

# Hydrologische Änderungen - Herausforderungen und Anpassungsstrategien

Prof. Dr.-Ing. Axel Bronstert

Universität Potsdam, Lehrstuhl f. Hydrologie und Klimatologie

& Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, AG Wasserforschung

[axelbron@uni-potsdam.de](mailto:axelbron@uni-potsdam.de)

## Hydrologische Änderungen – Herausforderungen und Anpassungsstrategien

### I Stand des Wissens

- Zusammenhänge zwischen Wasserkreislauf und Klima
- Nutzbarkeit von Klimaprojektionen für das Wassermanagement
- Relevante Skalen

### II Herausforderungen

- Wasserversorgung
- Hydrologische Extreme
- Vergleich mit anderen anthropogenen Einwirkungen

### III Anpassungsstrategien

### IV Schlussfolgerungen



# Hydrologische Änderungen – Herausforderungen und Anpassungsstrategien

## I Stand des Wissens

- Zusammenhänge zwischen Wasserkreislauf und Klima
- Nutzbarkeit von Klimaprojektionen für das Wassermanagement
- Relevante Skalen

## II Herausforderungen

- Wasserversorgung
- Hydrologische Extreme
- Vergleich mit anderen anthropogenen Einwirkungen

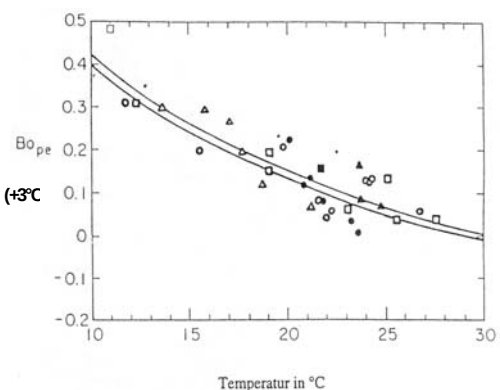
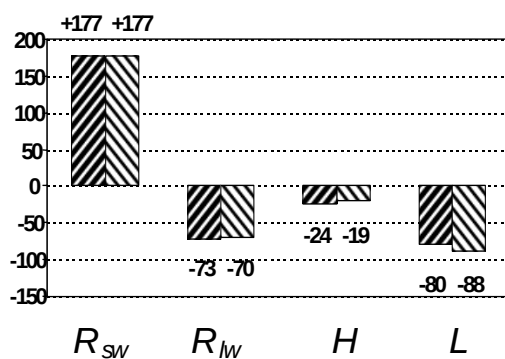
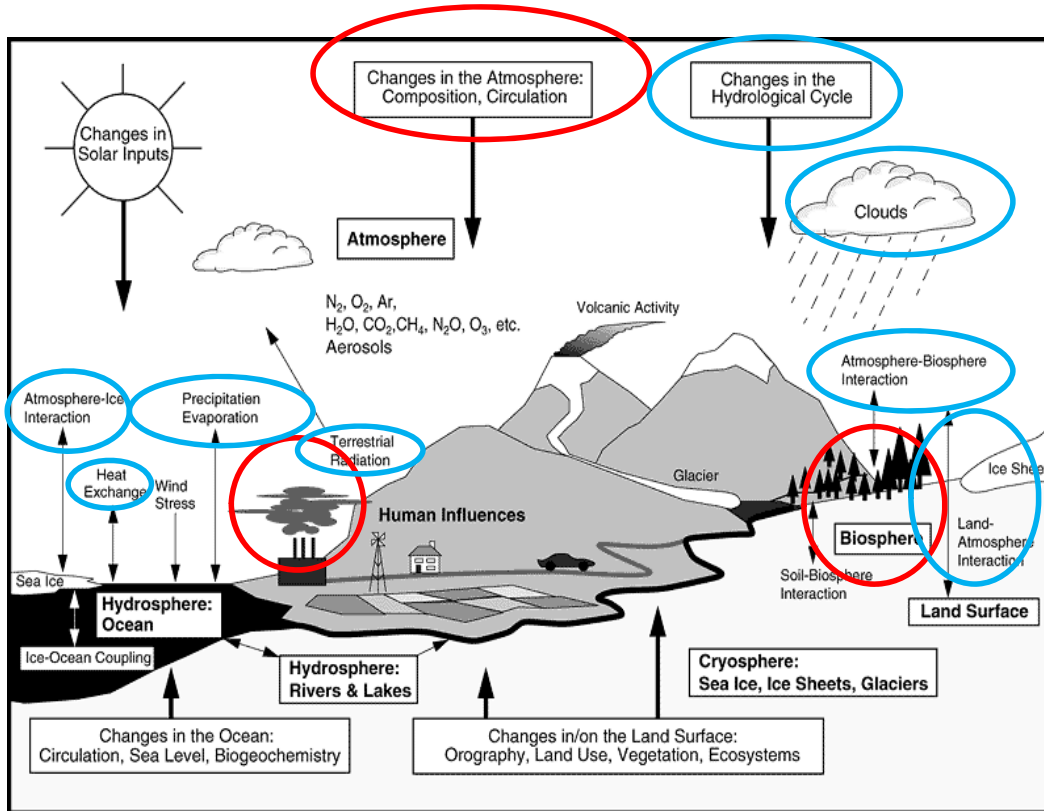
## III Anpassungsstrategien

