



Untersuchung und Bewertung möglicher Folgen des Klimawandels für das Grundwasser im Süden Deutschlands -

Möglichkeiten und Grenzen integrierter Modelle

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








Inhalt
1. Hintergrund: Grundwasser, Klimawandel und integrierte Modelle
2. Grundkonzepte der integrierten Modellierung: Beispiele aus <i>GLOWA-Danube</i> und <i>RIVERTWIN</i>
3. Grenzen und Möglichkeiten der integrierten Modellierung:
1. Beispiel: Kopplung Grundwassermodelle – „Hydrologische Modelle“
2. Beispiel: Kopplung Grundwassermodelle - Sozioökonomische Modelle
4. Schlussfolgerungen

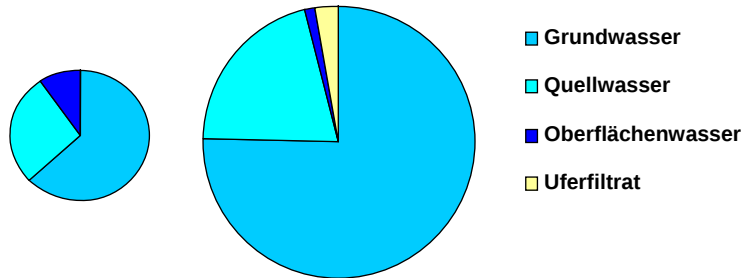

Universität Stuttgart
Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007
2

Grundwassernutzung im Donaueinzugsgebiet

öffentliche Trinkwasserversorgung

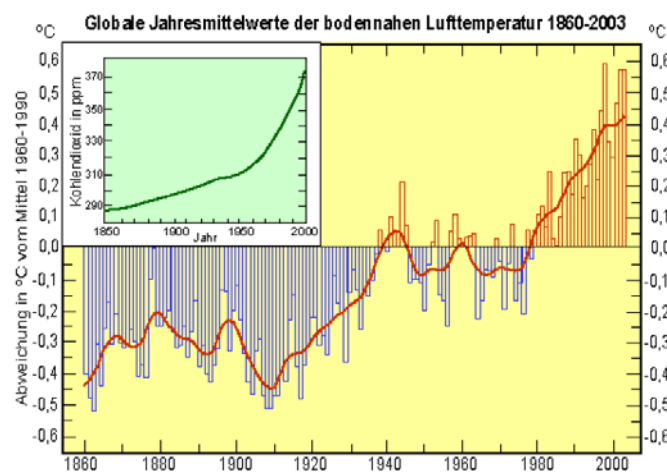
Baden-Württembergisches
Donaueinzugsgebiet
163 Mio m³/a

Bayerisches
Donaueinzugsgebiet
664 Mio m³/a



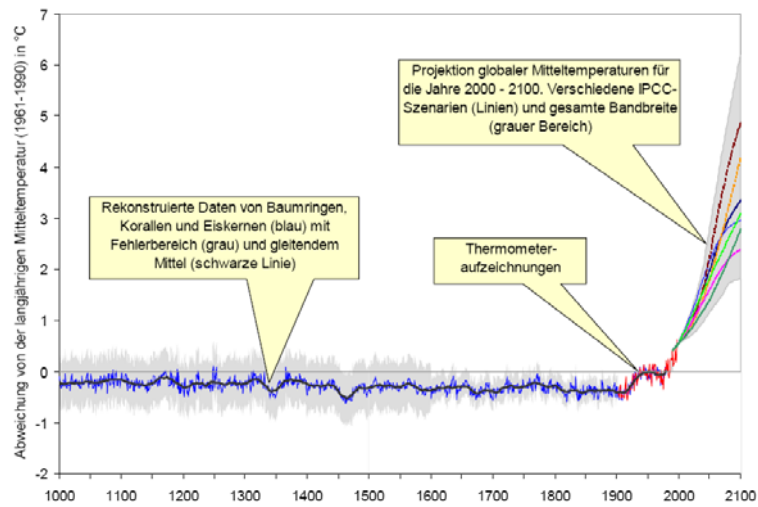
nach Emmert, 1999

Globaler Klimawandel: Messbar



Aus: Forschungsbericht 201 41 253 UBA-FB 000844: Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme (2006)

Globaler Klimawandel: Historisch und Projektion



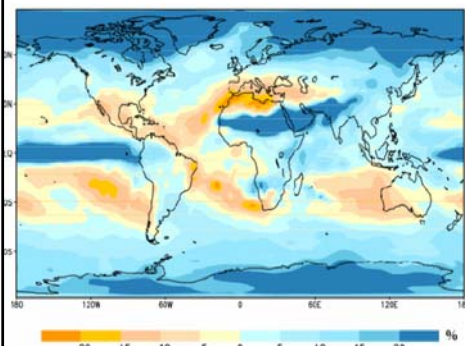
Entwicklung der Mitteltemperatur der Nordhemisphäre in den letzten 1000 Jahren und Projektionen für die nächsten hundert Jahre (IPCC, 2001; Mann et al., 1999).

Aus: Forschungsbericht 201 41 253 UBA-FB 000844: Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme (2006)

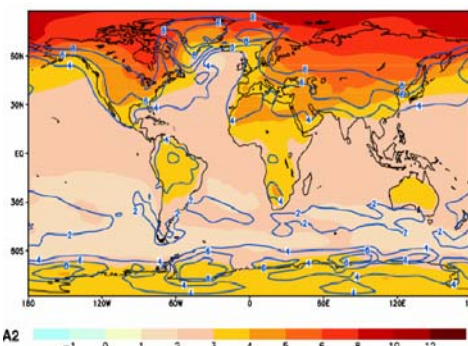
Global – Regional ?

2100

Niederschlag



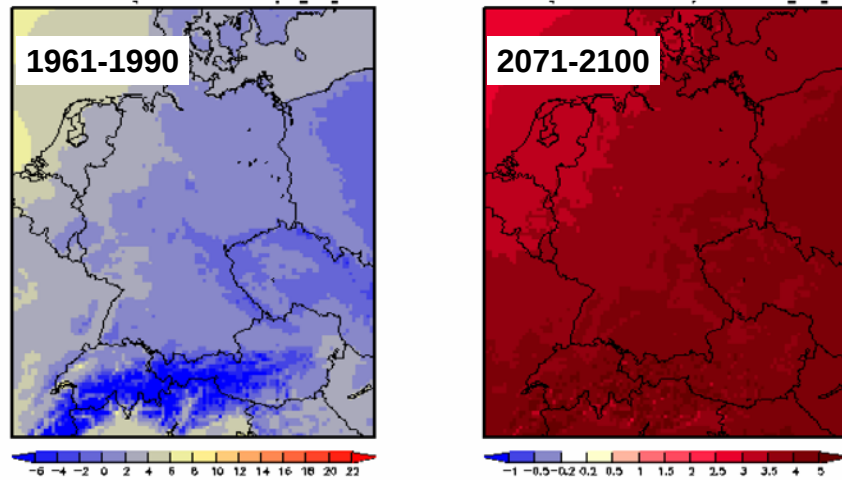
Temperatur



IPCC

Regional: Temperatur

Abb.2: Wintertemperatur (°C) der Periode 1961-90 (links) und Temperaturanstieg im Jahresmittel für die Jahre 2071-2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1961-90 (rechts). Szenario A1B.



Wintertemperaturen

aus: Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert, Hintergrundpapier, April 2006 (UBA, MPI)

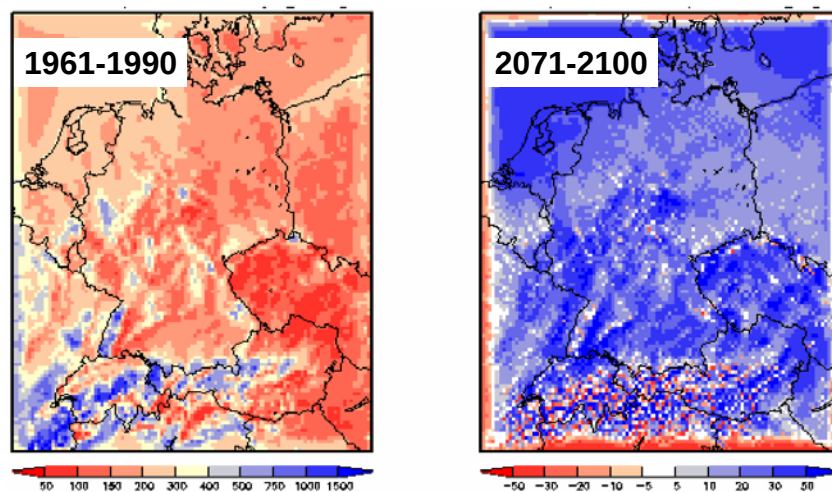
Universität Stuttgart

Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007

7

Regional: Niederschläge - Winter

Abb.4: Winterniederschläge (mm) der Periode 1961-90 (links) und Niederschlagsveränderung im Jahresmittel für die Jahre 2071-2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1961-90 (rechts). Szenario A1B.



Winterniederschläge

aus: Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert, Hintergrundpapier, April 2006 (UBA, MPI)

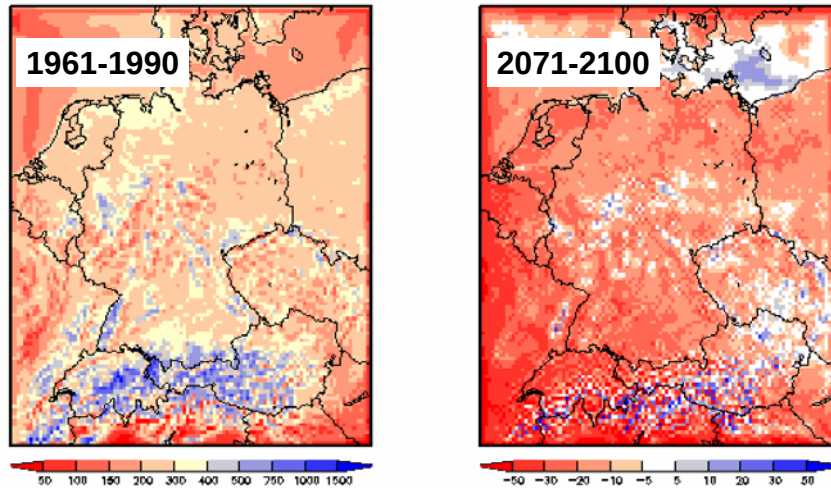
Universität Stuttgart

Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007

8

Regional: Niederschläge - Sommer

Abb. 3: Sommerniederschläge (mm) der Periode 1961-90 (links) und Niederschlagsveränderung im Jahresmittel für die Jahre 2071-2100 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1961-90 (rechts). Szenario A1B.



