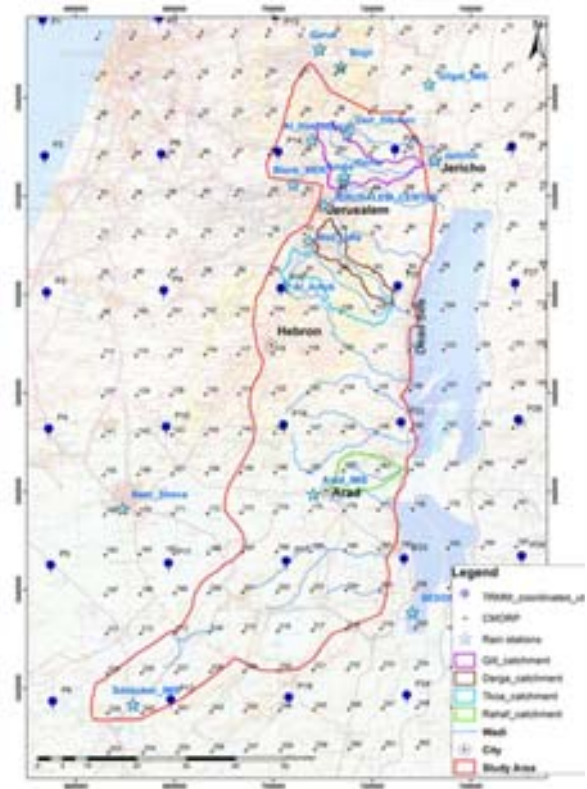
# Klimadatengrundlage

Bestimmung Niederschlagsmengen und -raten anhand von .....

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

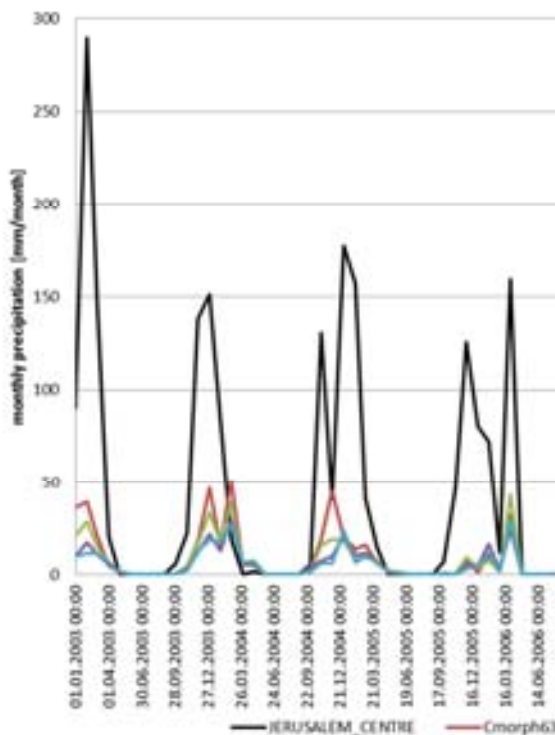
TRMM-Daten für Israel / Palästina (10a)