## IV Schlussfolgerungen



## I Stand des Wissens

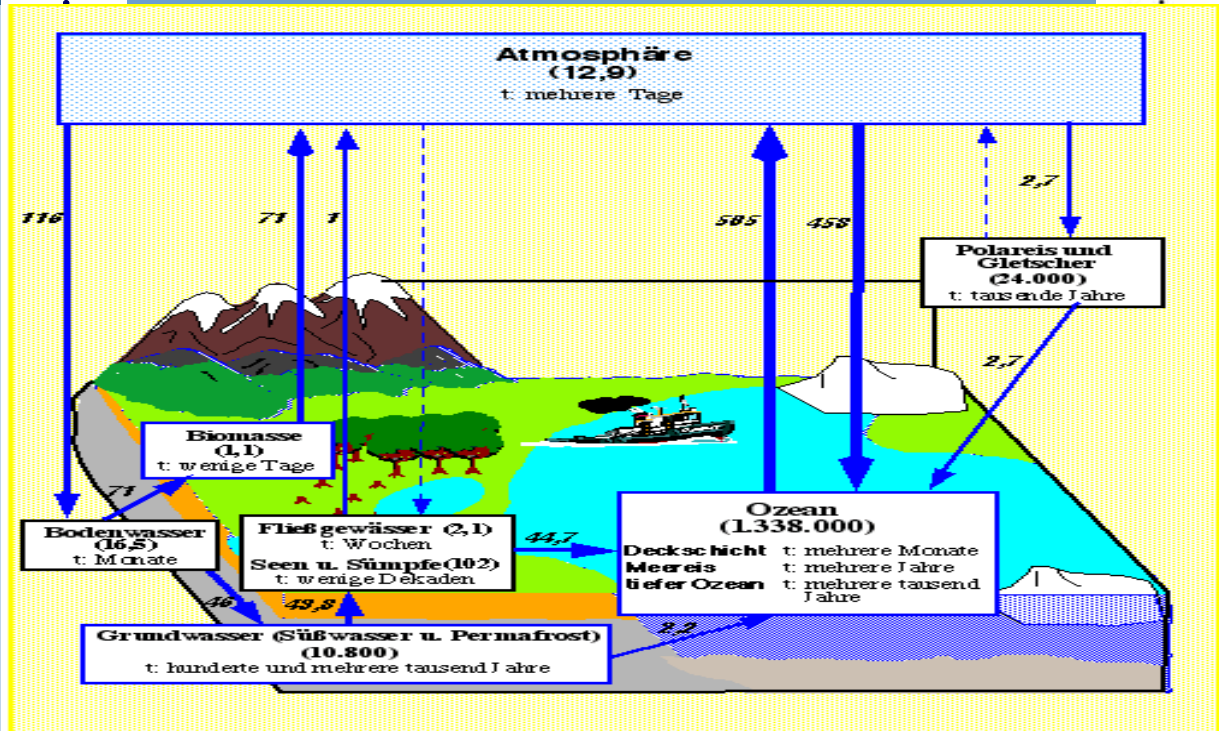




- Änderung der Nettostrahlung an der Erdoberfläche:  $R_n$  73 W/m<sup>2</sup> → 70 W/m<sup>2</sup>
- Änderung der Temperatur in der unteren Atmosphäre: Erhöhung um ~ 2 - 3 °C
- Änderung des Bowen-Verhältnisses (sensible/latente Wärme): 0.30 → 0.22
- Änderung der Energiebilanz an der Erdoberfläche:
  - sensible Wärme H: 24 W/m<sup>2</sup> → 19 W/m<sup>2</sup>
  - latente Wärme L: 80 W/m<sup>2</sup> → 88 W/m<sup>2</sup>
- 10 % Erhöhung der Verdunstung
- 10 % Erhöhung des Niederschlags **1000 mm → 1100 mm**

