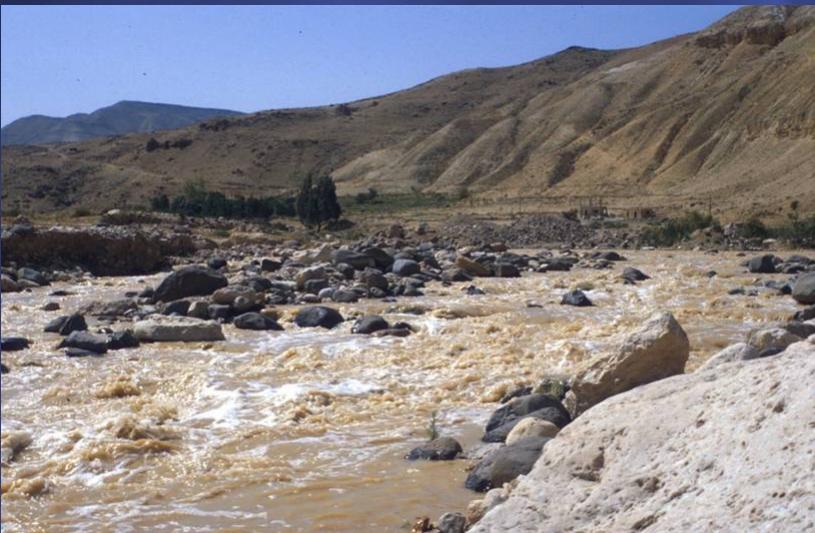


Decision Support System Ein Planungsinstrument

für IWRM
in der TZ



IWRM

Definition (nach FAO)

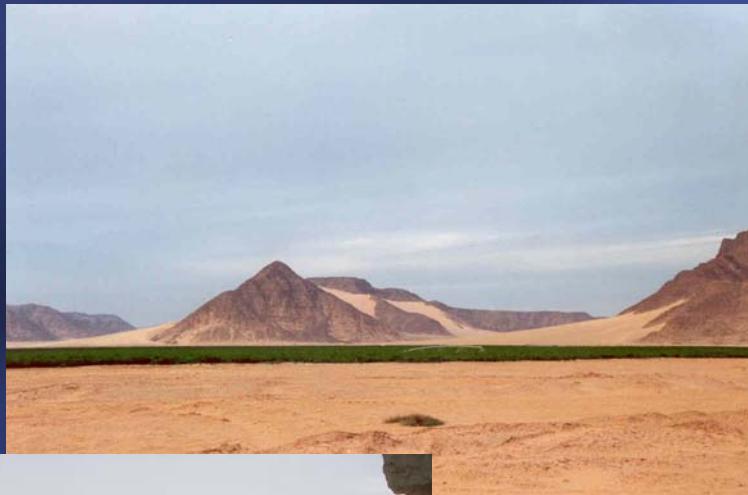
IWRM ist ein **Prozess** zur ganzheitlichen **Entwicklung** und **Bewirtschaftung** von **Wasser-, Land- und damit zusammenhängenden Ressourcen** mit dem Ziel einer Maximierung des sozialen und ökonomischen Nutzens unter fairen Bedingungen und ohne die Nachhaltigkeit vitaler Ökosysteme zu gefährden.

Probleme auf dem Wassersektor

Beispiel: Naher Osten

- Natürlicher Wassermangel
- Sozialer Druck
(schnell wachsender Bedarf/Entnahme,
starkes Anwachsen der Verschmutzung)
- Defizite im Management
(z.B. Koordination, Dezentralisation, IWRM, Anpassung und
Implementierung gesetzlicher Grundlagen, Aufbau von Kapazitäten)
- Technische Einschränkungen
(z.B. Datenbereich, Monitoring, technische Ausrüstung)
- Ökonomische, finanzielle and kulturelle Einschränkungen
- Politische Rahmenbedingungen (überregionale Wasservorkommen)

Verschwendung und Verschmutzung



Decision Support System (DSS, Entscheidungsunterstützungssystem)

- Unterstützung von Entscheidungsträgern in schlecht strukturierten Entscheidungssituationen
- Interaktives Problemlösungsverfahren
- Entscheidungen werden nicht automatisiert
- Erfahrungen und Urteilsvermögen des Entscheidenden fließen ein
- Kein generelles und allumfassendes Problemlösungsinstrument – Generiert keine Problemlösung eigenständig und löst Probleme nicht vollständig

Grundstrukturen eines DSS bestehen aus:

- Datenkomponente, Datenbank
- Modell-/Methodenkomponente, -bank
- Dialog-Komponente

DSS Nutzer / Mittler

- **Ministerien**
(wie Landwirtschaft, Umwelt, Tourismus, Wirtschaft, Bewässerung, Planung)
- **Verwaltungseinheiten** (Bezirke, Gouvernements, lokale Administration)
- **Wasserwirtschaft**
(wie Wasserwirtschaftsämter, Wasserversorger und -entsorger)
- **NGO's** (Interessenverbände, z.B. Bauernverband)
- **Forschungseinrichtungen** (national, regional)

DSS Forschungsebene



Einzellösungen
Sehr hoch entwickelt
Arbeitsintensiv
Hoher
Kreativitätsfaktor
Untersuchung -
Prozessverständnis
Parameterverhalten
Beispielcharakter

Haute Couture



Prêt-à-porter



DSS für die TZ-Ebene

Nutzerorientiert

Leicht anwendbar

Variabel einsetzbar

Angepasst an Gegebenheiten
(Datenlage, Kapazitäten etc.)

Vereinfachung von Prozessen und
Strukturen

Generell:
So einfach wie möglich -
so komplex wie nötig



Nicht uniform und eins für alles

Anwendungsbereiche im Wassersektor

Wasserverteilung – Optimierung von Bedarf und Versorgung

Beispiele:

**Information System for Water Resources Monitoring and Planning
in the Lake Victoria Basin**
Colorado River Decision Support System

Überwachung der Wassergüte in Flusseinzugsgebieten

(wie Auswirkungen von Maßnahmen auf Stoffaustausch
bzw. Stoffeintrag in das Oberflächenwasser)

Beispiel:

DSS zum Wasserqualitäts-Management der Elbe

Grundwassermanagement

(wie Auswirkungen von Grundwasserentnahmen / Optimierung
der Bewirtschaftung von Aquifersystemen)

Beispiel:

DSS for Managing GW-Resources in the Choushui River Alluvial (Taiwan)

Beispiele verfügbarer bzw. in Entwicklung befindlicher DSS

Entwicklungen innerhalb von Forschungsprojekten mit deutscher (Universitäts-)Beteiligung:

GLOWA JR (u.a. Einsatz WEAP, Einsatz Jordan Graben)

GLOWA Volta (GVDSS, Kernpunkt, Pilotgebiet White Volta Basin)

SMART-Projekt (DSS zur Optimierung des Wasserbeitrags für nachhaltige Entwicklung, unterer Jordangraben)

TransCat (Management grenzüberschreitender Einzugsgebiete)

Weitere Entwicklungen:

(Fluss-)Einzugsgebiete / Hydrologie, z.T. auch Qualität

THANNI, MULINO, WRM DSS Great Lakes, WRDSS US DoA,

DESERT, ArcView-SWAT u.a.

WaterWare, WEAP

Generell gilt:

Zumeist nur für Oberflächenwassersysteme,

Grundwasser nur rudimentär berücksichtigt,

Kaum ein Produkt kombiniert mit Grundwassерmodell

**Tables: Development of Resources and Demands / Development of Additional Resources
in MCM/a, Scenario 1 (Jordan)**

Year	2005	2010	2015	2020
Renewable Groundwater	259	259	259	259
Surface Water (baseflows and reservoir safe yields)	382	404	419	433
Treated wastewater, not flowing into reservoirs	34	69	89	101
Additional Resources	344	511	454	456
Total Resources	1019	1244	1220	1250
Municipal, Industrial, Tourist demands	433	493	561	634
Agriculture incl. reuse schemes	1114	1120	1101	1052
Total Demands	1546	1612	1661	1686
Groundwater return flows from losses	66	63	62	63
Deficit in MCM/a	-461	-306	-379	-373
Deficit in %	-45%	-25%	-31%	-30%

Additional Resources Group	1998	2005	2010	2015	2020
Desalinised sea water	0	0	5	5	5
Desalinated groundwater	0	10	39	47	47
Fossil fresh groundwater	70	83	190	124	126
Peace Treaty Water	50	85	110	110	110
Yarmouk River Water	166	166	167	167	167
Total	285	344	511	454	456

From: National Water Master Plan (NWMP) of Jordan, Vol. 9, 2004

TZ-Projekt

Management, Schutz und nachhaltige Nutzung von Grundwasser- und Boden-Ressourcen in der arabischen Region

beteiligt

The Arab Centre for the Studies of Arid Zones and Dry Lands
(ACSAD), Damaskus, Syrien
www.acsad.org, www.acsad-bgr.org



und

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
(BGR), Hannover, Deutschland
www.bgr.de, www.acsad-bgr.org



finanziert durch

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit
und Entwicklung, (BMZ), GERMANY
www.bmz.de



Ziel des DSS - Projekts

**Entwicklung und Anwendung eines
Nutzer-freundlichen
effizienten
kostengünstigen
leicht nutzbaren**

**Werkzeugs zu Planung und Management der Wasserressourcen
sowie dessen
Verbreitung und Institutionalisierung
in Richtung auf ein
besseres integriertes Wasserressourcenmanagement
im Nahen Osten (und darüber hinaus)**

Projekt Team / Arbeitsgruppen und Projektpartner

Implementierende Organisationen:



ACSAD

Water Resources Division

Dr. A. Droubi (Leitung), Dr. M. Al-Sibai, Eng. S. Zahra, Eng. A. Abdallah, u.a.

Soil and Water Use Division

Dr. G. M. Abdelgawad (Leitung), Eng. A. Abdallah



BGR

J. Wolfer, M. Huber (Syrien), Dr. V. Hennings, K. Schelkes (Hannover) u.a.

Internationaler Partner



SEI, U.S. Center

J. Sieber, Dr. D. Purkey

Nationale Partner

Syrien

**Ministry of Irrigation, Ministry of Agriculture and Agrarian Reform,
Drinking Water Authority-Damascus u.w.**



Marokko

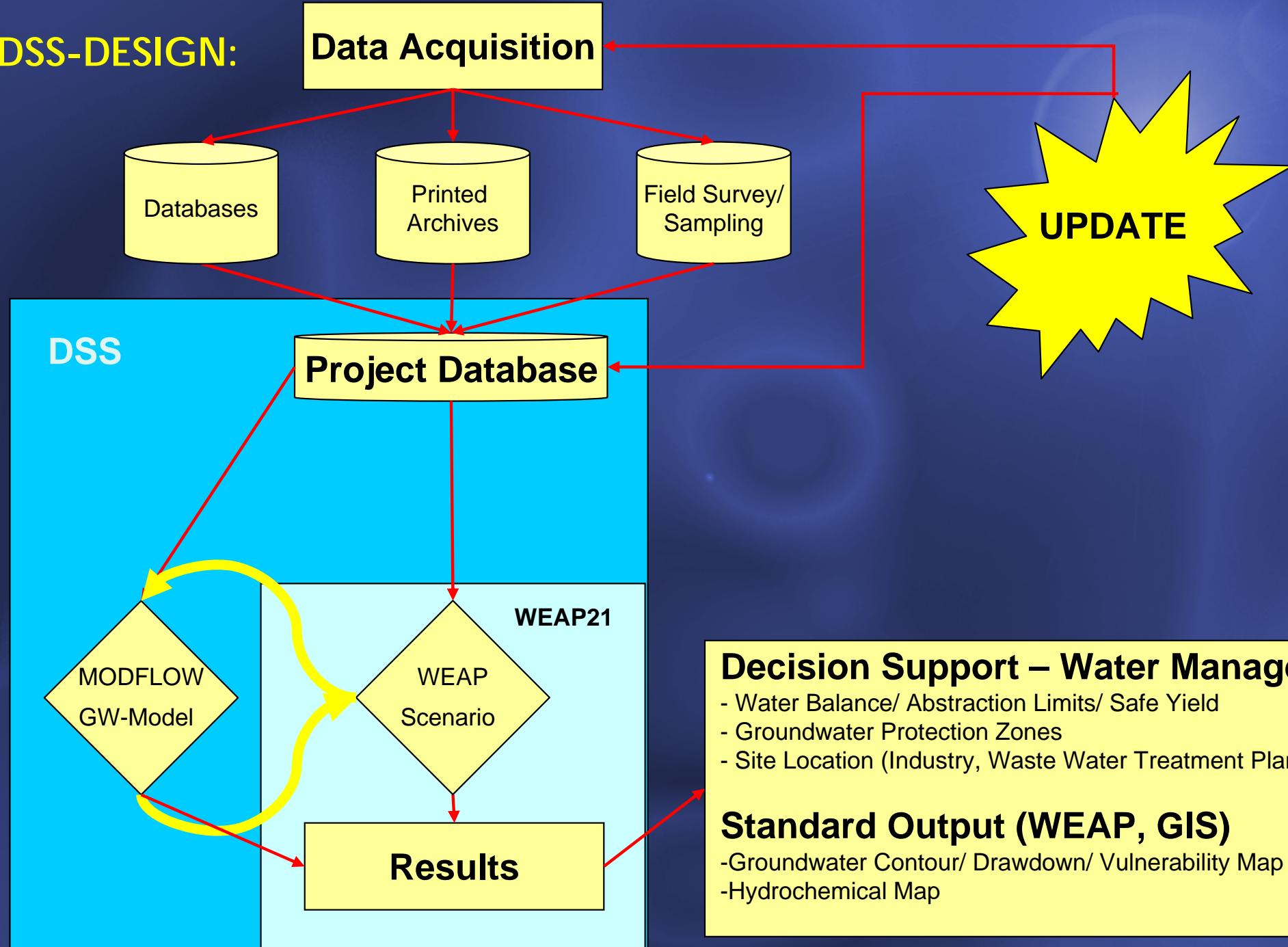
**Ministry of Environment, Water, and Regional Planning
Hydr. Agency of Bouregreg and Chaquia Basin Benslimane
K. El Hadjji, M. Dchich**



Aktivitäten in der laufenden Projektphase (April 2004 – Juli 2008)

- 1. Diskussion der DSS-Optionen mit den relevanten Akteuren**
- 2. Einrichtung einer Daten- und Informationsbasis
(Datenerfassung: vorhandene Datenbasen,
Felduntersuchungen, Laboranalysen)**
- 3. Entwicklung / Anwendung einer DSS-Software
(WEAP / MODFLOW/ zusätzliche Modelle)**
- 4. Einsatz des DSS in zwei Pilotgebieten (Zabadani Basin, Syrien
& Berrechid Basin, Marokko)**
- 5. Institutionalisierung (einschließlich Kompetenzerweiterung)**
- 6. Verbreitung**

DSS-DESIGN:



Decision Support – Water Management

- Water Balance/ Abstraction Limits/ Safe Yield
- Groundwater Protection Zones
- Site Location (Industry, Waste Water Treatment Plant, ect.)