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

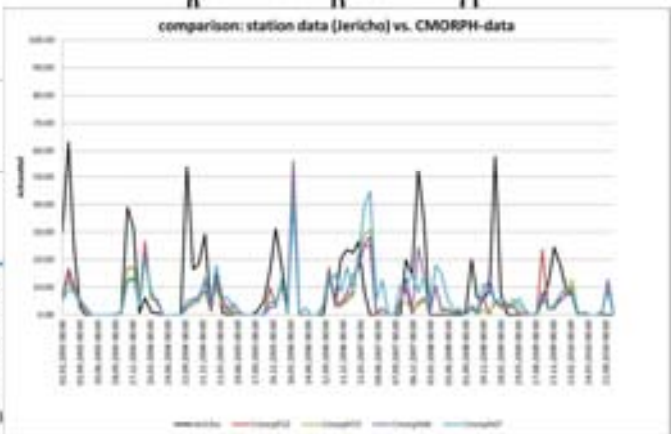


# Klimadatengrundlage

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



comparison: station data (Jericho) vs. CMORPH data

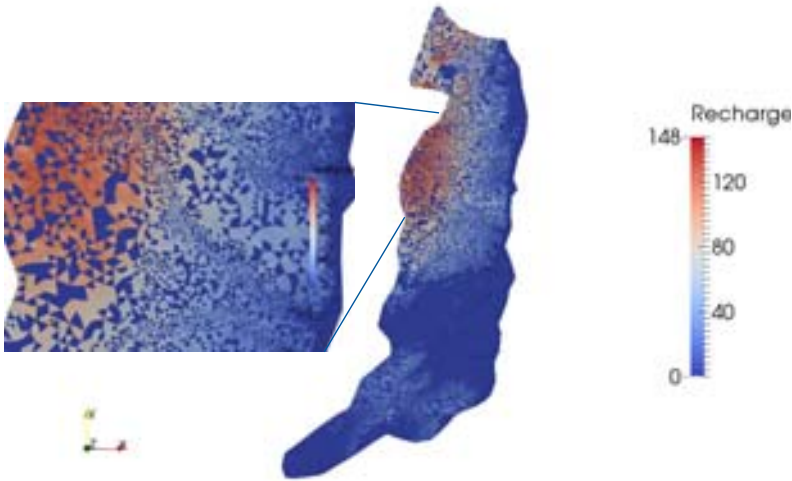


# Erste Ergebnisse des hydrolog. Modells

Modellzeitraum: Okt1977-Nov2010

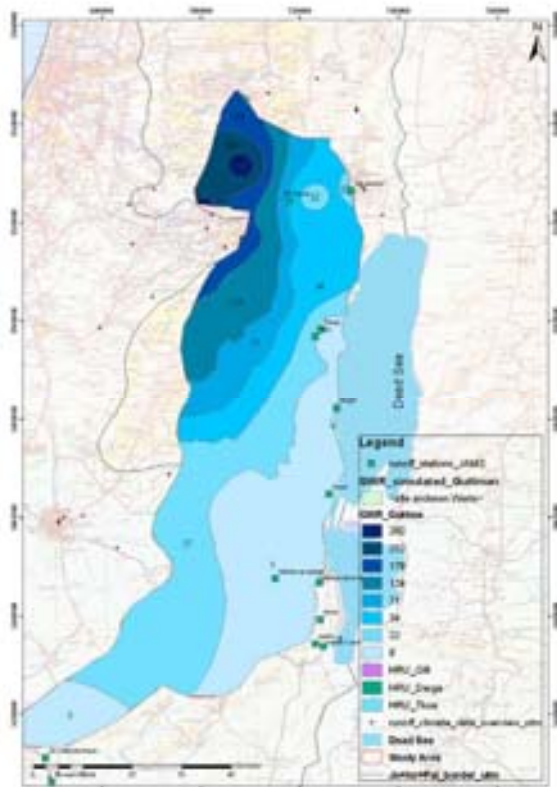
Grundwasserneubildung:

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

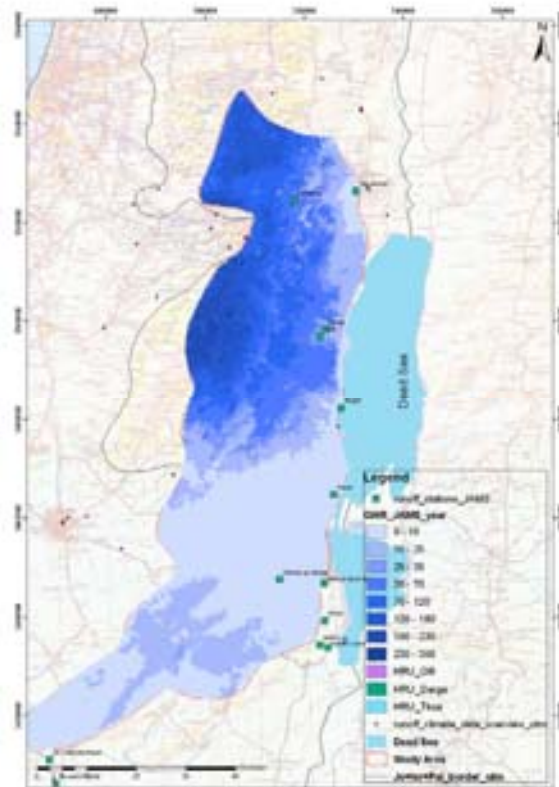


Monat	GWN_pro HRU_J20009
Januar	10.7
Februar	16.4
März	3.2
April	0.001
Mai	0
Juni	0
Juli	0
August	0
September	0
Oktober	0
November	0.5
Dezember	7.1

## Vergleich der Grundwasserneubildung

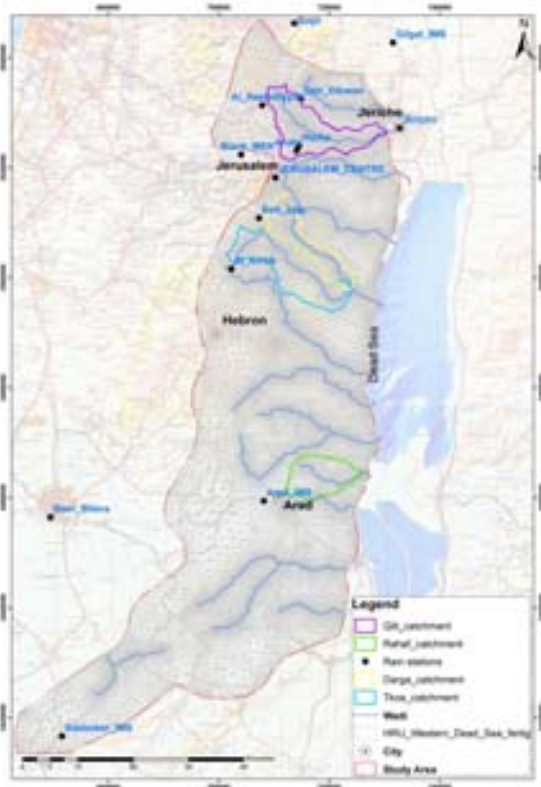


empirical approach: Guttman et al.