Sommerniederschläge

aus: Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert, Hintergrundpapier, April 2006 (UBA, MPI)

Universität Stuttgart

Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007

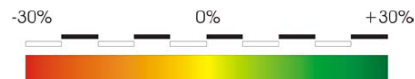
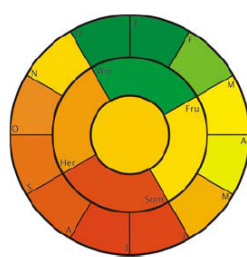
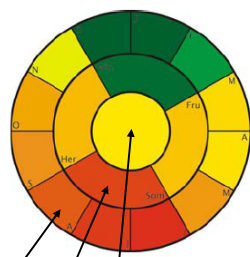
9

Zeitliche Differenzierung (Niederschlag, D)

Emissionsszenario A1B

Emissionsszenario A2

Emissionsszenario B1



Jahresmittel
Jahreszeitenmittel
Monatsmittel

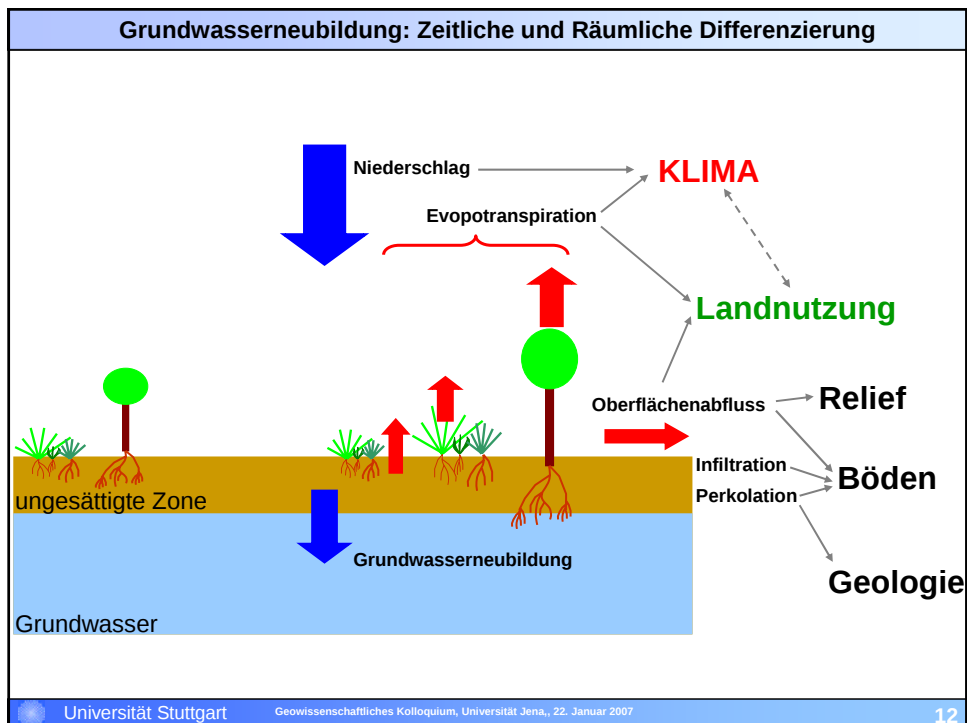
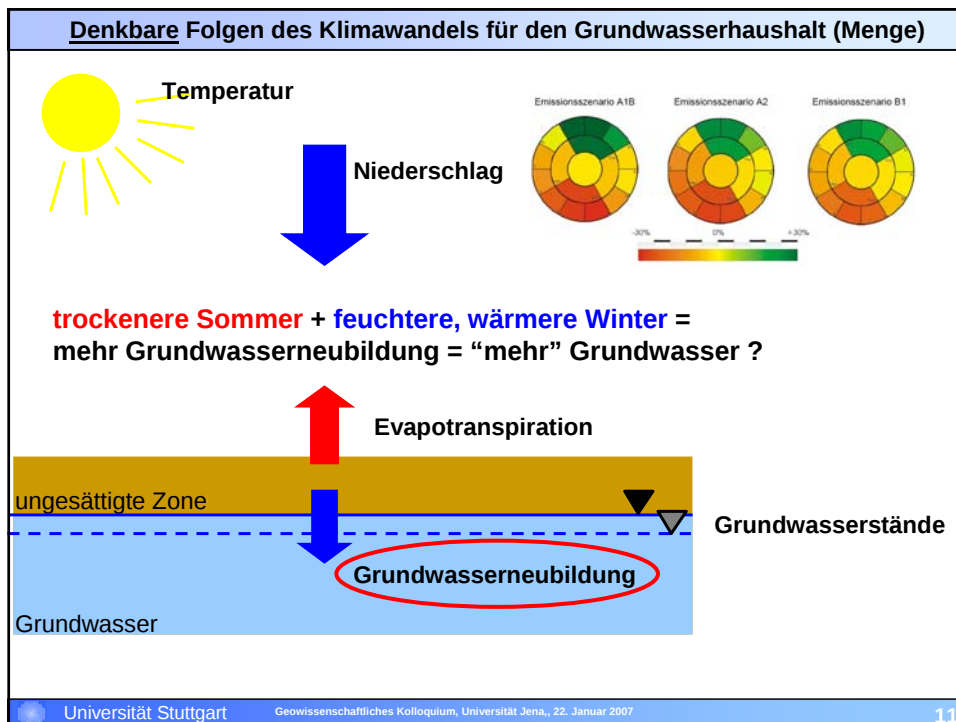
Veränderungen im Zeitraum 2071/2100 relativ zu 1961-1990

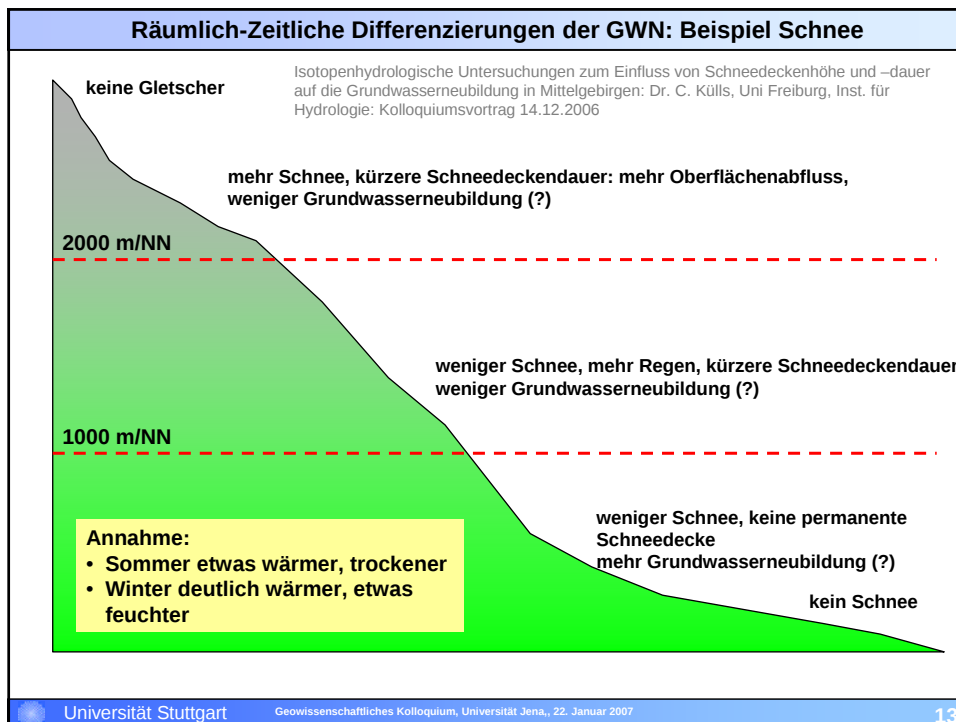
UBA: Hintergrundpapier „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland“ Oktober 2006

