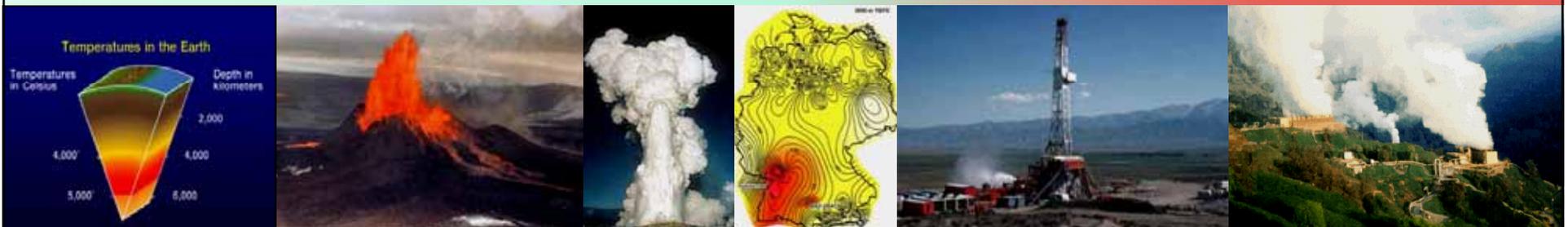




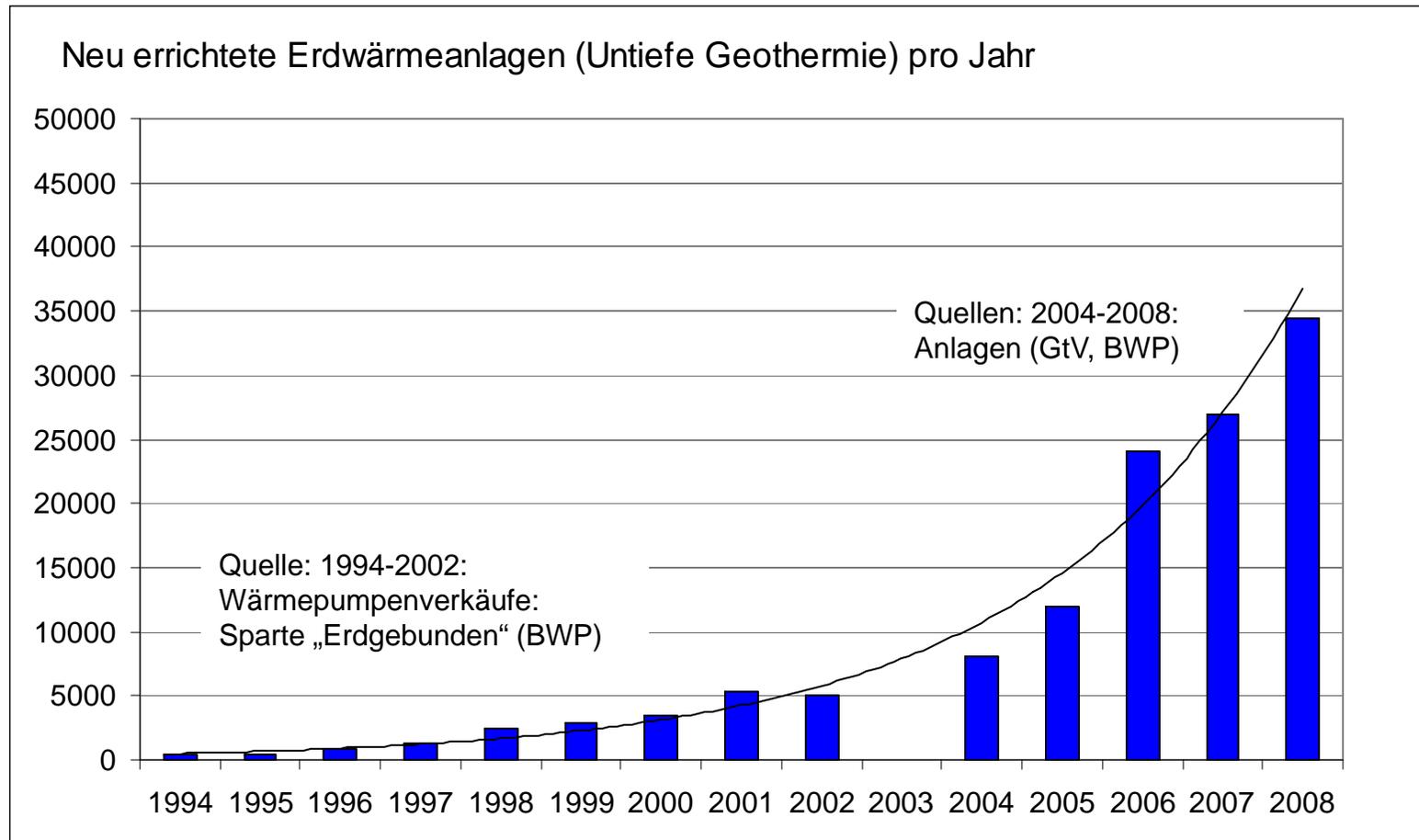
Klimawandel und Geothermie: Aktuelle Forschungsfelder für die Angewandte Hydrogeologie - zwei Projektbeispiele aus Bayern

Dr. Roland Barthel,
Jungwissenschaftlergruppe Grundwasserhydraulik und Grundwasserwirtschaft,
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart



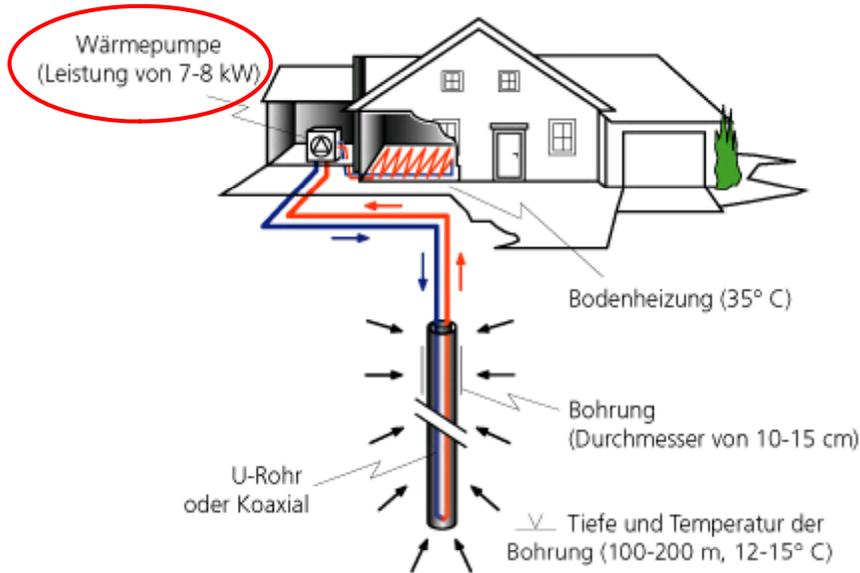
1. Kurze Einführung geothermischer Verfahren
2. Projektbeispiele:
 - a) GIS-gestützte Potentialstudie oberflächennahe Geothermie (Unterfranken, Nordbayern)
 - b) Projekt GLOWA-Danube - Global Change Forschung im Donaueinzugsgebiet
3. Synthese: Forschung und Lehre in Hydrogeologie und Geothermie am Standort München

Entwicklung der flachen Geothermie in Deutschland 1994 - 2008

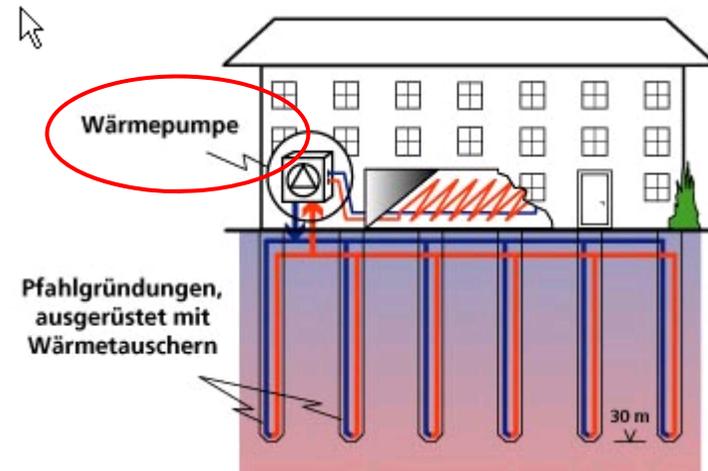
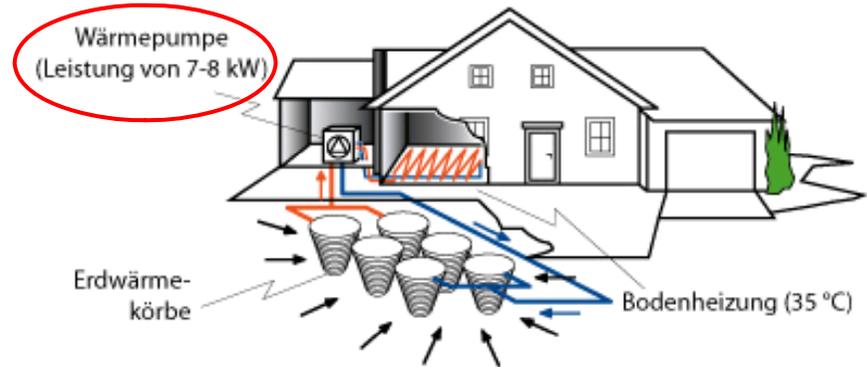


Flache Geothermie bis 200 / 400m Tiefe zur Heizung und Kühlung

EWS für ein typisches Einfamilienhaus



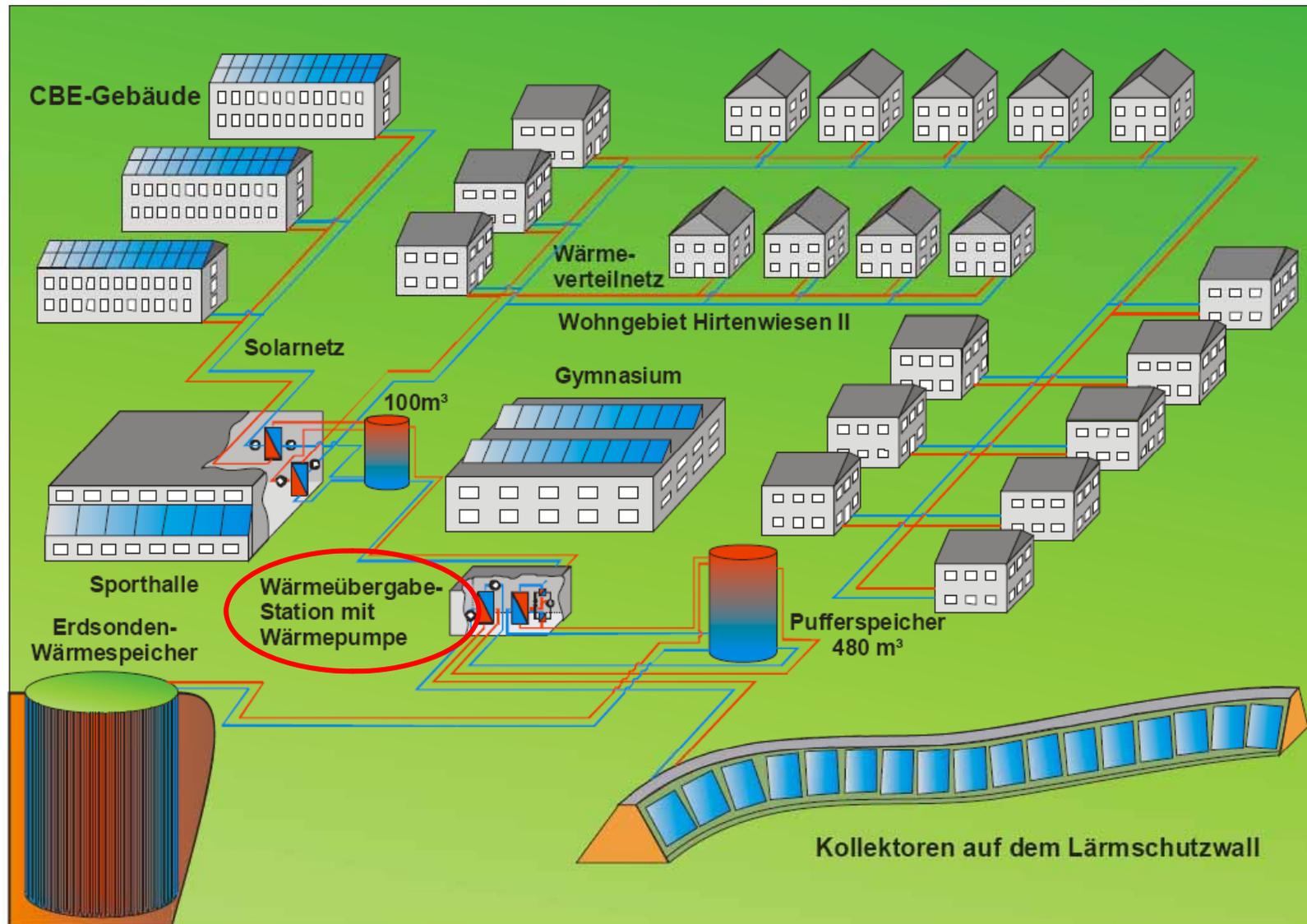
Erdwärmekörbe für ein typisches Einfamilienhaus



<http://www.geothermie.ch/>

Saisonale Wärmespeicherung

Erdsondenwärmespeicher Crailsheim (ITW Stuttgart, BMU)

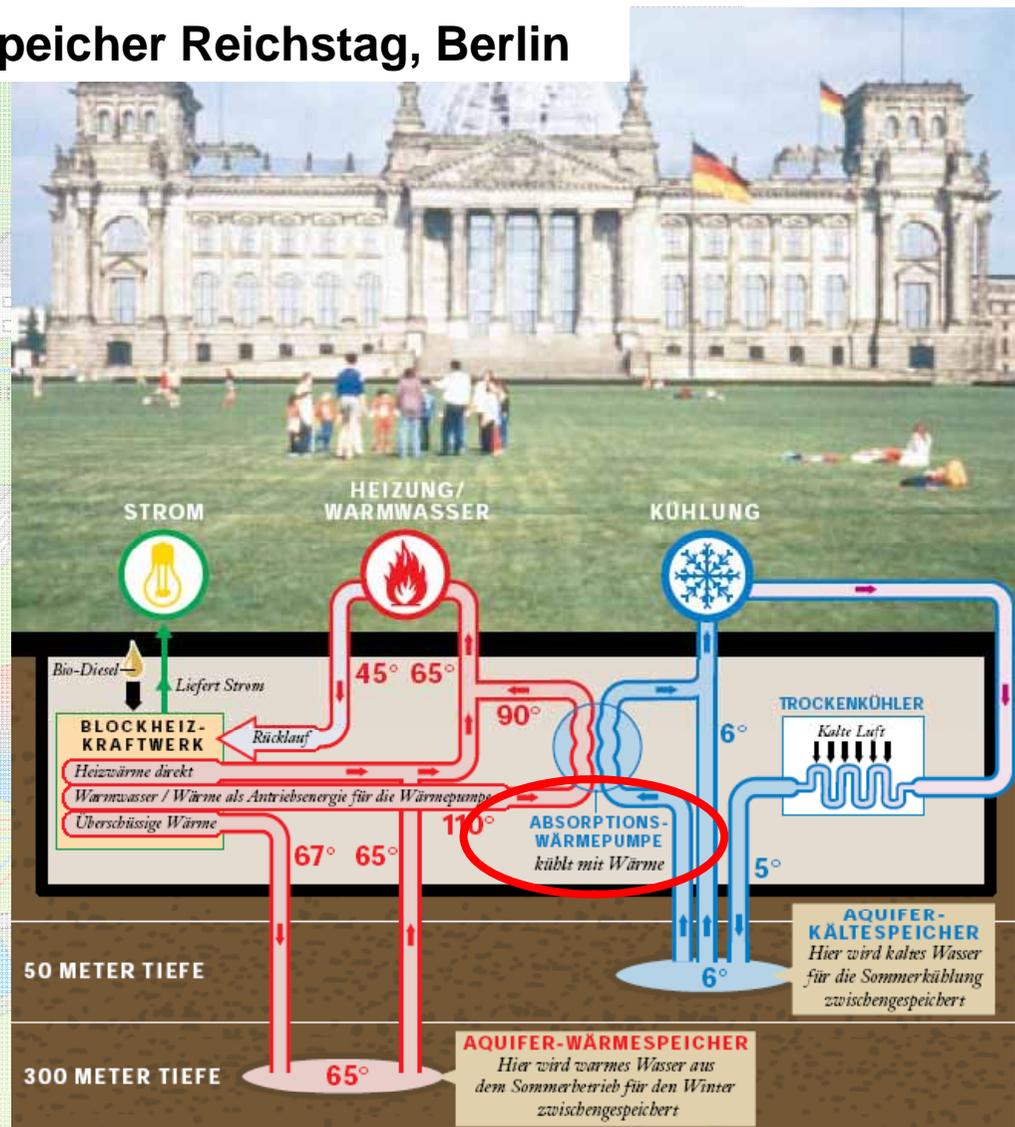
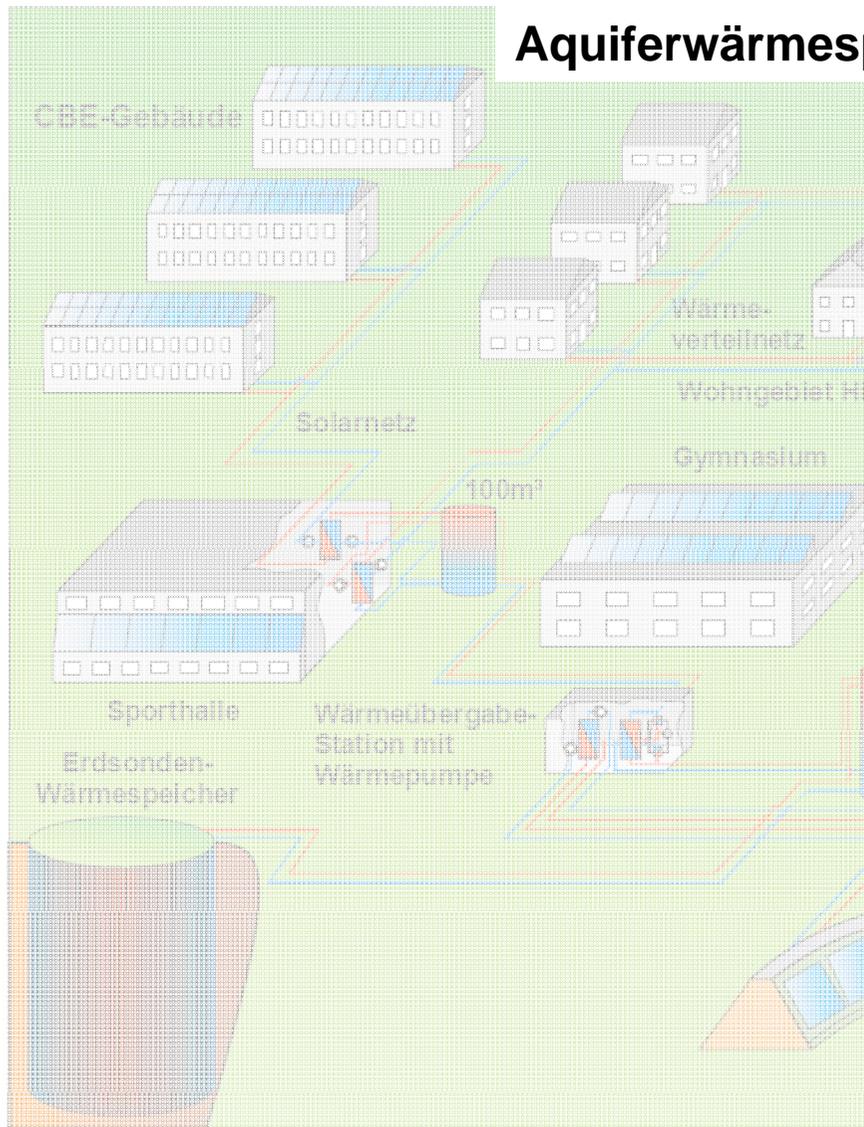


Bauer et al. (2007): <http://www.itw.uni-stuttgart.de/abteilungen/rationelleEnergie/pdfdateien/07-05.pdf>

Saisonale Wärmespeicherung

Erdsondenwärmespeicher Crailsheim (ITW Stuttgart, BMU)

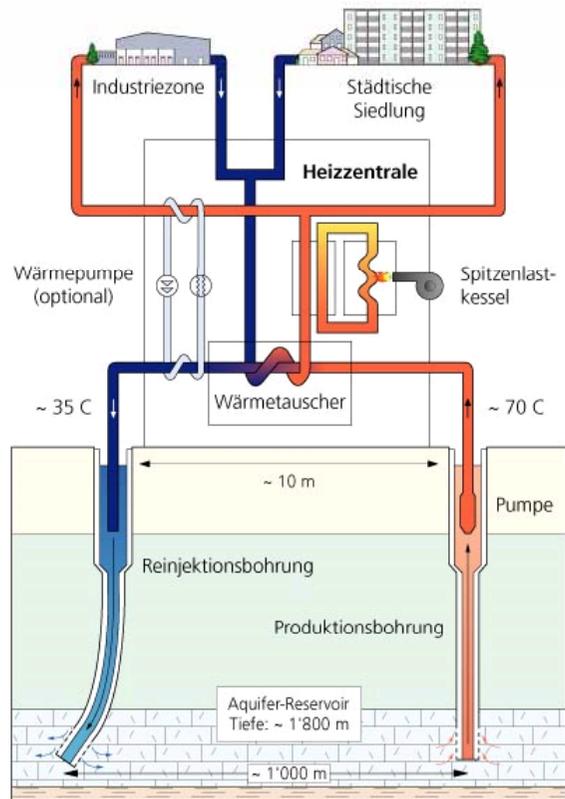
Aquiferwärmespeicher Reichstag, Berlin



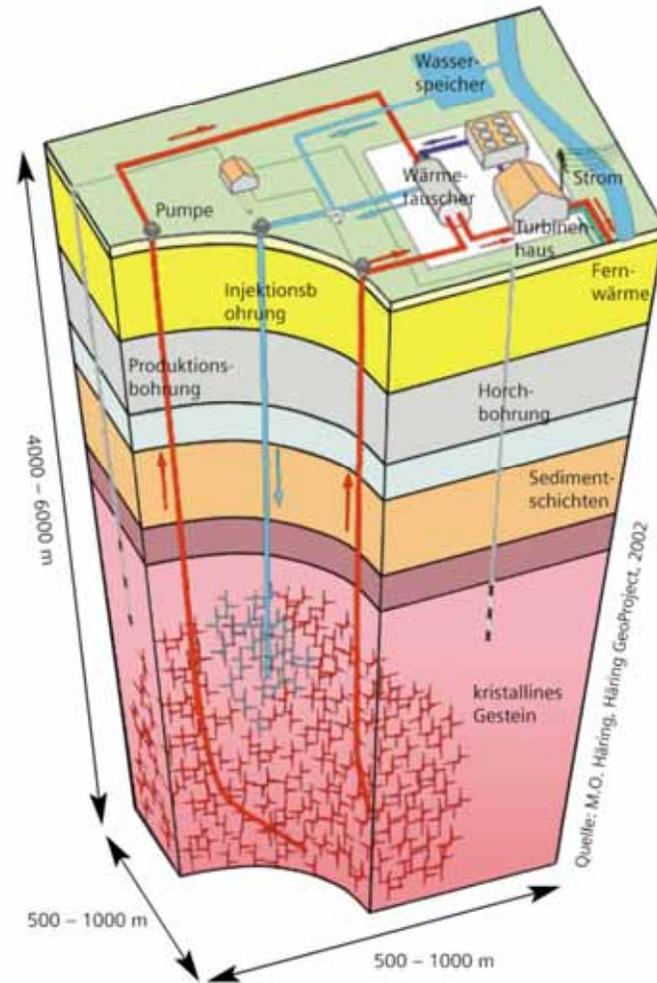
DIE WOCHE 10. Juli 1998

Tiefe Geothermie: 3 große Gruppen

1) Hydrogeothermale Lagerstätten (Wärme/Strom&Wärme)