Standard Output (WEAP, GIS)

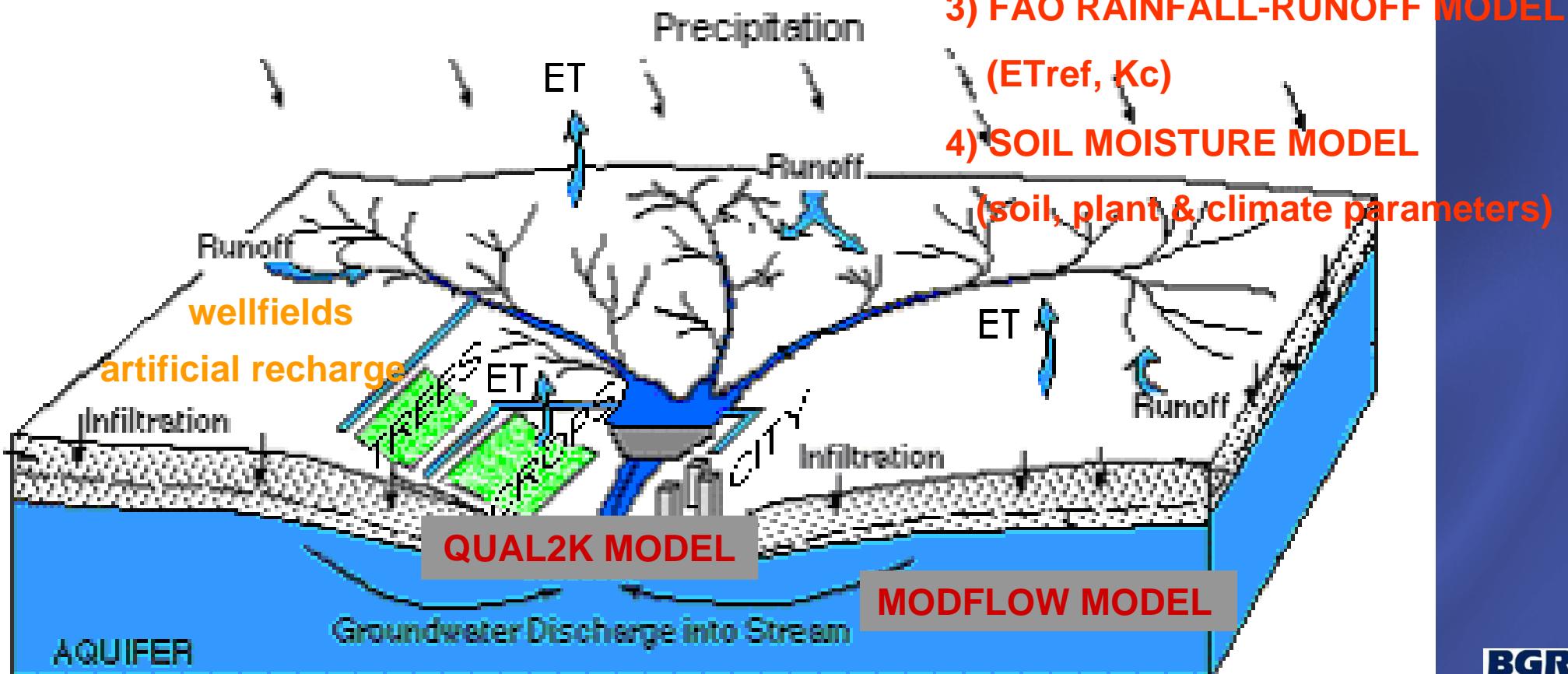
- Groundwater Contour/ Drawdown/ Vulnerability Map
- Hydrochemical Map



WATER EVALUATION & PLANNING SYSTEM - www.weap21.org

GW-RECHARGE/IRRIGATION DEMAND CALCULATIONS IN WEAP:

- 1) ENTER AS HARD DATA
- 2) FAO, IRRIGATION DEMAND ONLY
- 3) FAO RAINFALL-RUNOFF MODEL
(ET_{ref} , K_c)
- 4) SOIL MOISTURE MODEL
(soil, plant & climate parameters)



Precipitation,
including snowmelt

Irrigation

$$ET = PET * (5 z1 - 2 z1^2) / 3$$

Supply/ Demand Management (Scenarios)

Root zone water capacity (mm)

Bucket 1

$z1 (\%)$

$$\text{Percolation} = \text{Root zone cond.} * (1 - \text{pref. flow dir}) * z1^{SSRC1}$$

GW-recharge

$$\text{Surface runoff} = (\text{precip} + \text{irrig}) * z1^{\text{Leaf area index}}$$

Direct runoff (only if $z1 > 100\%$)

SURFACE WATER (RIVER)

$$\text{Interflow} = (\text{Root zone cond.} * \text{pref. flow dir}) * z1^2$$

River & drain packages
springs/ SW-GW interaction

~~WEAP Groundwater Node
simple (sub)catchment "tank"~~

MODFLOW GW-FLOW-MODEL
Raster cell resolution for heads,
flow, storativity,....

MODELING COMPONENTS

MODFLOW GW-FLOW-MODEL

Modflow 2000

- + High spatial resolution (raster cells) considering wellfields and complex hydrogeology (GW-heads, storage, flow at every time step).
- + No license fee for the MODFLOW code – any software using MODFLOW as a processor can be utilized to develop the model
- Expert knowledge, high level of data input and long calibration procedures are required.

WEAP – MODEL (WEAP21)

Water Evaluation and Planning System

(www.weap21.org – Stockholm Environment Institute)

- Spatially all data are assigned to a (sub)catchment – “tank”
- + No license fee for developing countries
- + High level planning and strategic analysis at local, national and regional scales (demand management, water allocation, losses, reservoirs, artificial recharge)
- + Scenarios can be easily developed to explore options for the future (easy and user-friendly program)
- Good hydrology module but weak groundwater component
- + API interface

DYNAMIC LINK: The DSS combines the + of both programs

LINKED DSS - MODELING COMPONENTS (calibrated alone beforehand)

MODFLOW GW-FLOW-MODEL

Modflow 2000

(developed by the USGS)

Mathematical flow model to calculate:

Groundwater:

- level
- storage
- river interaction
- discharge at springs

Resolution:

- as raster (here 200x200m)

Input:

- 3D geometry of the aquifer
- permeabilities
- boundary conditions

Licence:

- free



WEAP – MODEL (WEAP21)

Water Evaluation and Planning System

(www.weap21.org – Stockholm Environment Institute)

Water management and planning model and remote control of MODFLOW to calculate:

- groundwater recharge
- irrigation demand
- detailed water balances for defined spatial planning units

Resolution:

- catchment/ landuse class/ MF raster

Input:

- climate data
- abstraction data (domestic)
- soil and crop data
- planning scenario setup

Licence:

- free to institutions
in developing countries

Study Definition

Spatial Boundary
Time Horizon

System Components
Network Configuration

Current Accounts

Demand
Reservoir Characteristics
River Simulation

Pollutant Generation
Resources and Supplies
Wastewater Treatment

Scenarios

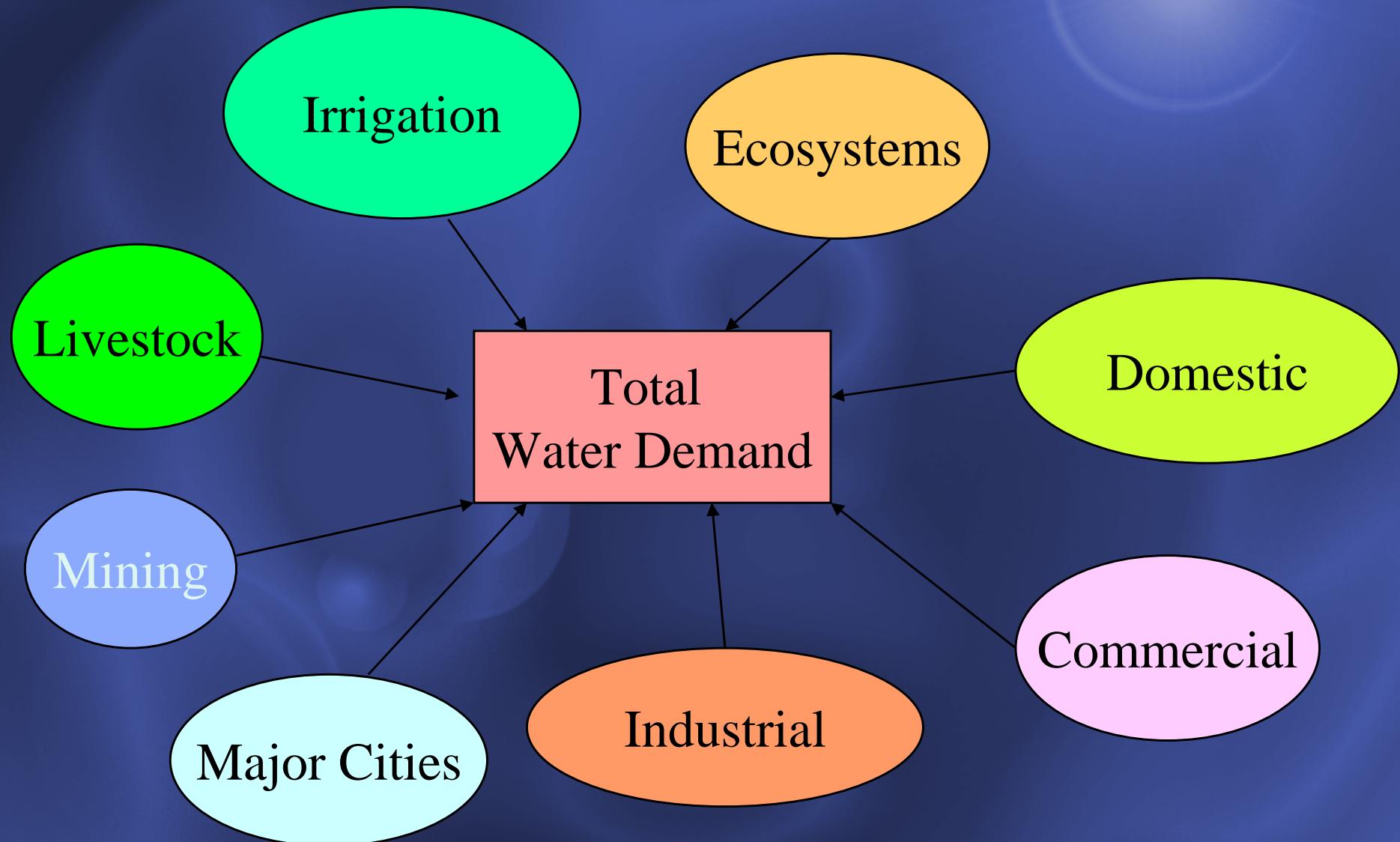
Demographic and Economic Activity
Patterns of Water Use, Pollution Generation
Water System Infrastructure
Hydropower
Allocation, Pricing and Environmental Policy
Component Costs
Hydrology

Evaluation

Water Sufficiency
Pollutant Loadings

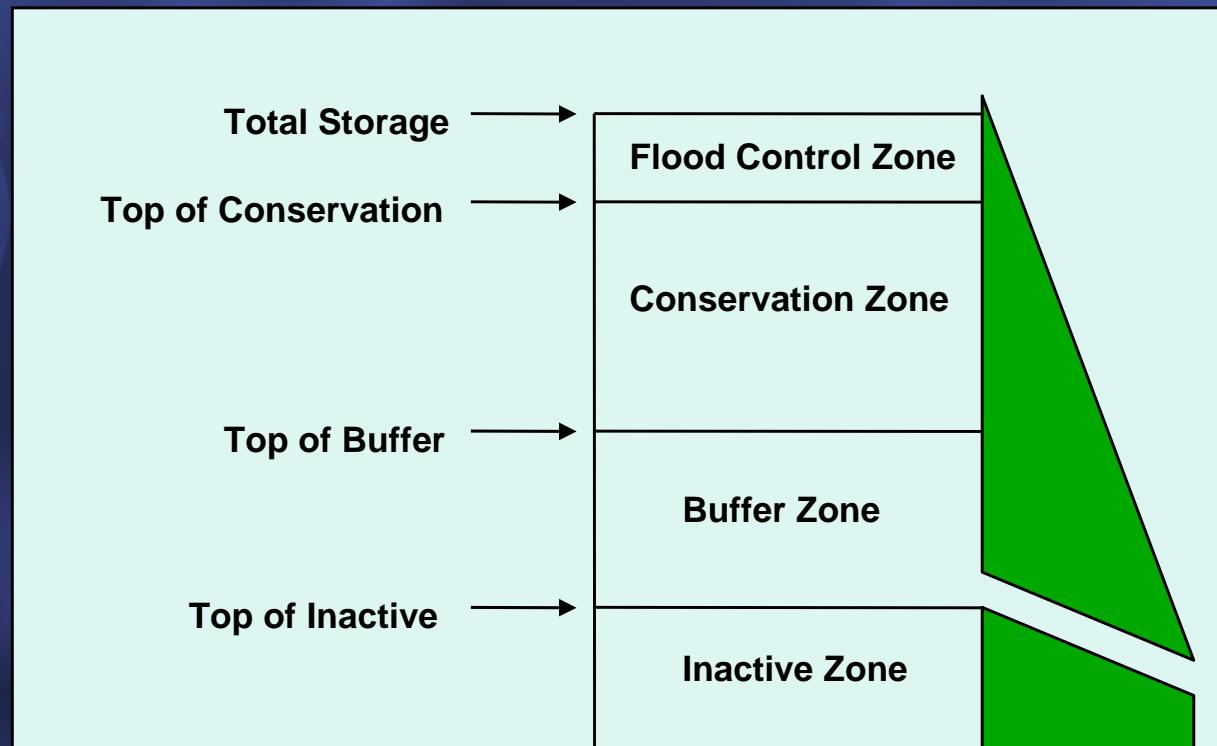
Ecosystem Requirements
Sensitivity Analysis