Universität Stuttgart

Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007

10



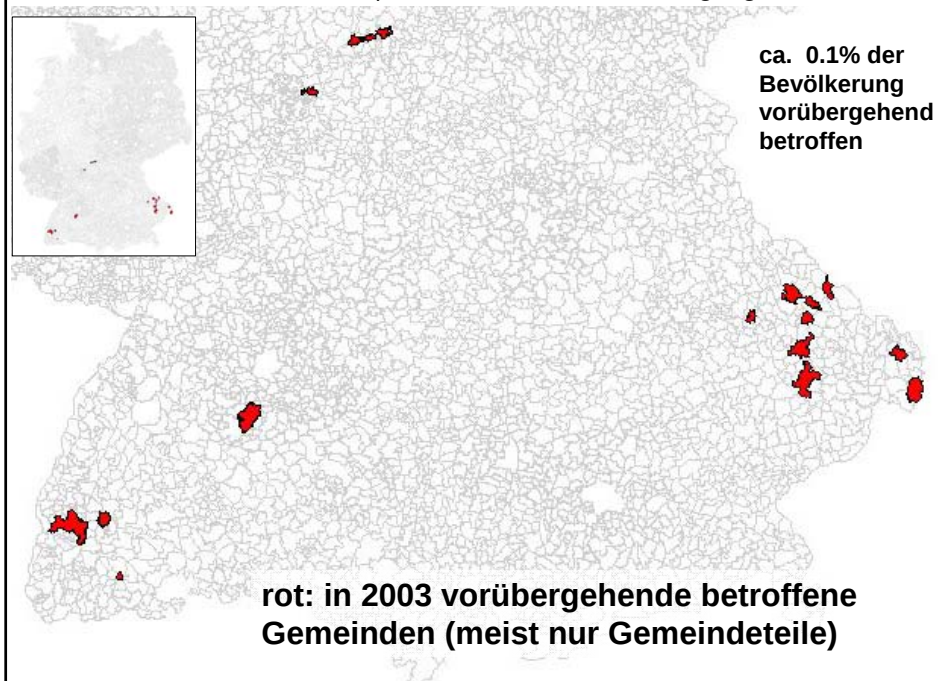


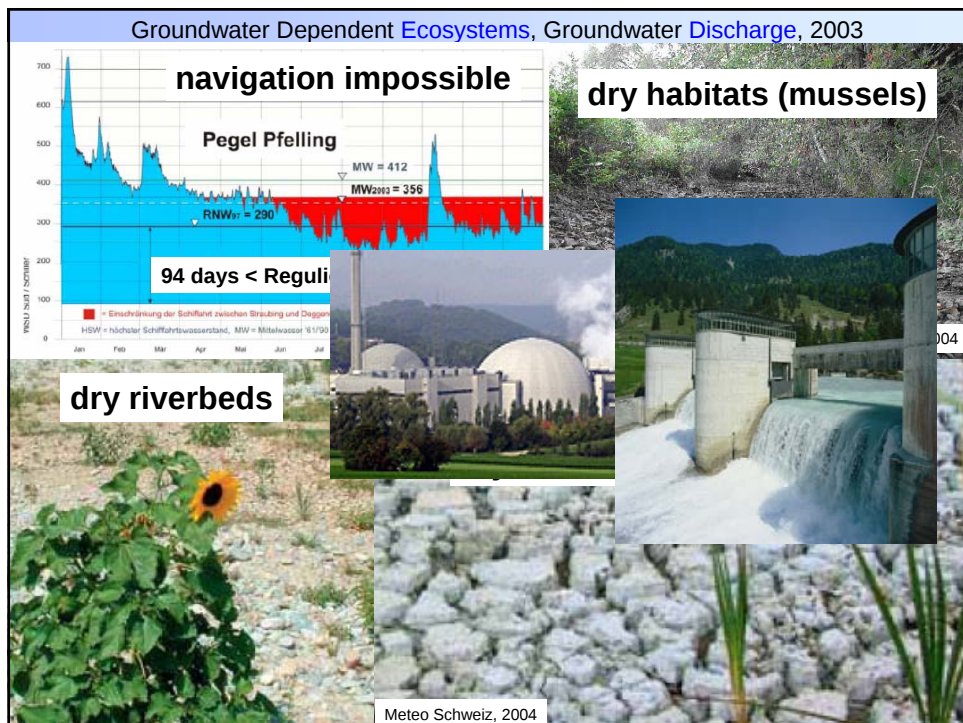
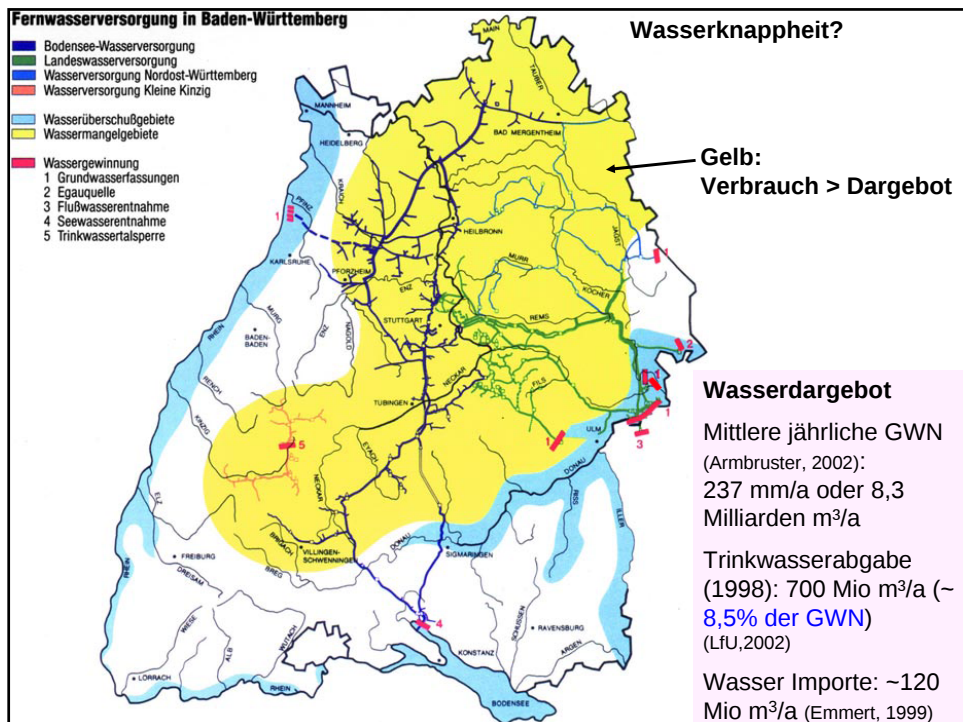
- ### Denkbare Folgen des Klimawandels für den Grundwasserhaushalt (Menge)
- Veränderungen der **Grundwasserneubildung** (zeitlich / räumlich differenziert) aufgrund von:
 - Zu-/Abnahme der Niederschläge insgesamt
 - Zu-/Abnahme der Evapotranspiration (Temperatur/Niederschlag) insgesamt
 - Erhöhung der **Intensität** von Niederschlagsereignissen (z.B. mehr Oberflächenabfluss)
 - Geänderte **zeitliche Verteilung** der Niederschläge (Sommer / Winter)
 - Geänderte **räumliche Verteilung** der Niederschläge (Sommer / Winter)
 - Veränderung von Schneedeckenhöhe und –dauer
 - indirekt über klimabedingte **Landnutzungs-/Landbedeckungsänderungen**
- Universität Stuttgart Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007 14

Denkbare Folgen des Klimawandels für den Grundwasserhaushalt (Menge)

- unmittelbare Folgen geänderter Grundwasserneubildung:
 - Veränderungen der Grundwasserstände und -Speicherung:
Steigend - Fallend, Erhöhung der saisonalen Variabilität
- mittelbare Folgen steigender Grundwasserstände:
 - Vernässung, (Hochwässer) → Gebäudeschäden, Landwirtschaft (lokale Phänomene)
- mittelbare Folgen sinkender oder stärker variabler Grundwasserstände:
 - Rückgang der Grundwasserspende in Trockenperioden → Ökologie, Schifffahrt, Energieerzeugung, Kühlwasser
 - Wasserstress in grundwasserabhängigen Ökosystemen
 - Verringeres Dargebot (potentielle Entnahmemengen) für die Wasserversorgung (Trink-, Brauchwasser, Agrarsektor, Tourismus ...)

2003: Konsequenzen für die Wasserversorgung



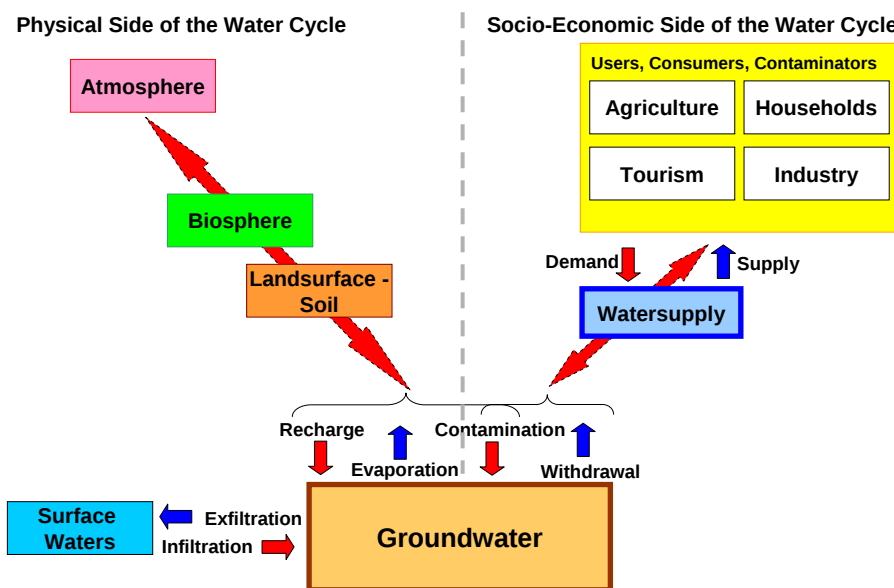


Zwischenfazit: Klimawandel und Auswirkungen auf das Grundwasser

- Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser sind wahrscheinlich, aber räumlich und zeitlich differenziert und nicht mit „einfachen“ Modellen vorherzusagen
- Wesentlich ist eine möglichst realistische Beschreibung und Prognose der Änderungen der Grundwasserneubildung
- Versorgungsengpässe (Trinkwasser) in SD unwahrscheinlich
- Problematisch in SD könnten die zunehmenden Sommer–Winter-Kontraste sein:
 - im Sommer sinkende Grundwasserstände und verringerte Grundwasserspende in schnell reagieren Aquiferen
 - Häufung extremer Niedrigwassersituationen und Temperaturerhöhung in Sommermonaten, ökologische & ökonomische Probleme
 - Probleme mit Brauchwasser (Kühlung) und Bewässerung ???
- Das Grundwasser ist kein isoliertes System, eine integrative Betrachtung ist erforderlich



Ein „integrierter“ Blick auf den Wasserkreislauf aus der Grundwasserperspektive

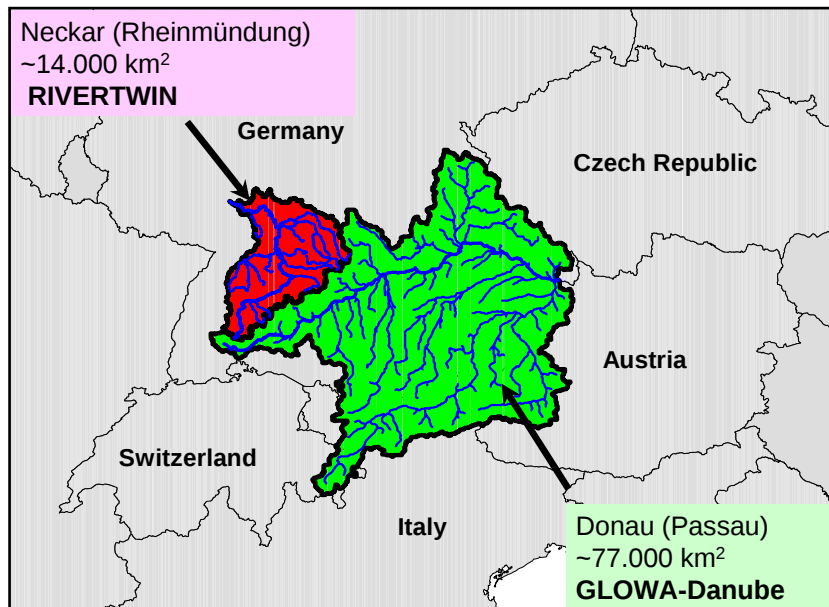


**Integrierte Modelle zur Beschreibung des
Wasserkreislaufs für das
Flusseinzugsgebietsmanagement und zur Untersuchung
von Folgen des Globalen (Klima-)Wandells**