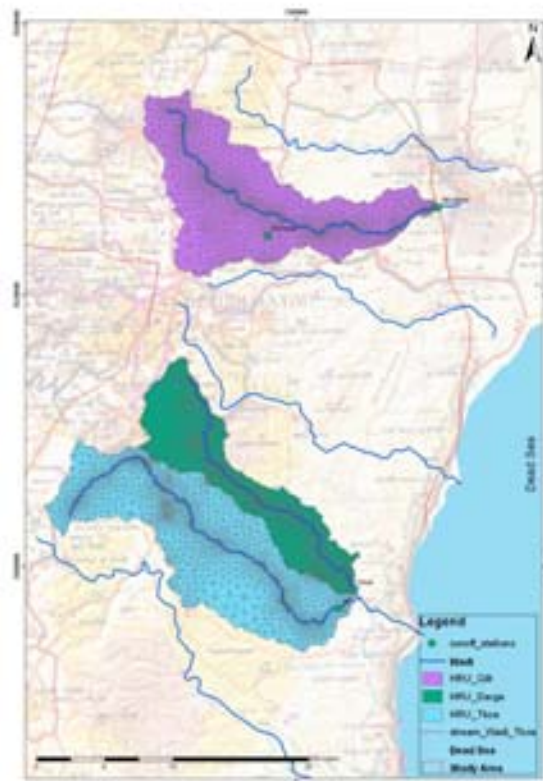
numerical approach (HRU-concept): J2000g (Krause et al.)

# Hydrologisches Modell: Schlussfolgerungen



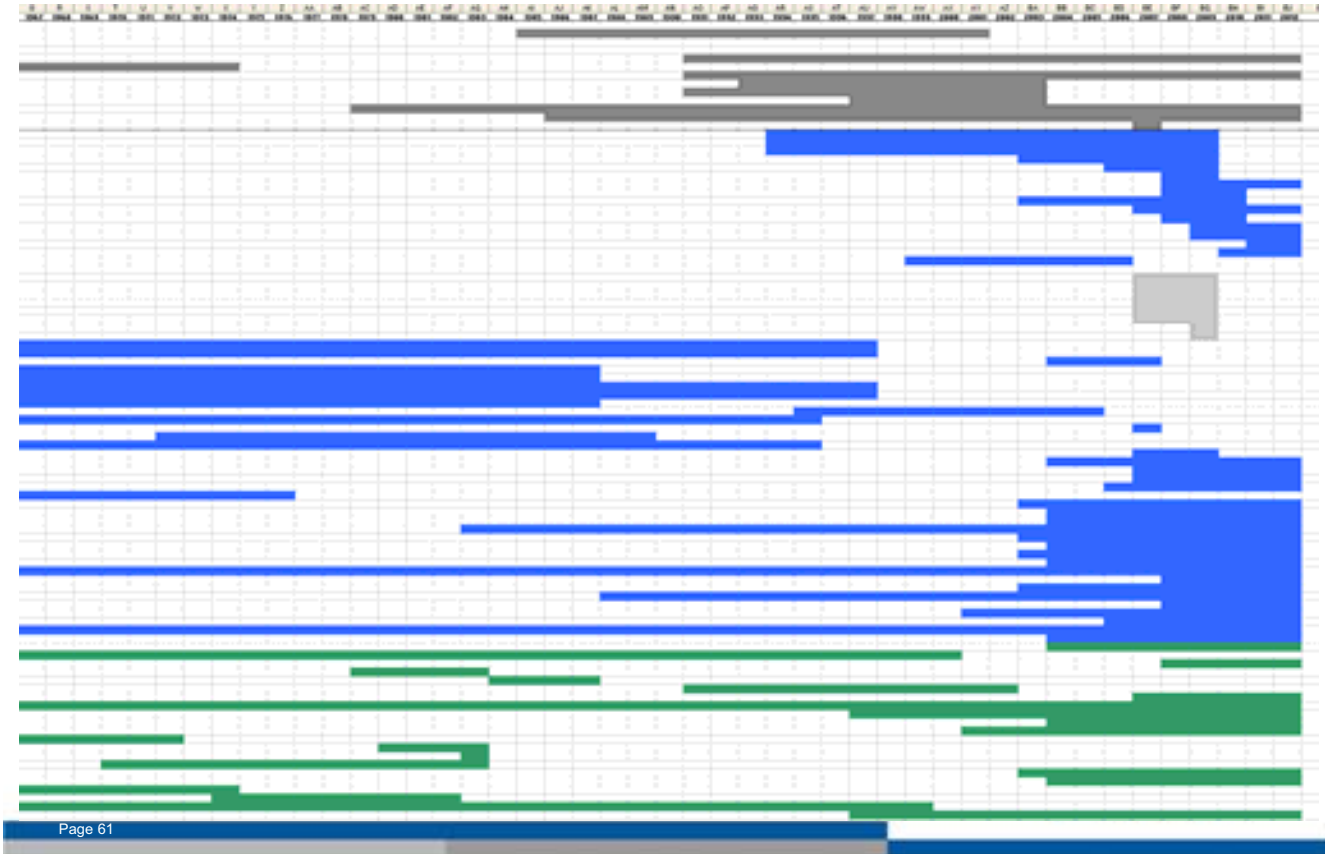
- erste Berechnungen des Western Dead Sea-Einzugsgebietes ohne Kalibrierung (average)
- Wadi- EZG's im J2000g rechnen + kalibrieren → relevant für "Western Dead Sea"
- vorhandene Datenbasis ermöglicht max. Berechnung von Wadi Darga, Tekoa + Qilt, Rahaf, Arugot