Demand Sectors



Supply Information

- Rivers
- Groundwater
 - storage capacity
 - max. monthly withdrawal
 - natural recharge
- Diversions
- Reservoirs
- Other sources
(e.g. desalination)



DSS - APPLICATIONS

PILOT STUDY I:

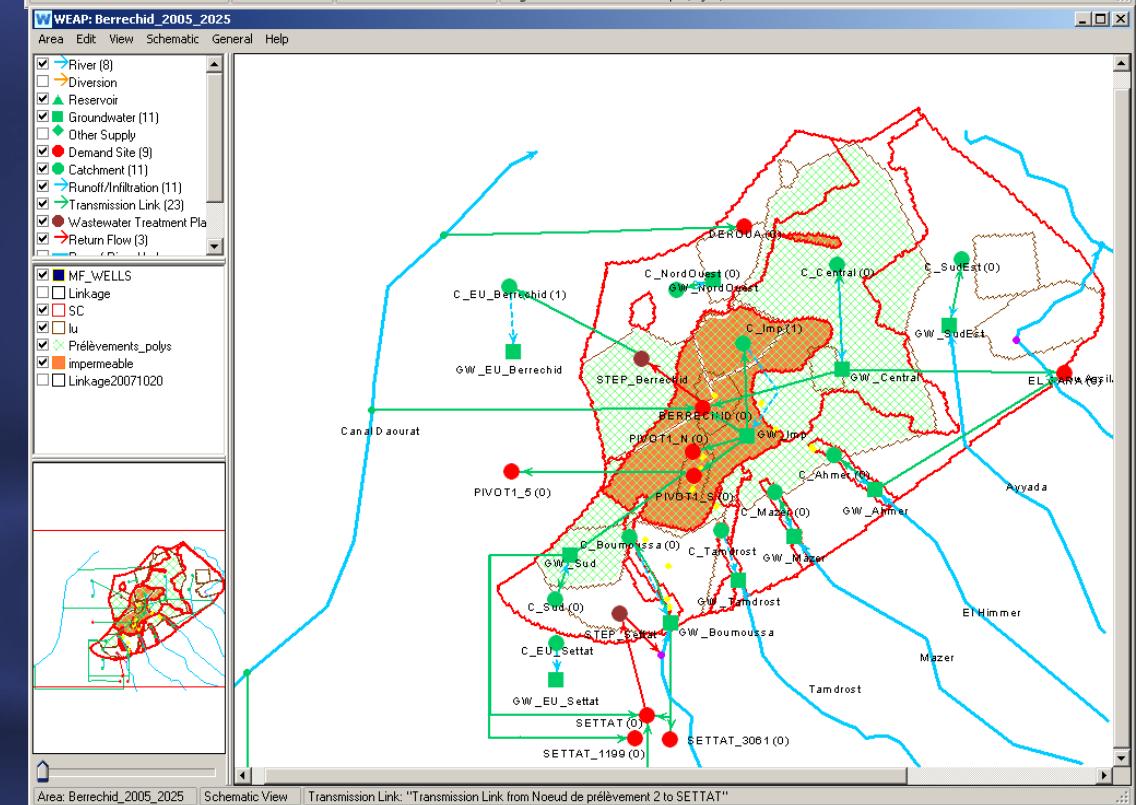
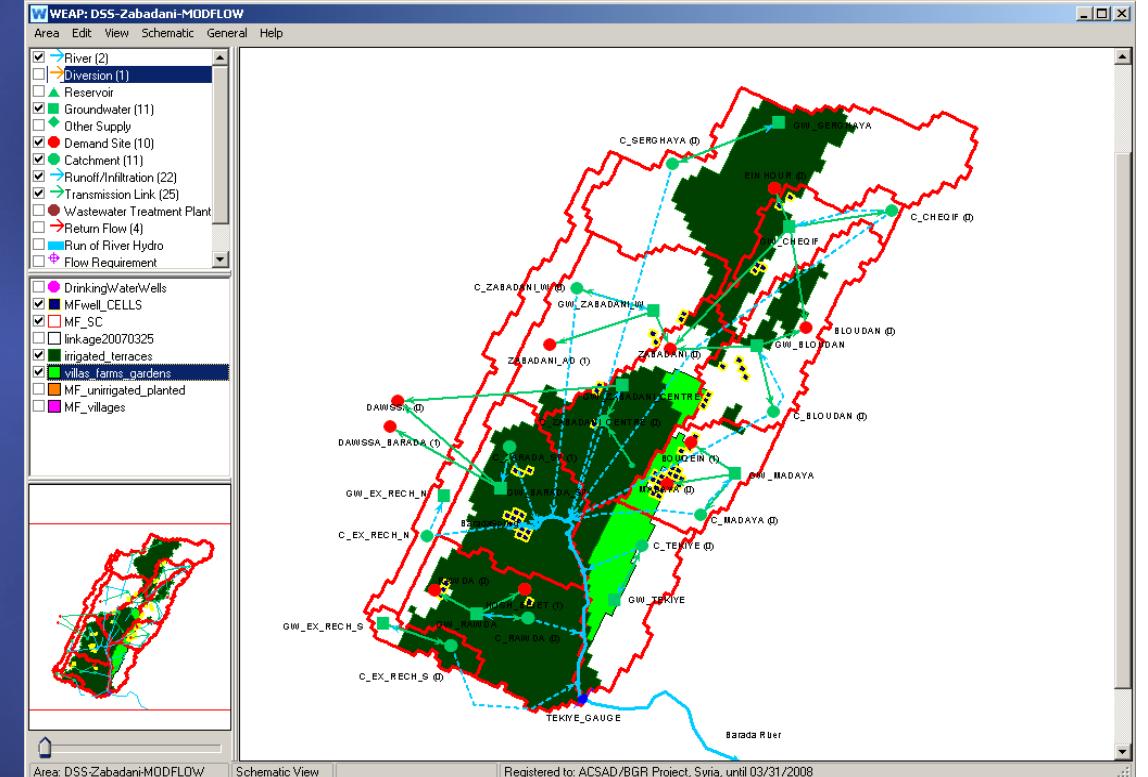
Zabadani Basin

SYRIA

PILOT STUDY II:

Berrechid Basin

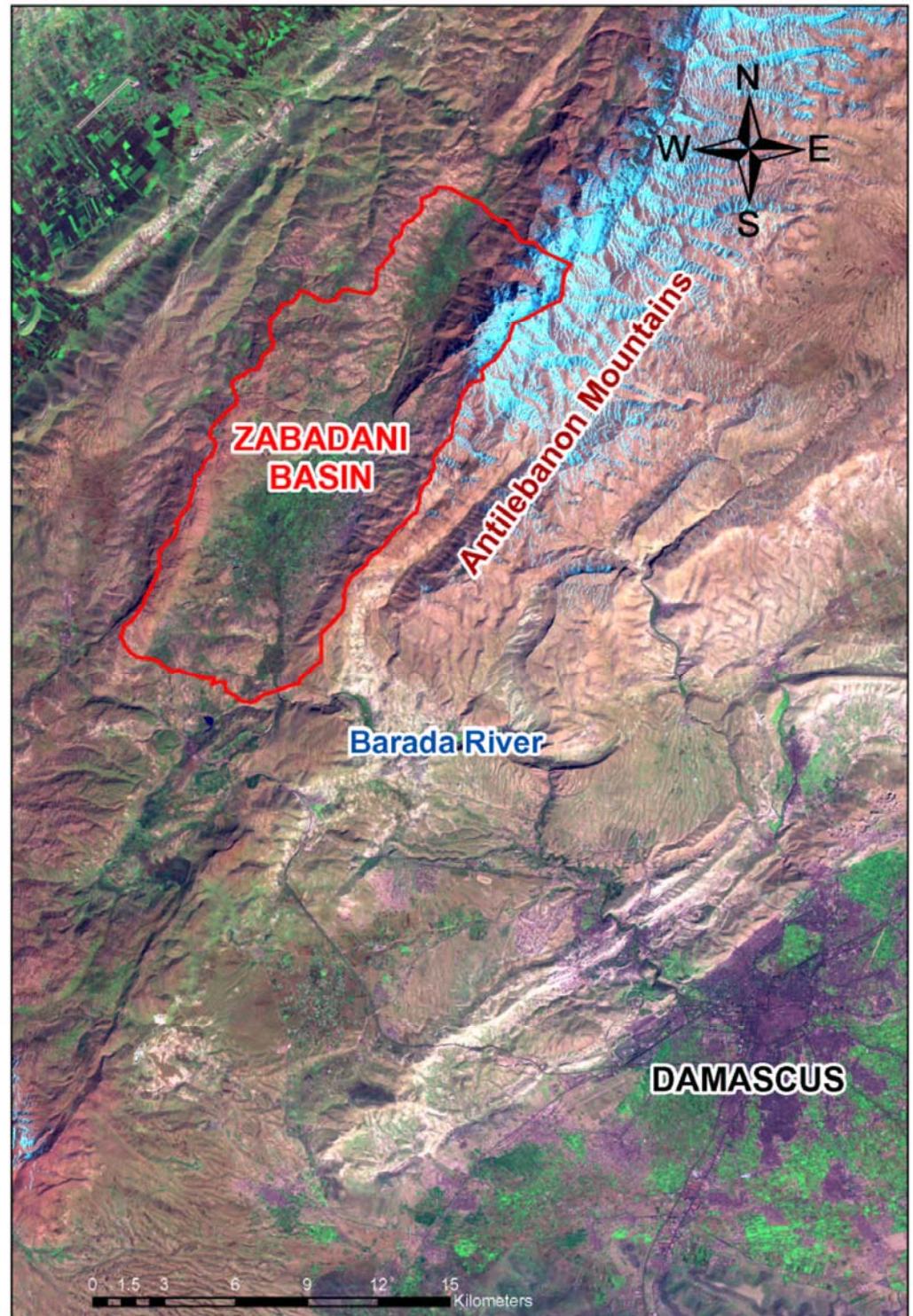
MOROCCO

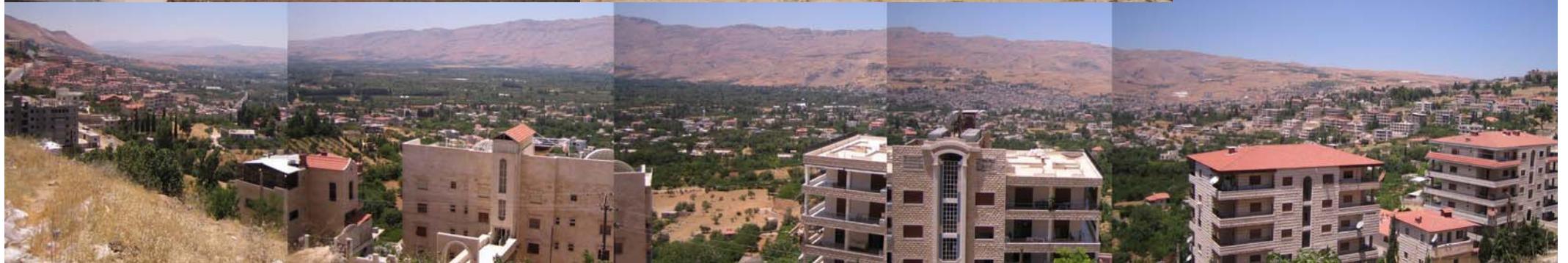


PILOT AREA I:

ZABADANI BASIN, SYRIA

- Area 165 km², Precip. 700 mm/a
- Existing water conflict between various groundwater users (drinking water – Damascus/ local, agriculture, tourism)
- Reasonable data coverage and availability (GDBAB, WRIC, MA, DAWSSA, DRA, ...)
- Proximity to the ACSAD headquarters in Damascus