GLOWA-Danube

RIVERTWIN

2) Integrierten Modellierung : GLOWA-Danube und RIVERTWIN

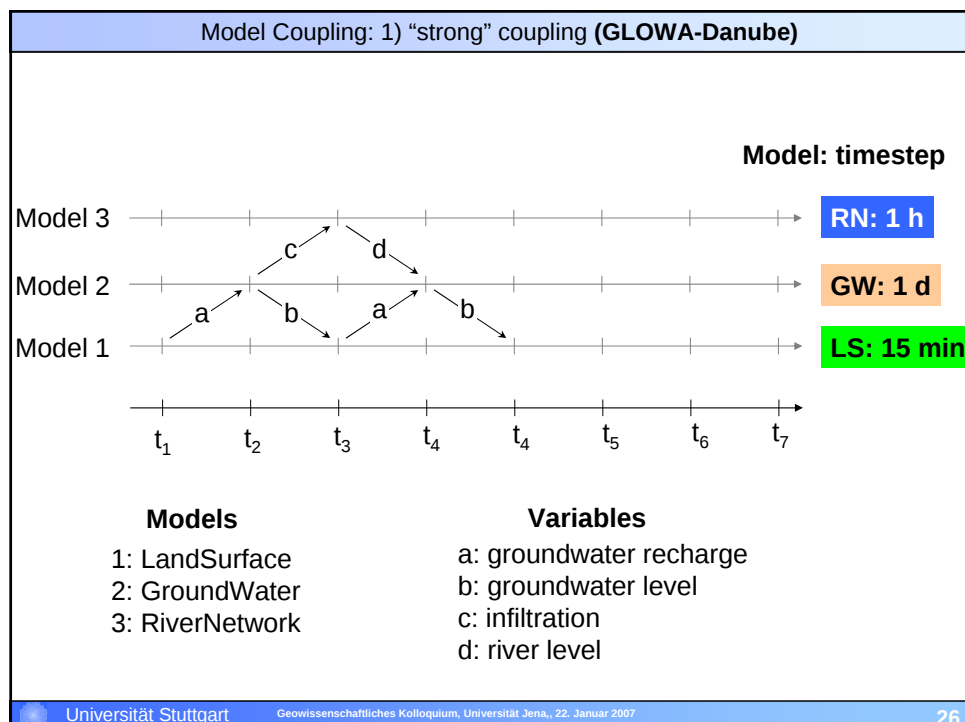
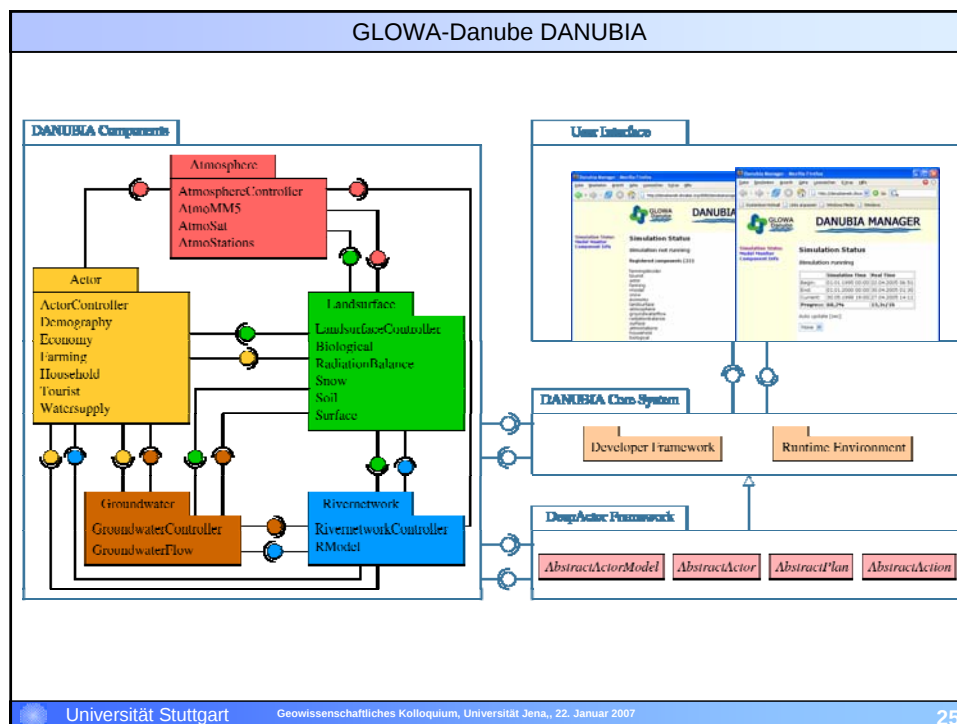


Project Overview		
	RIVERTWIN	GLOWA-Danube
Funding	European Commission	German Ministry of Research and Education
Duration	01.03.2004 to 28.02.2007: 3 years	01.01.2001 to 30.04.2010: 9 years in three phases
Budget	~ 3 Million Euro	~ 16 Million Euro
Partners	6 (Neckar only)	12
Scientists	~ 15 (Neckar only)	~ 40
Stakeholders / Administration	Included in DSS development from the beginning	Included in DSS development at a later stage (first results)
 Overall Objective	Research and Development of practical tools	Research mainly: Advanced DSS Technology



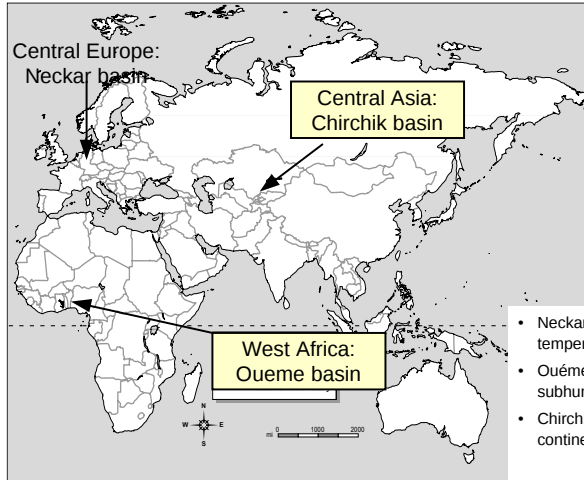
GLOWA-Danube: Zusammenfassung
• „Global Change“ (i.w. Klima) Folgen im Donaeinzugsgebiet (Wasser, Landnutzung, Landwirtschaft, Ökonomie, Tourismus) • Entscheidungs-Unterstützungs-System ‘DANUBIA’, bestehend aus 16 voll gekoppelten Einzelmodellen • Integrierter / Interdisziplinärer Ansatz: 12 Gruppen aus unterschiedlichen Disziplinen (Meteorologie ... Tourismusforschung) • Teilprojekt Grundwasser und Wasserversorgung IWS Stuttgart: – Grundwasserströmungsmodell und ein Modul für Nitrattransport und –Abbau im GW – Wasserversorgungs- und Verteilungsmodell





RIVERTWIN (www.rivertwin.org)

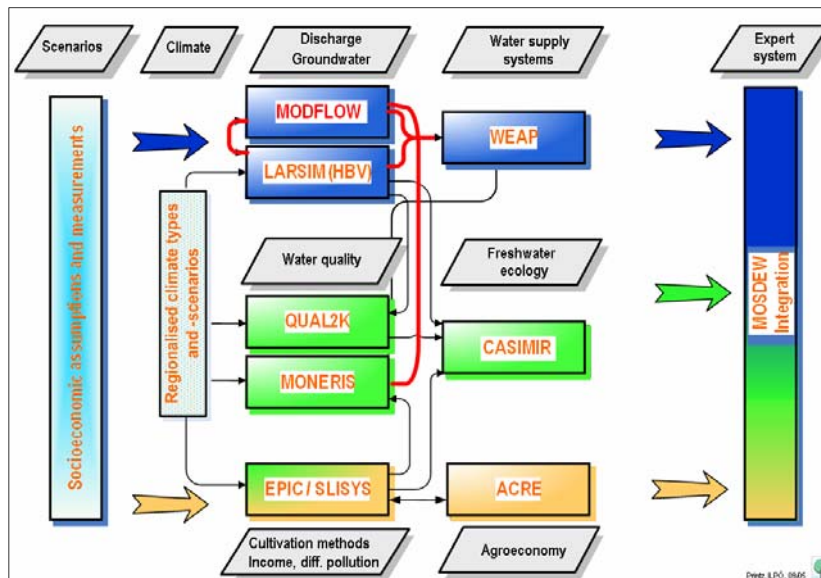
- **EU Global Water Initiative (www.euwi.org)** → Übertragung der Prinzipien der EU-WRRL auf andere Kontinente