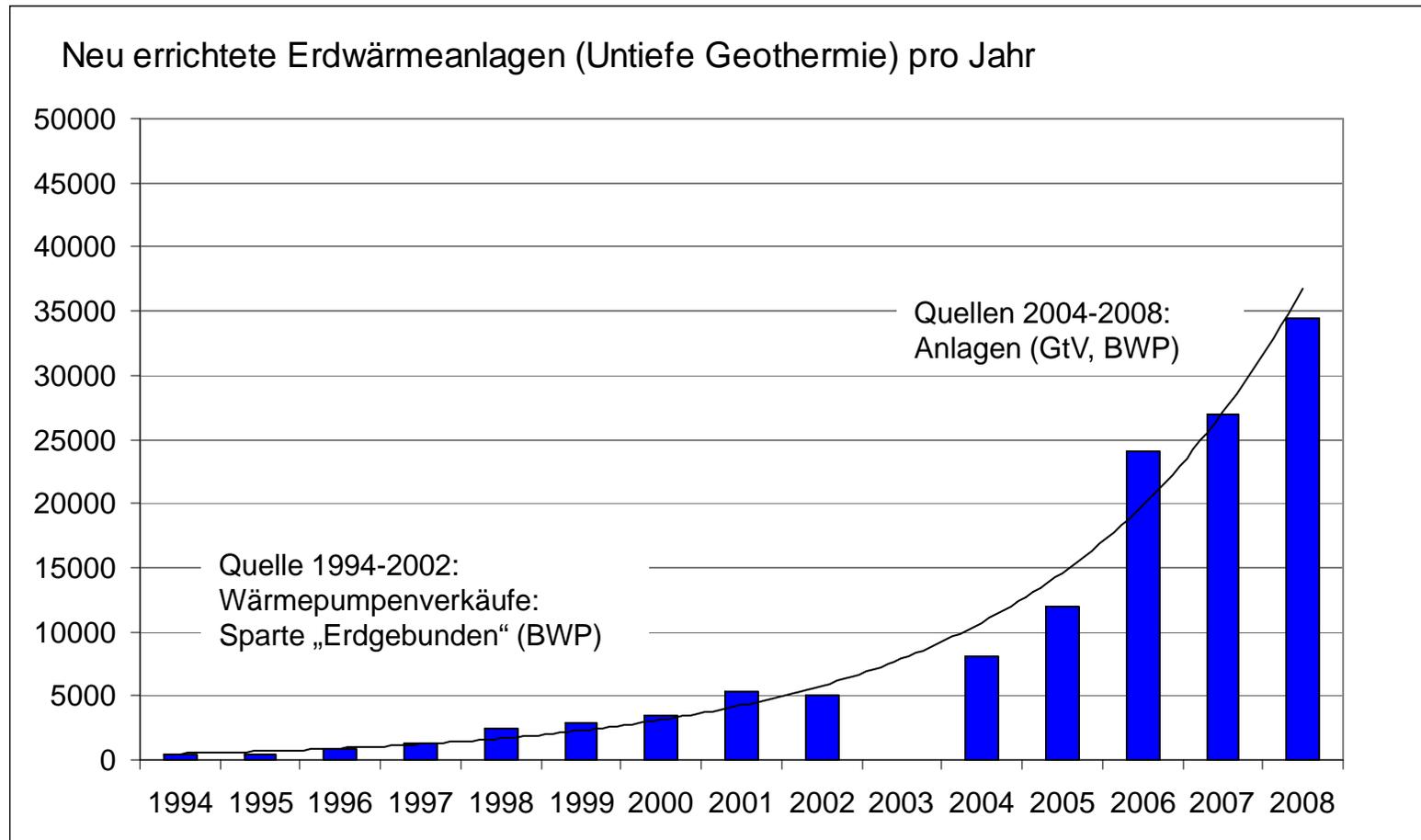
2) Hot Dry Rock (Hot-Wet-Rock (HWR), Hot-Fractured-Rock (HFR), Enhanced Geothermal System (EGS), Petrothermale Systeme)



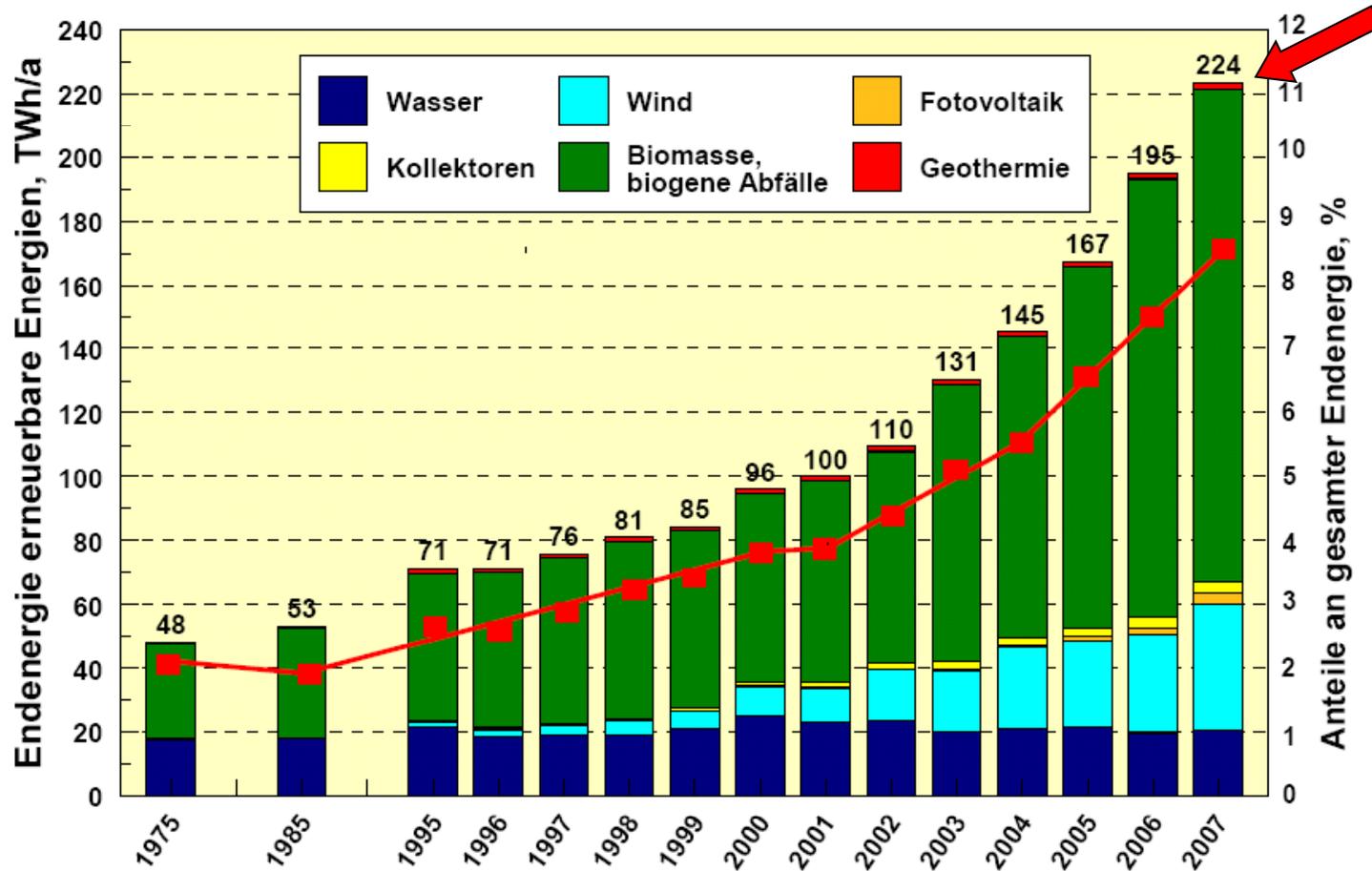
3) Tiefe Erdwärmesonden

<http://www.geothermie.ch>

Entwicklung flache Geothermie in Deutschland 1994 - 2008



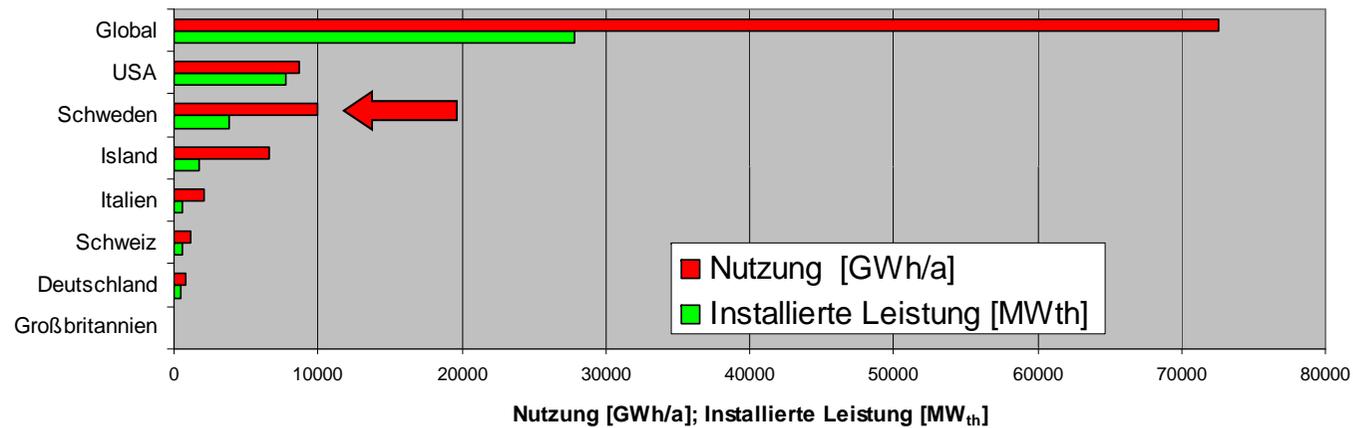
Geothermie gesamt – Endenergiebeitrag 1975-2007 Deutschland



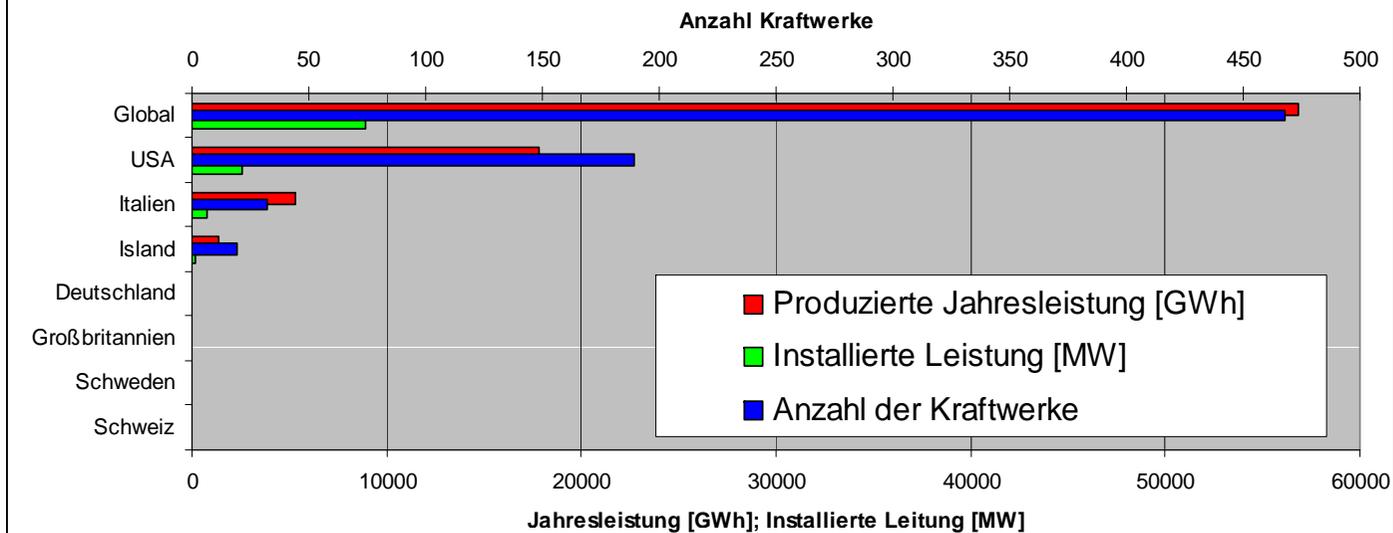
Quelle: Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien **Leitstudie 2008**

Geothermie in Deutschland im internationalen Vergleich

Direkte Nutzung geothermische Energie (Stand 2005)



Installierte geothermische Stromleistung (Stand 2005)



Daten nach: Geothermische Vereinigung: <http://www.geothermie.de/aktuelles/geothermie-in-zahlen/weltweit.html>

Für tiefe geothermische Nutzungen interessante Gebiete

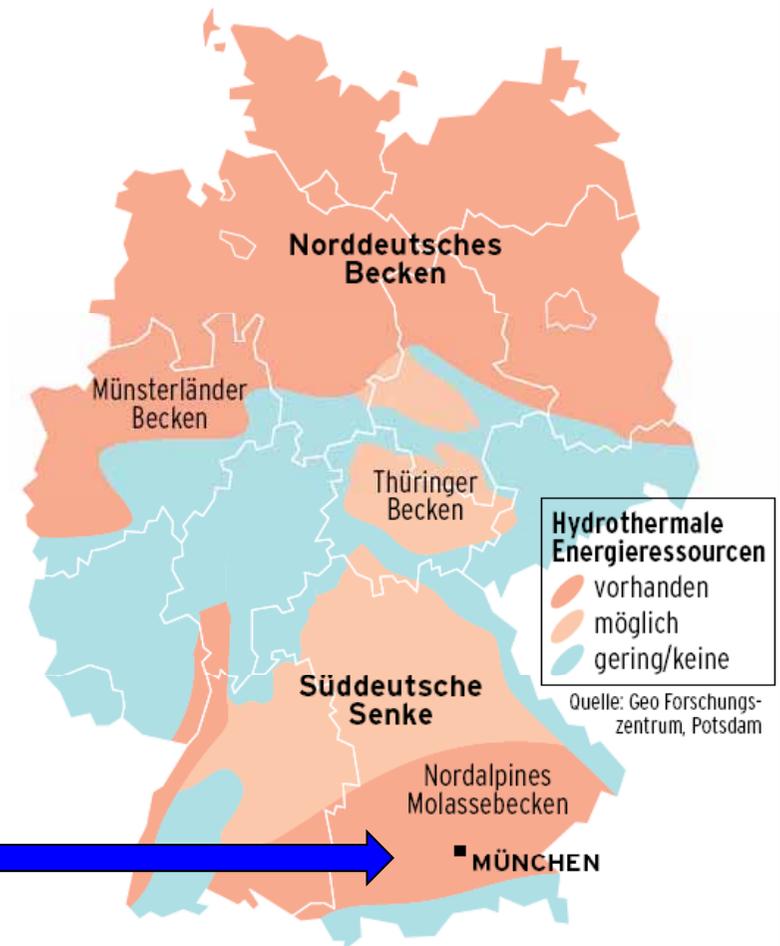
Regionen und wichtigste Horizonte für hydrogeothermische Nutzung

Region	Horizont	Typ
Norddeutsches Becken	Speicherkomplex Lias-Rät	porös
	Mittlerer Buntsandstein	klüftig-porös
	Rotliegend-Sandsteine	klüftig-porös
	Unterkreide-Sandsteine	porös
	Dogger-Sandsteine	porös
	Keuper-Sandsteine	porös
Oberrheingraben	Oberer Muschelkalk	klüftig
	Mittlerer Buntsandstein	klüftig-porös
Süddeutsches Molassebecken	Malm	karstig-klüftig

Ca. 100 laufende Anträge auf Erlaubnis zur
Aufsuchung nach BBergG (mdl. Mittl. LfU
Mai 2009)

ERDWÄRME FÜR DEUTSCHLAND

Geothermische Beschaffenheit



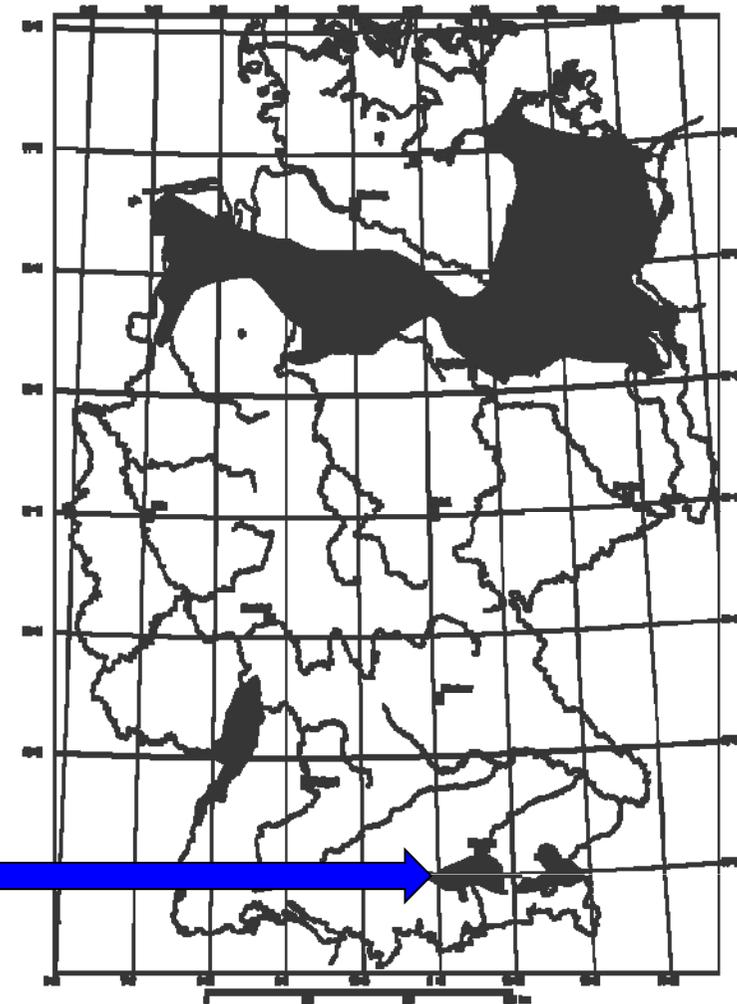
Quellen: GFZ, Potsdam und SCHELLSCHMIDT et al. (2005)

Für tiefe geothermische Nutzungen interessante Gebiete

Regionen und wichtigste Horizonte für hydrogeothermische Nutzung

Region	Horizont	Typ
Norddeutsches Becken	Speicherkomplex Lias-Rät	porös
	Mittlerer Buntsandstein	klüftig-porös
	Rotliegend-Sandsteine	klüftig-porös
	Unterkreide-Sandsteine	porös
	Dogger-Sandsteine	porös
	Keuper-Sandsteine	porös
Oberrheingraben	Oberer Muschelkalk	klüftig
	Mittlerer Buntsandstein	klüftig-porös
Süddeutsches Molassebecken	Malm	karstig-klüftig

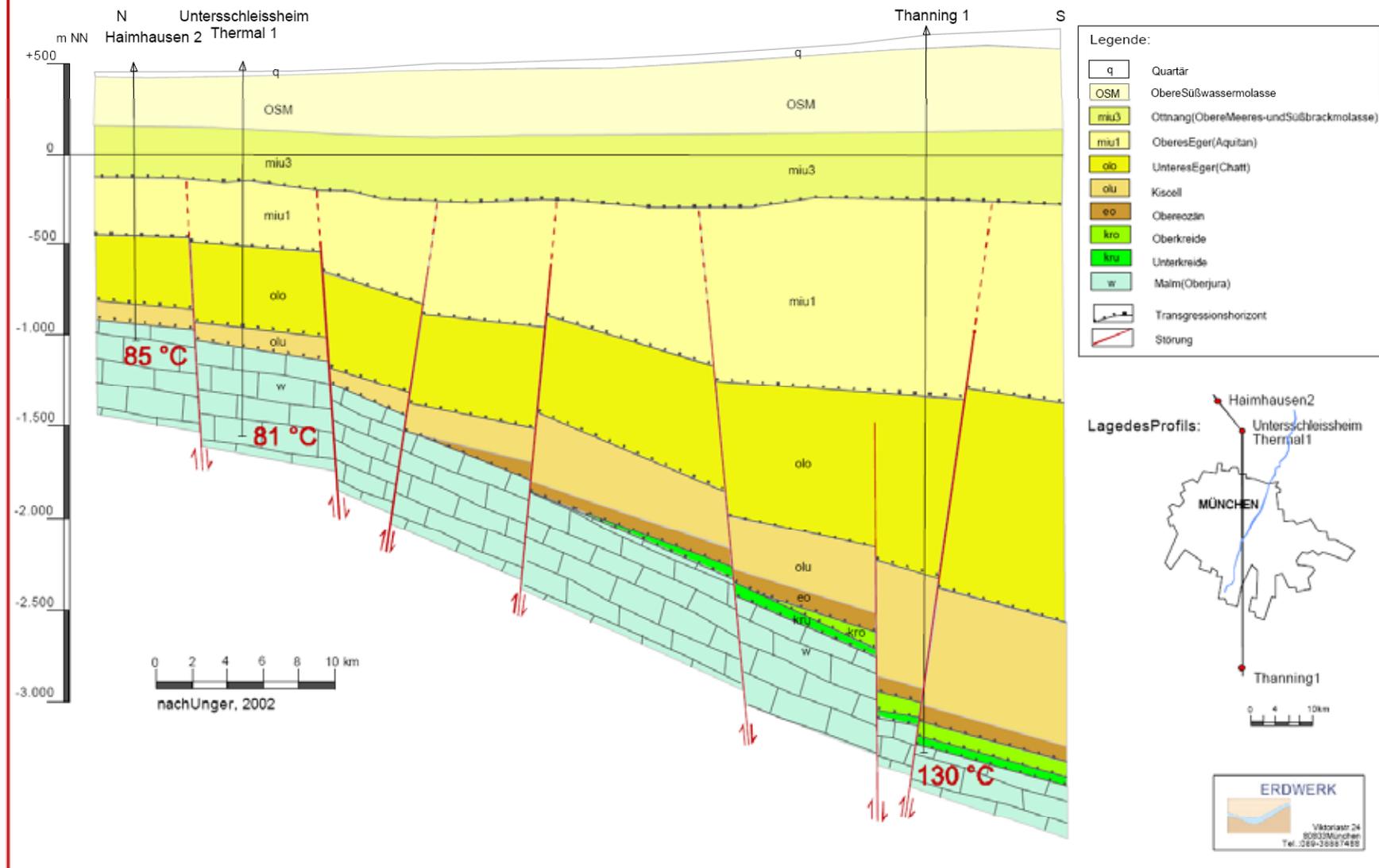
Ca. 100 laufende Anträge auf Erlaubnis zur
Aufsuchung nach BBergG (mdl. Mittl. LfU
Mai 2009)