# Hydrologisches Modell

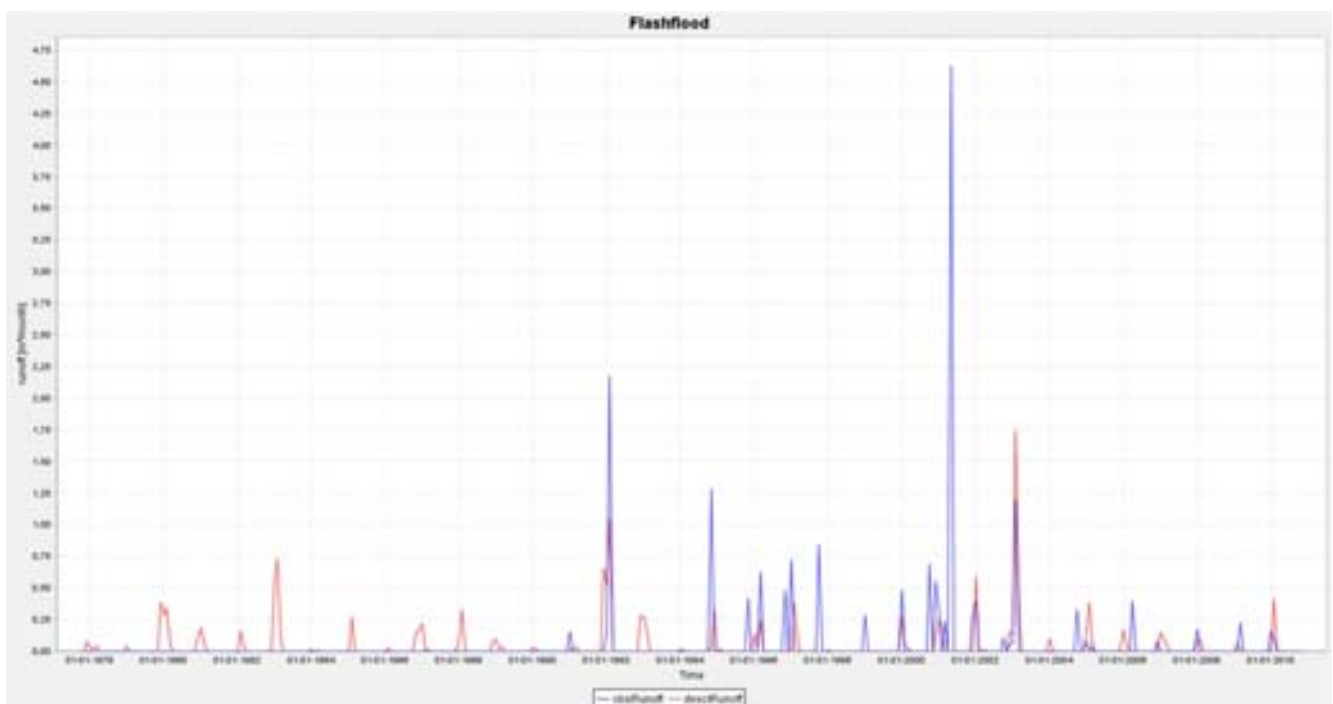


# Hydrologisches Modell - Datenverfügbarkeit

entscheidend für Kalibrierung des hydrologischen Modells

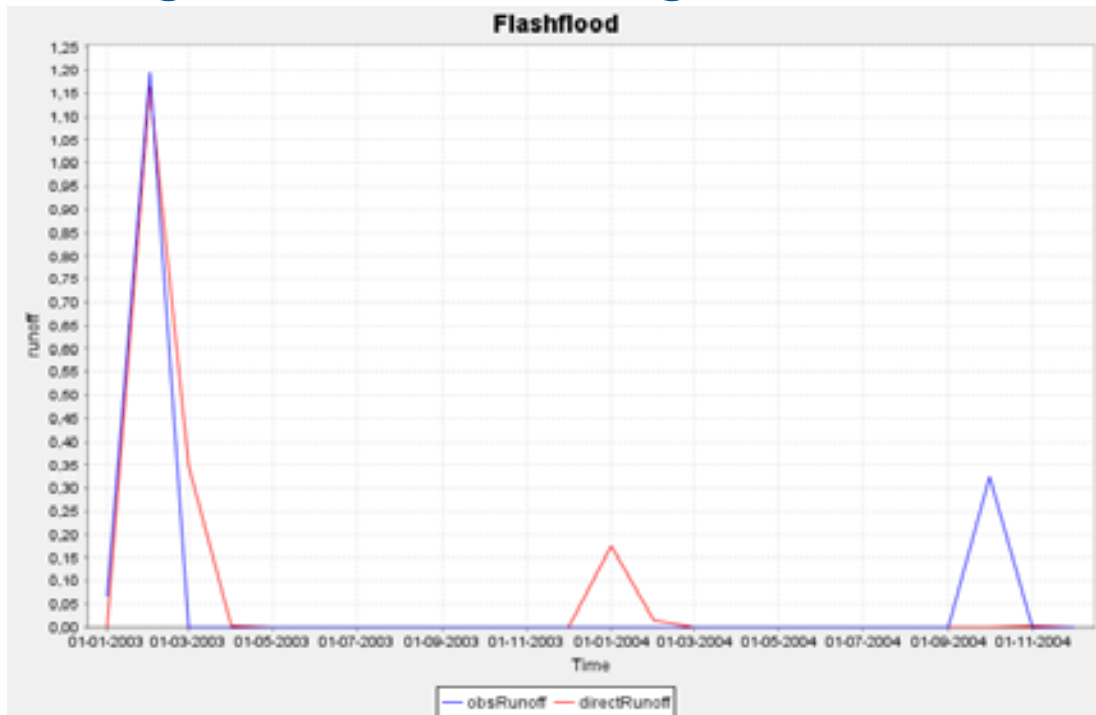


# Hydrologisches Modell - Ergebnisse



Darga\_monthly\_1977-2010      IMS Daten  
Zeitlich: gute (zeitl.) Abbildung des Abflusses  
Quantitativ: z.T. werden zu niedrige Abflussmengen simuliert