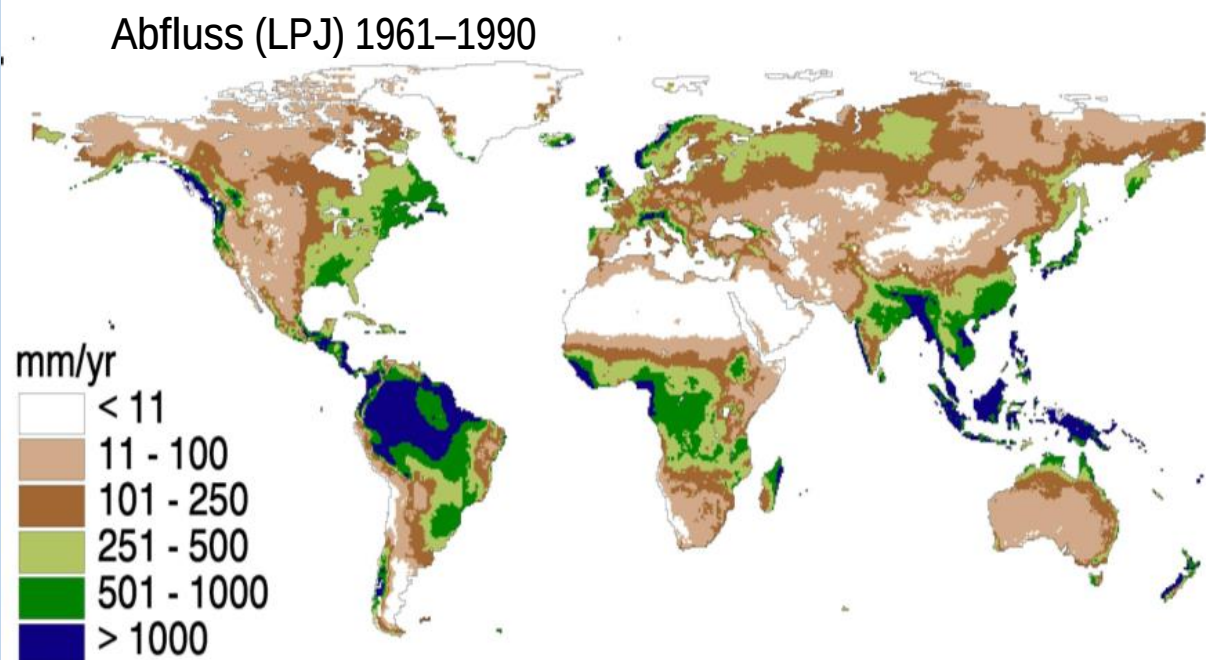


# Der globale Wasserkreislauf



Gespeicherte Mengen [1000 km³], Flussraten [1000 km³/a], Aufenthaltszeiten