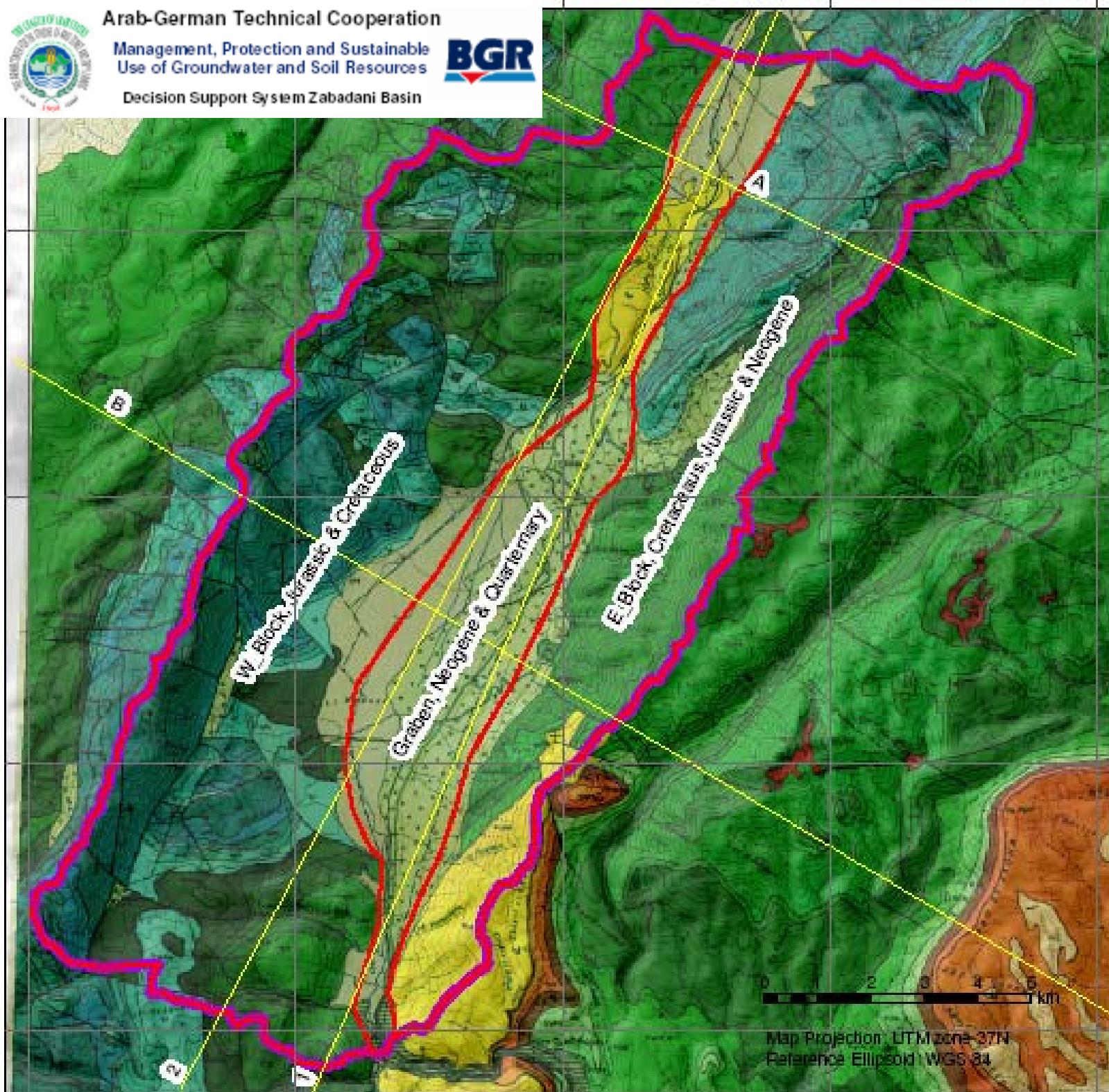


Arab-German Technical Cooperation

Management, Protection and Sustainable
Use of Groundwater and Soil Resources



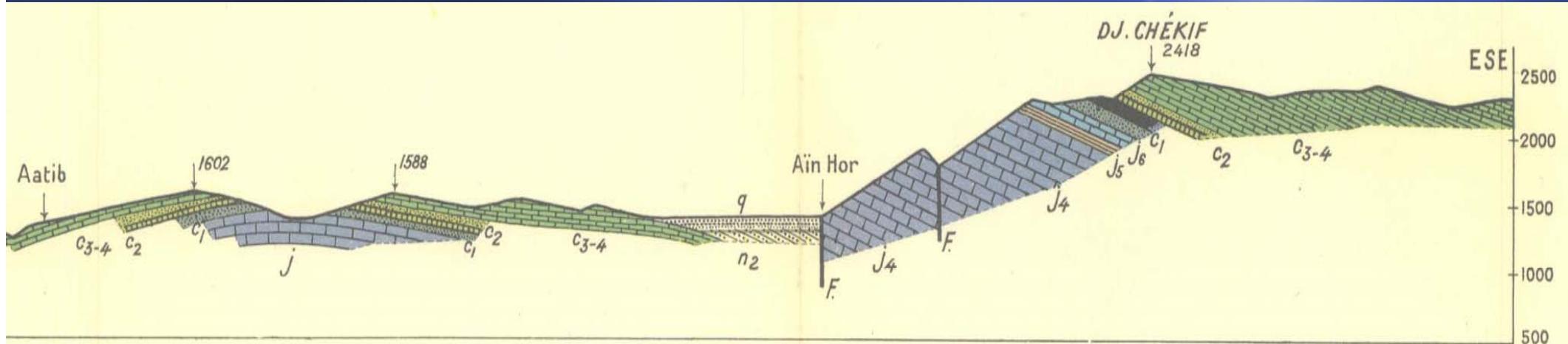
Decision Support System Zabadani Basin



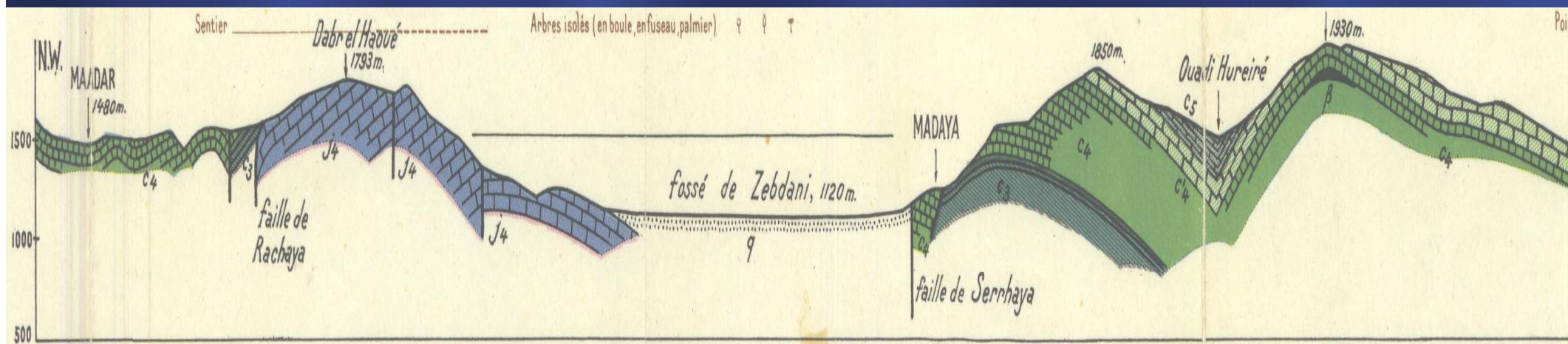
Complex
Tectonics,
Geology &
Hydrogeology

Cross Sections WNW-ESE

A



B



**Chir Mansour
Horst Anticline**

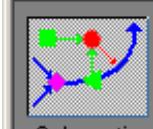
**Zabadani
Graben**

**Cheqif
Monocline**

Institutionalizing - Steering Committee

- Ministry of Irrigation, Directorate of Water Resources Management
- General Directorate of Barada and Awaj Basin GDBAB
- Water Resources Information Center WRIC
- Damascus Water Supply and Sanitation Authority DAWSSA
- Drinking Water Supply Authority for Rural Damascus (DRA)
- Ministry of Agriculture
- Zabadani Municipality
- Ministry of Local Administration and Environment





Schematic



Data



Results



Overviews

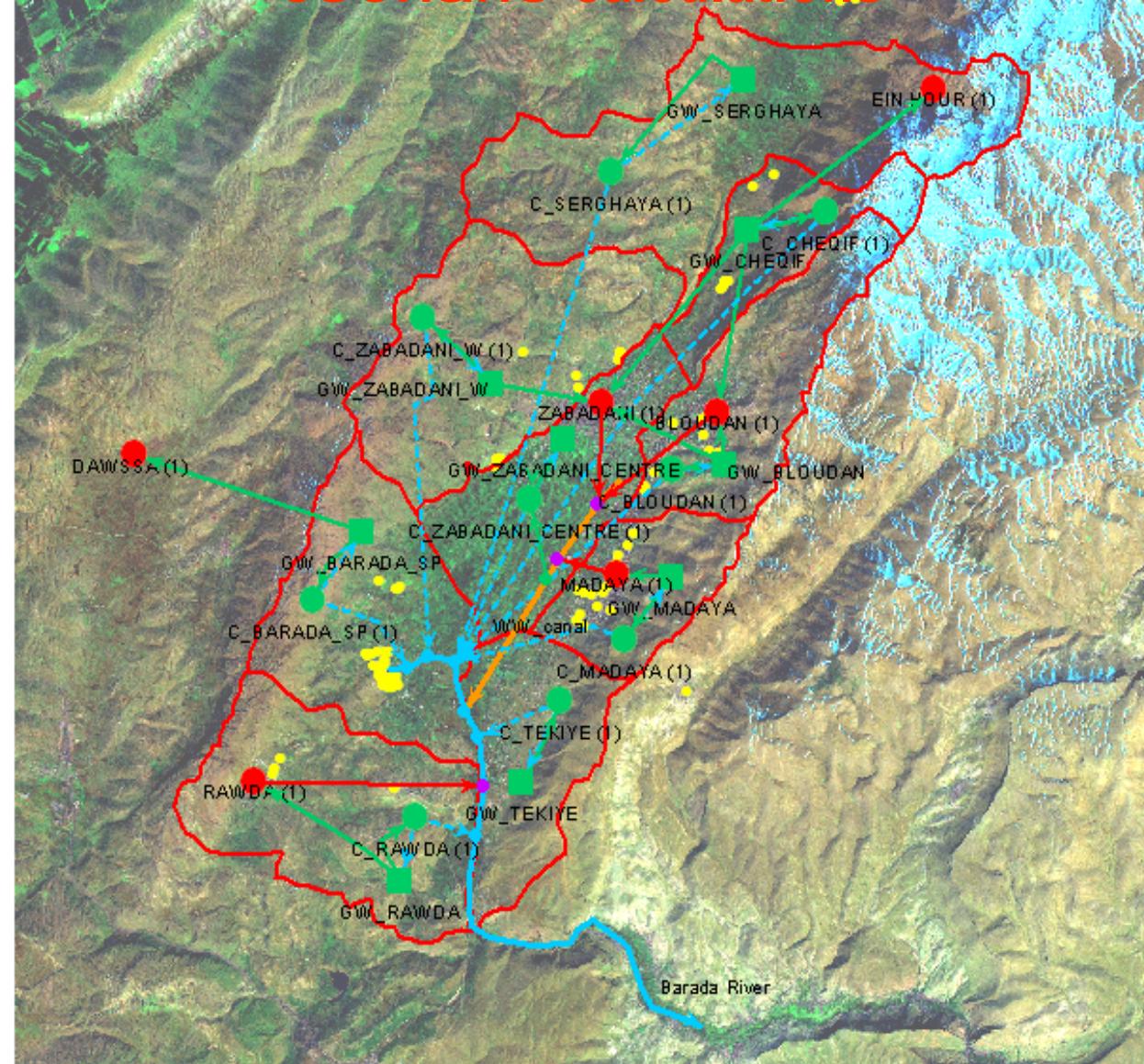


Notes

- River (1)
 - Diversion (1)
 - Reservoir
 - Groundwater (9)
 - Other Supply
 - Demand Site (6)
 - Catchment (9)
 - Runoff/Infiltration (18)
 - Transmission Link (19)
 - Wastewater Treatment Pla
 - Return Flow (4)
 - ...
-
- subcatchments
 - DrinkingWaterWells
 - SAT_IMAGE