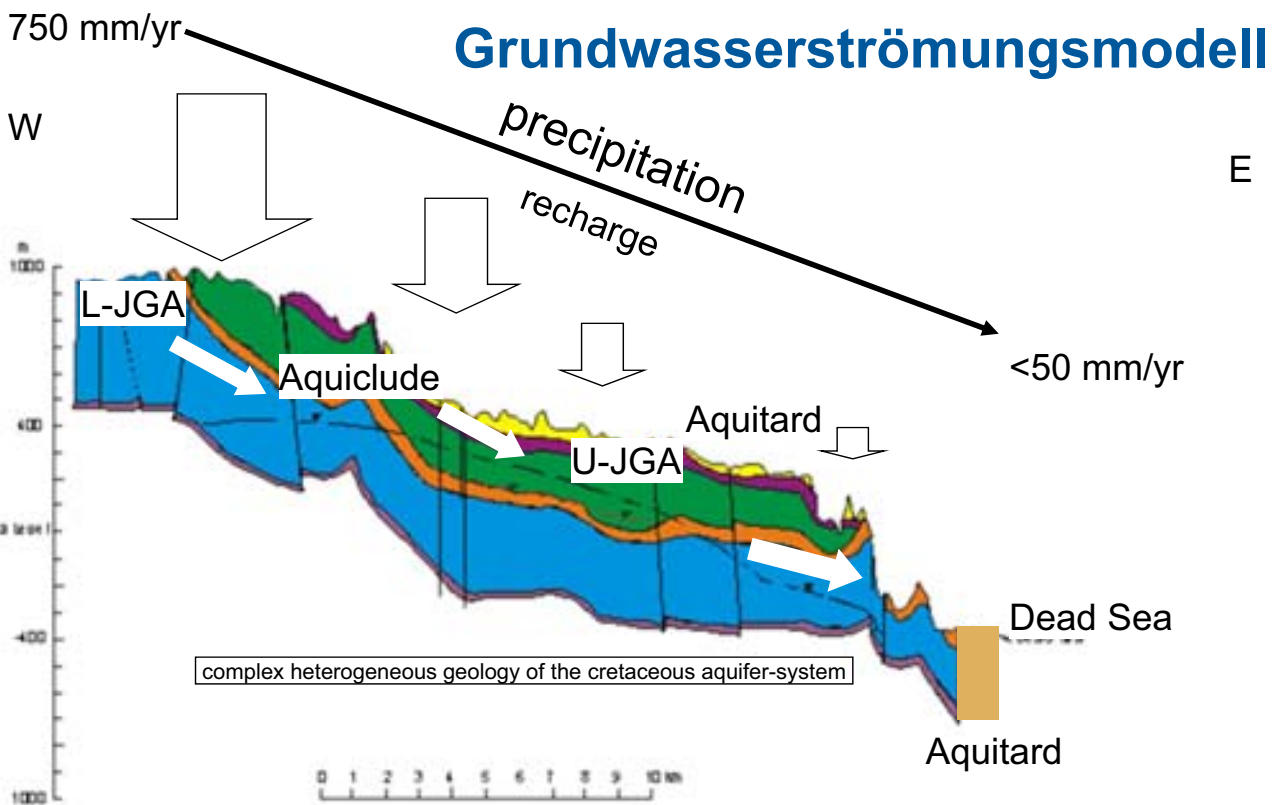
# Hydrologisches Modell - Ergebnisse



Verkleinertes Zeitfenster: Darga\_monthly\_2003-2004 IMS Daten

Zeitlich: weniger gute Abbildung des Abflusses

Quantitativ: zu niedrige Abflussmengen werden simuliert