 Für geothermische Stromerzeugung geeignete Gebiete

Quellen: GFZ, Potsdam und SCHELLSCHMIDT et al. (2005)

Geologisches Profil durch München



http://www.erdwerk.com/pdf/NS_Schnitt_MUC02.pdf

Unterhaching im Dauerbetrieb **04.05.09 | Nachrichten & Kurzmeldungen**

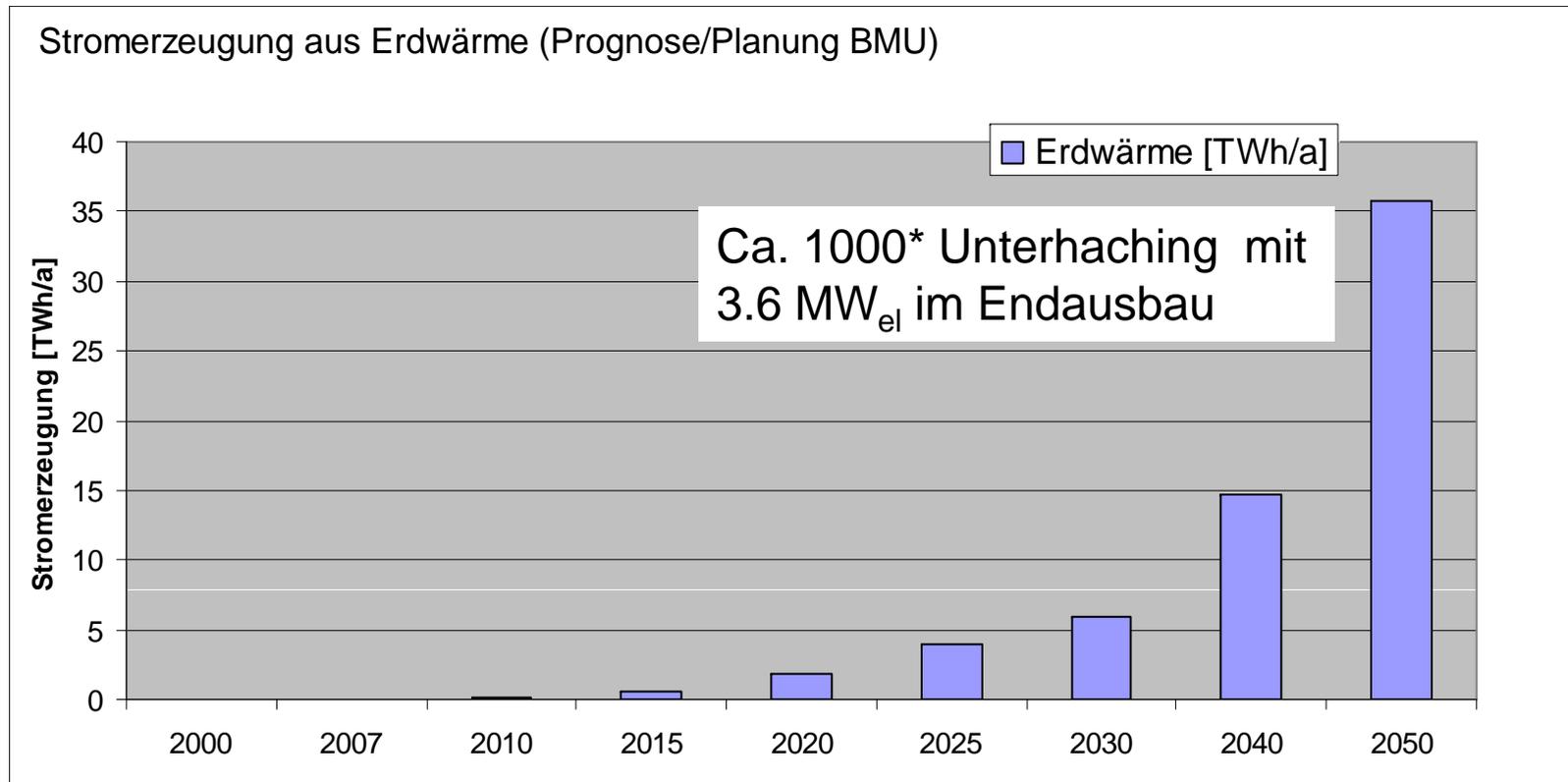
*“Seit Ende April ist es soweit: Die von Siemens gebaute Kalina-Turbine im Unterhachinger Heizkraftwerk ist in den Dauerbetrieb genommen worden. **Die elektrische Leistung der wärmegeführten Anlage liegt gegenwärtig bei 2 MW.** Im Sommer sollen stärkere Pumpen die Thermalwasserförderung steigern und die auch die Stromproduktionskapazitäten auf 3.6 MW anheben.”*

- Bohrungen: Dublette
- Thermalwasser: **ca. 122 °C**
- Teufe: ca. 3.300 m
- **Installierte Stromleistung: 3.36 MWel**
- **Turbine: Kalina**
- Installierte Wärmeleistung: derzeit 28 MWth, 70 MWth im Endausbau
- *Inbetriebnahme:* Wärmeversorgung: 2007
- Kraftwerk: April 2009



GTV: <http://www.geothermie.de/news-anzeigen/2009/05/04/unterhaching-im-dauerbetrieb.html>

Planungen: Geothermische Stromerzeugung (BMU)



Ökonomische Risiken: Bad Urach



Geotechnische und ökologische Risiken

SPIEGEL ONLINE WISSENSCHAFT

NACHRICHTEN VIDEO ENGLISH EINESTAGES FORUM SPIEGEL WIS

Home | Politik | Wirtschaft | Panorama | Sport | Kultur | Netzwelt | **Wissens**

Nachrichten > Wissenschaft > Natur

15.11.2008 Drucken | Senden | Bookmark | Feedback | Merken

NACH ERDWÄRME-BOHRUNG

Schrift: - +

Eine Stadt zerreißt

Von *Jens Lubbadeh*

Vorbildlich ins Desaster: Mit Erdwärme wollte man das Rathaus im sudbadischen Staufen heizen. Doch kurz nach den Bohrungen begann der Horror. Überall in der Stadt taten sich tiefe Risse auf. Keiner weit, was noch kommt - und wer eigentlich Schuld an der Sache hat.

Staufen im Breisgau. Eine kleine beschauliche Stadt am Fuße des Schwarzwalds. 7800 Menschen leben hier, wo die Welt noch in Ordnung ist. Genauer gesagt: Wo die Welt noch in Ordnung war. Denn im Herbst vergangenen Jahres begann das Unheil über die Stadt zu kommen ...

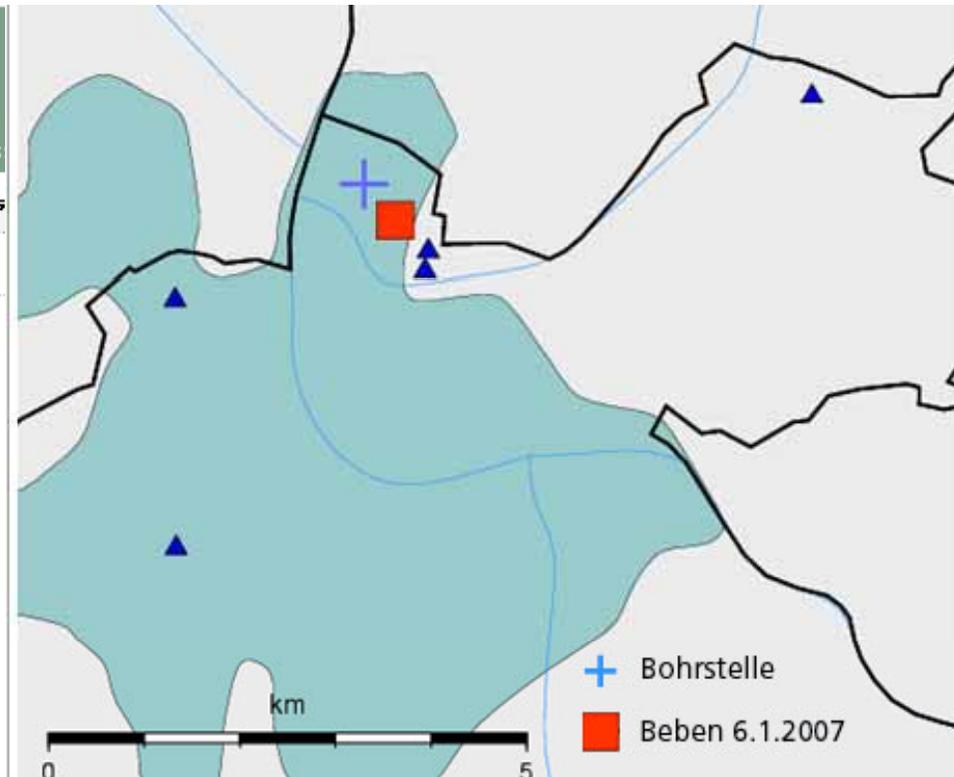


Es fing mit einer eigentlich löblichen Idee an. Man wollte das historische Rathaus mit klimafreundlicher Erdwärme beheizen. Eine österreichische Firma wurde engagiert, sieben Sonden wurden in den Grund unter dem Rathaus getrieben, 140 Meter tief.

Kurz danach zeigten sich erste Risse in dem historischen Gebäude.

Abspielen Vergrößern

Foto: AP



"Ein harter Schlag": Erdbeben-Auslöser Bohrstelle

Neues Erdbeben durch Basler Geothermie-Bohrung

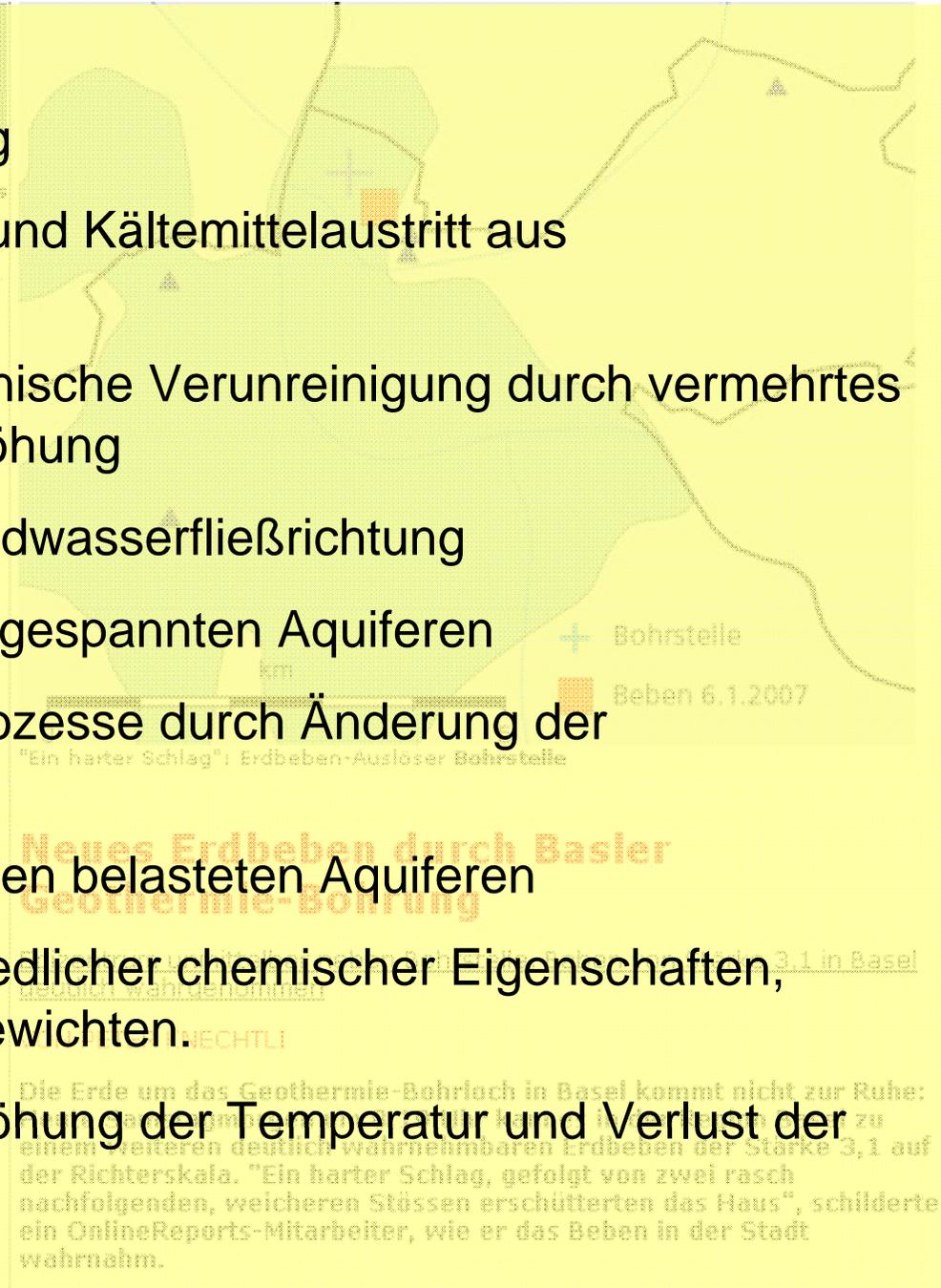
Epizentrum unmittelbar neben Bohrstelle, Beben von Stärke 3,1 in Basel deutlich wahrgenommen

VON PETER KNECHTLI

Die Erde um das Geothermie-Bohrloch in Basel kommt nicht zur Ruhe: Heute Samstagmorgen um 8.19 Uhr kam es in der Region Basel zu einem weiteren deutlich wahrnehmbaren Erdbeben der Stärke 3,1 auf der Richterskala. "Ein harter Schlag, gefolgt von zwei rasch nachfolgenden, weicheren Stössen erschütterten das Haus", schilderte ein OnlineReports-Mitarbeiter, wie er das Beben in der Stadt wahrnahm.

Geotechnische und ökologische Risiken

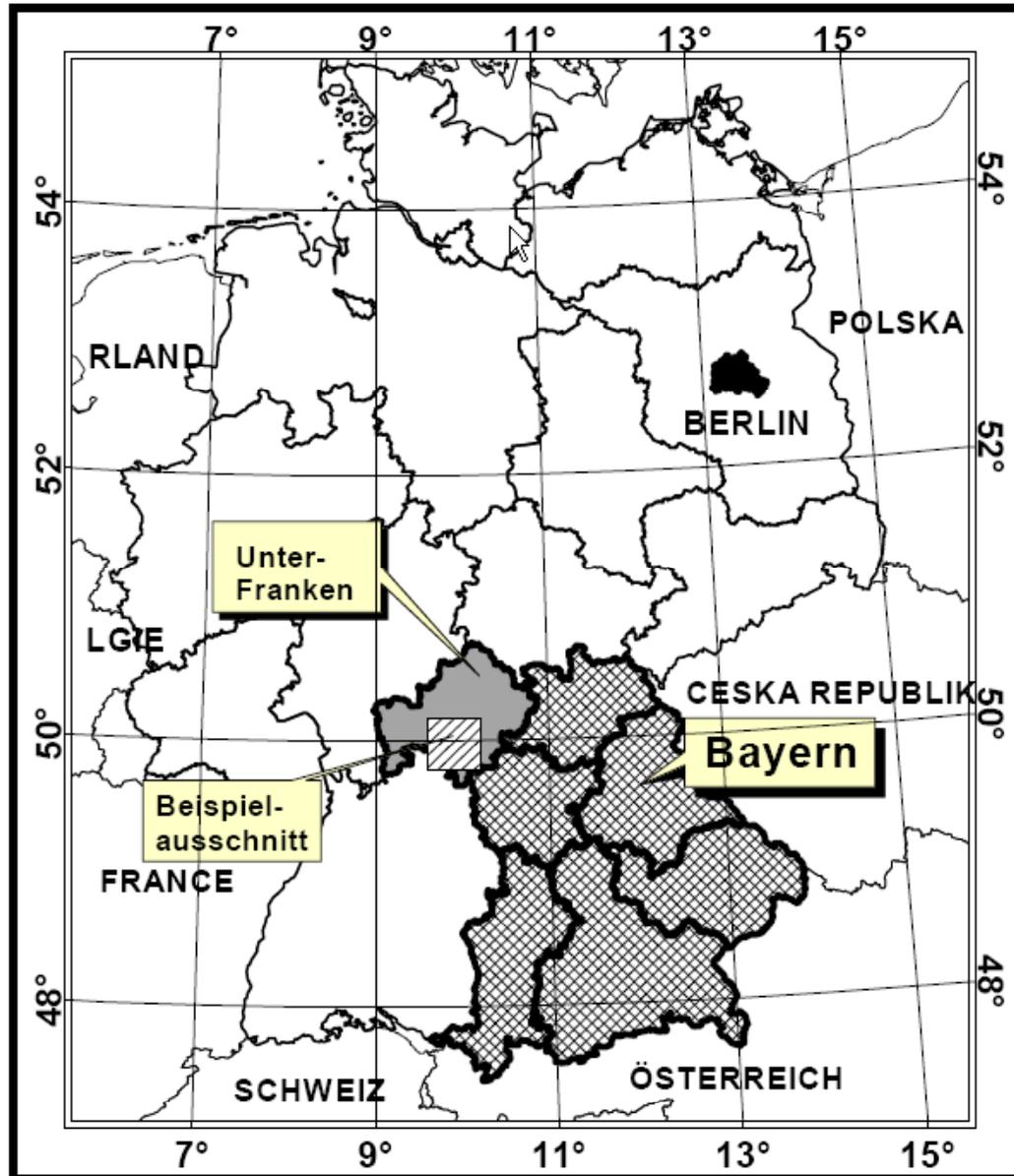
- **Aufhebung der Stockwerkstrennung**
- **Chemische Veränderungen: Sole- und Kältemittelaustritt aus Erdreichwärmetauschern,**
- **Biologische Veränderungen: Hygienische Verunreinigung durch vermehrtes Keimwachstum bei Temperaturerhöhung**
- **Beeinflussung der natürlichen Grundwasserfließrichtung**
- **Änderung der Druckverhältnisse in gespannten Aquiferen**
- **Behinderung biologischer Abbauprozesse durch Änderung der Temperaturverhältnisse**
- **Verbinden von „sauberen“ und biogen belasteten Aquiferen**
- **Verbinden von Aquiferen unterschiedlicher chemischer Eigenschaften, Verschiebung von Lösungsgleichgewichten.**
- **Physikalische Veränderungen: Erhöhung der Temperatur und Verlust der Trinkwasserqualität.**



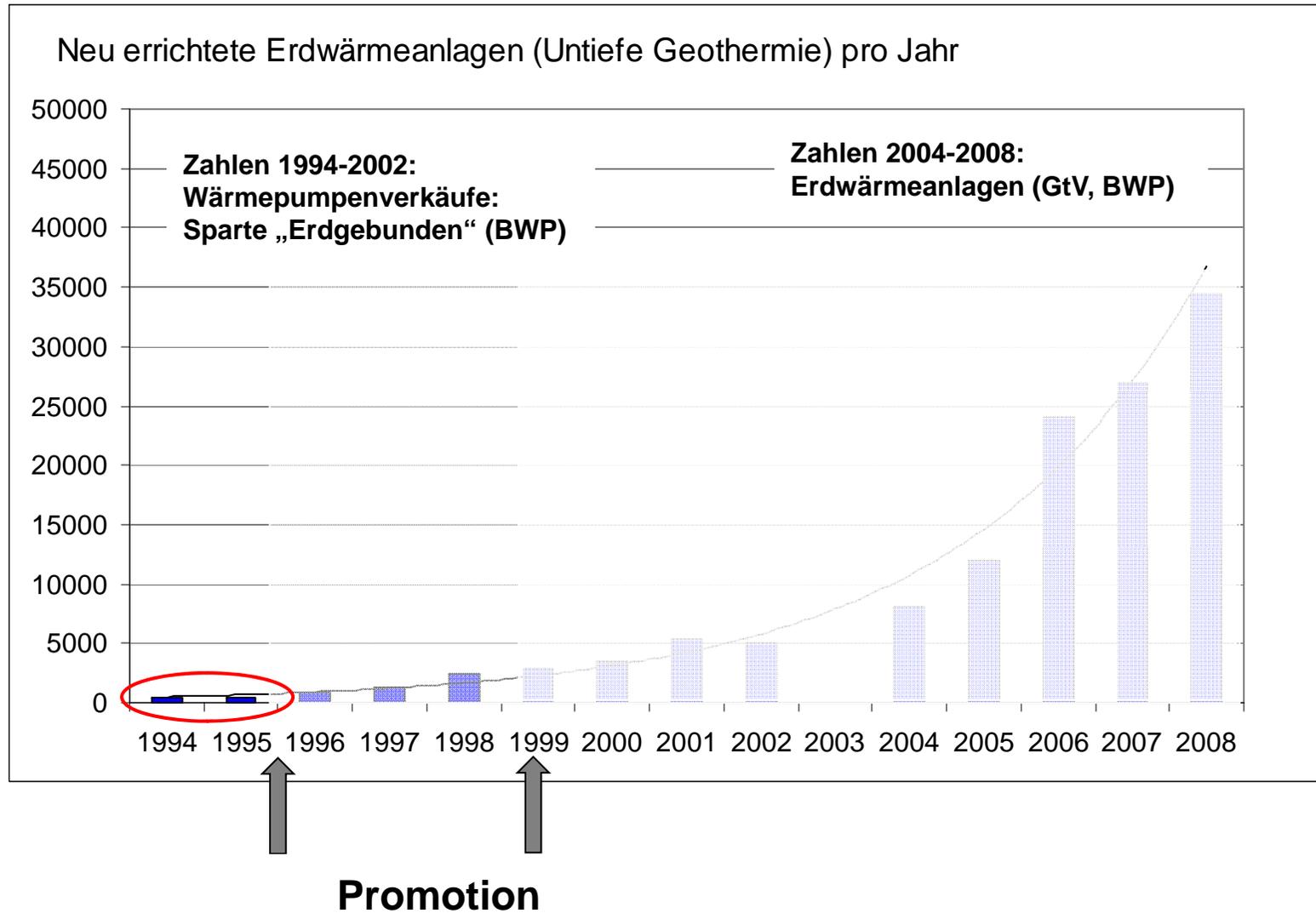
Projektbeispiel 1: Geothermie in Bayern

Dissertation: Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) zur geologischen Standortbewertung, zur Analyse des regionalen Potentials und als Planungshilfsmittel für die thermische Nutzung des flachen Untergrundes bis 200m Tiefe als Wärmequelle und Wärmespeicher in Unterfranken/Bayern