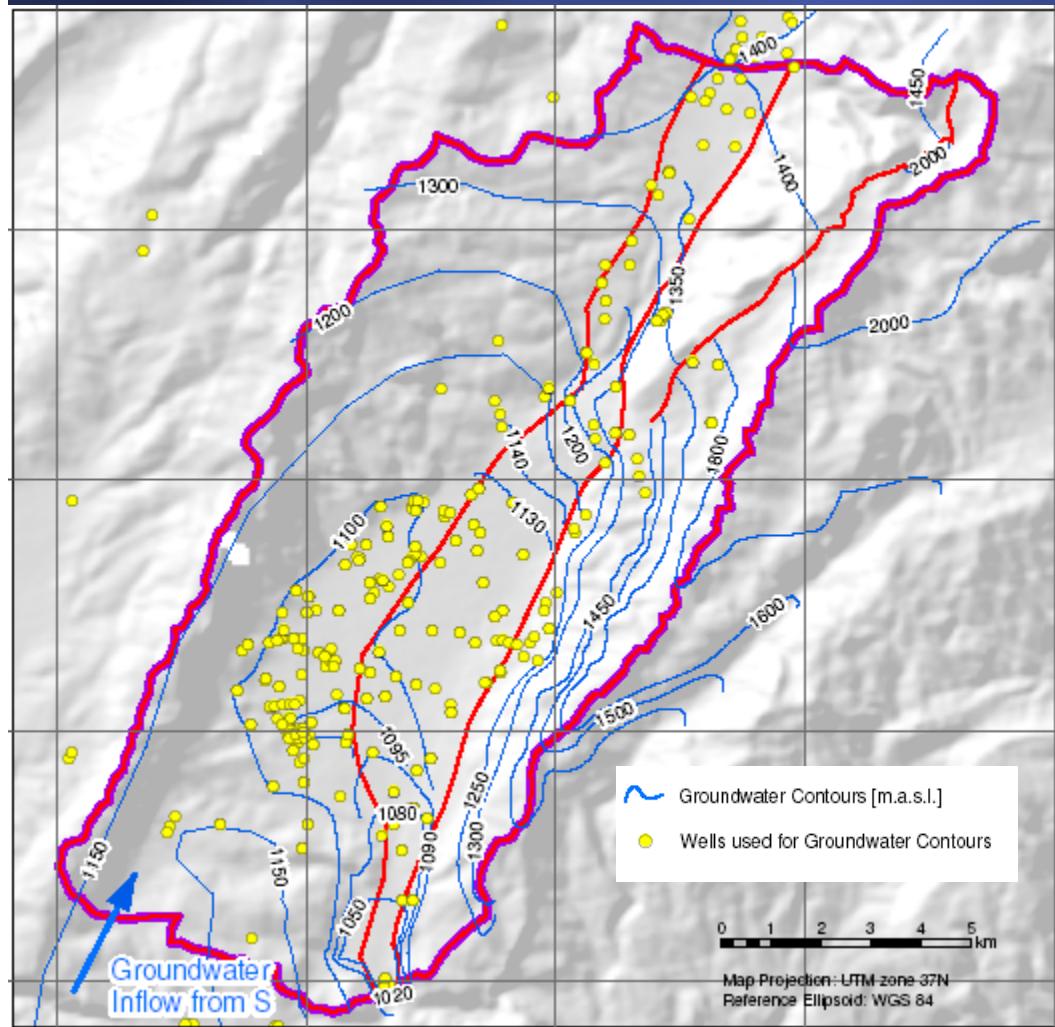
WEAP MODEL

For current status and future scenario calculations

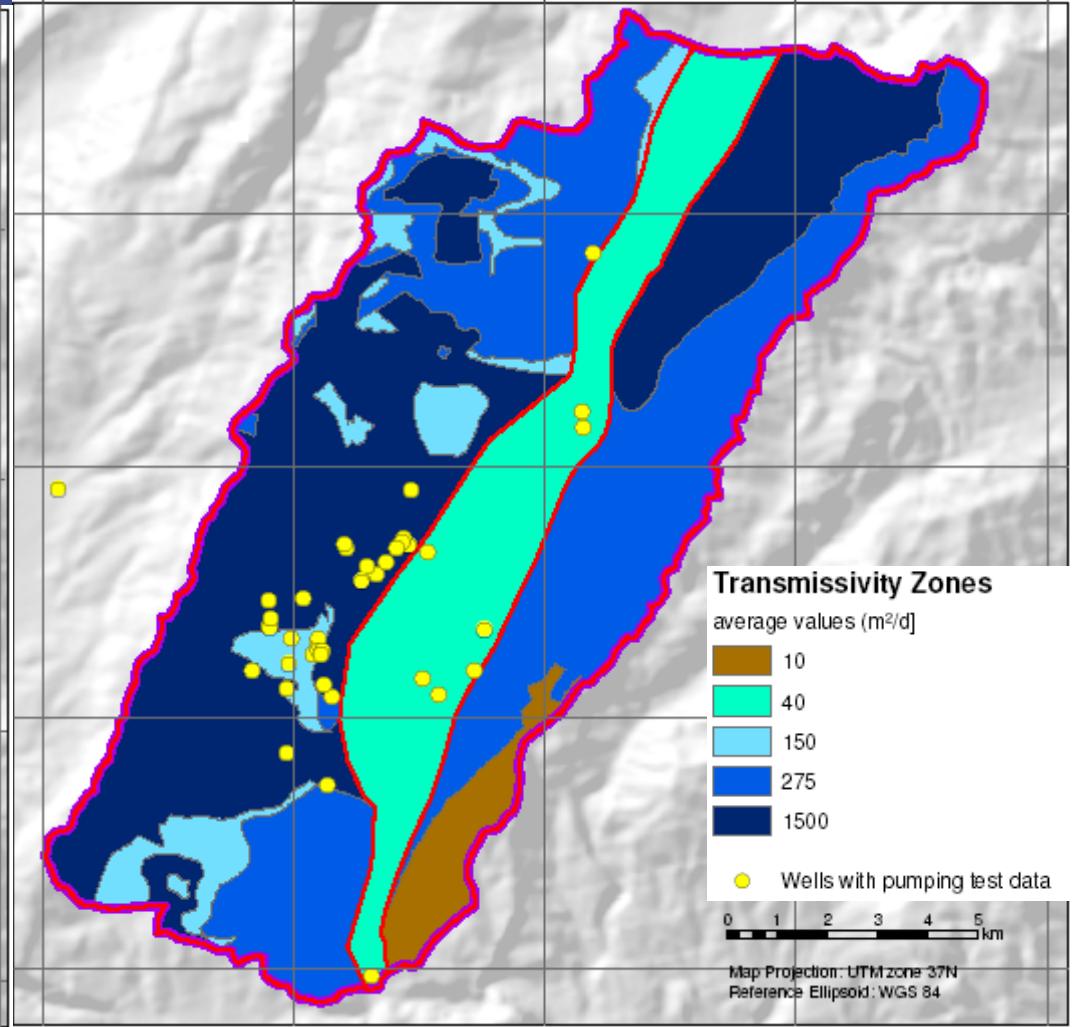


THEMATIC MAPS:

Groundwater Contours

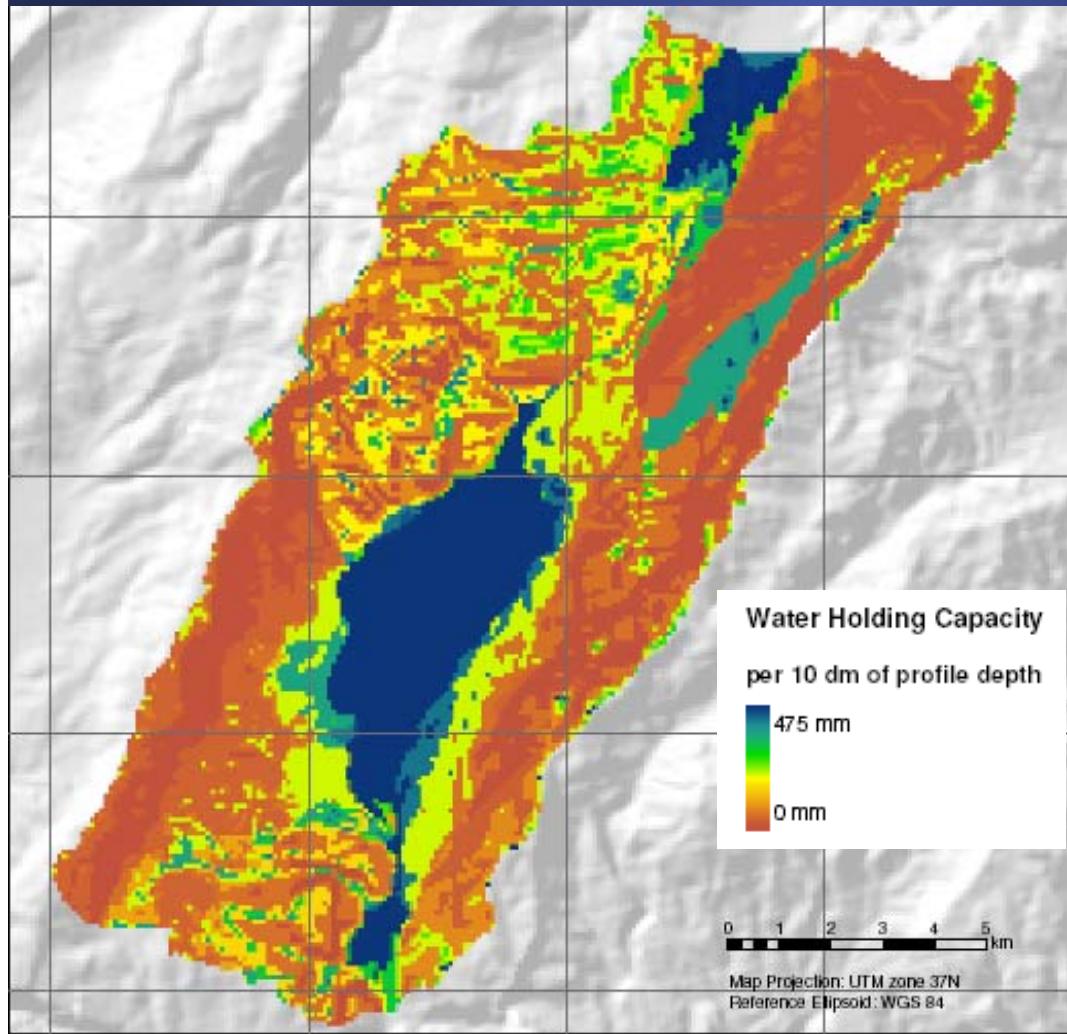


Transmissivity Zones

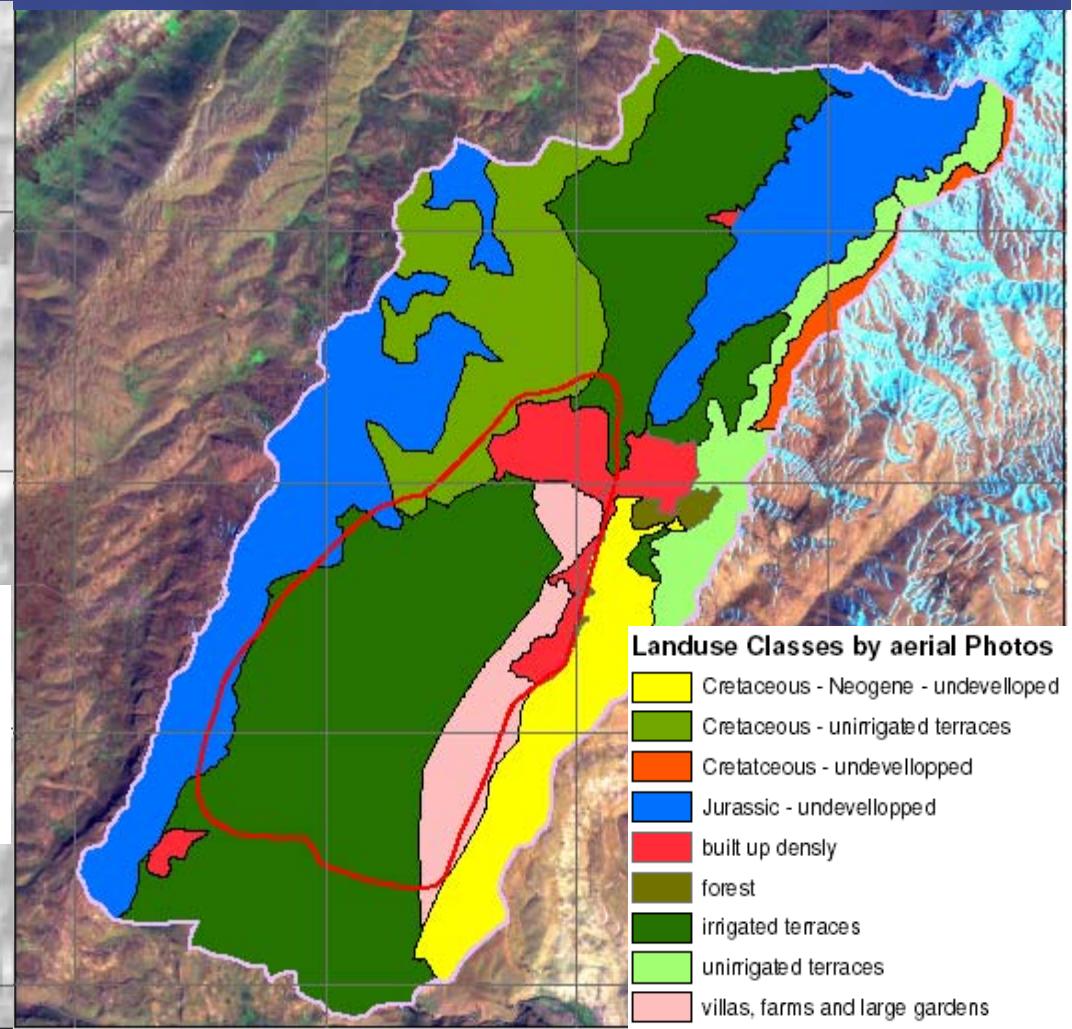


THEMATIC MAPS:

Soil Water Holding Capacity



Landuse Map

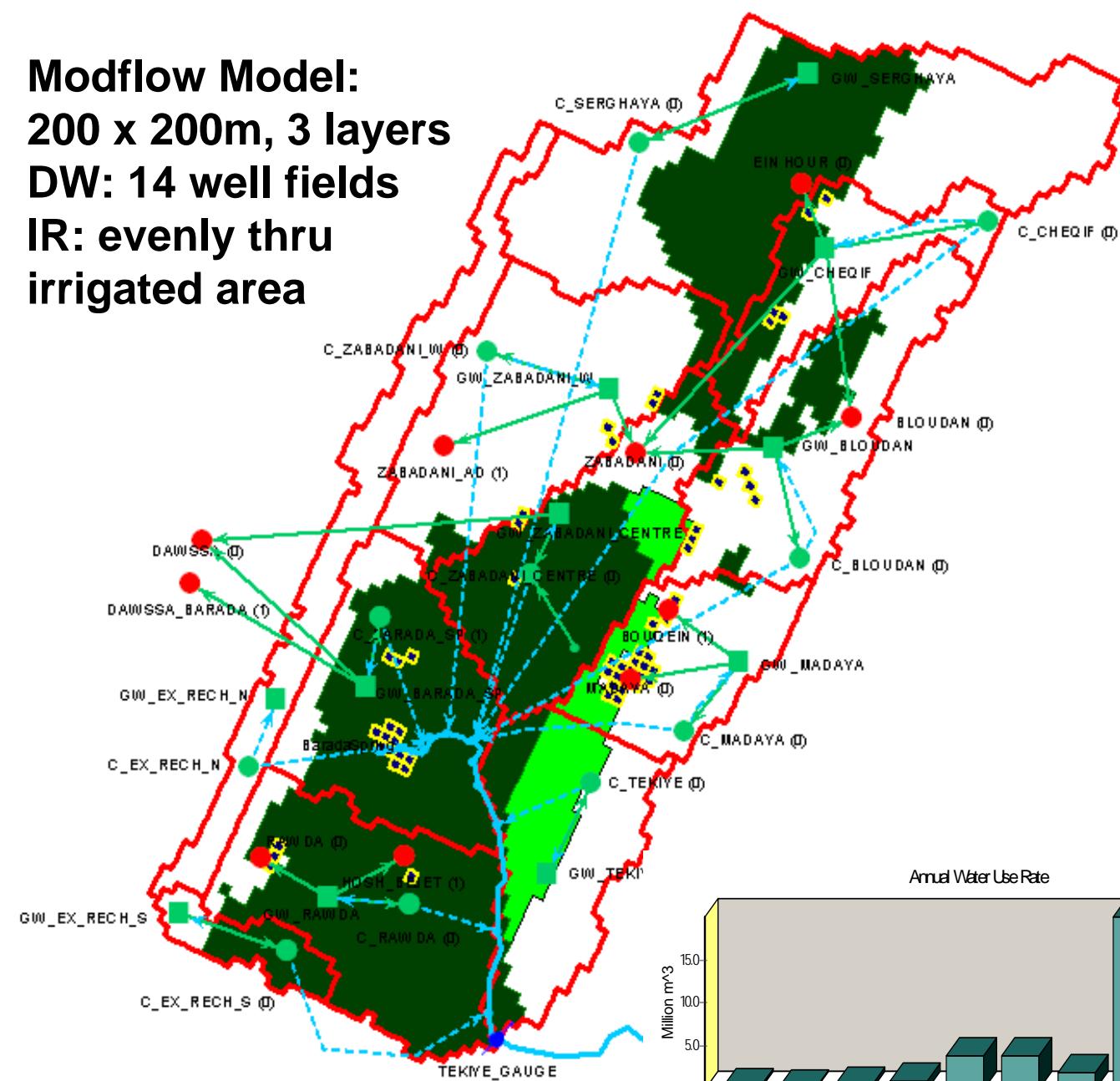


- River (2)
- Diversion (1)
- Reservoir
- Groundwater (11)
- Other Supply
- Demand Site (10)
- Catchment (11)
- Runoff/Infiltration (22)
- Transmission Link (25)
- Wastewater Treatment Plant
- Return Flow (4)
- Run of River Hydro
- Flow Requirement