Changed after: CH2M-Hill (2001).

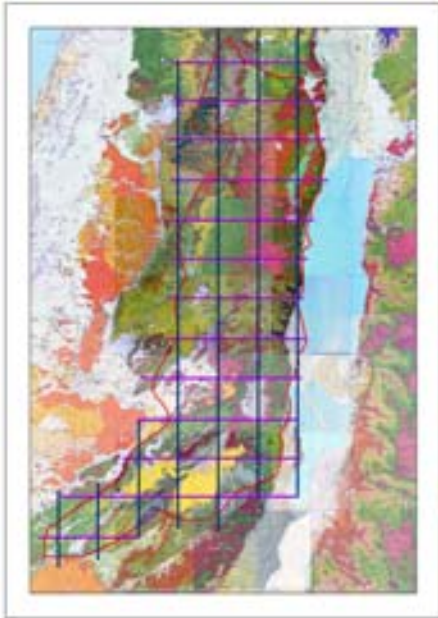
5 layer model



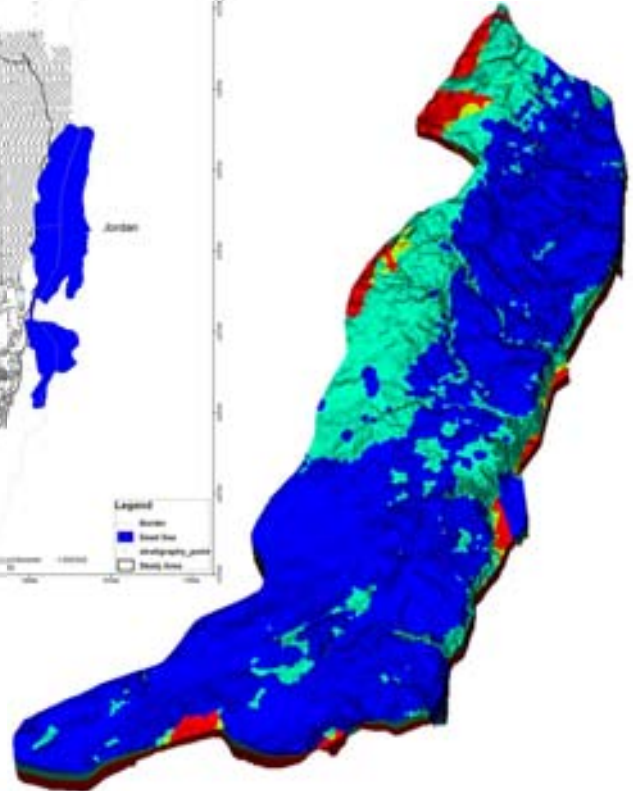
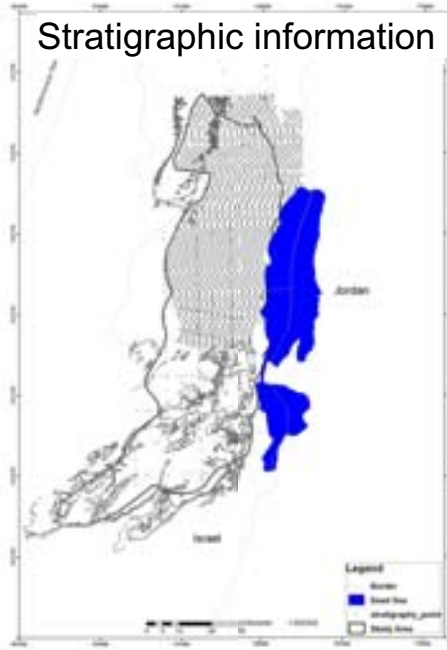
# Structural model