Untersuchungsgebiet



Ausgangslage und Motivation



1. Defizite und Bedarf:

- Geringer Bekanntheitsgrad
- Negative Erfahrungen durch Fehlauslegung
- Wenig Erkenntnisse über „Was, Wie, Wo, Wer“
- Genehmigungssituation unklar
- Politischer Wille und Förderung

2. Aufstellung eines Kriterienkatalogs für Heizung, Kühlung, Speicherung mit unterschiedlichen Techniken:

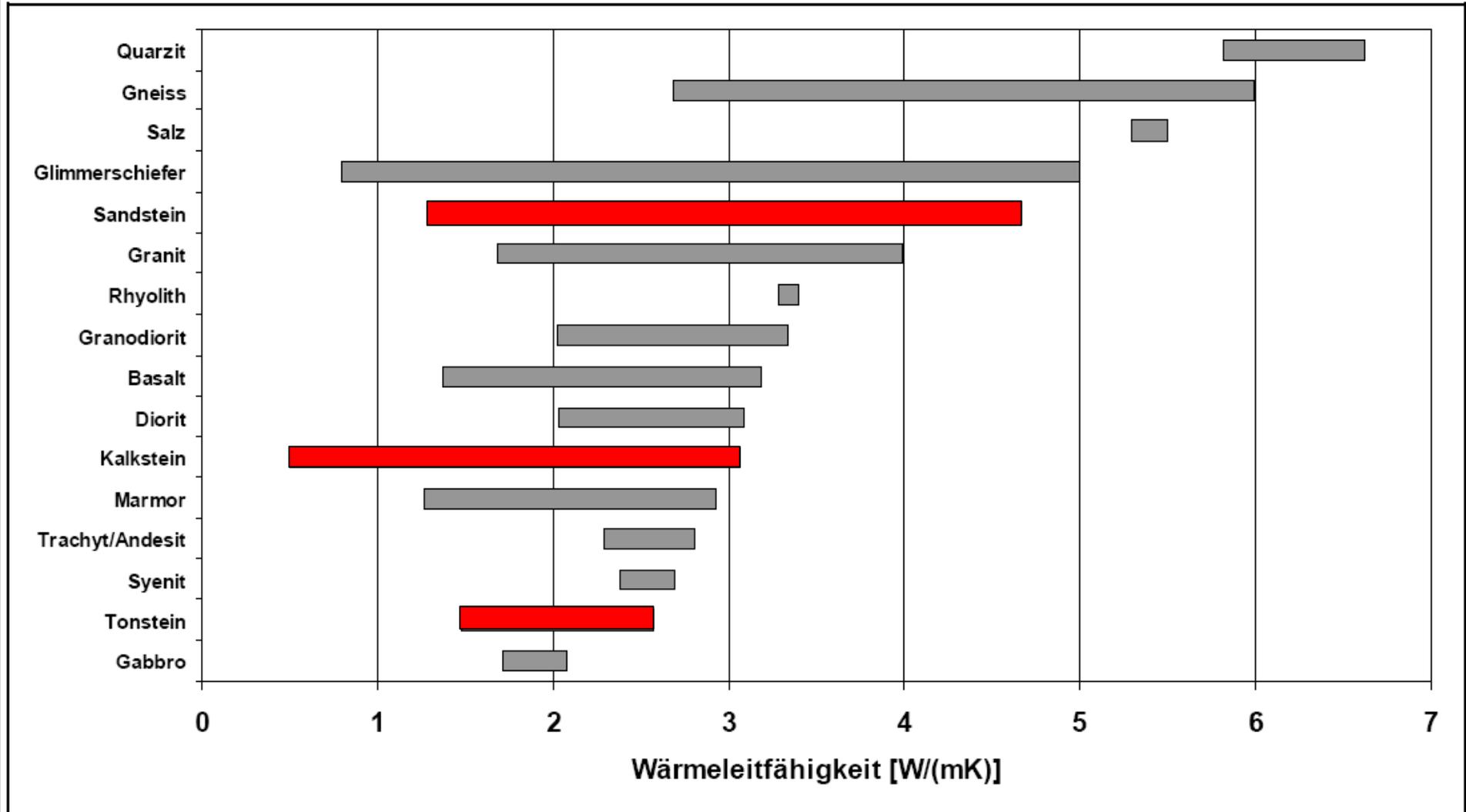
- Gesteinseigenschaften (hydraulisch, thermisch, geochemisch)
- Hydrogeologische Verhältnisse (Stockwerksbau, Geometrie, Druckverhältnisse, Dynamik)
- Rechtliche Voraussetzungen

3. Abbildung des Kriterienkatalogs auf die regionalen hydrogeologischen Verhältnisse in Unterfranken:

- Erstellung von Potentialkarten (geologisch, hydrogeologisch, thermisch, rechtliche Voraussetzung)
- Erstellung eines GIS-gestützten Planungswerkzeugs

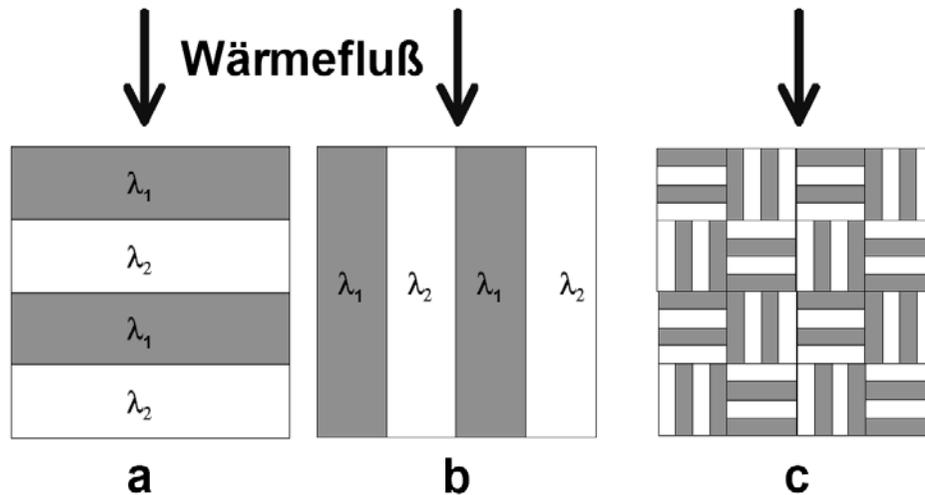
1. Geologische Inventarisierung: „Hydrogeologie von Unterfranken“
2. Festlegung relevanter Kriterien (thermische, hydraulische, strukturelle und rechtliche Kriterien)
3. Bestimmung hydraulisch-thermischer Gesteinseigenschaften für verschiedene Sättigungszustände → Datenbank
4. Erstellung eines 3D-Untergrundmodells
5. Erstellung einer Anwendung zur Auswertung von 2.,3.,4.

Problem 1: Datenlage, Beispiel thermische Untergrundeigenschaften



Wärmeleitfähigkeiten von Festgesteinen. Nach SANNER (1992), SCHÖN (1983) und ANGENHEISTER (1982).

Effektive Parameter / Upscaling: Wärmeleitfähigkeit



Modell: 1Phasen-System(fest)
mit zwei Komponenten

$$\lambda_{\min} = \sum_{i=1}^n V_i \lambda_i^{-1}$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n V_i \lambda_i$$

$$\lambda_{\text{eff}} = 0.5(\lambda_{\max} + \lambda_{\min})$$

$$\lambda_{\text{geo}} = \prod_{i=1}^n \lambda_i^{V_i}$$

2 - Phasen-System (feste / fluide):

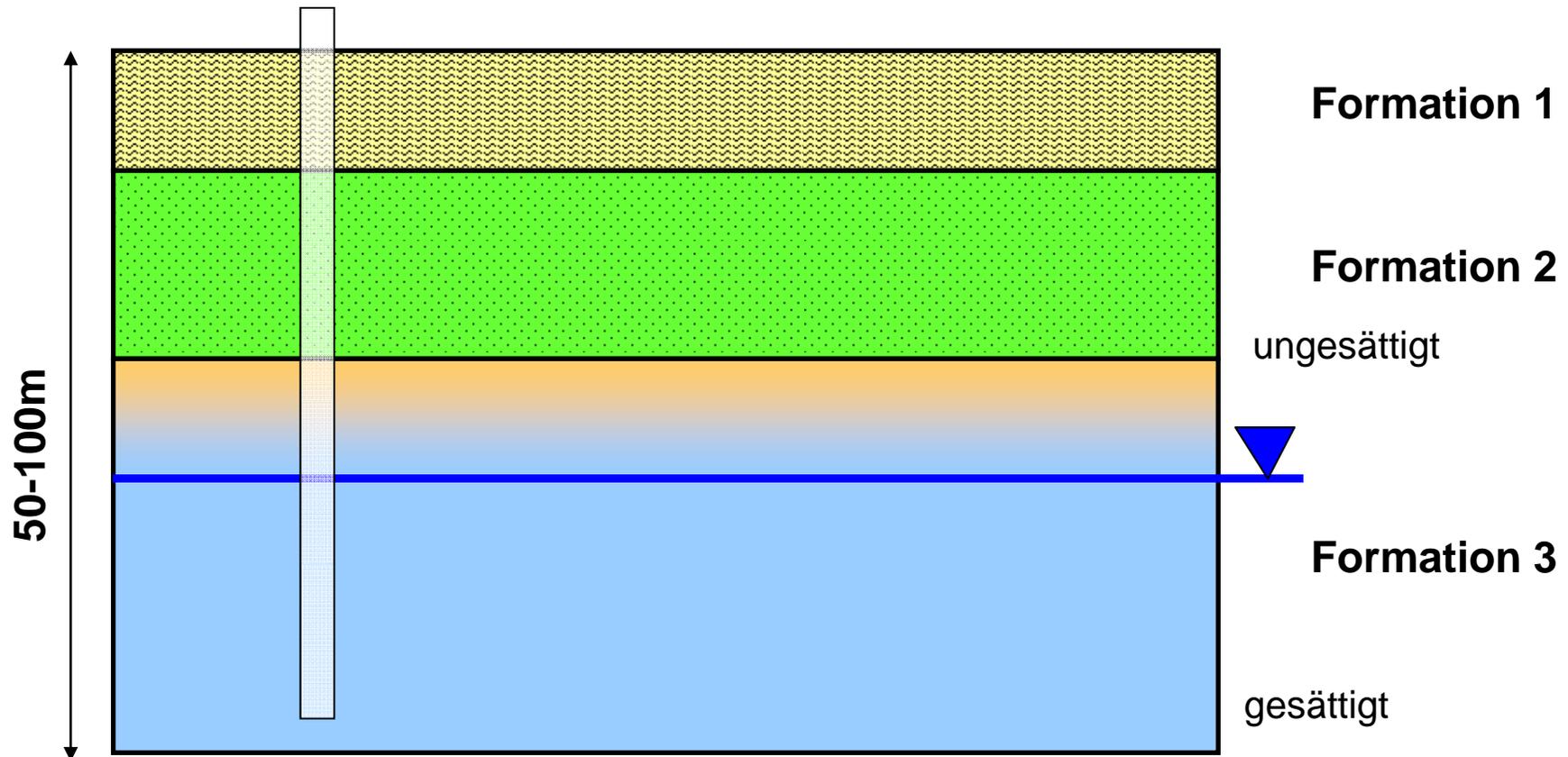
$$\lambda_{\max} = \lambda_g \left(1 - \frac{n \left(1 + 2 \frac{\lambda_w}{\lambda_g} \right) \left(1 - \frac{\lambda_w}{\lambda_g} \right)}{n \left(1 - \frac{\lambda_w}{\lambda_g} \right) + 3 \frac{\lambda_w}{\lambda_g}} \right)$$

$$\lambda_{\min} = \lambda_g \left(1 - \frac{n \left(1 + 2 \frac{\lambda_w}{\lambda_g} \right) \left(1 - \frac{\lambda_w}{\lambda_g} \right)}{n \left(1 - \frac{\lambda_w}{\lambda_g} \right) + 3 \left(\frac{\lambda_w}{\lambda_g} \right)} \right)$$

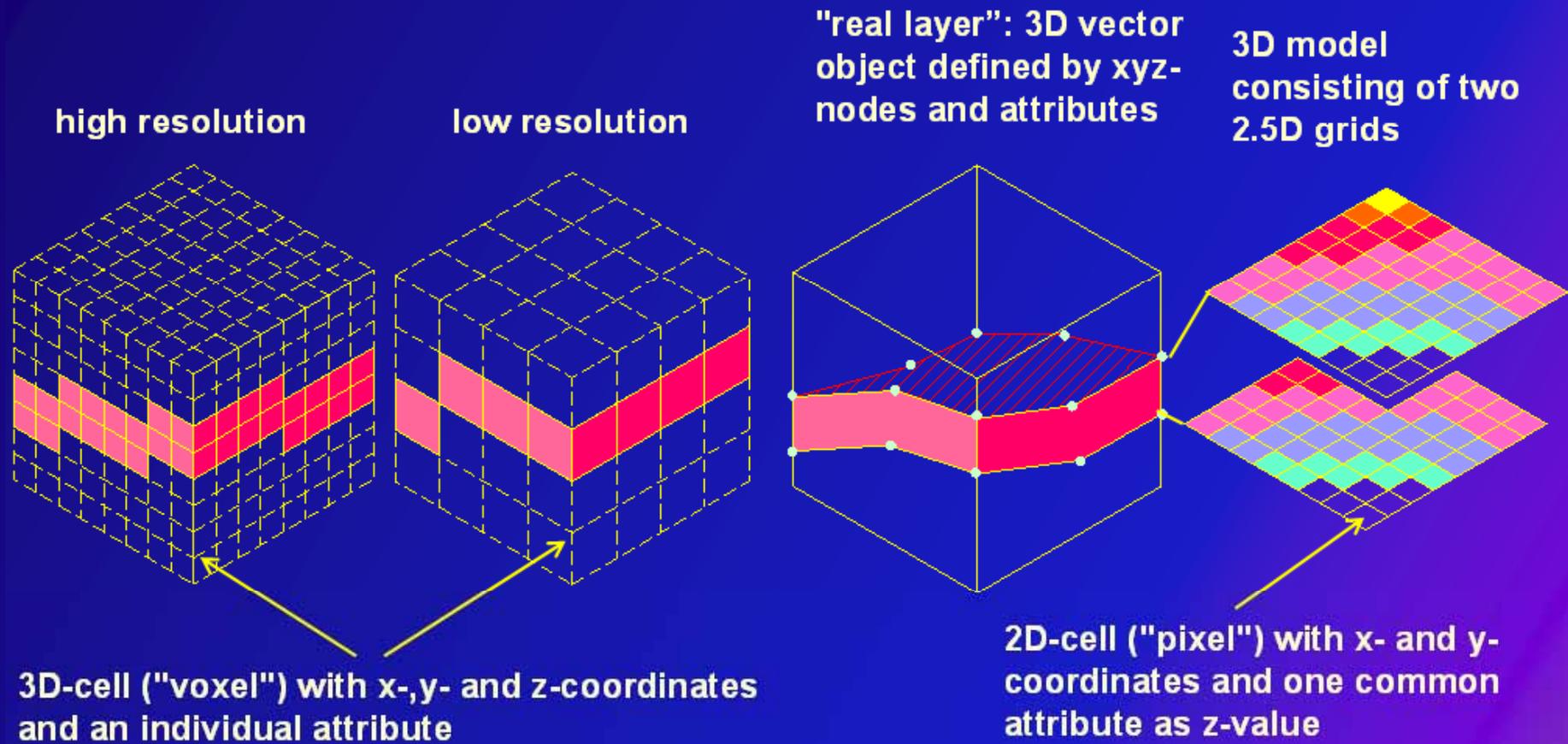
WALSH & DECKER (1966)

Gesteins- und Formationseigenschaften im Untergrund

Bohrpunkt $\rightarrow \lambda, k_f, \dots ?$



Describing geological structures in 3D

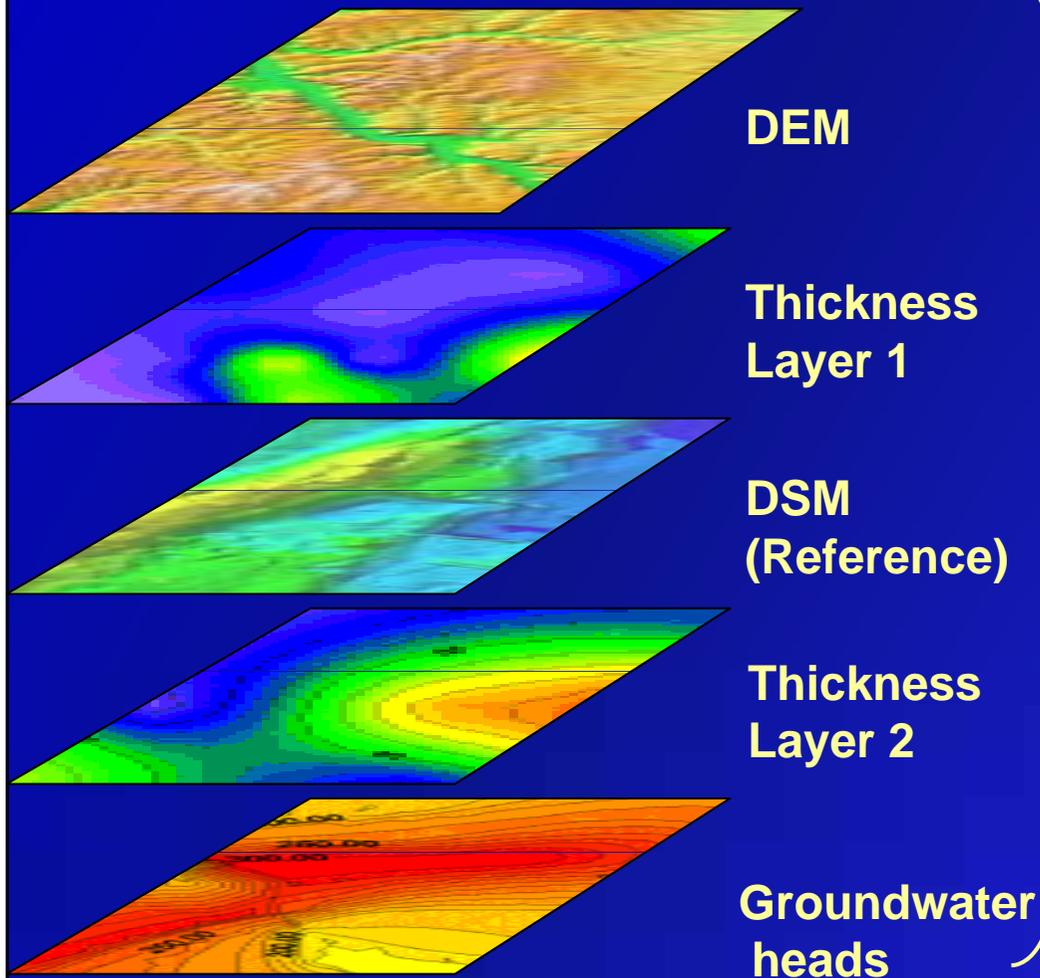


Computational 'cheap', appropriate regionalisation and representation of available data?