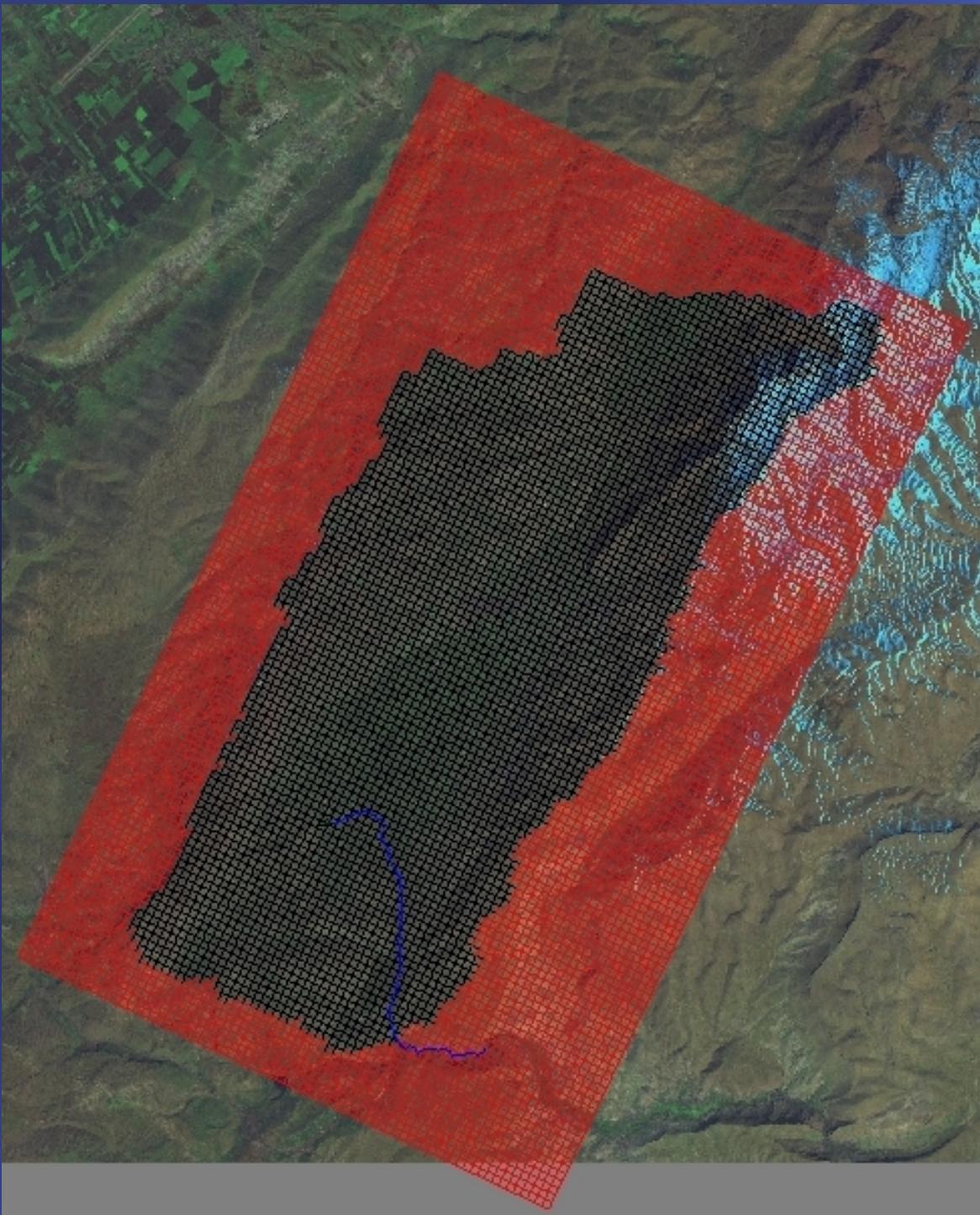
- DrinkingWaterWells
- MFwell_CELLS
- MF_SC
- linkage20070325
- irrigated_terraces
- villas_farms_gardens
- MF_unirrigated_planted
- MF_villages

WEAP Model: 11 subcatchments/ 48 landuse classes

**Modflow Model:
200 x 200m, 3 layers
DW: 14 well fields
IR: evenly thru
irrigated area**



Modflow model



The study area was divided by

$$124 \text{ (rows)} \times 27 \text{ (columns)} \times 3 \text{ (layers)} = 27528 \text{ cells}$$