Structural model

Geology

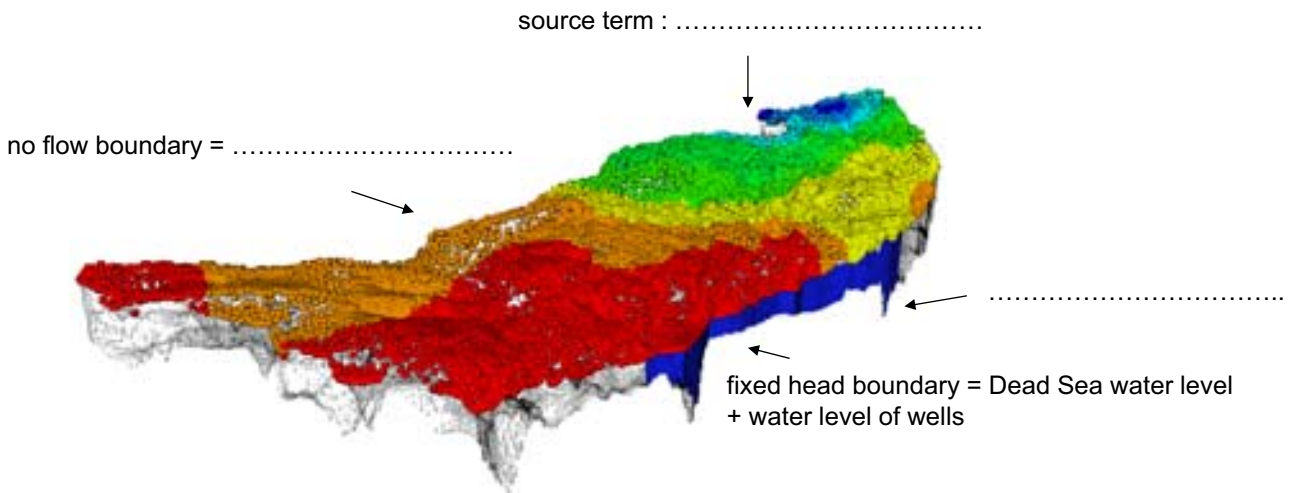


Stratigraphic information



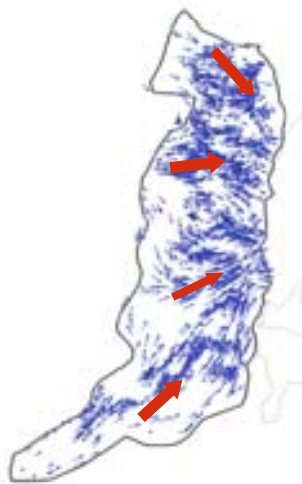
# Grundwasserströmungsmodell– OpenGeoSys