Layered Subsurface Model: Components

**Grids (Raster) = Model
Geometry, Properties**

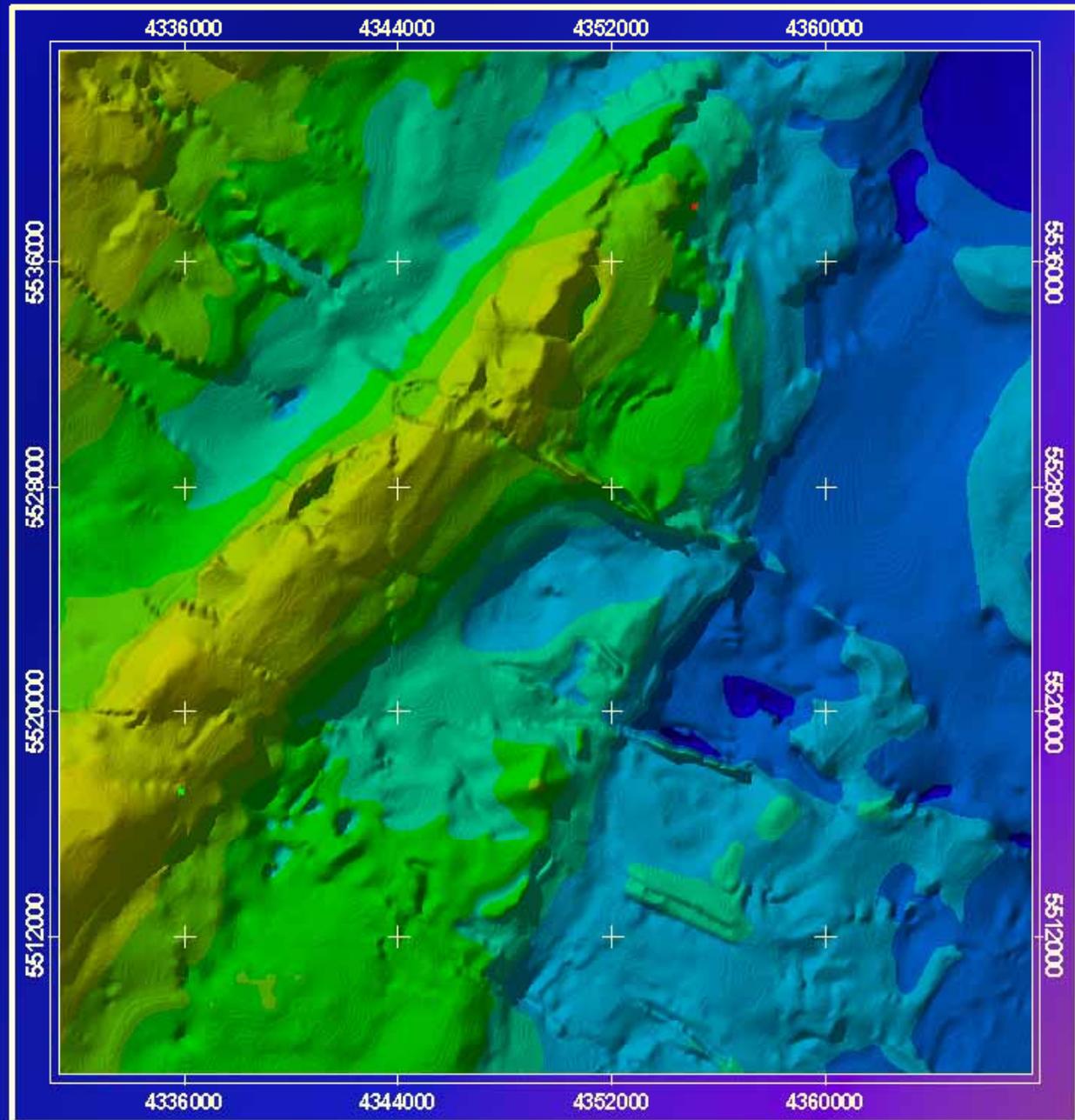
**Database = Qualitative
Description and Assessment
Rules**



	petro- graphy	permea- bility [m/s]	ATES (-2 to 2)
Layer 1	limestone	3.4E-05	1
Layer 2	marle	6.0E-06	-2
Layer 3	sandy claystone	1.0E-08	-1.5
Layer 4	sandstone	4.0E-03	1.5
Layer 5	siltstone	3.0E-10	-1

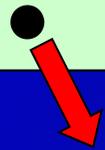
DSM: Digital Structural Model

- Describes the vertical position of hydro - stratigraphic boundaries derived from geological maps and borehole data



“Map”

$P(x,y,z)$



X,Y

Layer 1

Top of Layer 2 $TOP_{(2)}$

DEM

Layer 2

Bottom of Layer 2 $BAS_{(2)}$

Layer 3

DSM

Layer 4

Layer 4

“Borehole”

Concept: Retrieving 3d-information from the model

```
FOR each P in Selection
```

```
  IF  $Z < DEM_{(P)}$  THEN
```

```
    IF  $Z > BAS_{(2,P)}$  THEN
```

```
      IF  $Z < TOP_{(2)}$  THEN
```

```
        Code....
```

```
      .....
```

```
NEXT
```

*Top and Basis calculated from DSM and thickness

Code Example: Avenue (ArcView GIS 3.2)

```

for each SCHICHT in Schichtentabelle                                     'Schleife für alle Schichten in Tabelle 8-6
  if (([BAS]<[DHM]) and([TOP]>[T])) then                                'bed1
    if ([BAS]>[T]) then                                                'bed11
      if ([TOP]<[DHM]) then                                           'bedxx1
        if ([GWGL]<=[BAS]) then                                       'Fall 1
          [GW]=0
          [M]=[TOP]-[BAS]
        elseif ([GWGL]>[TOP]) then                                    'Fall 2
          [GW]=[TOP]-[BAS]
          [M]=0
        elseif (([GWGL]>[BAS]) and ([GWGL] <=[TOP])) then          'Fall 3
          [GW]=[TOP]-[GWGL]
          [M]=([TOP]-[BAS])-[GW]
        end
      elseif([TOP]>=[DHM]) then                                        'bedxx2
        if ([GWGL]<=[BAS])then                                       'Fall 4
          [GW]=0
          [M]=[DHM]-[BAS]
        elseif (([GWGL]>[BAS]) and ([GWGL] <=[TOP])) then          'Fall 5
          [GW]=[GWGL]-[BAS]
          [M]=([DHM]-[BAS])-[GW]
        end
      end
    elseif ([BAS]<=[T]) then                                          'bed12
      if ([TOP]<[DHM]) then                                           'bedxx1
        if ([GWGL]>[TOP]) then                                       'Fall 6
          [GW]=[TOP]-[T]
          [M]=0
        elseif (([GWGL]>[BAS]) and ([GWGL] <=[TOP])) then          'Fall 7
          [GW]=[GWGL]-[T]
          [M]=([TOP]-[T])-[GW]
        elseif((([GWGL]<=[BAS]) or ([GWGL]<=[T])) then              'Fall 8
          [GW]=0
          [M]=[TOP]-[T]
        end
      elseif([TOP]>=[DHM]) then                                        'bedxx2
        if (([GWGL] > [BAS]) and ([GWGL]<=[TOP])) then              'Fall 9
          [GW]=[GWGL]-[T]
          [M]=T-[GW]
        elseif (([GWGL]<=[BAS]) and ([GWGL] <=[T])) then          'Fall 10
          [GW]=0
          [M]=T
        end
      end
    end
  end
end
end
end

```

Analyse und Planungstool

The screenshot displays the ArcView GIS 3.2 interface. At the top, the title bar reads 'ArcView GIS 3.2'. Below it is a menu bar with options: File, Edit, View, Theme, Analysis, Surface, Graphics, XTools, Window, Extents, Help, SHAPETools, and GRIDTools. A secondary menu bar includes 'Hydro' and 'Geotherm'. A toolbar with various icons is positioned below the menus. The status bar at the bottom shows 'Scale 173,649' and coordinates '4.342.477.08' and '5.519.356.90'. On the left, a 'Daten' (Data) panel lists several layers with checkboxes: Fließgewässer, Ortsteile, Hintergrundbild (checked), DGM, Hangneigung, Exposition, DSM, GWGL50, Gradient, Bohrungen, Geologie200, Verwerfungen200, Vewerfungsdichte pro km, Dolinen, Orte, and Dhz. A red arrow points from the 'DSM' layer to a red box labeled 'Base Data'. The main map area shows a topographical map with green areas, labeled 'Topographical map'. Overlaid on the map is a dialog box titled 'Einzelpunktbewertung' (Single Point Evaluation). The dialog contains a text field with the prompt 'Bitte das zu bewertende Verfahren auswählen' (Please select the method to be evaluated). Below this is a list box containing: Erlabrunn, Erlach, Estenfeld, Etleben, Etwashausen, Euerfeld, and EuBenheim. To the right of the list box are checkboxes for 'In die Bewertung einbeziehen:' (Include in evaluation) with a 'START' button. The checked options are 'nur Bewertung' (only evaluation) and 'Bewertungskarte' (evaluation map). Other unchecked options are 'Bohrbarkeit' (permeability), 'Grundwasserfließgeschwindigkeit' (groundwater flow velocity), 'Rechtsfragen' (legal questions), 'Parameter', and '"Rechtsgrenze"' (legal boundary). At the bottom of the dialog are input fields for 'Tiefe [m]: 50' and 'Zellgröße 100'. A red box labeled 'User Interface' is positioned at the bottom of the dialog box.

ArcView GIS 3.2

File Edit View Theme Analysis Surface Graphics XTools Window Extents Help SHAPETools GRIDTools

Hydro Geotherm

Scale 173,649 4.342.477.08 5.519.356.90

Daten

- Fließgewässer
- Ortsteile
- Hintergrundbild
- DGM
- Hangneigung
- Exposition
- DSM
- GWGL50
- Gradient
- Bohrungen
- Geologie200
- Verwerfungen200
- Vewerfungsdichte pro km
- Dolinen
- Orte
- Dhz

Topographical map

Einzelpunktbewertung

Bitte das zu bewertende Verfahren auswählen

Erlabrunn
Erlach
Estenfeld
Etleben
Etwashausen
Euerfeld
EuBenheim

In die Bewertung einbeziehen: START

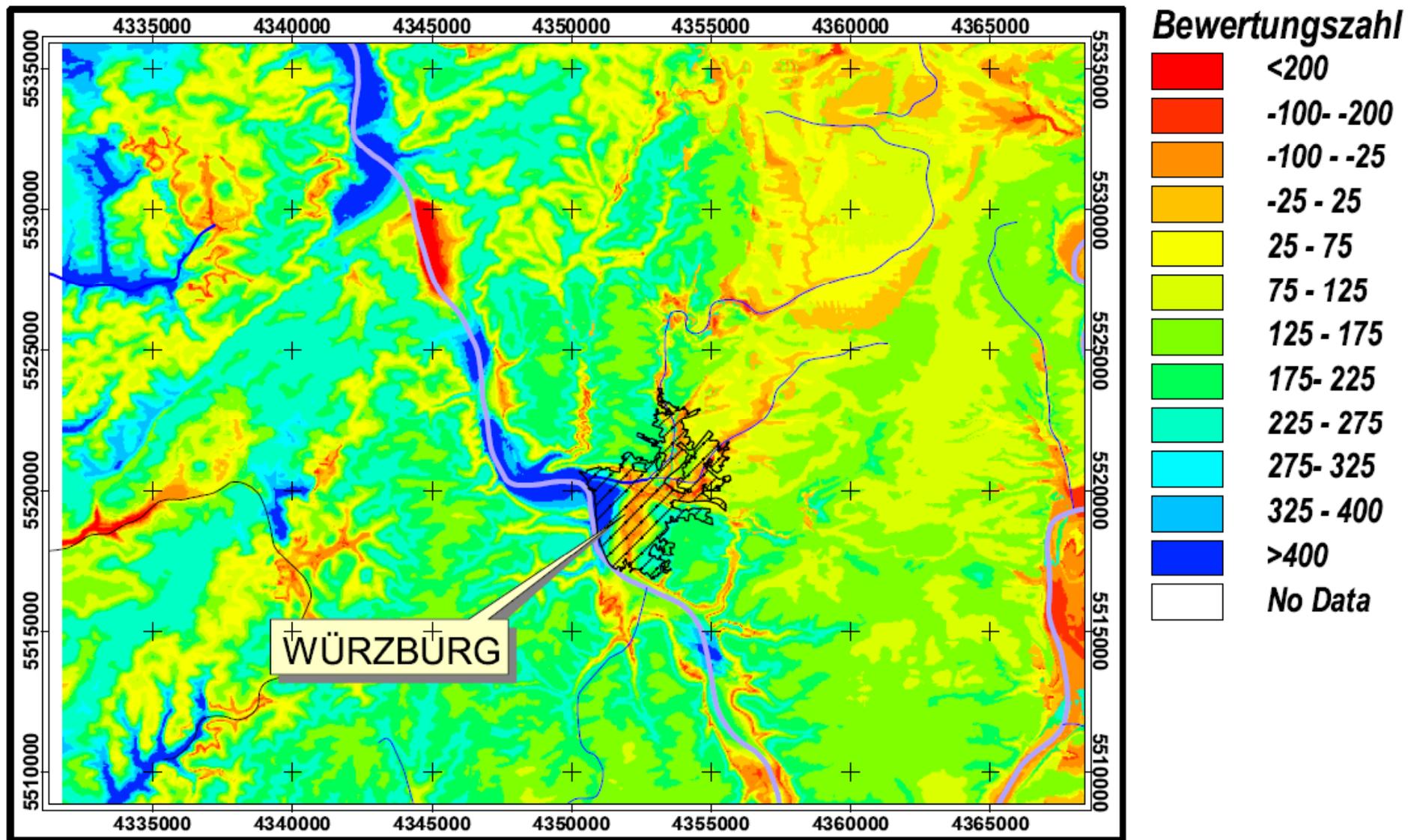
- Bewertungskarte
- Parameter
- "Rechtsgrenze"

Tiefe [m]: 50 Zellgröße 100

Base Data

User Interface

Mögliche Auswertungen: Bewertungskarten für verschiedene Verfahren



Erdsonden bis 50m Tiefe

Beispiel 2

Betrachtete Tiefe: 50m

Lagekoordinaten: RW= 4338992, HW= 5519950, Höhe über NN: 236

Bewertungszahl: 141

Bewertungszahl mit GW-Fließbewegung: 141

Bewertungszahl mit Bohrbarkeit: 136

Maximal mögliche Bohrtiefe aus rechtlicher Sicht: 36m

Zu erwartendes Bohrprofil bei einer Bohrtiefe von 50m:

mu: 6m

Obere Röttone: 30m

Rötquarzit: 6m

Untere Röttone: 8m

Ruhewasserspiegel zu erwarten bei: 233m/NN bzw. 3m unter GOK



2

Beispiel

Standort: Projekt

Erdsondenwärmespeicher

Greussenheim (ZAE – Uni Würzburg)

- Im Jahr 2000: Extrem ungünstiges Aufwand-Nutzen-Verhältnis:
 - Verfügbarkeit digitaler geologischer Daten
 - Wenige Anwendungen
 - Zitiert als “Interessant aber nicht machbar”
- Jahr 2009:
 - Verfahren im Prinzip angewendet z.B. in BW, NRW
 - Projekt in Planung durch LfU Bayern
 -

Projektbeispiel 2: Globaler Wandel und Integriertes Wasserressourcenmanagement in Bayern

Das integrierte Forschungsprojekt **GLOWA-**
Danube



- **Global Change-Auswirkungen auf den Wasserkreislauf im Donaueinzugsgebiet**
- **Voll gekoppeltes Entscheidungs-Unterstützungs-System 'DANUBIA'**
- **Integrierter / Interdisziplinärer Ansatz:** 12 Gruppen aus unterschiedlichen Disziplinen
- **Teilprojekt Grundwasser und Wasserversorgung IWS Stuttgart:**
 - Grundwasserströmungsmodell und ein Modul für Stickstofftransport und –Abbau im Grundwasser
 - Agentenbasiertes Modell der Wasserversorgung
 - Human Capacity Building (im Rahmen des internationalen Studiengangs WAREM)

Glöwa-Danube: Einzugsgebiet der oberen Donau



77.000 km²

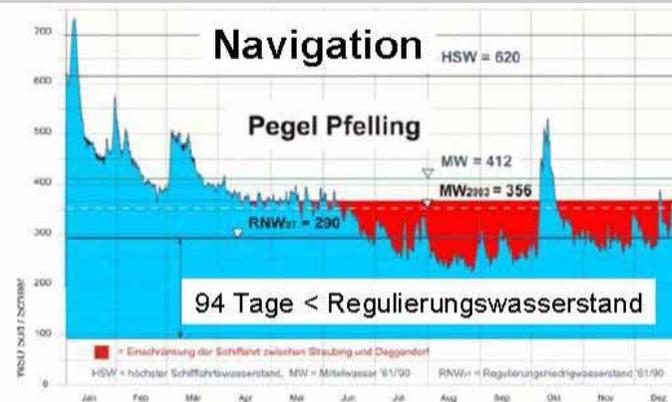
Klimawandel – Grundwasser – Wechselwirkungen: Regionale Konsequenzen?

- **Wasserversorgung:** Trink-, Brauchwasser, Agrarsektor
- **Grundwasserabhängige Ökosysteme**
- **Niedrigwassersituationen:** → Ökologie, Schifffahrt, Energieerzeugung, Kühlwasser

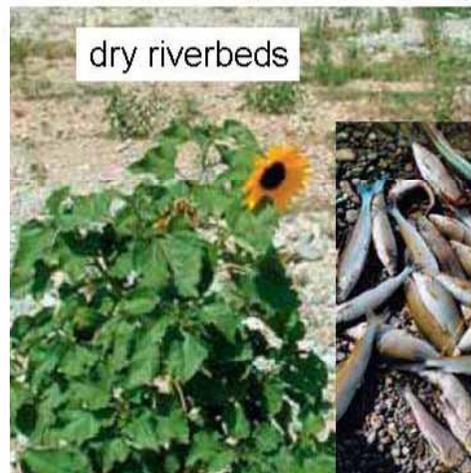
2003



Trinkwasserknappheit in Süddeutschland



dry habitats (mussels)



dry riverbeds



dry wetlands

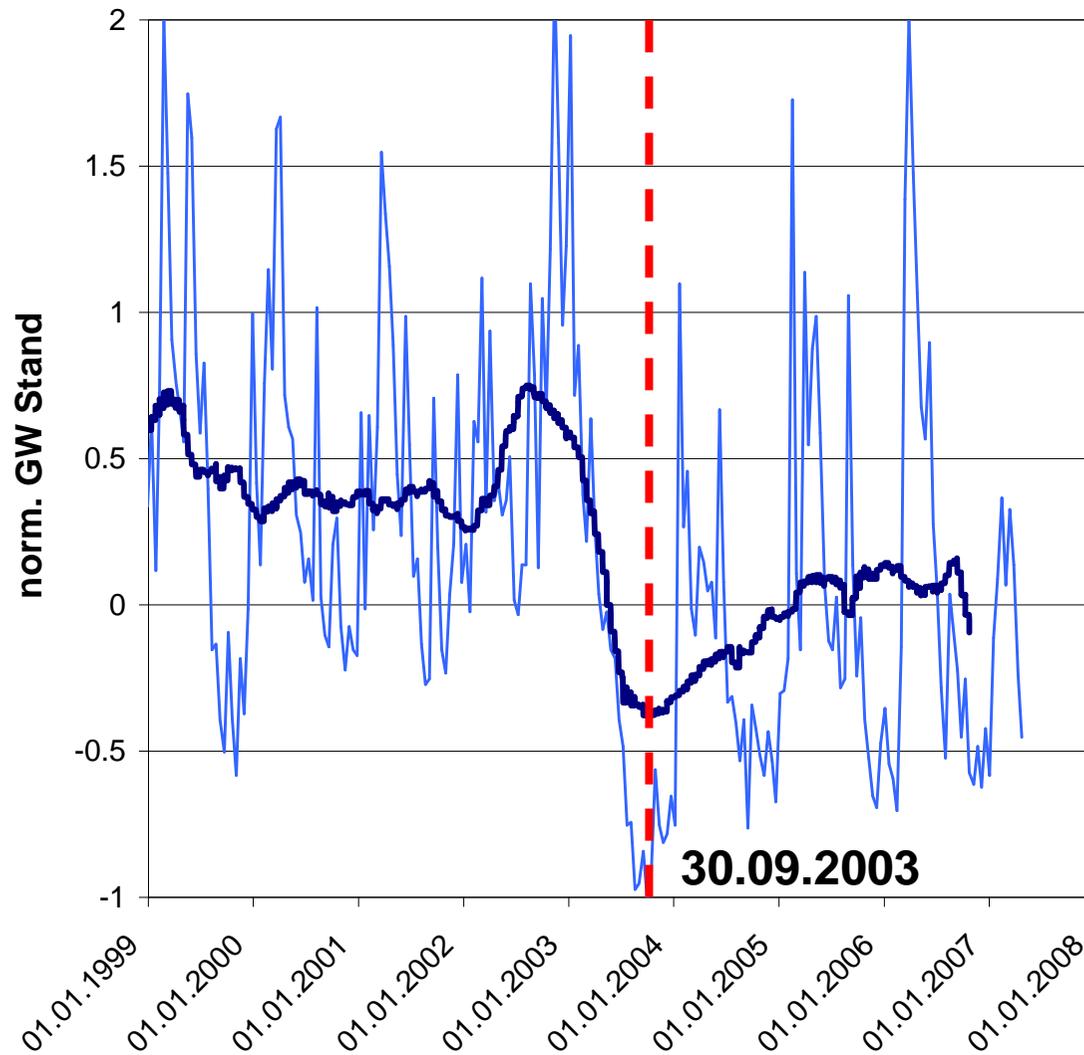


LfW Bay, 2004

Meteo Schweiz, 2004

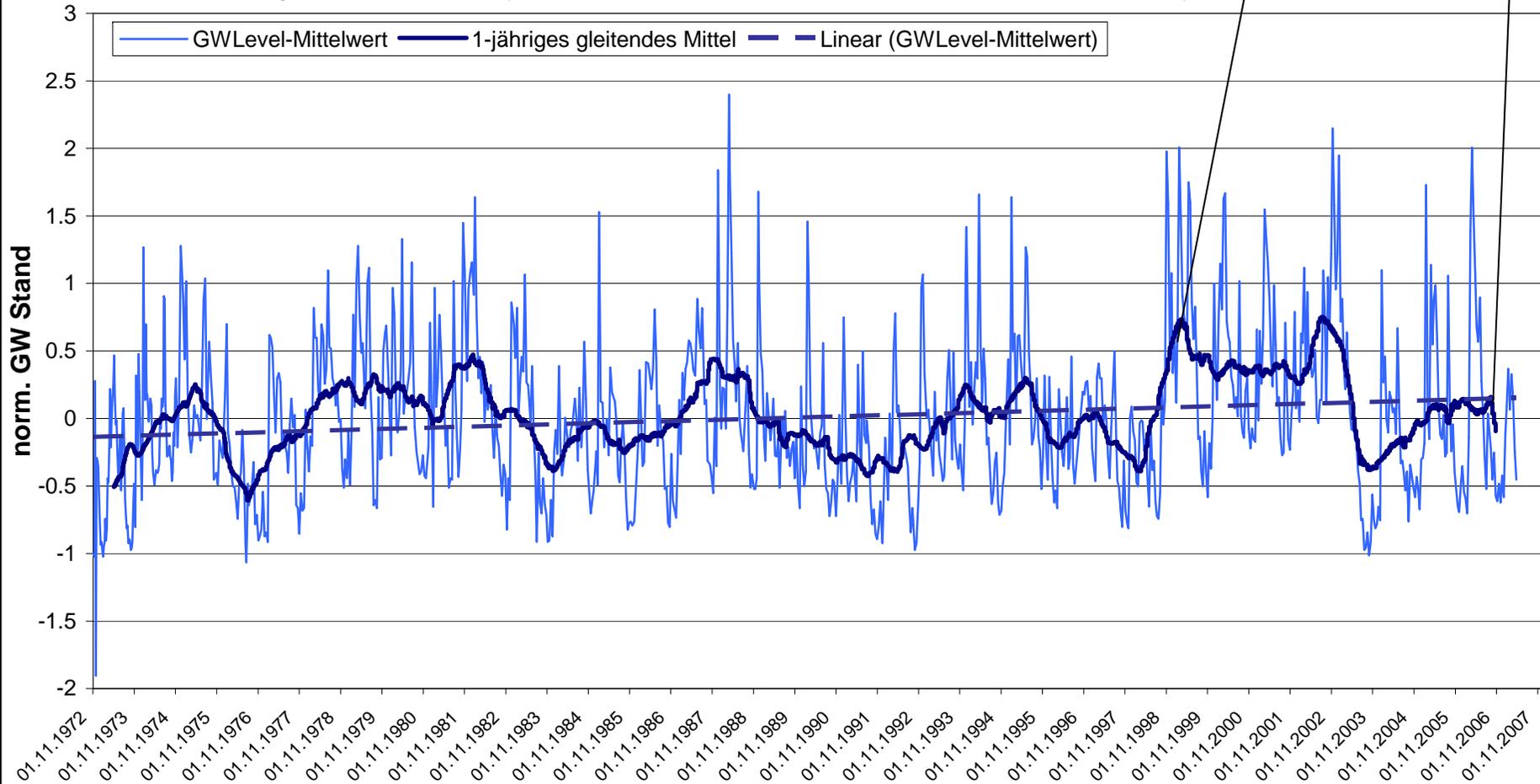
GWMst Donau, Kreis Deggendorf

GLOWA ID: 881; Original ID: 1131724400031; Aquifer: ; GOK: 307.6; Sohltiefe: 303.33; mittl. Flurabst.: 2.66; Proxel ID: 66243; i: 156; j: 369