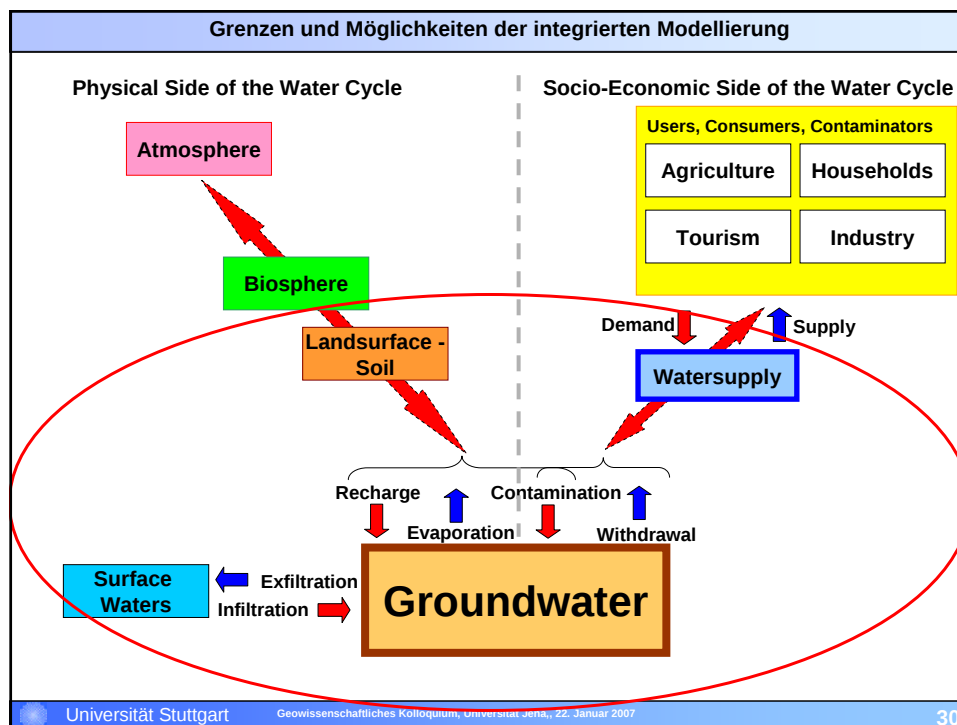
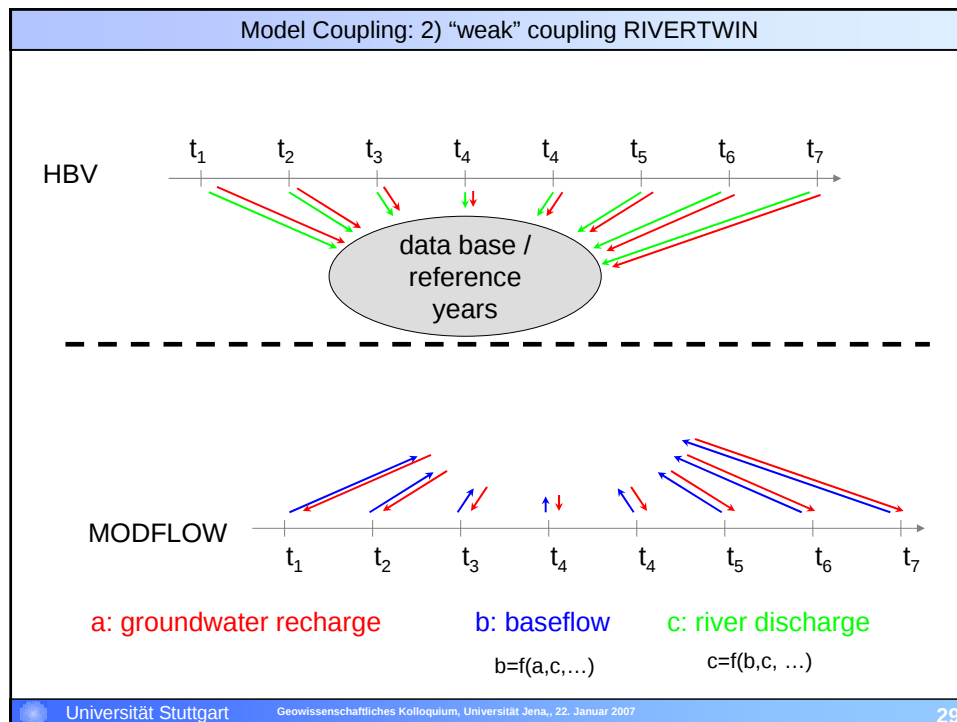


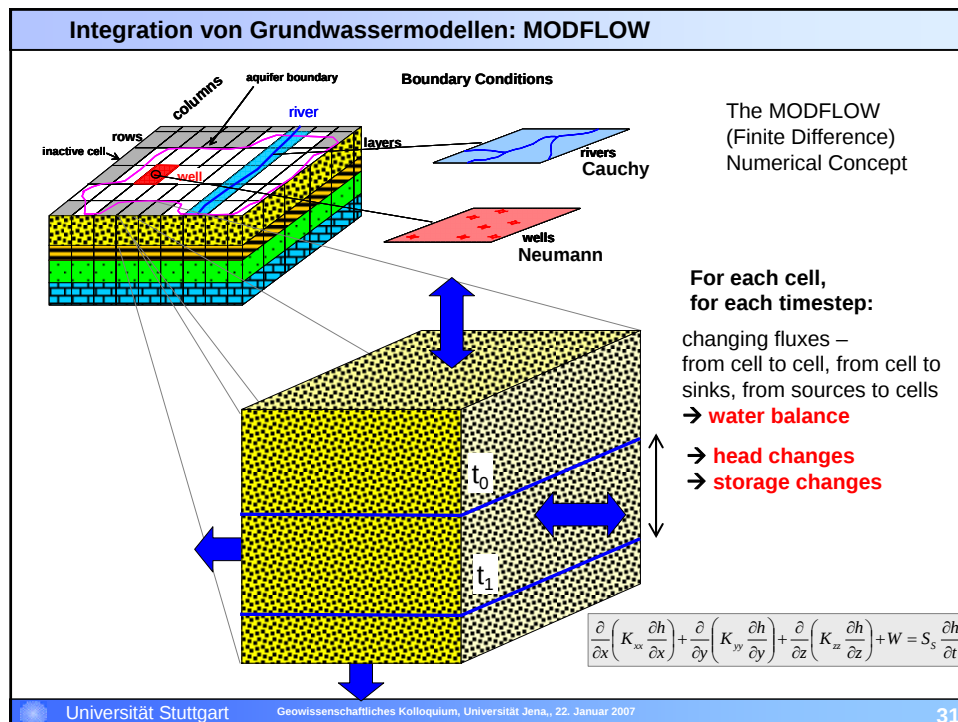
- Integriertes Modell,
- GIS basiert, 10 Einzelmodelle, lose gekoppelt
- Strategie:
 - 1) Integriertes Modell Neckar
 - 2) Übertragung

- Neckar basin (Germany, temperate-humid);
- Ouémé basin (Benin, tropical-subhumid);
- Chirchik basin (Uzbekistan, continental-semiarid).

RIVERTWIN – MOSDEW integrated tool: Models and Scenarios







Grenzen und Möglichkeiten der Integration von Grundwassermodellen

1. 'Technische' Probleme:
 - Verknüpfung und Kopplung von Prozessgleichungen, Interaktion verschiedener Programmcodes (Schnittstellen, Steuerung → Informatik, (Mathematik), i.A. lösbar
2. 'Konzeptionelle' Probleme:
 - Sicherstellen, dass die Kopplung eine adäquate Repräsentation der natürlichen Prozesse darstellt
3. Güte der zu koppelnden Modelle selbst?

Universität Stuttgart Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007 32

Probleme bei der Modellintegration (Kopplung)

1. 'Technisch':

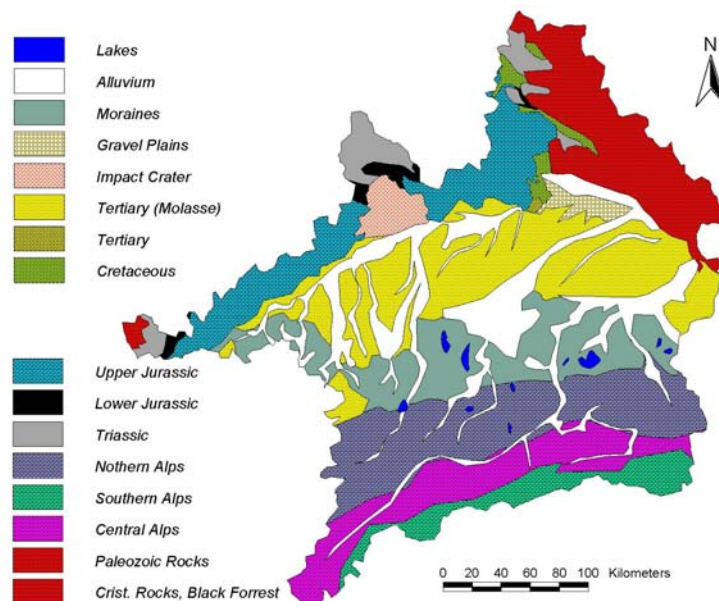
- Verknüpfung und Kopplung von Prozessgleichungen, Interaktion verschiedener Modellcodes (Schnittstellen, Steuerung → Programmierung, (Mathematik), i.A. lösbar

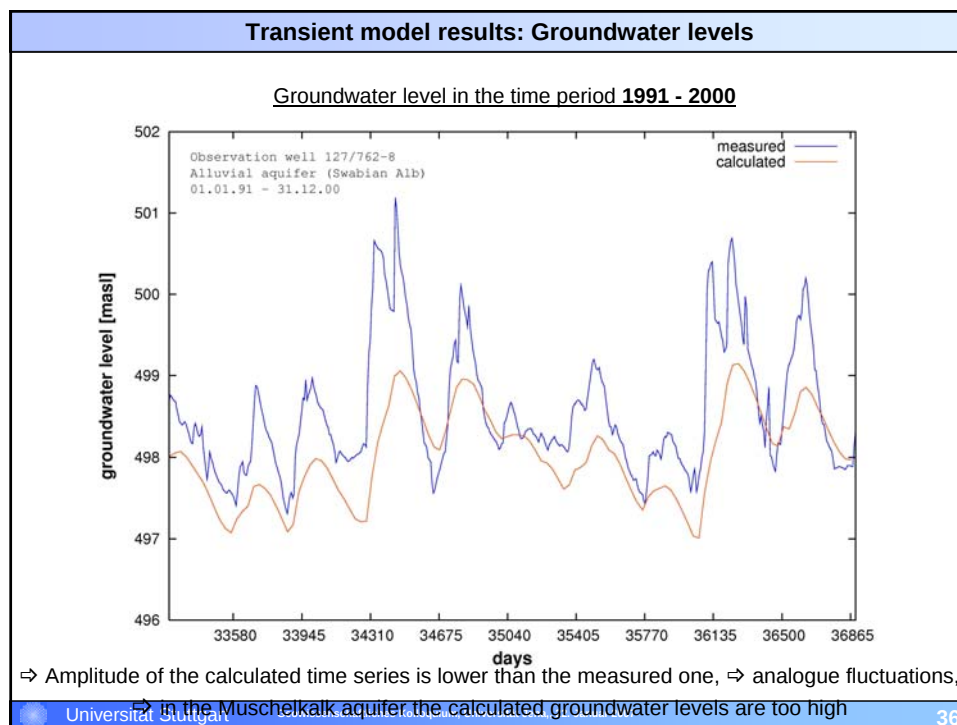
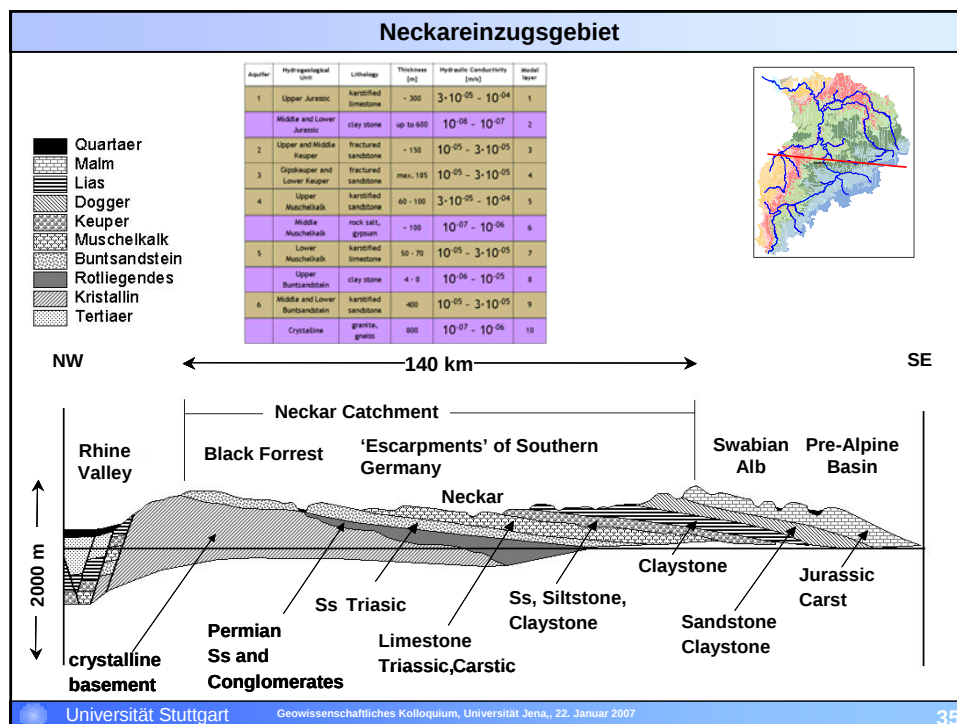
2. 'Konzeptionell':