Boundary conditions

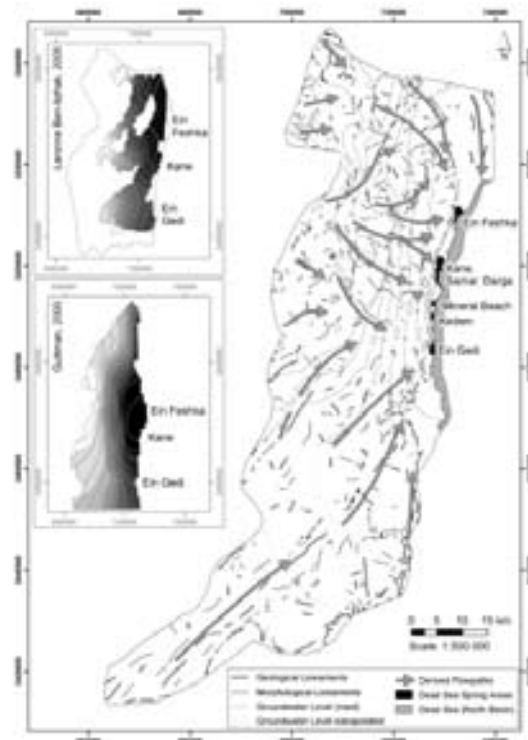


Rink et al., 2011

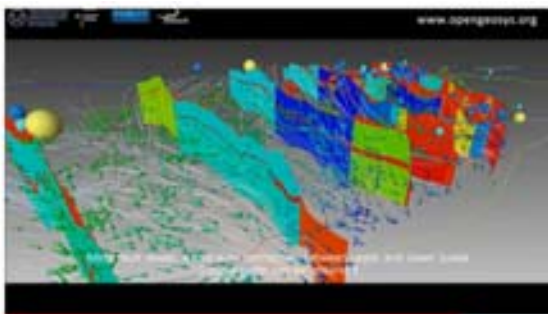
# Ergebnis: Grundwasserfließdynamik



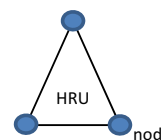
Groundwater flow directions (Gräbe et al., 2013)



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



## Transientes Modell – “model coupling”



Ausgabe aus hydrolog. Modell (J2000g): = GWN → wird transferiert auf .....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)

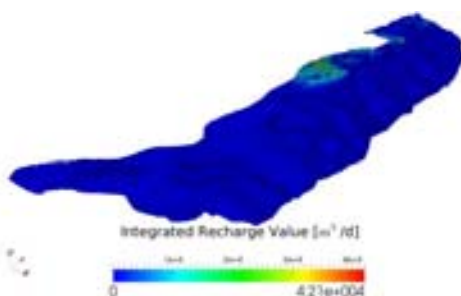
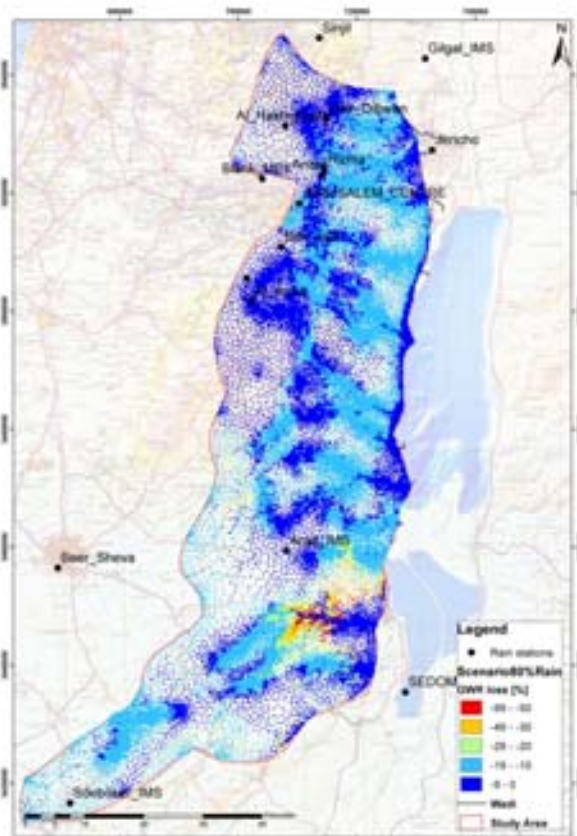
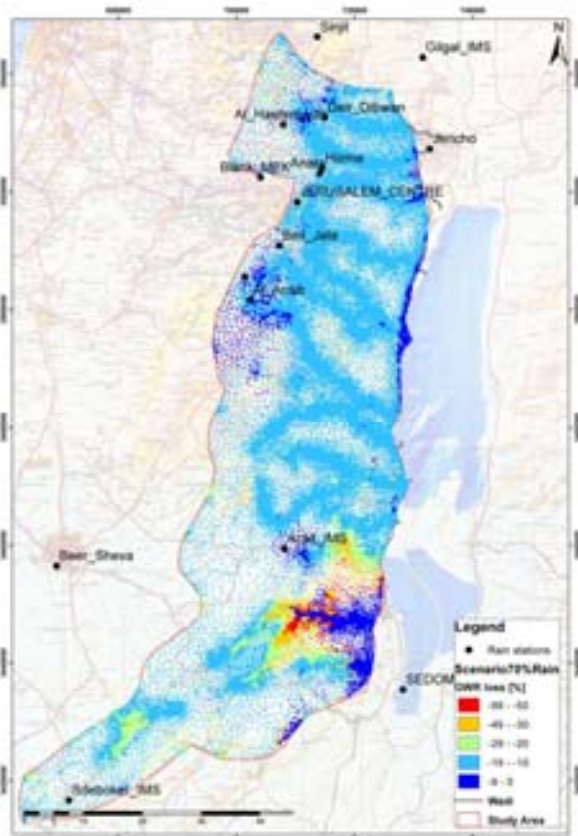


Fig. Example of recharge distribution of October 1977. Each time step is visualized by vtk-file. (Wang, 2013)

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



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

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

# verwendete Literatur

u.a.

- "An Overview on Current Free and Open Source Desktop GIS Developments - Steiniger 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