GWMst Donau, Kreis Deggendorf

GLOWA ID: 881; Original ID: 1131724400031; Aquifer: ; GOK: 307.6; Sohlentiefe: 303.33; mittl. Flurabst.: 2.66; Proxel ID: 66243; i: 156; j: 369



Evaluation von Klimaszenarien

Auswahl 1:
Klimatrend

Auswahl 2:
Klimavariante

Auswahl 3
Gesellschaftl.
Megatrend

Auswahl 4:
Handlungsszenario

IPCC regional

Baseline

Baseline

Szenario 1

REMO

5 warme Winter

Liberalisierung

Szenario 2

Messung

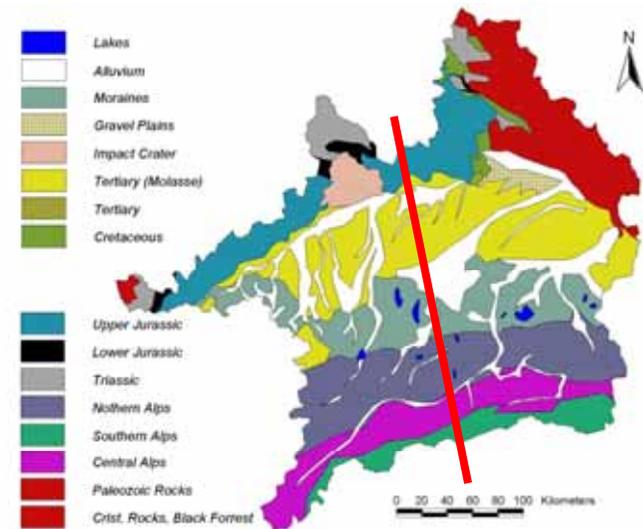
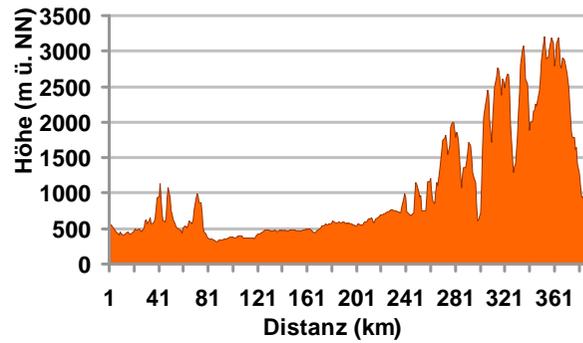
5 heiße Sommer

Nachhaltigkeit

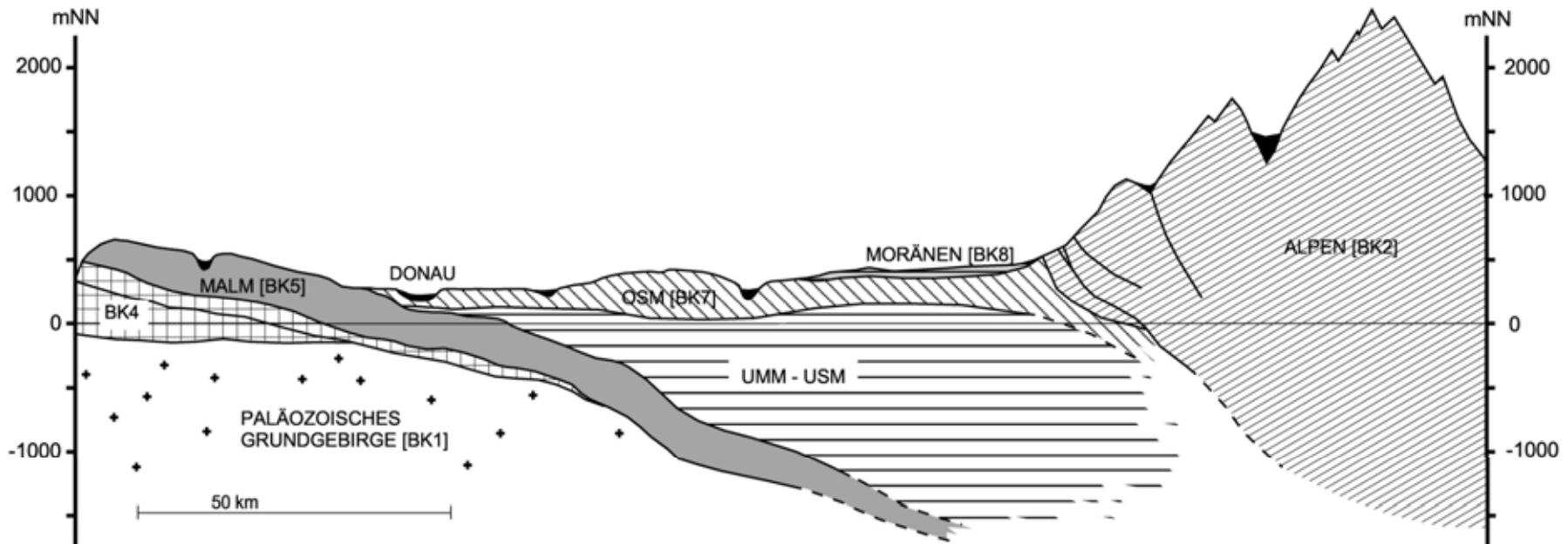
Szenario ...

5 trockene Jahre

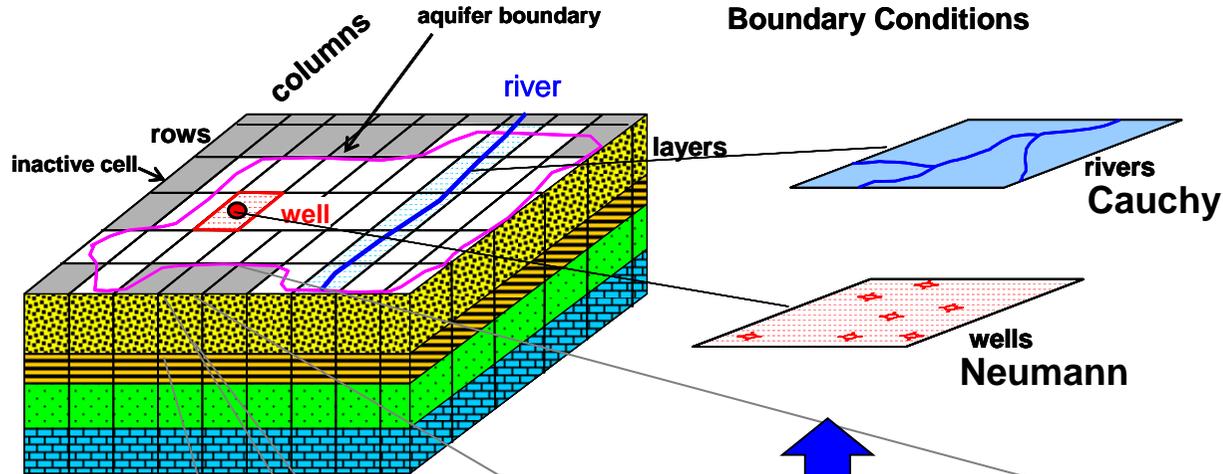
Grundwasserströmungsmodell



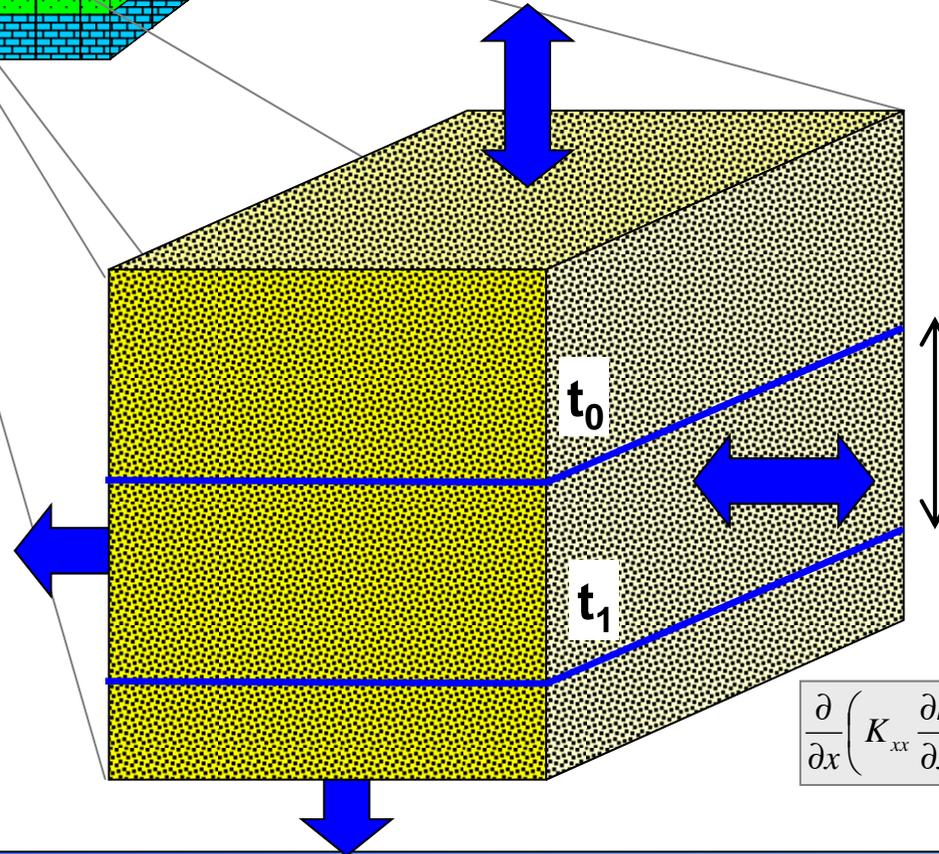
N SCHWÄBISCHE ALB FRÄNKISCHE ALB BAYERISCHES TERTIÄRHÜGELLAND KALKALPEN HOCHALPEN S



Grundwassermodell: MODFLOW 2000



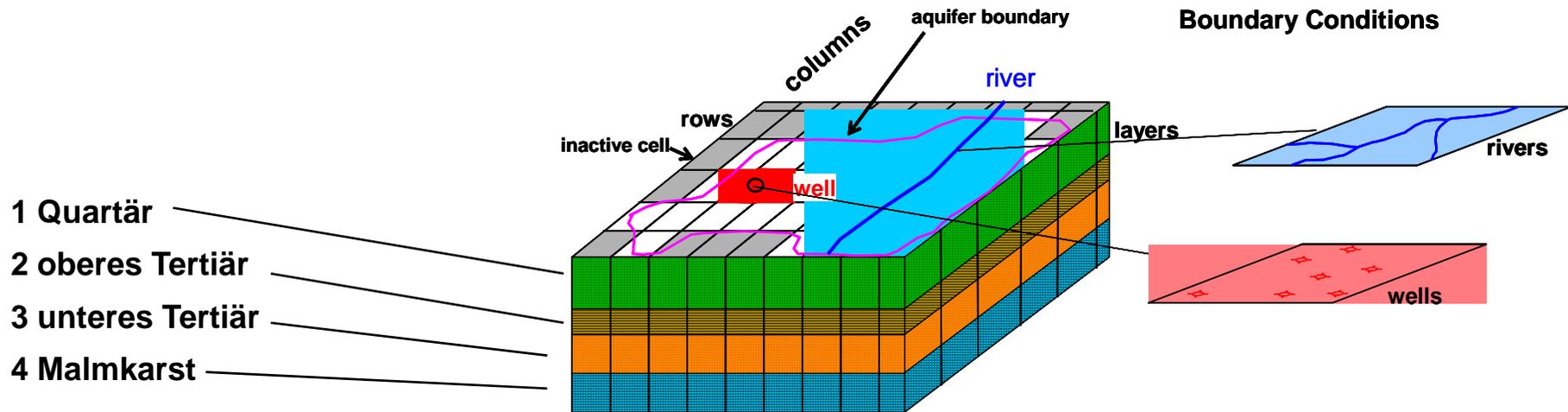
The MODFLOW
(Finite Difference)
Numerical
Concept



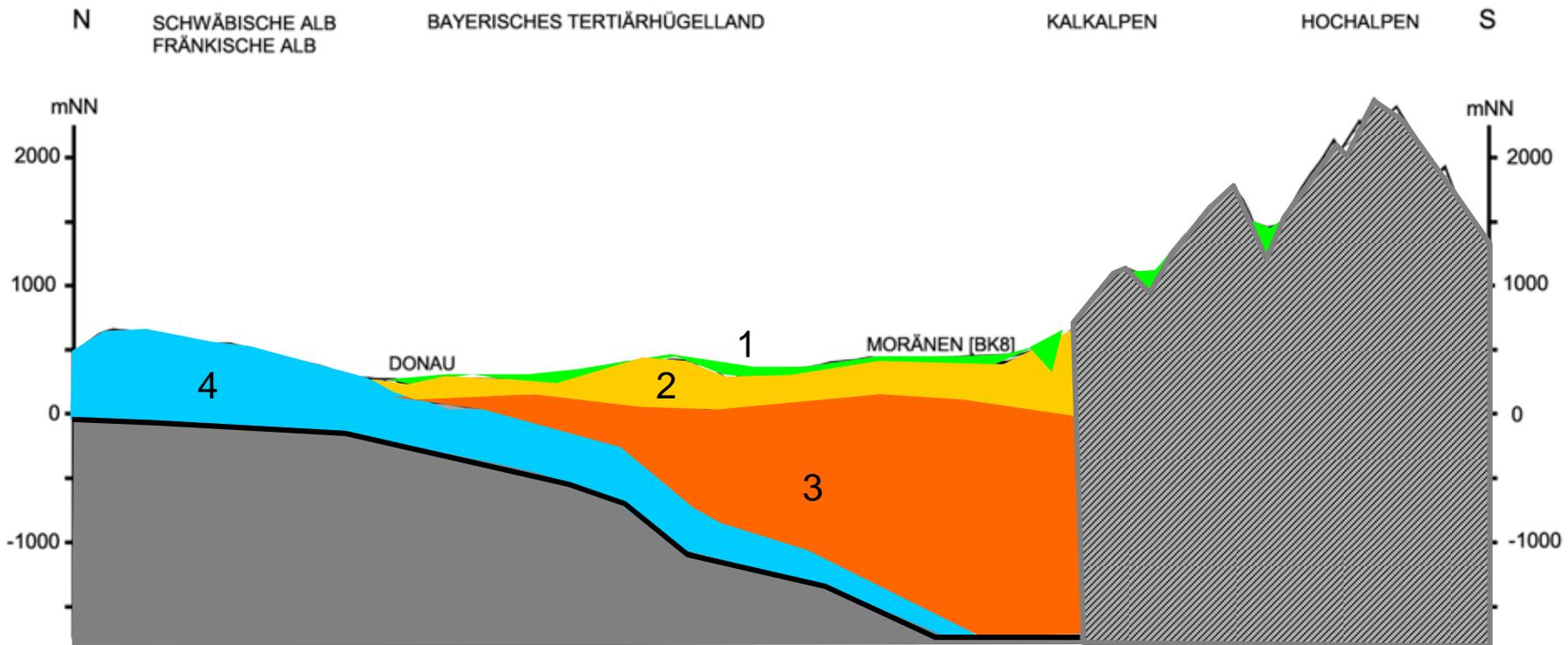
→ head changes
→ storage changes

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Numerisches Grundwasserströmungsmodell: MODFLOW



- 1 Quartär
- 2 oberes Tertiär
- 3 unteres Tertiär
- 4 Malmkarst

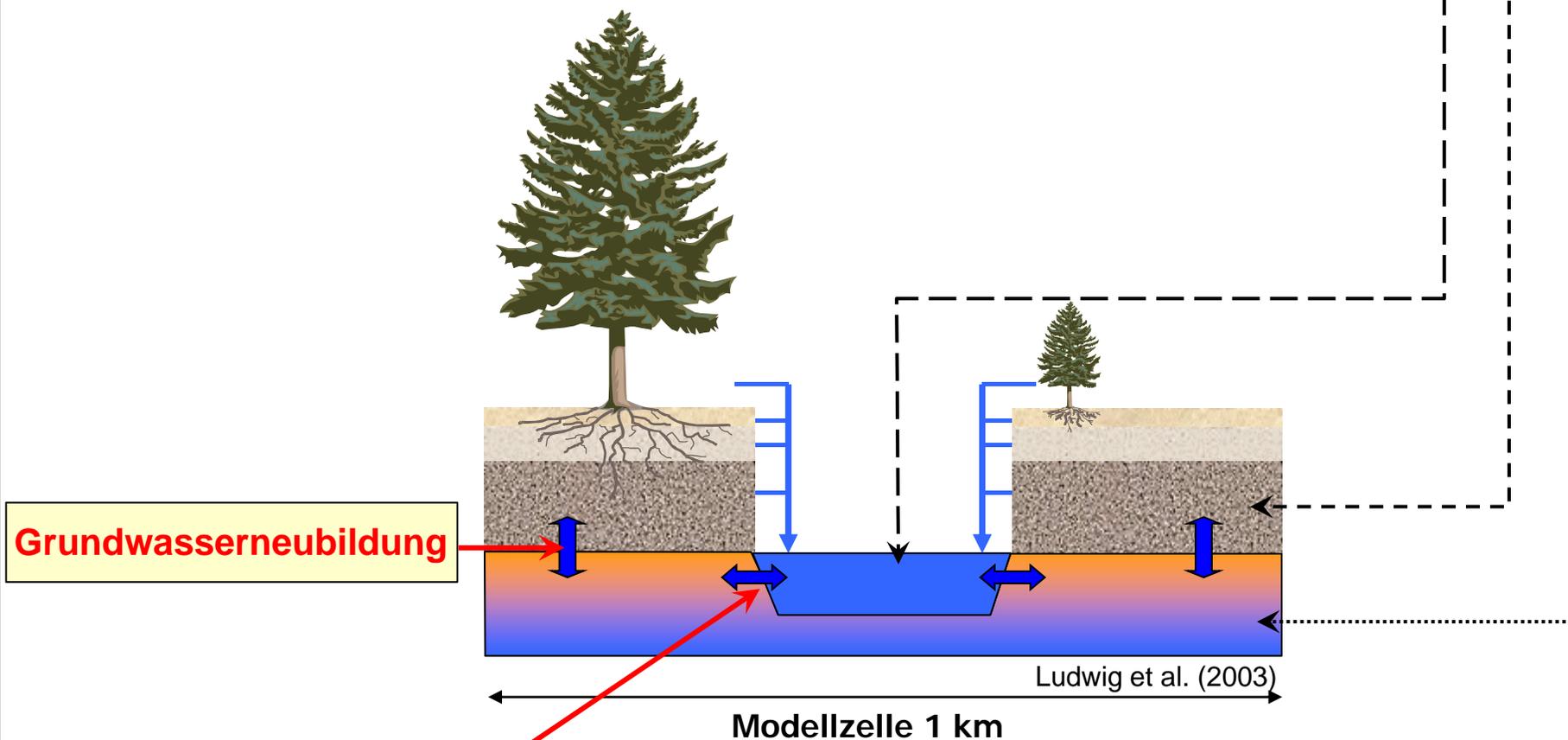


„Physikalisch basierte“ Modelle:

Grundwasser – Boussinesq-Gleichung: FD - **MODFLOW** u.a.

Ungesättigte Zone – Richards-Gleichung: SVAT- **PROMET** u.a.

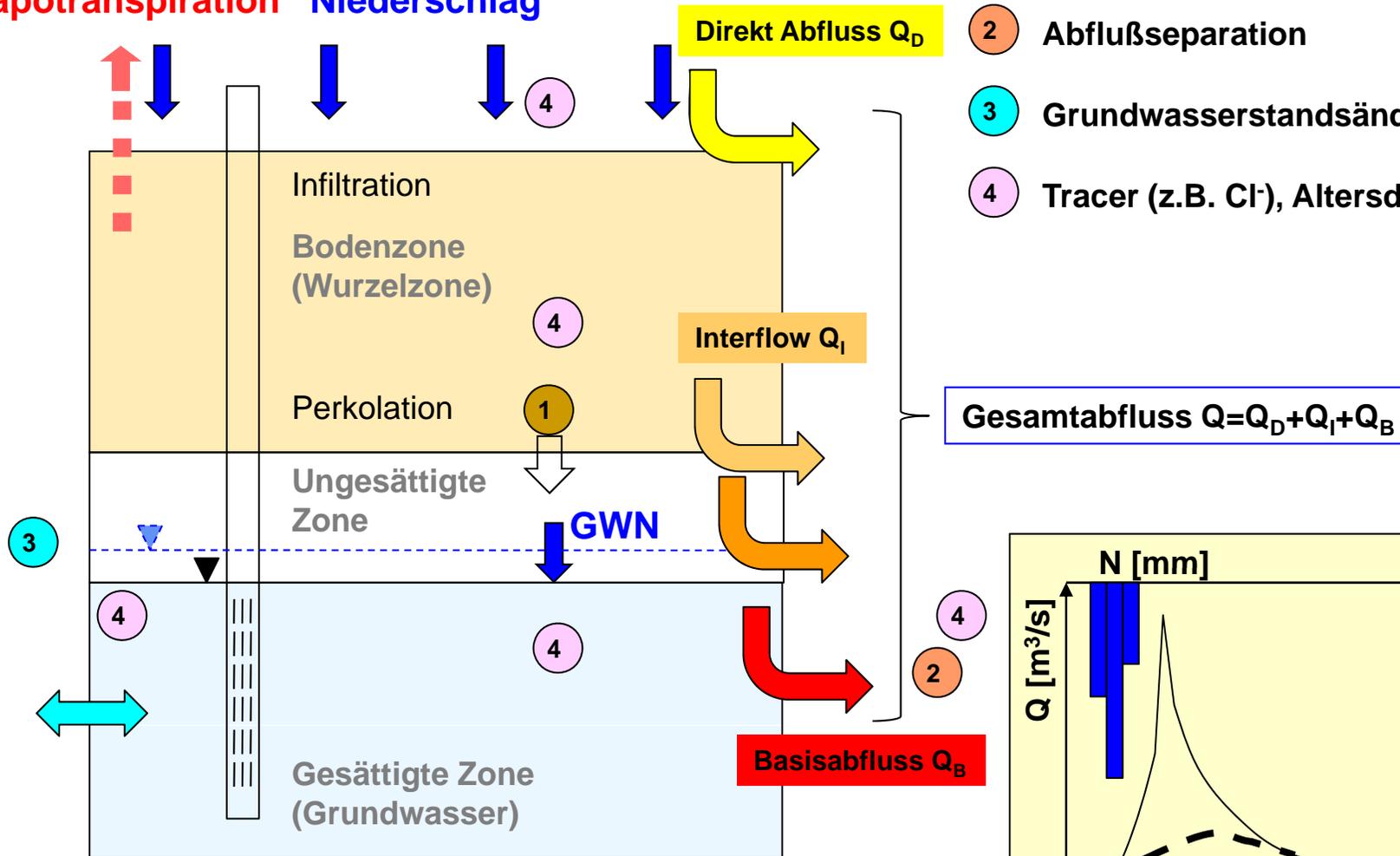
Oberflächengewässer – Saint-Venant-Gleichungen: **DAFLOW** u.a.



Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildung (Großgruppen)

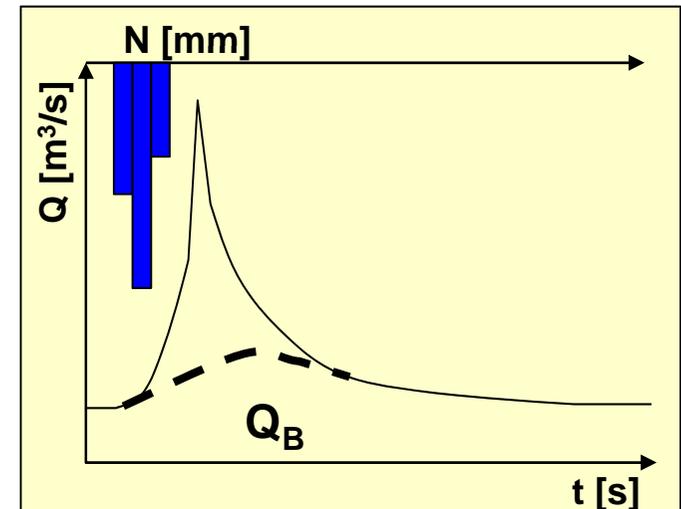
Grundwasserneubildung nach DIN 4049-3

Evapotranspiration Niederschlag



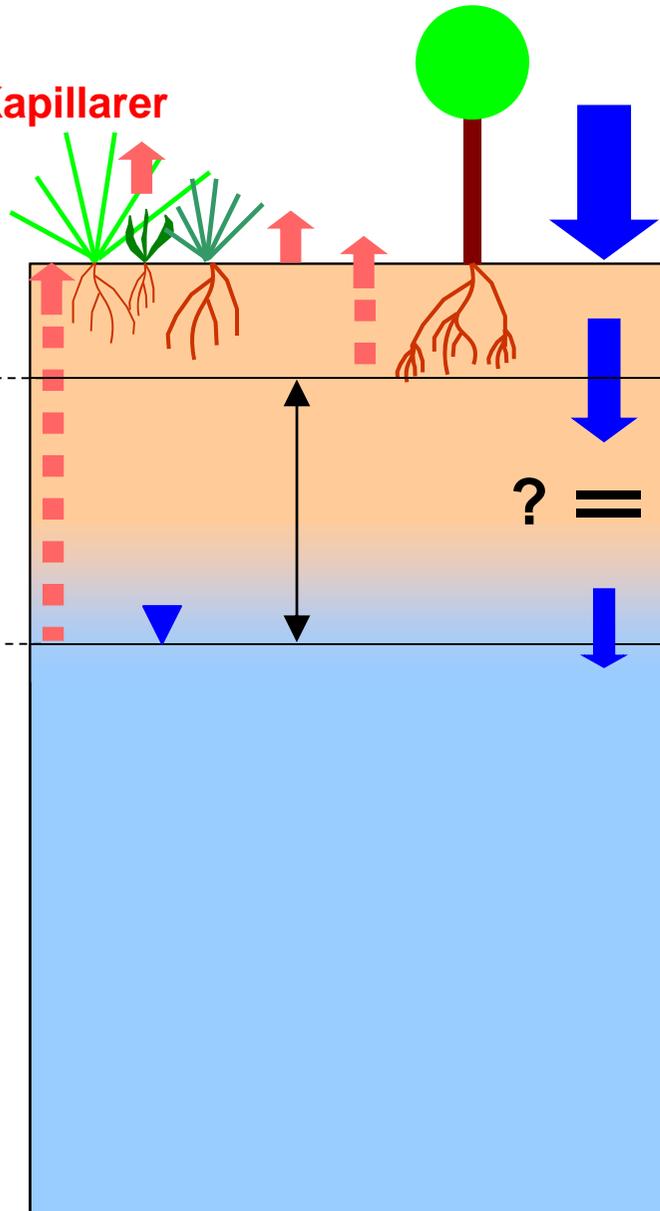
- 1 Bodenwasserhaushalt / Wasserbilanz
- 2 Abflußseparation
- 3 Grundwasserstandsänderungen
- 4 Tracer (z.B. Cl⁻), Altersdatierung ...

Gesamtabfluss $Q=Q_D+Q_I+Q_B$



Kopplungsproblematik in GLOWA-Danube

**Transpiration,
Evaporation, Kapillarer
Aufstieg**



Niederschlag

Infiltration

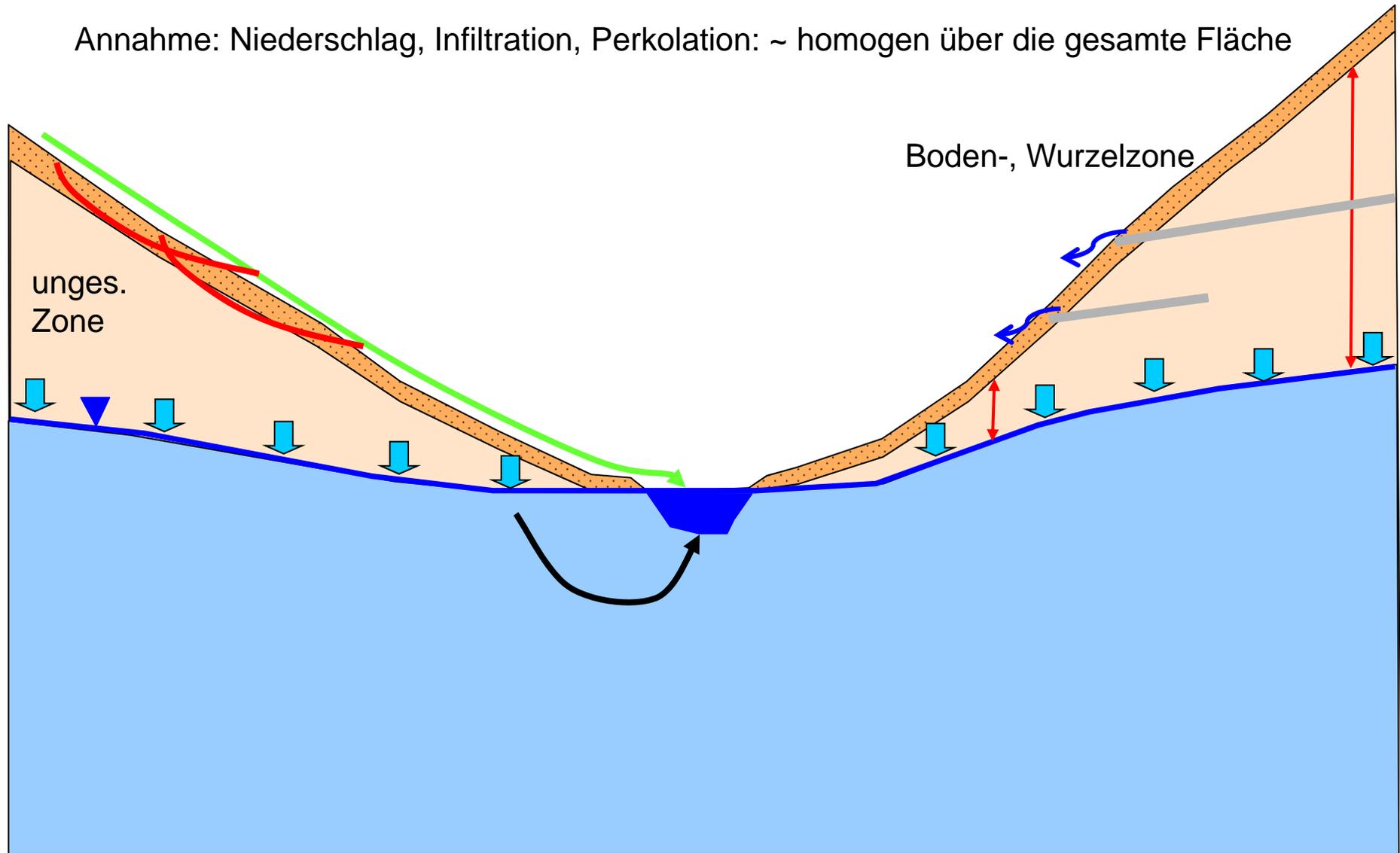
Perkolation = Grundwasserneubildung
(für viele physikalisch basierte Modelle
BWHs, Lysimeter)

**Grundwasserneubildung nach DIN
4049-3; für ein Grundwassermodell**

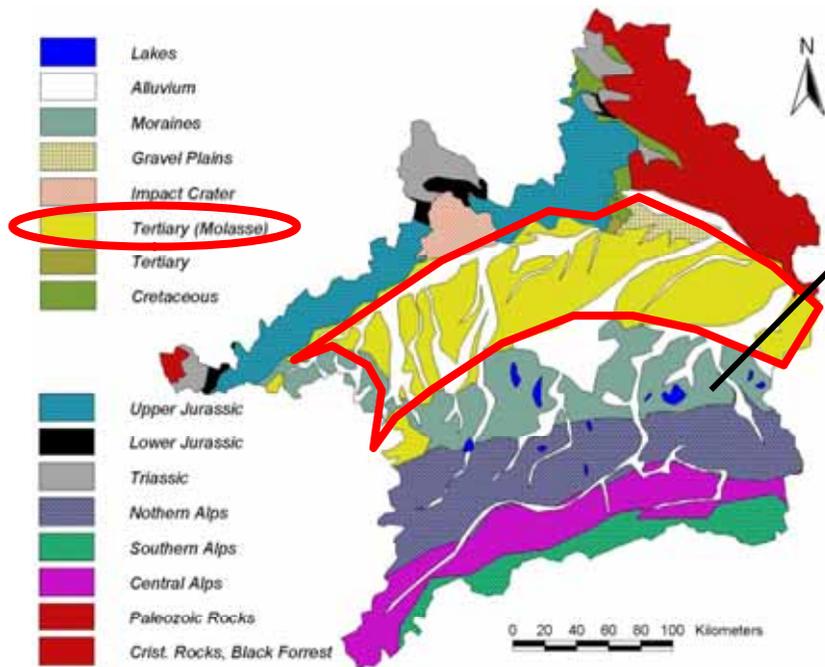
Grundwasserneubildung auf der regionalen Skala



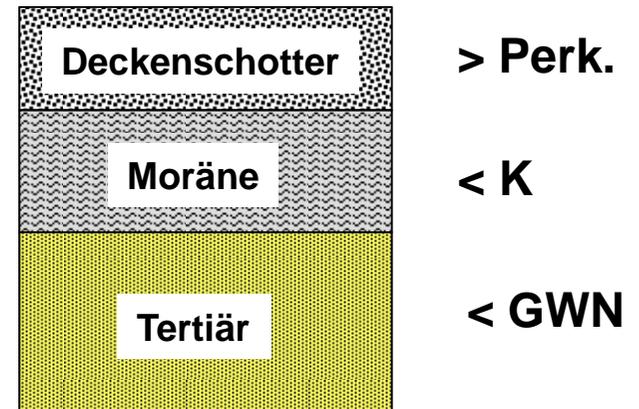
Annahme: Niederschlag, Infiltration, Perkolatation: ~ homogen über die gesamte Fläche



Problematik auf der regionalen Skala: Donaueinzugsgebiet

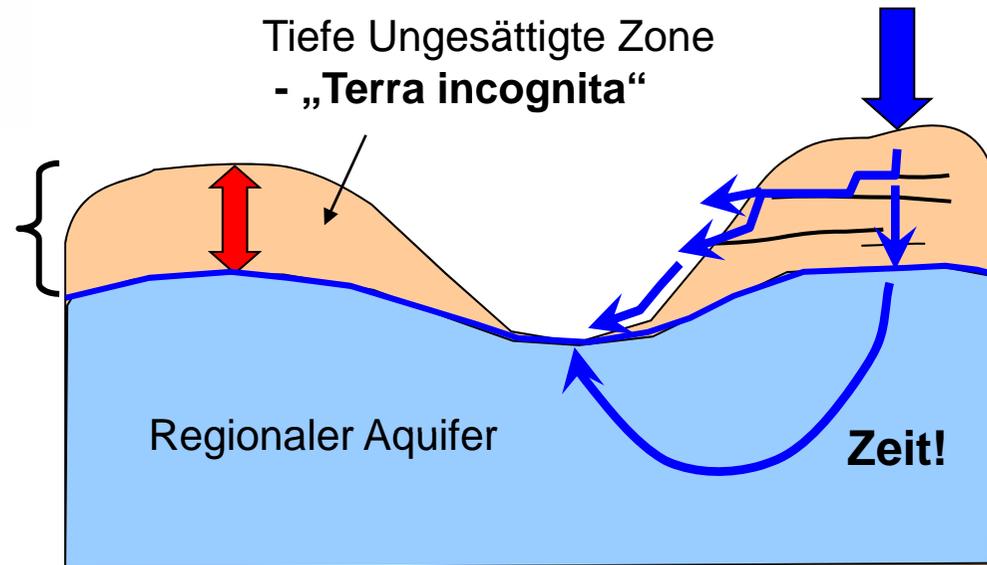


Moränen:

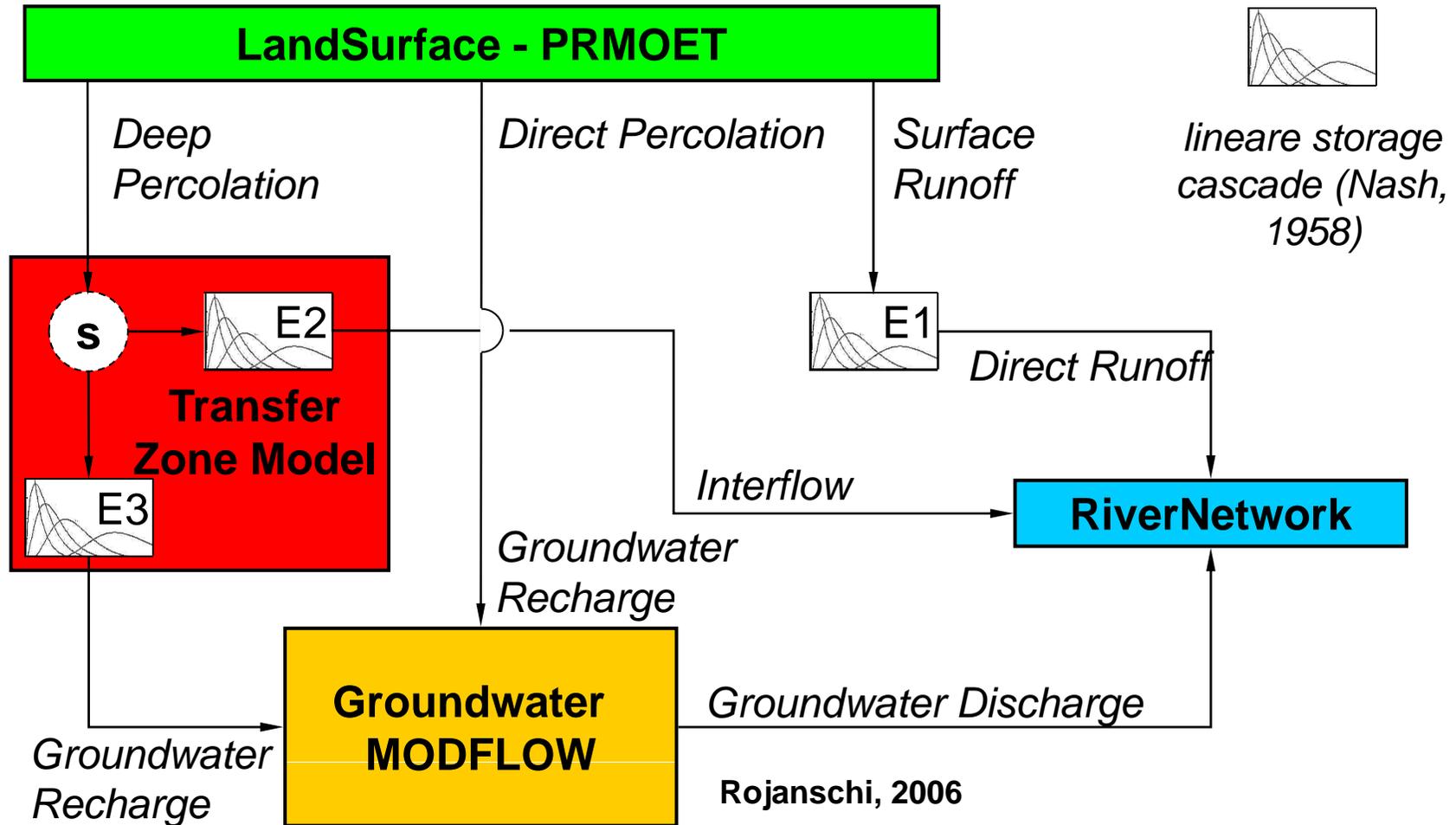


Tiefe Ungesättigte Zone
- „Terra incognita“

>100 m

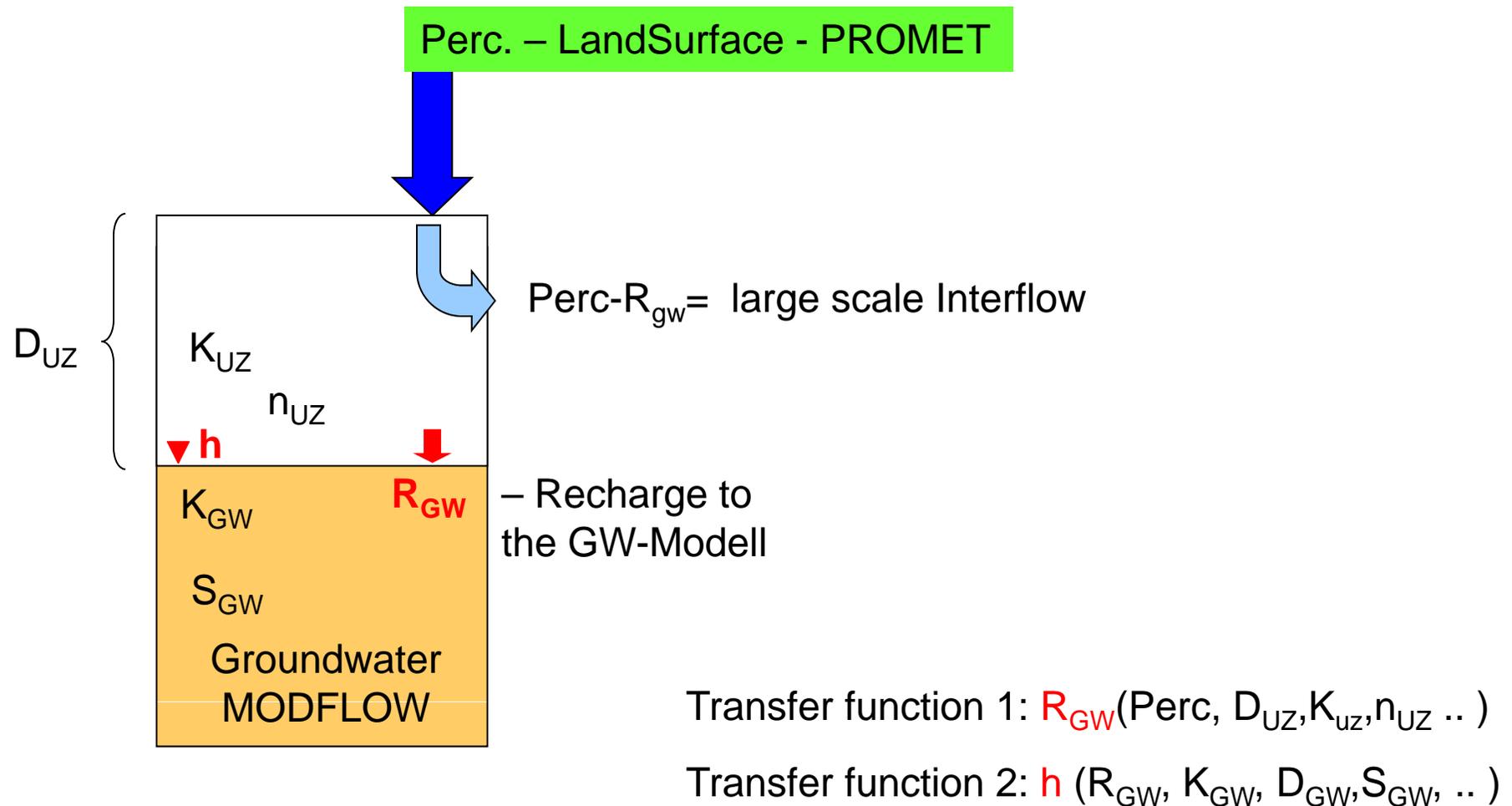


Ansatz 1: Abbildung der tieferen ungesättigten Zone durch einen konzeptionellen Ansatz