- Sicherstellen, dass die Kopplung eine adäquate Repräsentation der natürlichen Prozesse darstellt

3. Güte der zu koppelnden Modelle selbst?

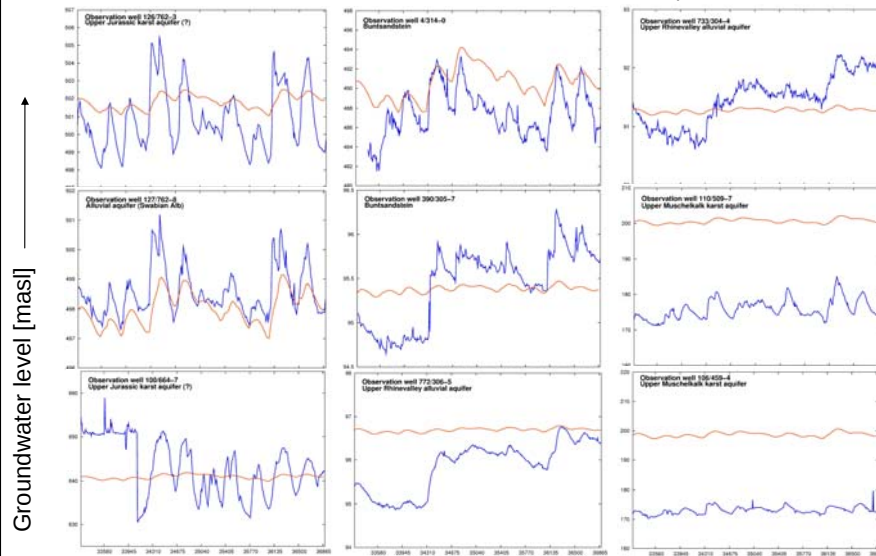
Modellgüte, Grundwasserströmungsmodell: Donaeinzugsgebiet





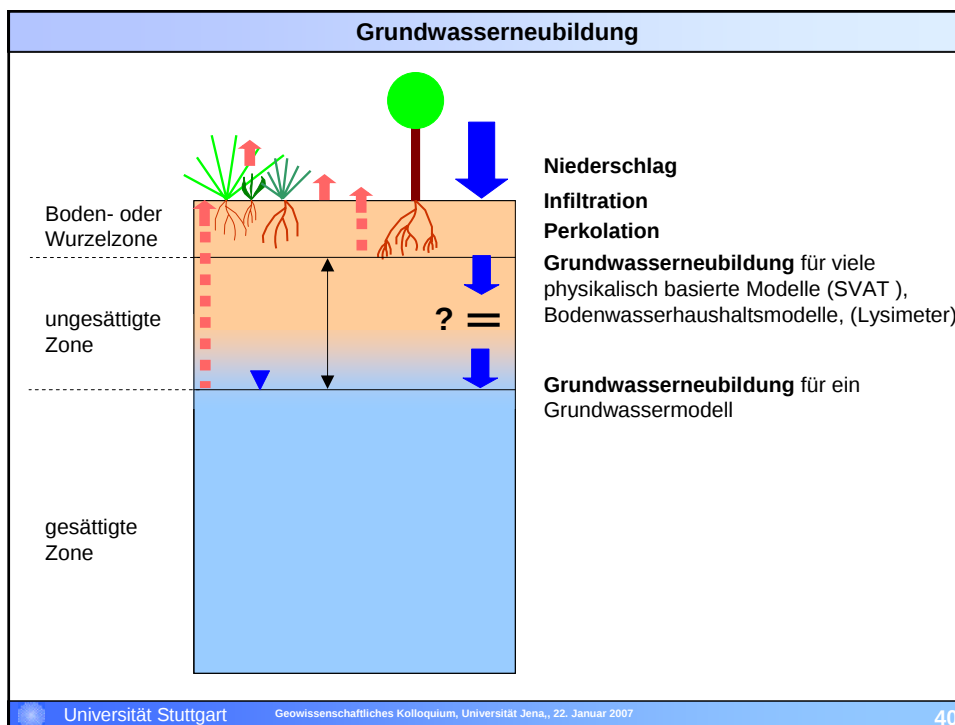
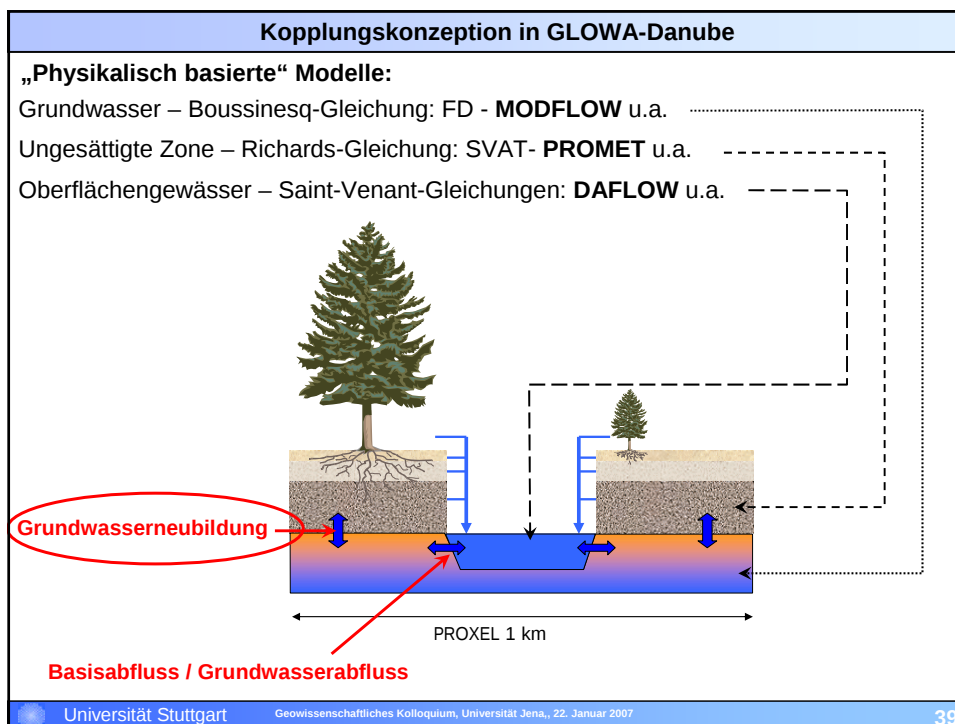
Transient model: Groundwater levels