The dimension of the cells is 200m by 200m



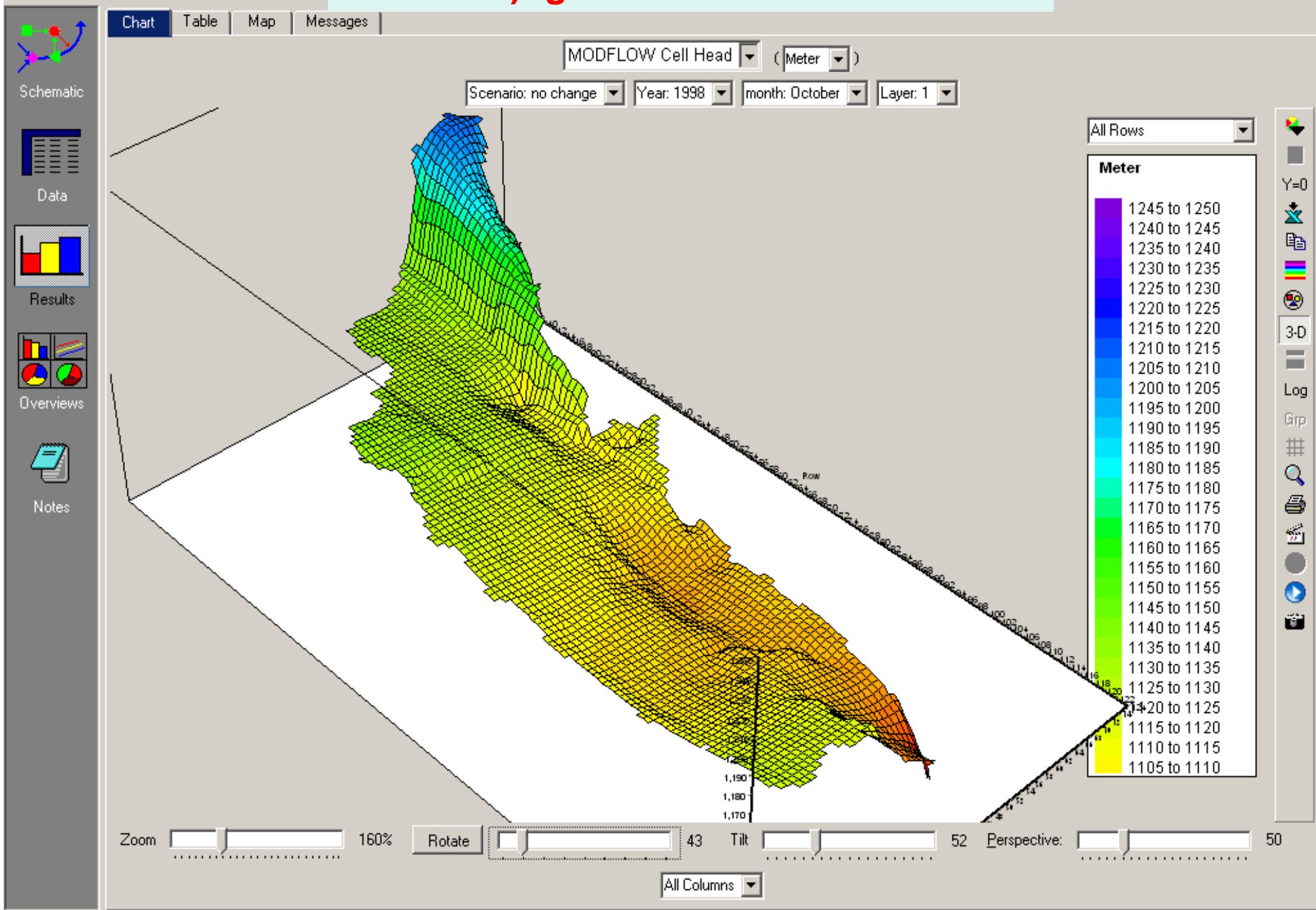
Arab-German Technical Cooperation

Management, Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources

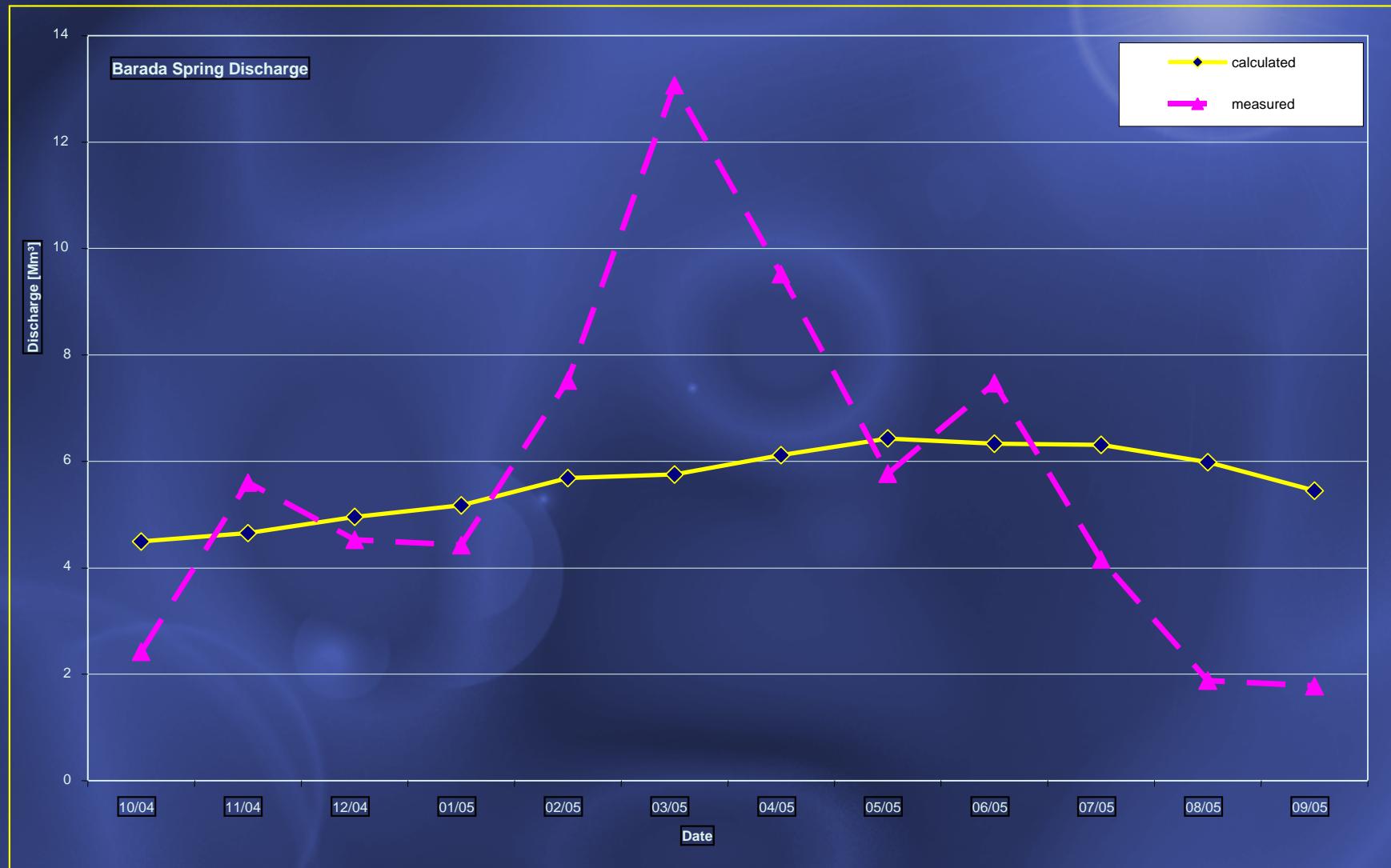


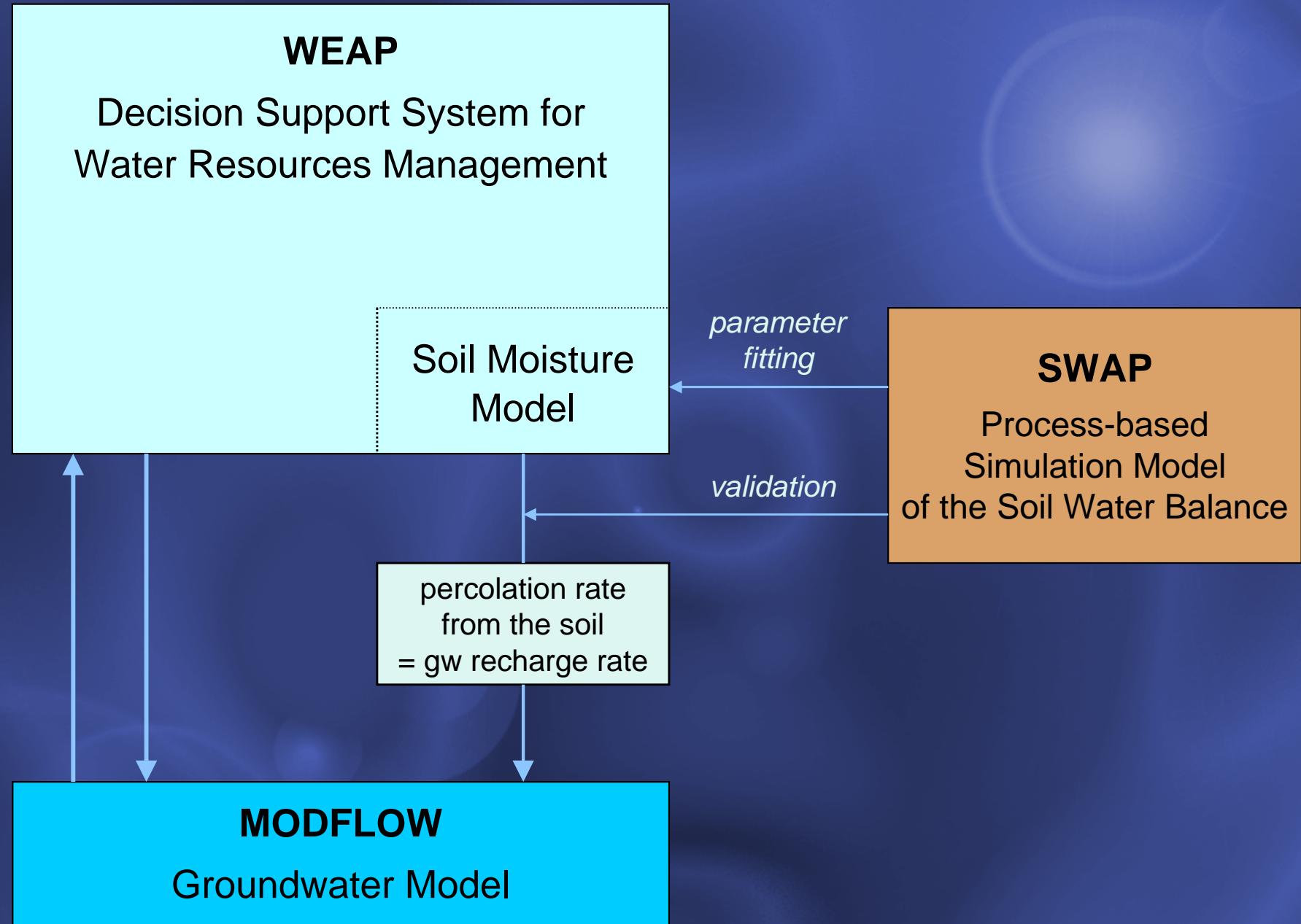
Decision Support System Zabadani Basin

Results A): groundwater head 3D-view

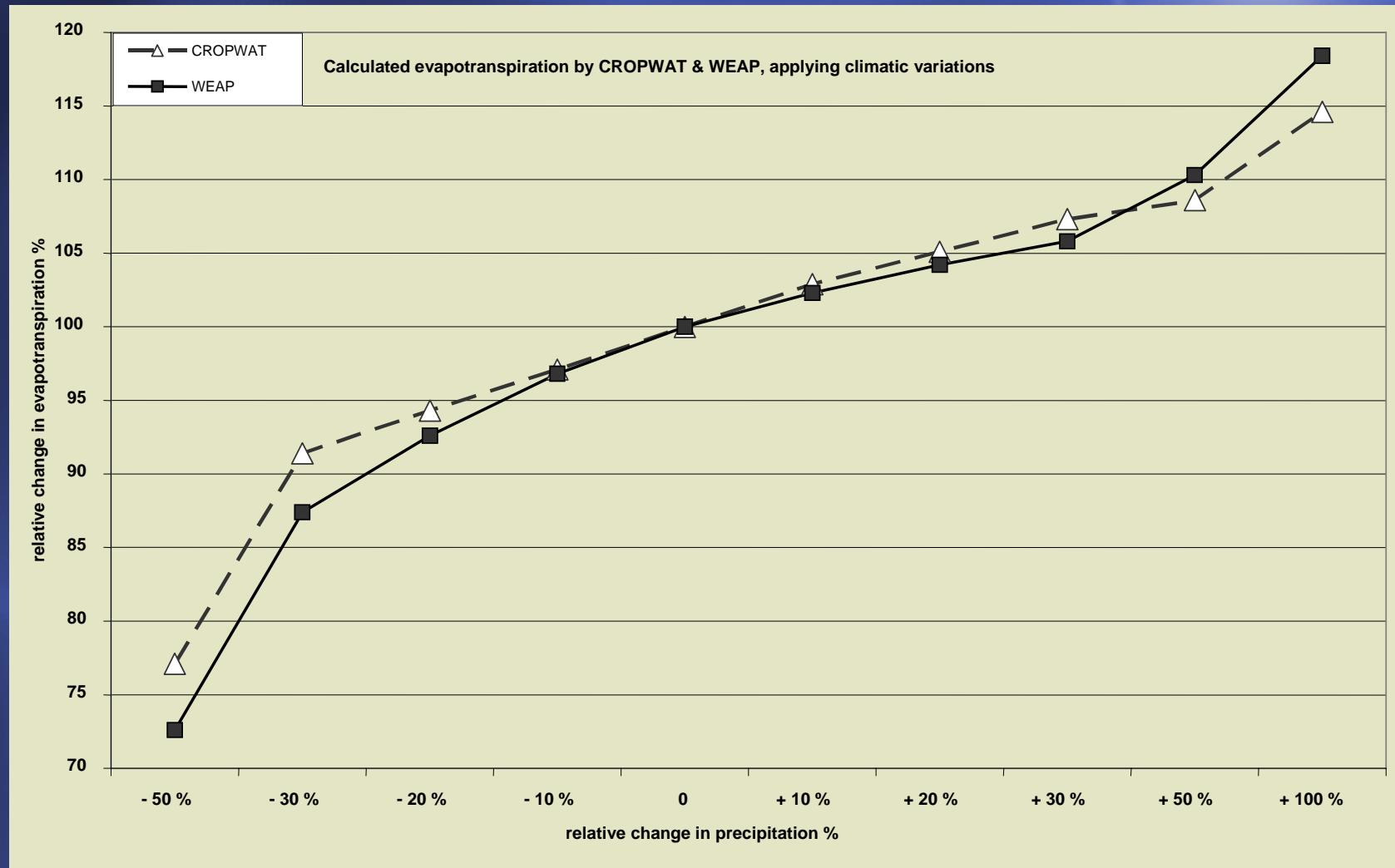


Computed (MODFLOW) versus measured discharge of the Barada spring



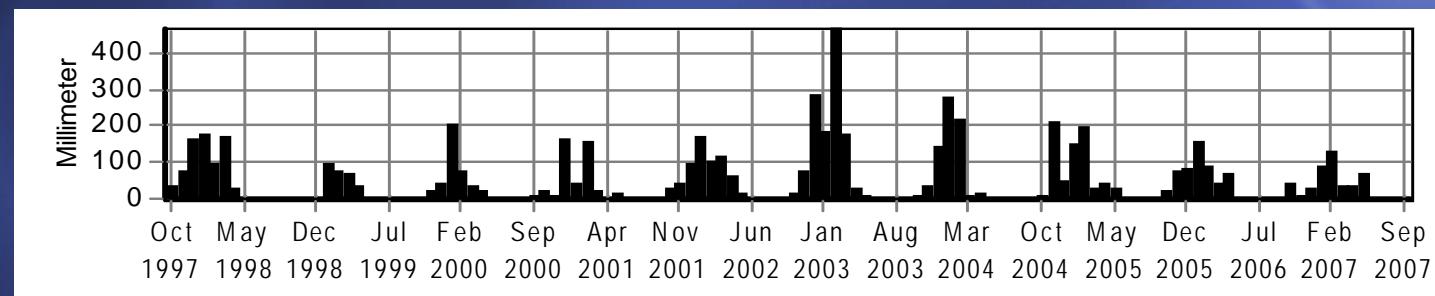


Calculated evapotranspiration of CROPWAT versus WEAP applying climatic variations



RESULTS OF THE DSS-SYSTEM

A) Historic scenario 1998 - 2007 to evaluate the DSS accuracy (wet/dry years)

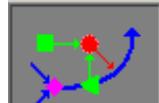


B) Planning scenarios 2005 – 2017 impacts of demand changes, climate change, boundary condition changes,...

- 1) **50_rain:** 50% of the annual rain from 2005 onward, impact of consecutive dry years (like 1999-2001)
- 2) **80_rain:** 20% decrease of annual rainfall within 12 years
- 3) **DRA_2x_DAWSSA_3x_AGR_0.7:** increase in drinking water abstraction (200% / 300%)/ reduction in irrigation water (-30%)
- 4) **no GW – inflow:** no groundwater inflow from outside the basin.

Results A): groundwater head 2D-view, time series

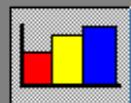
Area Edit View Favorites Help



Schematic



Data



Results



Overviews



Notes

Chart | Table | Map | Messages

MODFLOW Cell Head (Meter ▾)

Year: 1998 ▾

Month: October ▾

scenario: no change

Layer: 1

Results to Map

- MODFLOW Cell Head
- Catchment Precipitation
- Demand Site Coverage
- Groundwater Storage
- Infiltration/Runoff Flow
- Inflows to Area
- Irrigation Return Flow Fracti
- Land Class Inflows and Outf
- MODFLOW Drain Flow
- MODFLOW Leakage to Riv
- MODFLOW Pumping
- MODFLOW Recharge

- River (2)
- Diversion (1)
- ▲ Reservoir
- Groundwater (11)
- ♦ Other Supply
- Demand Site (10)
- Catchment (11)
- Runoff/Infiltration (22)



wet year

dry years

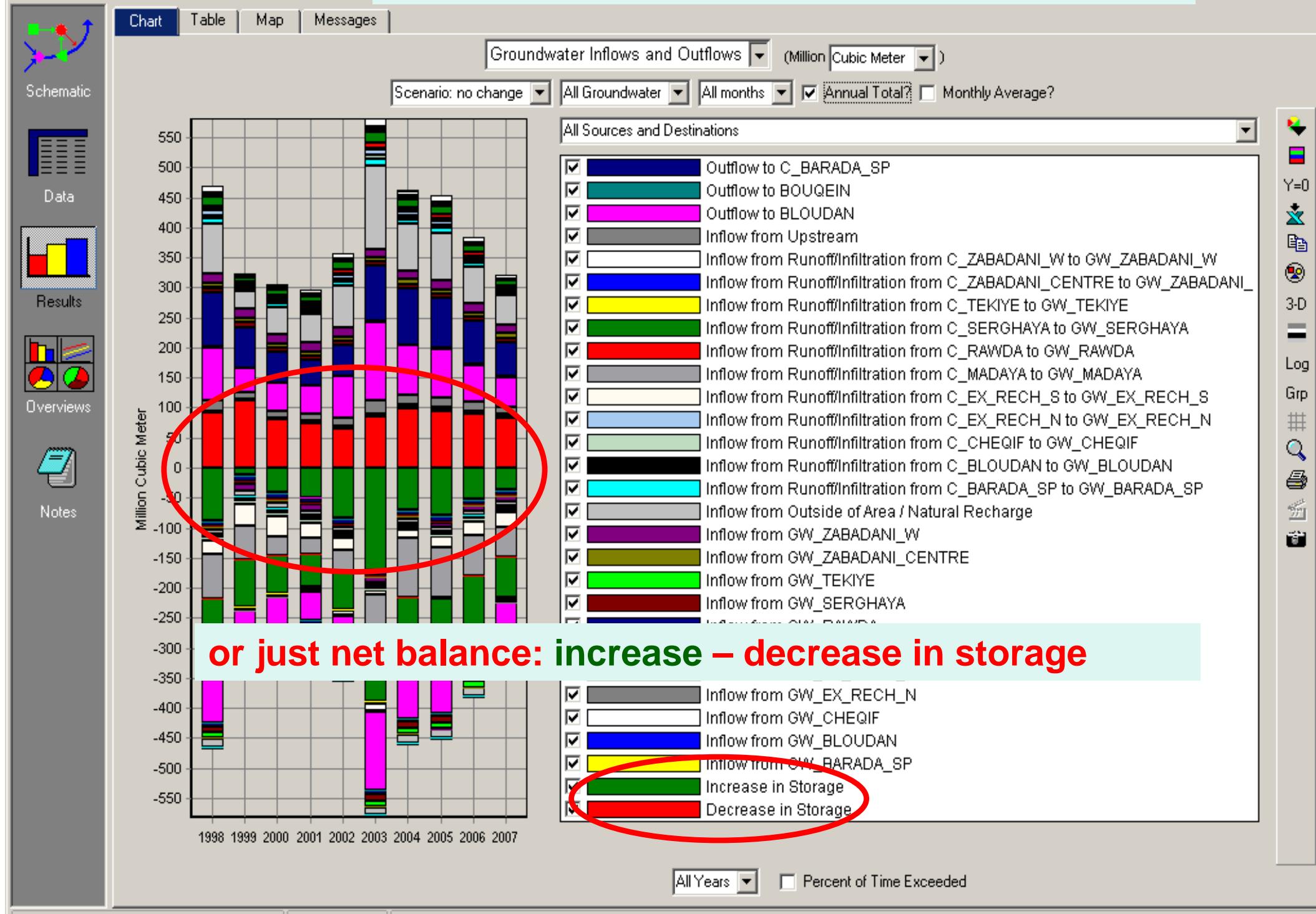


MODFLOW Cell Head ▾ (Meter) Row: 90 ▾ Column: 25 ▾

Meter
1245 to 1250
1240 to 1245
1235 to 1240
1230 to 1235
1225 to 1230
1220 to 1225
1215 to 1220
1210 to 1215
1205 to 1210
1200 to 1205
1195 to 1200
1190 to 1195
1185 to 1190
1180 to 1185
1175 to 1180
1170 to 1175
1165 to 1170
1160 to 1165
1155 to 1160
1150 to 1155
1145 to 1150
1140 to 1145
1135 to 1140
1130 to 1135
1125 to 1130
1120 to 1125
1115 to 1120
1110 to 1115
1105 to 1110
1100 to 1105
1095 to 1100
1090 to 1095
1085 to 1090
1080 to 1085
1075 to 1080
1070 to 1075
1065 to 1070
1060 to 1065
1055 to 1060
1050 to 1055

no change

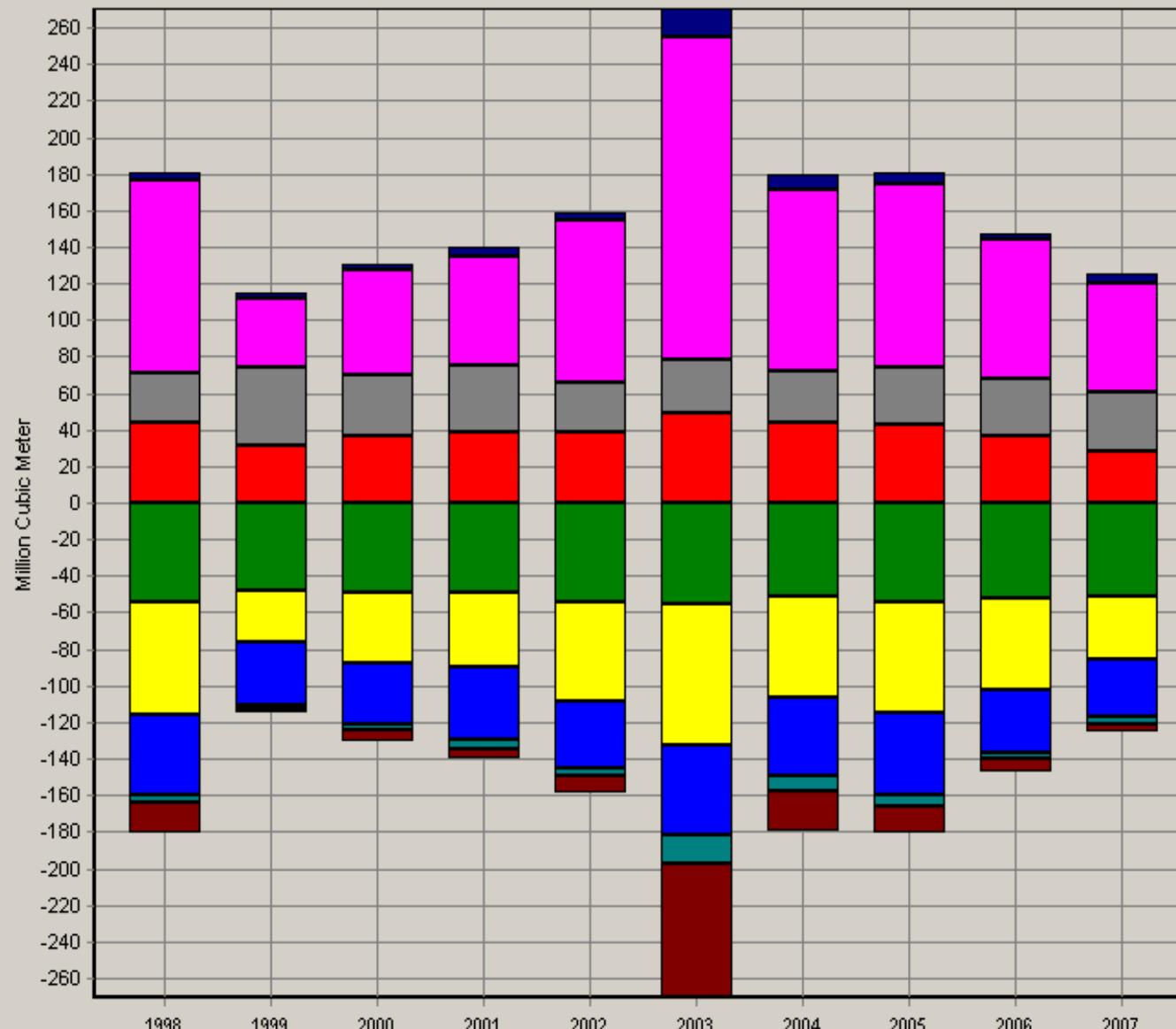
Results A): detailed groundwater balance



Results A): detailed soil water balance

[Chart](#) | [Table](#) | [Map](#) | [Messages](#)

Land Class Inflows and Outflows (Million Cubic Meter)

 Branch: Demand Sites and Catchments | Scenario: no change | All months | Annual Total? Monthly Average?


All Src/Dests

- Surface Runoff
- Snow Melt
- Snow Accumulation
- Precipitation
- Irrigation
- Interflow
- Increase in Soil Moisture
- Flow to Groundwater
- Evapotranspiration
- Decrease in Soil Moisture

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

Results B: groundwater level

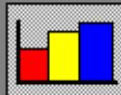
Area Edit View Favorites Help



Schematic



Data



Results



Overviews



Notes

Chart Table Map Messages

MODFLOW Cell Head (Meter)

Year: 2005

Month: October

Scenario: 50_rain

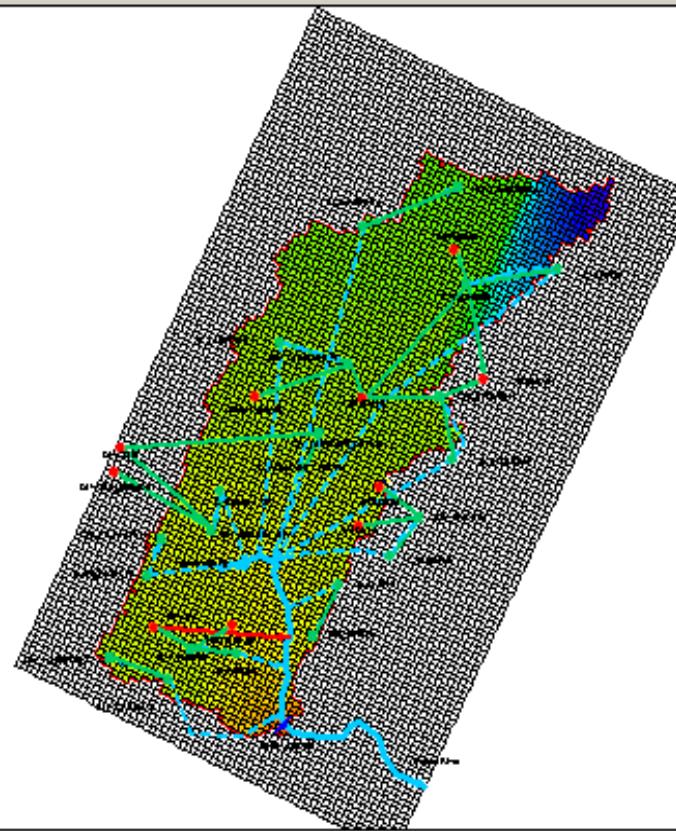
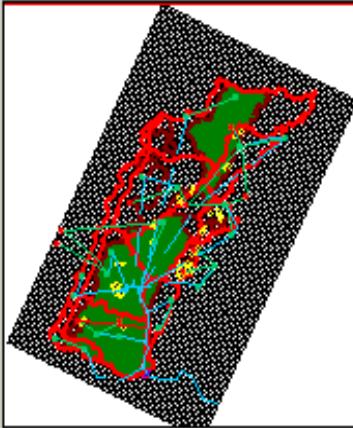
Layer: 1

Results to Map

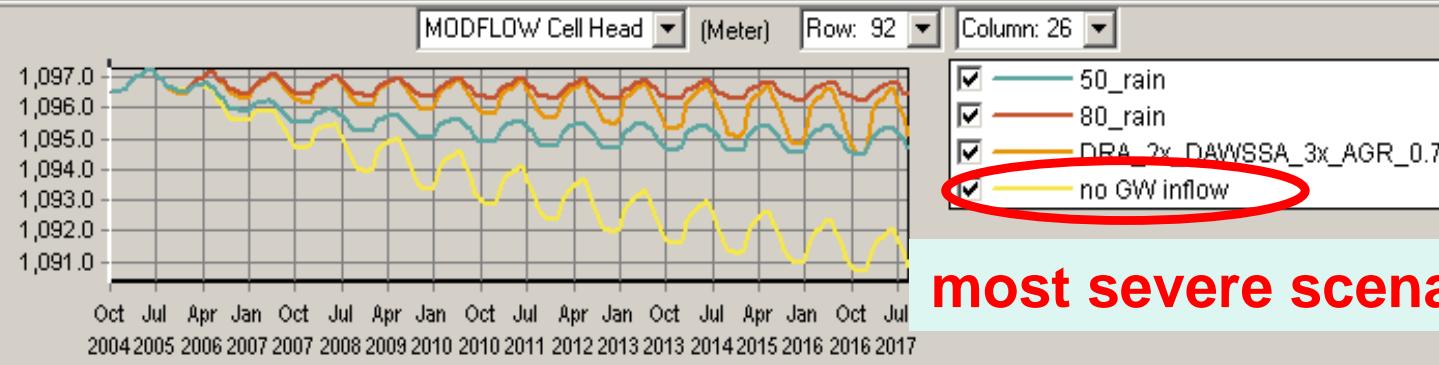
- MODFLOW Cell Head
- Catchment Precipitation
- Demand Site Coverage
- Groundwater Outflow to Riv
- Groundwater Storage
- Infiltration/Runoff Flow
- Inflows to Area
- Irrigation Return Flow Fracti
- Land Class Inflows and Outf
- MODFLOW Drain Flow
- MODFLOW Leakage to Riv
- MODFLOW Leakage to Riv

+ Add... - Delete

- River (2)
- Diversion
- ▲ Reservoir
- Groundwater (11)
- ◆ Other Supply
- Demand Site (10)
- Catchment (11)
- Runoff/Infiltration (22)

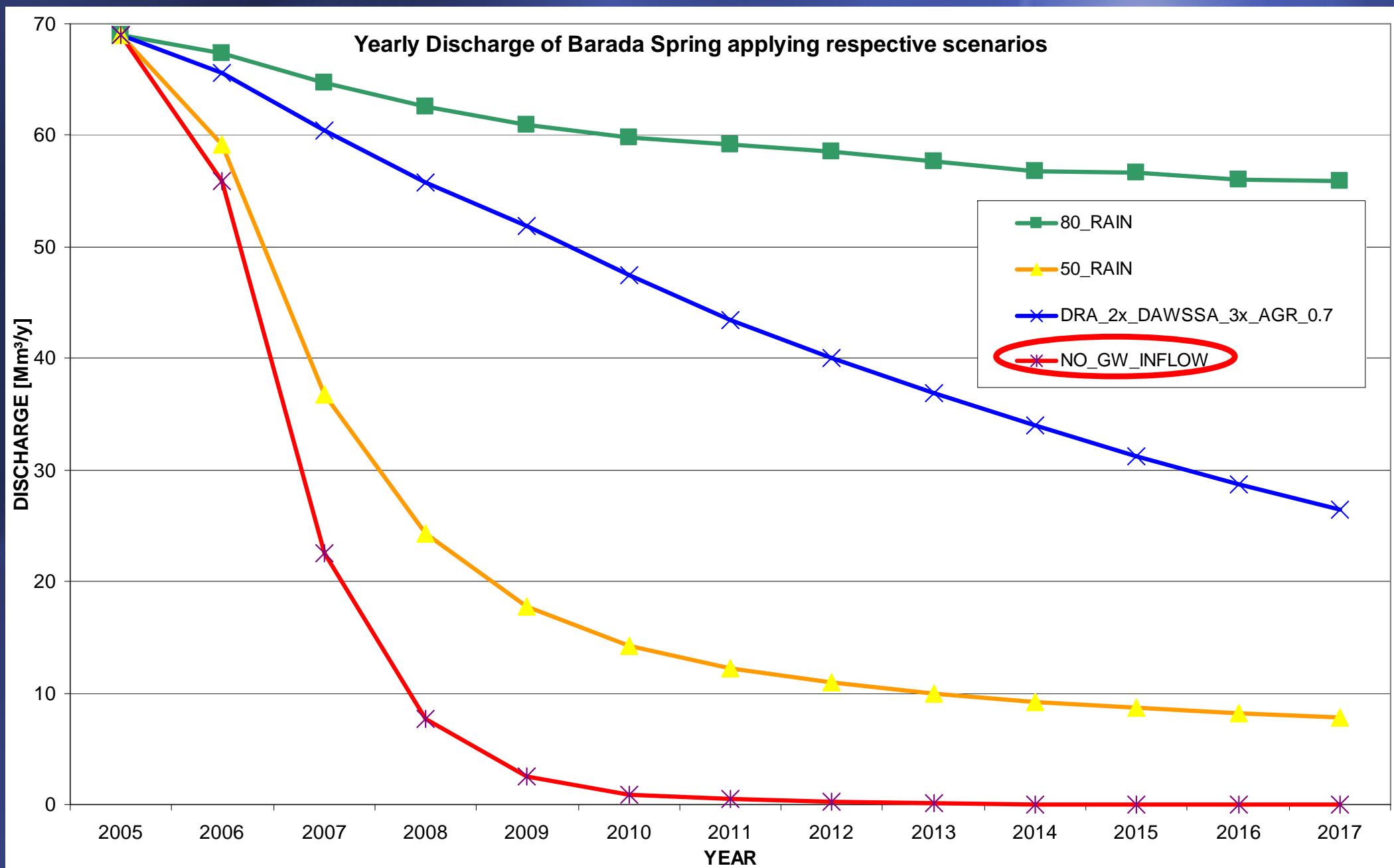


Meter
1292.5 to 1300.0
1285.0 to 1292.5
1277.5 to 1285.0
1270.0 to 1277.5
1262.5 to 1270.0
1255.0 to 1262.5
1247.5 to 1255.0
1240.0 to 1247.5
1232.5 to 1240.0
1225.0 to 1232.5
1217.5 to 1225.0
1210.0 to 1217.5
1202.5 to 1210.0
1195.0 to 1202.5
1187.5 to 1195.0
1180.0 to 1187.5
1172.5 to 1180.0
1165.0 to 1172.5
1157.5 to 1165.0
1150.0 to 1157.5
1142.5 to 1150.0
1135.0 to 1142.5
1127.5 to 1135.0
1120.0 to 1127.5
1112.5 to 1120.0
1105.0 to 1112.5
1097.5 to 1105.0
1090.0 to 1097.5
1082.5 to 1090.0
1075.0 to 1082.5
1067.5 to 1075.0
1060.0 to 1067.5
1052.5 to 1060.0
1045.0 to 1052.5
1037.5 to 1045.0
1030.0 to 1037.5
1022.5 to 1030.0
1015.0 to 1022.5
1007.5 to 1015.0
1000.0 to 1007.5





Impact on Barada Spring discharge



Zusammenfassung: DSS - WEAP – MODFLOW

- + Das dynamisch gekoppelte DSS wurde erfolgreich getestet mit verschiedenen Szenarios (historische Daten, zukünftige Planung); Darstellung der jeweiligen Auswirkungen in Diagrammen, Karten oder Tabellen.
- + Nach korrekter Modellierung und Kalibrierung von Hydrogeologie/Hydraulik/Bodenwasserhaushalt (MODFLOW/ Bodenwasserhaushaltsmodell) können leicht genaue Szenarios zur Wasserplanung entwickelt, bearbeitet und aktualisiert werden
- + Die Ergebnisse können für jede erforderliche hydrogeologische, administrative oder Landnutzungs-Einheit im notwendigen Maßstab aggregiert werden.
- + Bei dem DSS handelt es sich um eine freie Software für Länder der EZ, die leicht von allen relevanten Akteuren und Institutionen auf dem Wassersektor genutzt werden kann.

Das System ist einfach, aber nicht zu einfach

Ausblick über 2008 hinaus

- Weitere Verbreitung in den ACSAD-Mitgliedsländern
-> Schwerpunkt der Fortsetzung des ACSAD-BGR Projekts
- Training Workshops, "WEAP-User-Meetings", Networking etc.
- Berücksichtigung sozio-ökonomischer Aspekte
- Anleitung zur Kalibrierung der GW-Neubildung
- Einbindung des FAO-CROPWAT Modells in WEAP
- Ggf. Koppelung mit einem GW-Qualitäts-Modell
- Verbesserung der Wasserbilanzen für die Pilotgebiete



THANK YOU!



Contact us: water_dep@acsad.org / j.wolfer@bgr.de / WWW.ACSAD-BGR.ORG

Water - a fundamental necessity of life