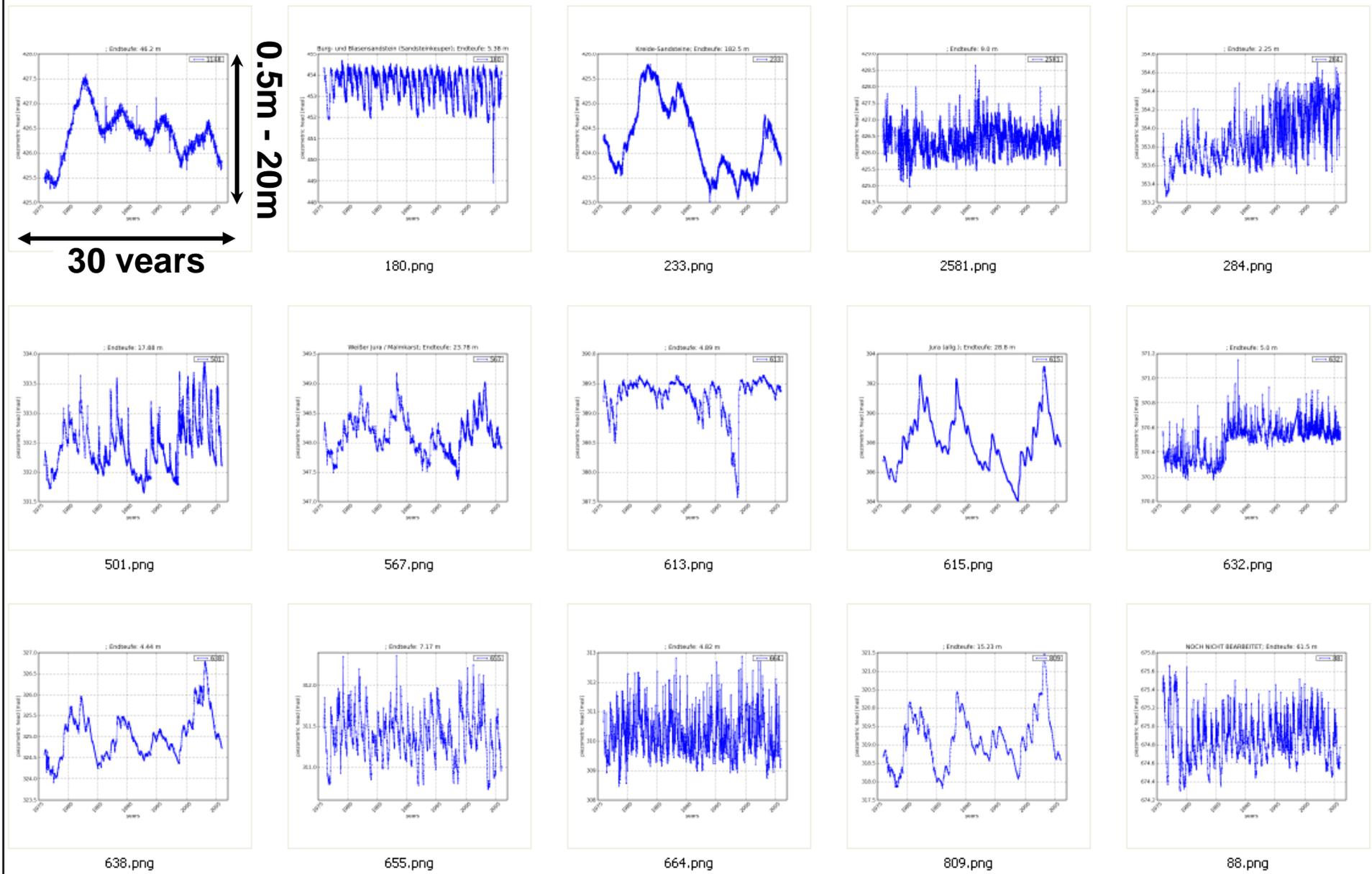
Nur für das Ammer-Teileinzugsgebiet (700km² ~ 1%) realisiert

Ansatz 2: Abbildung der tieferen ungesättigten Zone durch Transferfunktionen



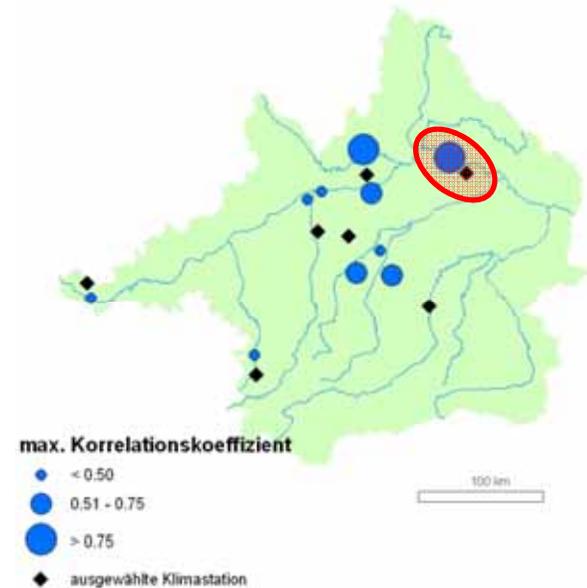
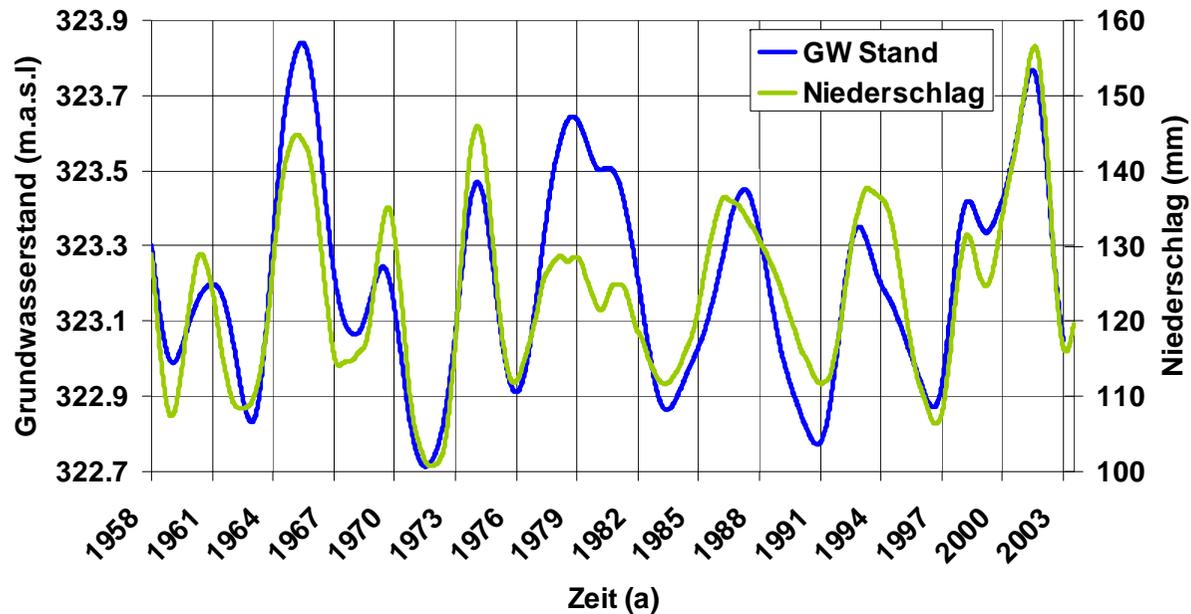
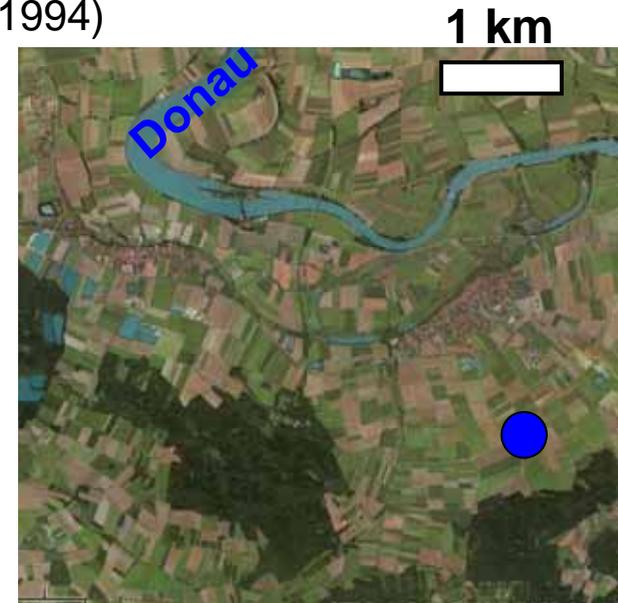
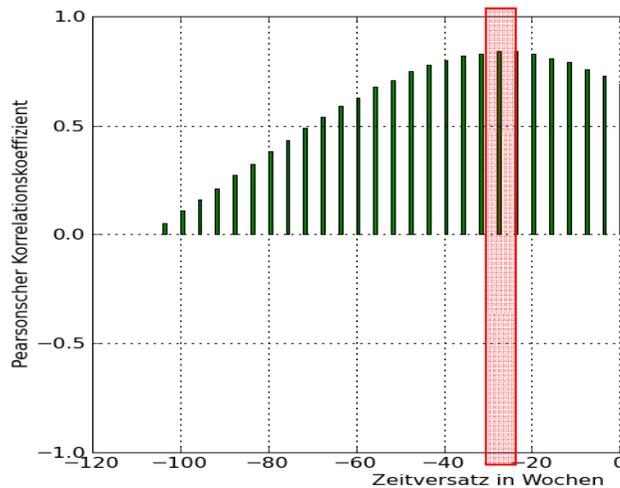
Anforderungen: Regionalisierbar, robust, skalengeeignet, szenariotauglich

Characteristics of Groundwater Level Time Series (30 years)



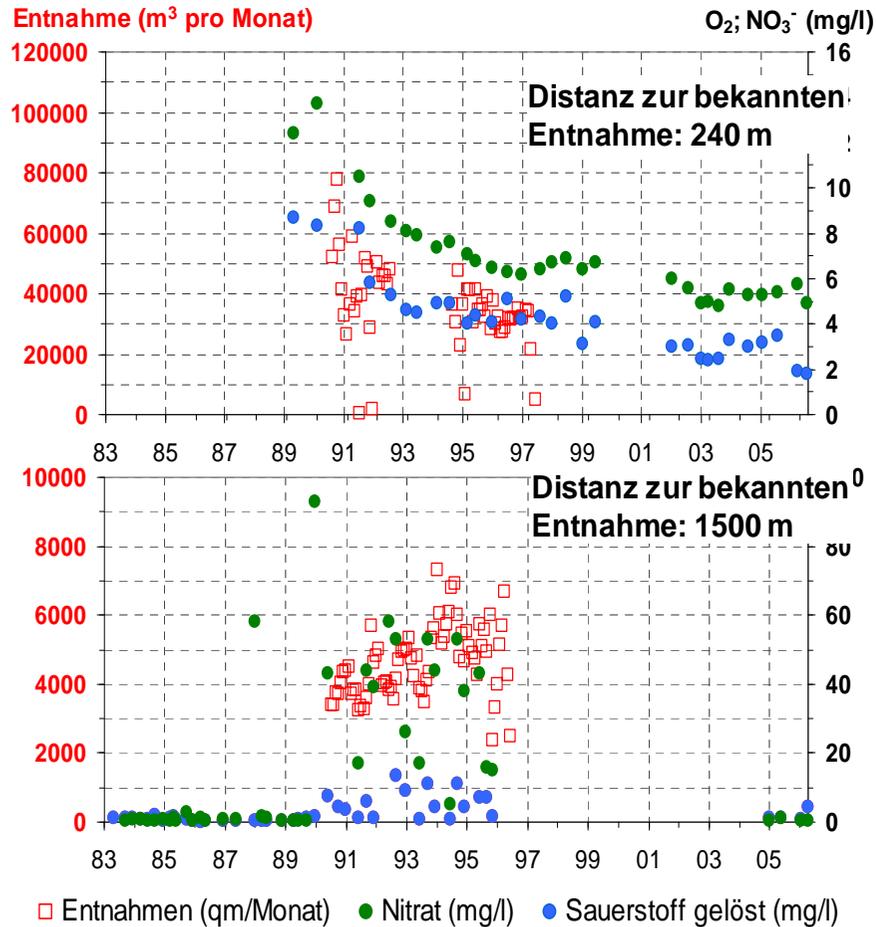
Niederschlag - Grundwasserinteraktion

Low-Pass Filter nach Kolmogorov-Zurbenko (RAO & ZURBENKO 1994)

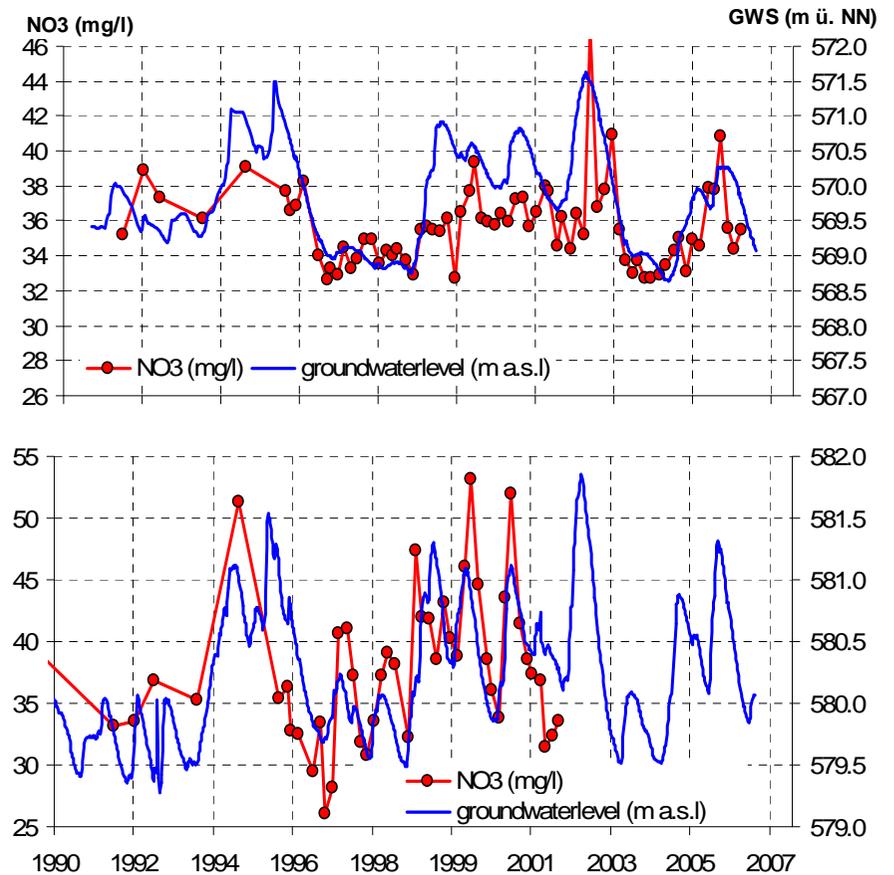


Abhängigkeiten: Was sagen eigentlich unsere Messnetze?

NO₃⁻ - Entnahmen



NO₃⁻ - Grundwasserstand

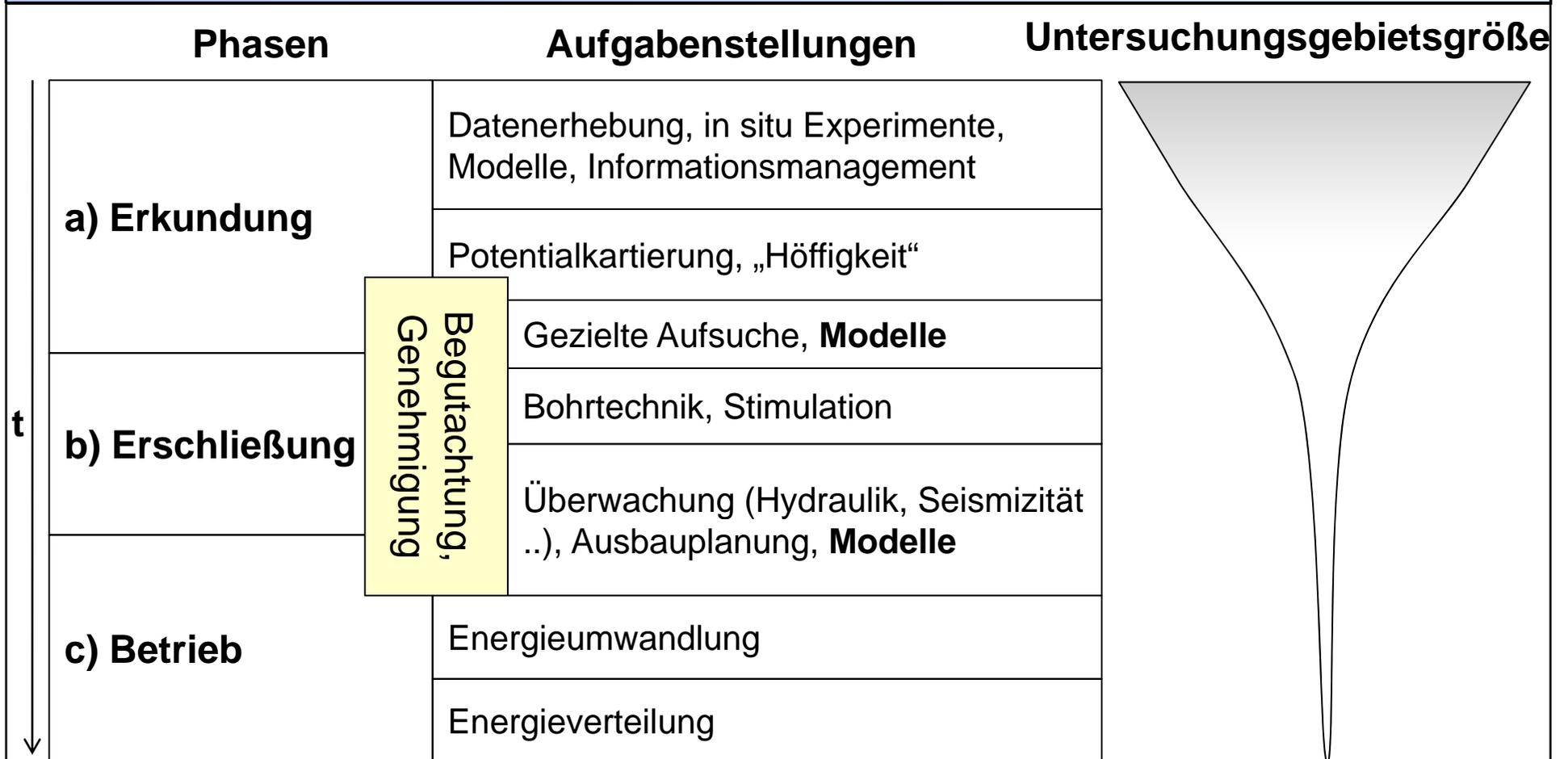


Altersstruktur des Grundwassers!

4. Hydrogeologie und Geothermie: Forschungsbedarf und Forschungskonzept

Geohydraulik	Hydrogeochemie		Geothermik
Petrographie, Mineralogie	Strukturgeologie	Sedimentologie	Geophysik

Forschungs- und Entwicklungsbedarf nach Projektphasen

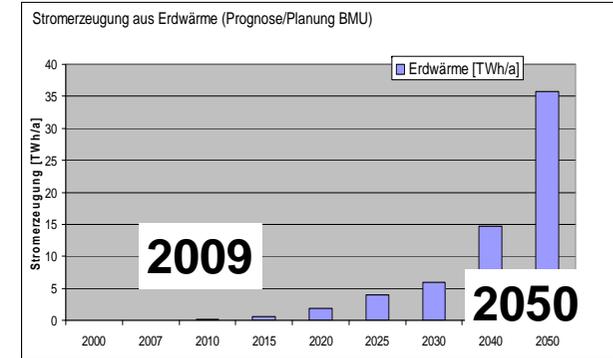


- **Forschungsziele:**

- a) Aufwand minimieren durch Bereitstellung von Information
- b) Methoden optimieren und standardisieren
- c) Optimierung; Integration

- **Oberflächennahe Geothermie:**

- Technische Optimierung, Effizienzsteigerung, Integration
- Standardisierung von Planung, Antragsstellung,
- Standardisierung der Bewertung von Risiken, Konflikten, Nachhaltigkeit



- **Thermische Energiespeicherung im Untergrund (Wärme und Kälte):**

- Nachweis von tauglichen Konzepten
- Darstellung von Einsatzmöglichkeiten (räumlich)

- **Tiefe Geothermie:**

- Standardisierung von Bohrtechnik und Lagerstättenoptimierung
- Übergang von der Grundlagenforschung zur Serienproduktion
- „Von der Anomalie in die Fläche“

- **Alle: Kostensenkung, Risikobewertung und -minderung**

- Methoden zur Regionalisierung von heterogen-komplexen hydraulisch-, thermisch-, petrographisch-, strukturgeologischen Untergrundinformationen in 3D
- Potentialkartierungen und –bewertungen zur Minimierung des Fündigkeitsrisikos und des Vorerkundungsaufwands für flache und tiefe geothermische Anwendungen
- Geohydraulisch-thermische Modellierung von lokalen (Doubletten) und regionalen Systemen (Aquifere/Grundwassersysteme)
- Risikobewertung und Einbindung der geothermischen Nutzung in die Vorgaben der WRRL (Monitoring, RBMs, integrierte Nutzungskonzepte)

Mario Schirmer (2008): **Zukünftige Grundwasserforschung – Was sind unsere Aufgaben?** Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (12/2008) 13: 131–132

*„.... Über die letzten Jahre ist jedoch auch klar geworden, dass wir uns als Wasserforscher insbesondere auf dem Gebiet der **Auswirkungen des globalen Wandels für die Quantität und Qualität der Wasserressourcen engagieren sollten.** ...*

*... Auch bin ich der Meinung, dass wir die **Prozesse der Grundwasserneubildung noch nicht vollständig verstanden** haben und dort noch Forschungsbedarf besteht. Auf der anderen Seite ist es erfreulich, die wachsende Anzahl an **Arbeiten an der Schnittstelle Grundwasser – Oberflächenwasser** zu sehen. ...“*

Internationale Herausforderungen: EU-Projekt Rivertwin - Benin

Auswirkungen des Klimawandels?

Nachhaltiges Management von Grund- und Oberflächenwasser?

Grundwasserneubildung?



- Prozessbasierte Modellierung von Wasser- und Stoffflüssen und Umwandlungsprozessen in der tieferen ungesättigten Zone (DFG)
- Modellkopplung: Bodenwasserhaushalt – Grundwasser, Grundwasser – Oberflächengewässer auf der regionalen (Meso-) Skala (DFG)
- Integrative, robuste Verfahren zur Validierung und Regionalisierung von Grundwasserneubildungsberechnungen (LfU)
- Methoden, Indikatoren, Indizes zur Bewertung und Prognose des mengenmäßigen und qualitativen Zustands von Grundwasserressourcen auf der Flussgebietskala → WRRRL (EU-FP7)

- Oberflächennahe Geothermie sollte auch im Kontext von Globalem Wandel gesehen werden:
 - Grundwasserneubildung, Wasserhaushalt der tieferen ungesättigten Zone
 - Konkurrierende Nutzungen, Konflikte (Wasserversorgung, Bewässerung)
 - Darstellung und Überwachung der Risiken unter sich ändernden Bewertungsgesichtspunkten
- Tiefe Geothermie:
 - Nachhaltigkeit (thermisch, Wasserressourcen) muss vor dem Hintergrund der geplanten Dimensionen bewertet und überwacht werden
 - Modelle (Malmkarst) sind universell einsetzbar und ergänzen sich
- Überall sind robuste, anwenderfreundliche, numerische Werkzeuge erforderlich



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Roland Barthel,
Jungwissenschaftlergruppe Grundwasserhydraulik und Grundwasserwirtschaft,
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart