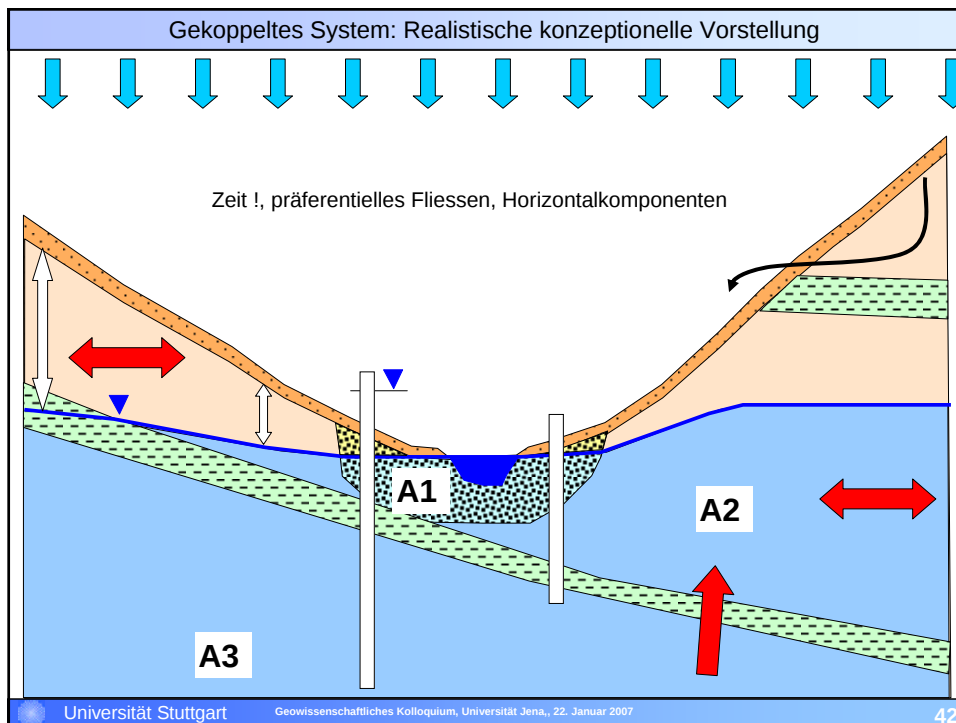
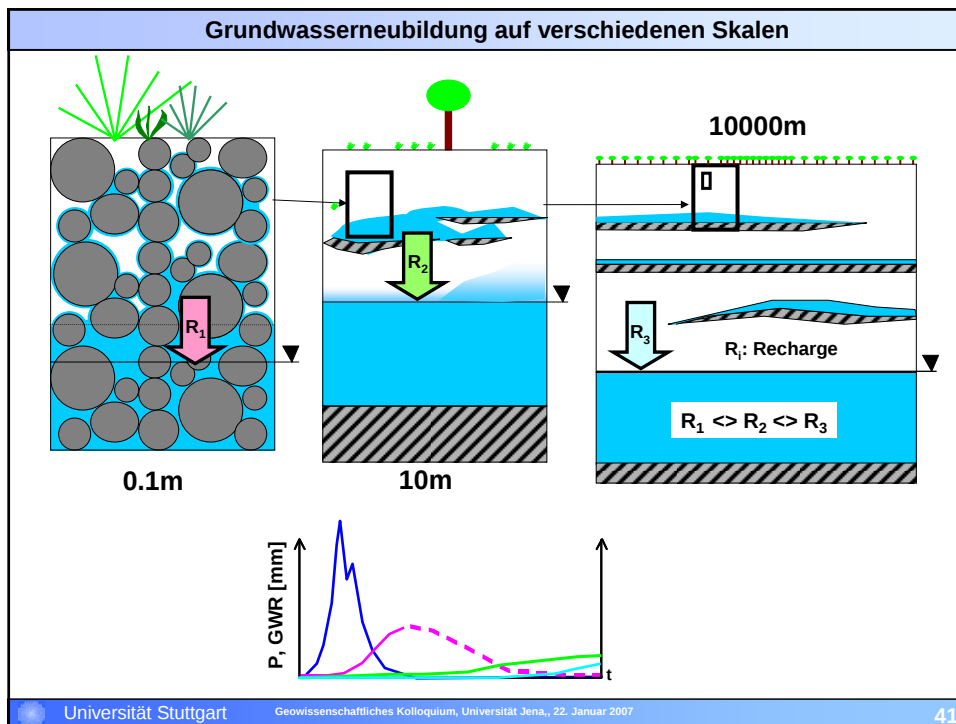
Groundwater levels at selected observation wells in the time period 1991 - 2000



Konzeptionelle Grenzen der Integration

Kopplung von Grundwassermodellen mit
konzeptionellen und physikalisch basierten
„hydrologischen“ Modellen





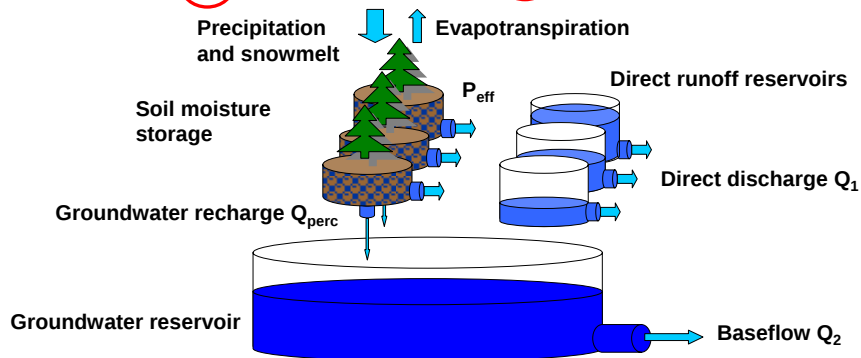
Distributed HBV model

$$P_{eff} = \left(\frac{SM}{FC} \right)^{\beta} \cdot P$$

$$Q_{perc} = k_{perc} SM \cdot \left(\frac{SM}{FC} \right)^2$$

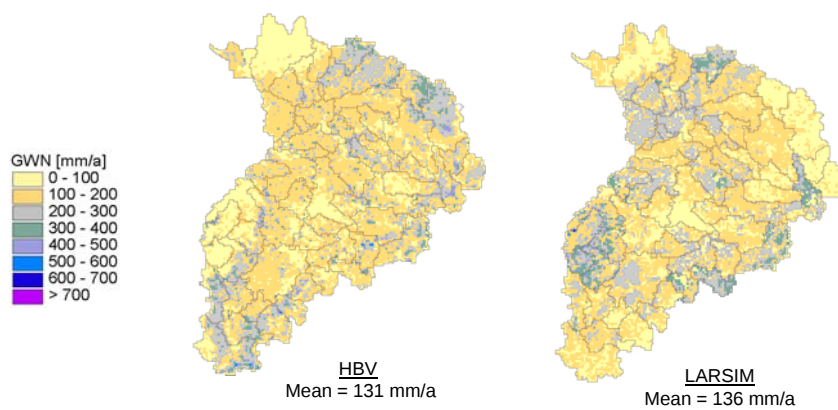
$$Q_1 = k_1 \cdot S_1^{1+\alpha}$$

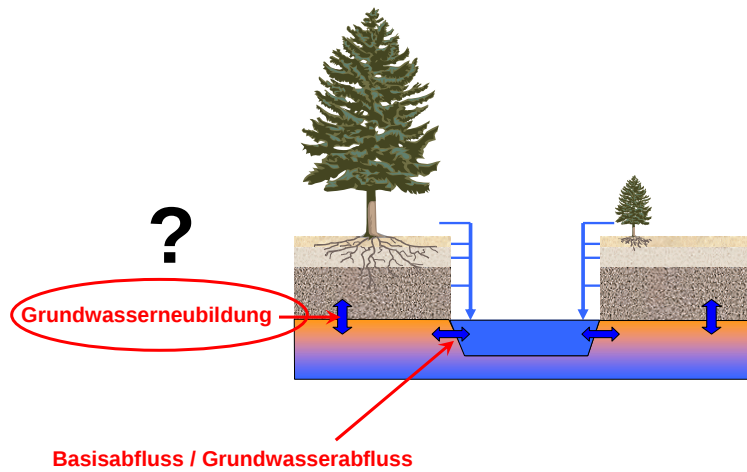
$$Q_2 = k_2 \cdot S_2$$



From Göttinger & Bardossy

GROUNDWATER RECHARGE Long term average (1991 – 2001)





Integration naturwissenschaftliche – sozio-ökonomische Modelle

Kopplung Grundwassermodell –
Wasserversorgungsmodell

- Was tun eigentlich sozioökonomische Modelle?
- Was benötigen sie dazu für Informationen von naturwissenschaftlichen Modellen?
- Wie muss also die Integration aussehen?

Was tun sozioökonomische Modelle? **Multi-Akteurs-Modelle in GLOWA-Danube**

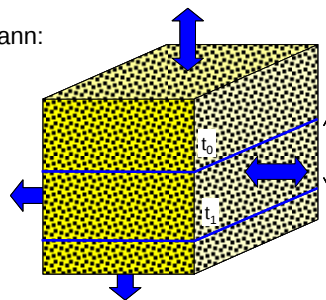
- **Beispiel 1:** Simulation des zukünftigen **Wasserbedarfs** von Haushalten unter Einbeziehung:
 - der demographischen Entwicklung
 - von sozialen, politischen, gesellschaftlichen Tendenzen
 - der ökonomischen Bedingungen
 - der naturräumlichen Veränderungen: **Wasserverfügbarkeit, Wasserqualität, Klima ...**
- **Beispiel 2:** Agrarökonomisches Modell zur Simulation **Landnutzungsänderungen** und landwirtschaftlichem **Wasserbedarfs** unter Einbeziehung von
 - ökonomischen-politischen Bedingungen (Markt, Subventionen)
 - naturräumlichen Veränderungen: **Klima, Bodenfeuchte, Wasserverfügbarkeit, Stickstoffangebot ...**

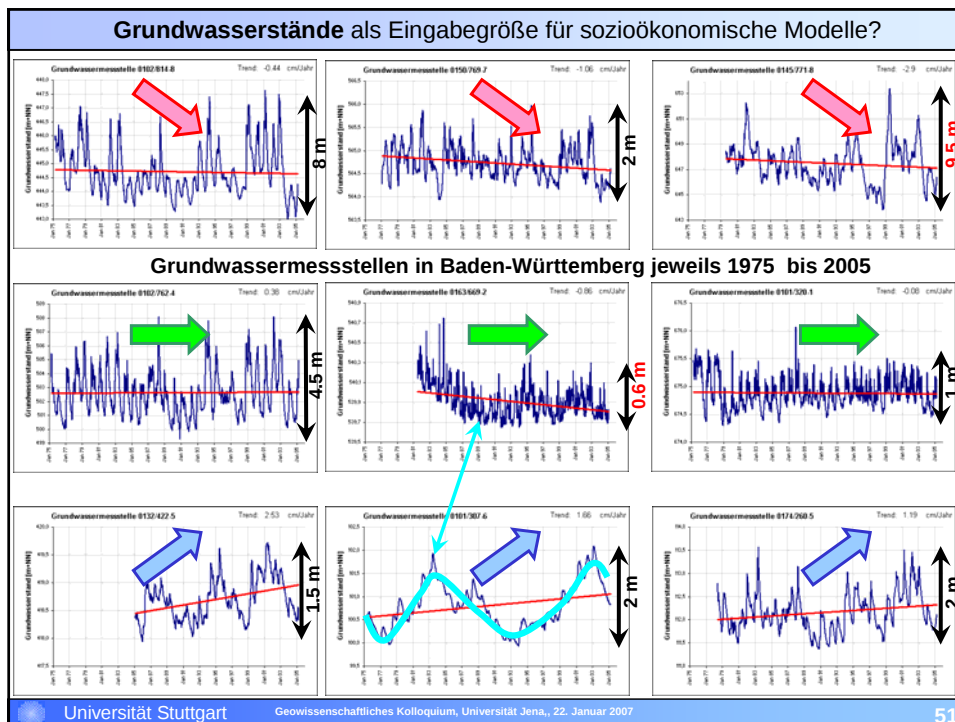
Beispiel: **Wasserverfügbarkeit** (Trink- und Brauchwasser aus Grundwasser);

- Wesentliche relevante Größen:
 - Grundwasserstände → Speicheränderungen
 - Grundwasserneubildung

Beispiel: **Wasserverfügbarkeit** (Trink- und Brauchwasser aus Grundwasser);

- Wesentliche relevante Größen:
 - Grundwasserstände → Speicheränderungen
 - Grundwasserneubildung
- Informationen, die ein **Grundwassermodell** liefern kann:
 - **Grundwasserstände**
 - Speicheränderungen
 - Flüsse (in/out)
- Im integrierten System zusätzlich:
 - Niederschlag, Temperatur
 - Grundwasserneubildung
 - Abfluss
 - Bodenfeuchte
 -





Das bedeutet:

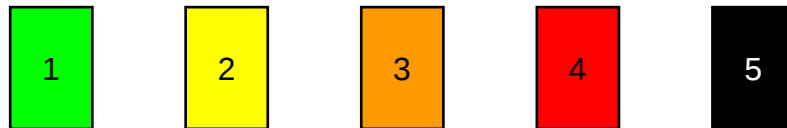
- Aktuelle und lokale Werte von Grundwasserstand und Grundwasserneubildung sind allein nicht aussagekräftig im Hinblick auf die zukünftige Wasserverfügbarkeit
- Eine Prognose der zukünftigen Entwicklung auf Basis von Trends in der Vergangenheit ist nicht ohne Einbeziehung **standortspezifischer Faktoren** möglich:
 - Aquifergeometrie
 - hydraulische Aquifereigenschaften
 - Eigenschaften des hydrogeologischen Systems

→ Expertenwissen ist erforderlich für die Interpretation!

Universität Stuttgart Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007 52

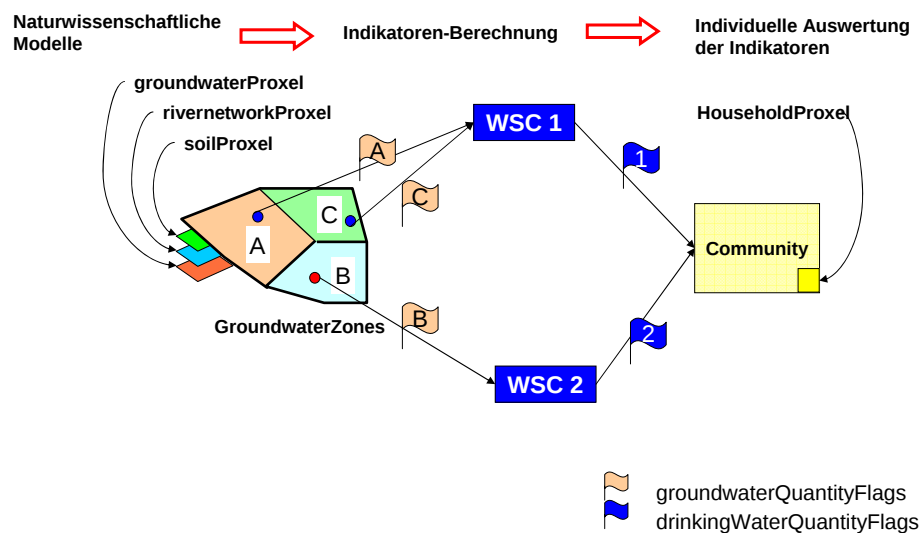
Übersetzung von naturwissenschaftlichen Größen in Indikatoren: „Flaggen“

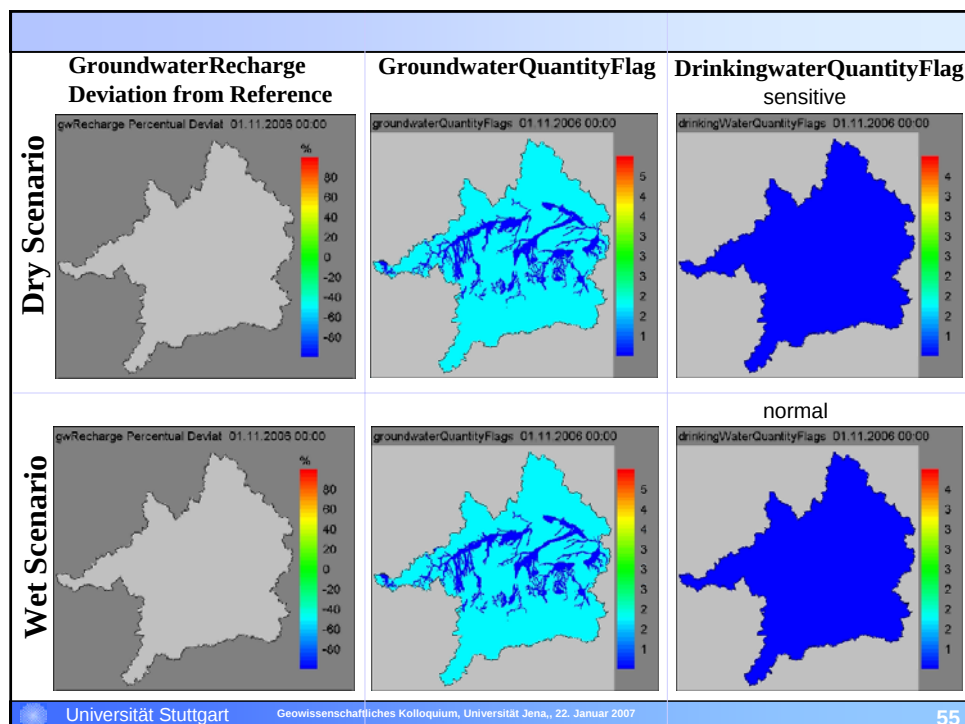
everything is fine → critical situation → catastrophic situation



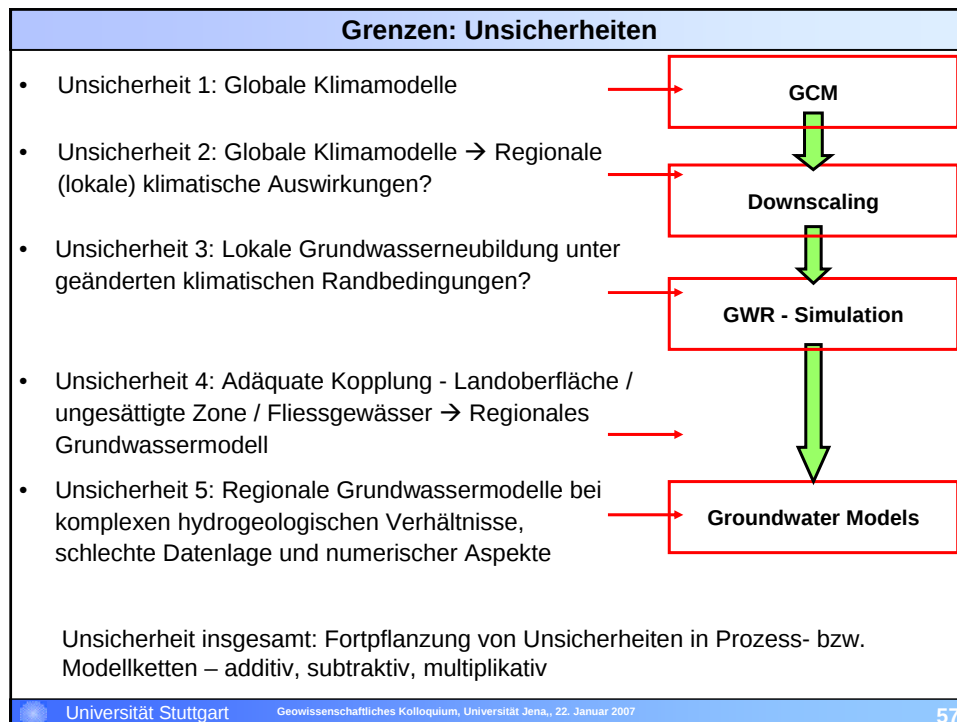
Vor-interpretierte Ergebnisse statt disziplinär bekannte naturwissenschaftliche Größen

Kopplungsschema





Zusammenfassung
Untersuchung und Bewertung möglicher Folgen des Klimawandels für das Grundwasser im Süden Deutschlands - Möglichkeiten und Grenzen integrierter Modelle
Universität Stuttgart Geowissenschaftliches Kolloquium, Universität Jena, 22. Januar 2007 56



Bewertung der Unsicherheiten
Unsicherheit 1 und 2 - Globale Klimamodelle und Regionale (lokale) klimatische Auswirkungen: liefern (begrenzte) Bandbreite an Eingabe für regionale integrierte Modelle „Szenarien“ Unsicherheit 3 - Grundwasserneubildung unter geänderten klimatischen Randbedingungen - Prozessverständnis?: Entwicklungsbedarf vorhanden! Unsicherheit 4 - Adäquate Kopplung - Landoberfläche / ungesättigte Zone / Fließgewässer → Regionales Grundwassermodell: Sehr viele offene Fragen, hoher Entwicklungsbedarf! Unsicherheit 5 - Regionale Grundwassermodelle: - sind im allgemeinen ausreichend gut, um Trends plausibel abzubilden - Verbesserungsmöglichkeiten beschränkt (Datenlage) - reine Strömungsmodelle nicht ausreichend, Hydrochemie, Isotope, natürliche Tracer zur Kalibrierung und Validierung erforderlich

Zusammenfassung: Grenzen

- Integrierte Modelle können die prinzipiell bestehenden Unsicherheiten, die sich aus unzureichenden Beschreibungen von Teilprozessen ergeben nicht aufheben
- Die sektoralen Modelle erweisen sich als
 1. Selbst noch zu stark fehlerbehaftet
 2. Eine sinnvolle Kopplung (Integration) ist noch nicht möglich



Zusammenfassung Möglichkeiten

- Integrierte Modelle bieten einen "ganzheitlichen" Blick auf den Wasserkreislauf
- Sie machen Defizite von sektoralen Modellen sichtbar
- Sie fördern das Verständnis von Prozessen, die im Randbereich der typischen sektoral-disziplinären Sichtweise angesiedelt sind (z.B. Tiefe Ungesättigte Zone)
- Integrierte Modellierung fördert den Dialog von Disziplinen und zwingt dazu sich intensiver mit den Nachbardisziplinen auseinander zusetzen
- Integrierte Modellierung zwingt dazu sektorale Modellergebnisse in „verständlicher“ Form zu erzeugen, insbesondere bei Kopplungen zwischen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Modellen





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

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