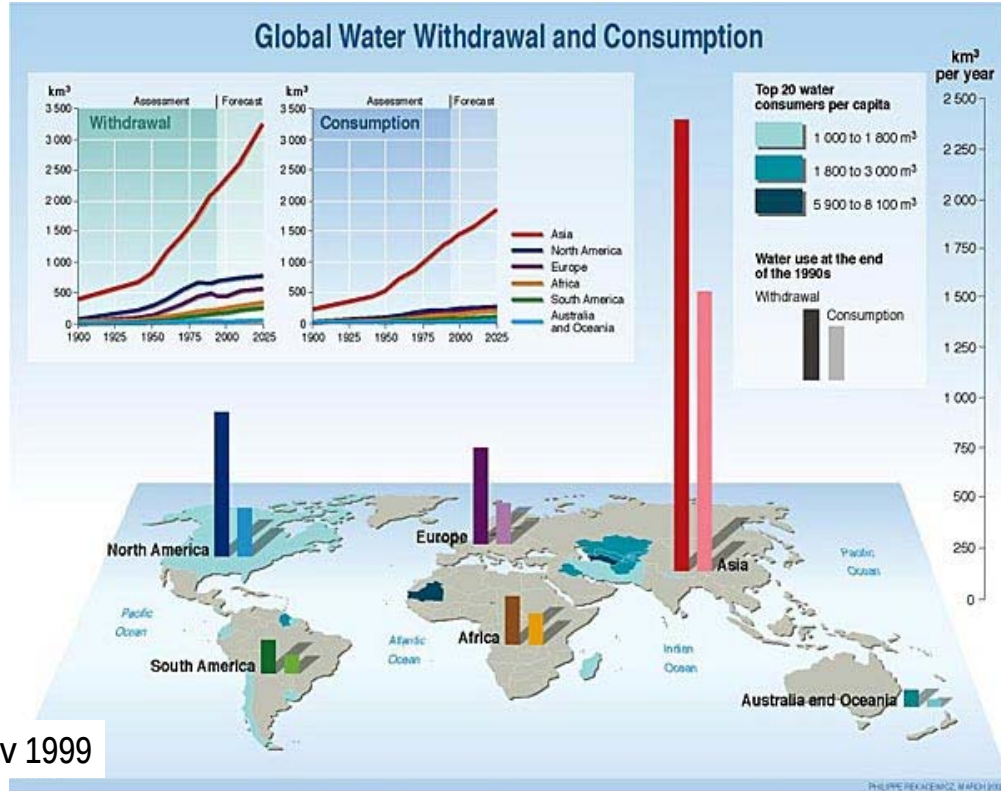
## ... räumliche Heterogenität ...



Globaler Abfluss (Simulationsergebnisse)

Shiklomanov 1999

9



## ... sektorale Heterogenität ...

Industrie: bis zu 6000 m³ a<sup>-1</sup> für 1 t Material

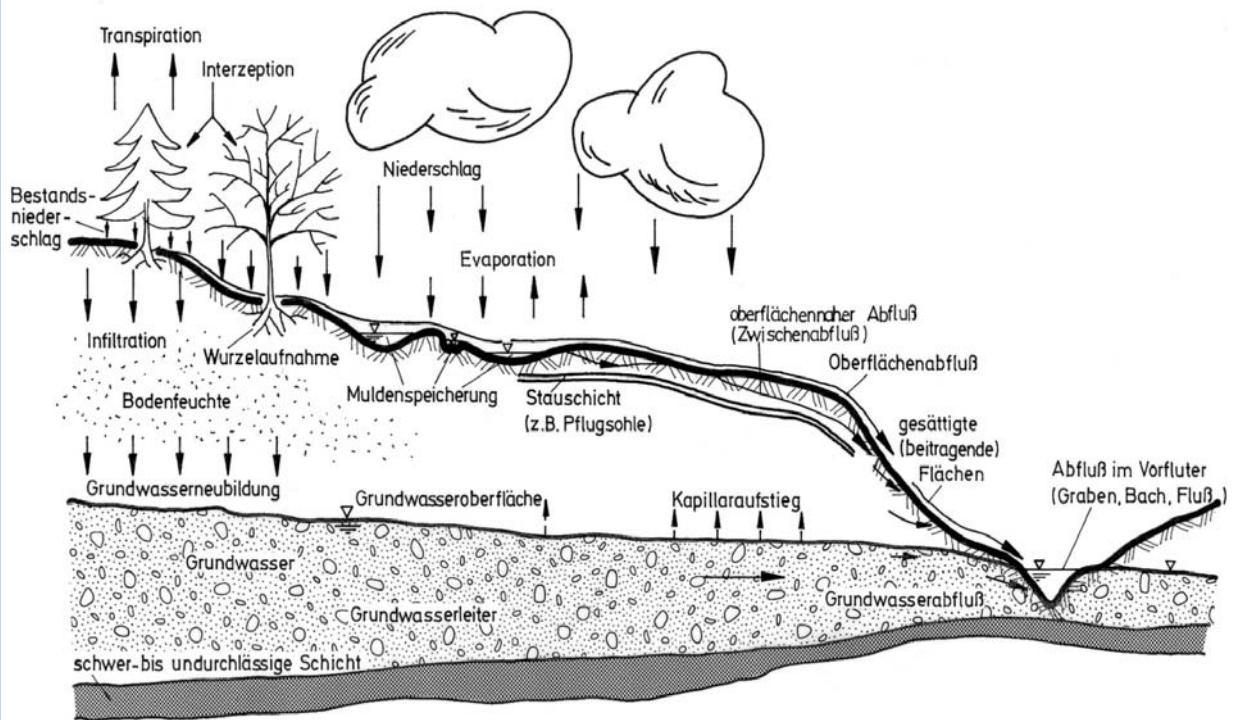


<100–1000 l d<sup>-1</sup> (Trinkwasser 2–3 l)



WRI 2000





Bronstert (1993)

➔ *Scales matter !*

## Komplexe Hochwasserregime an großen Flüssen: Fallbeispiel Rhein

### The Rhine Catchment:

**Area:** ca. 180,000 km<sup>2</sup>

**Location:** Switzerland, Austria, France, Luxembourg, Germany, Netherlands

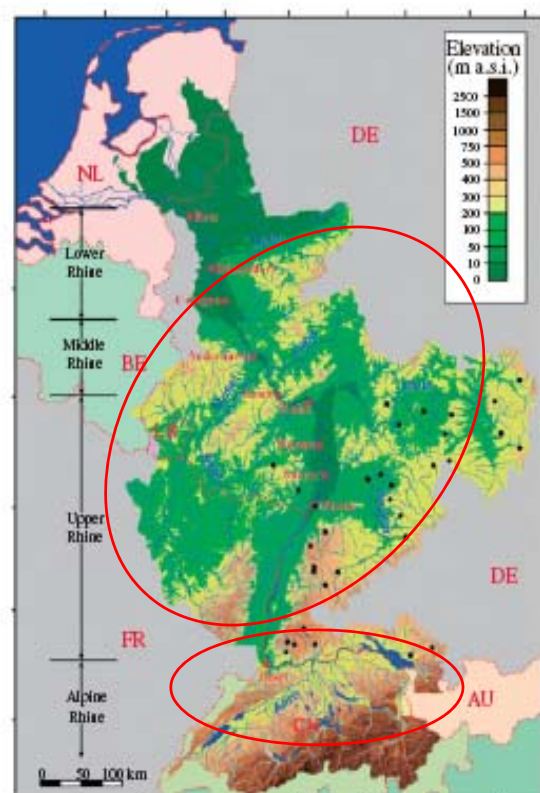
### Hydrological Characteristics:

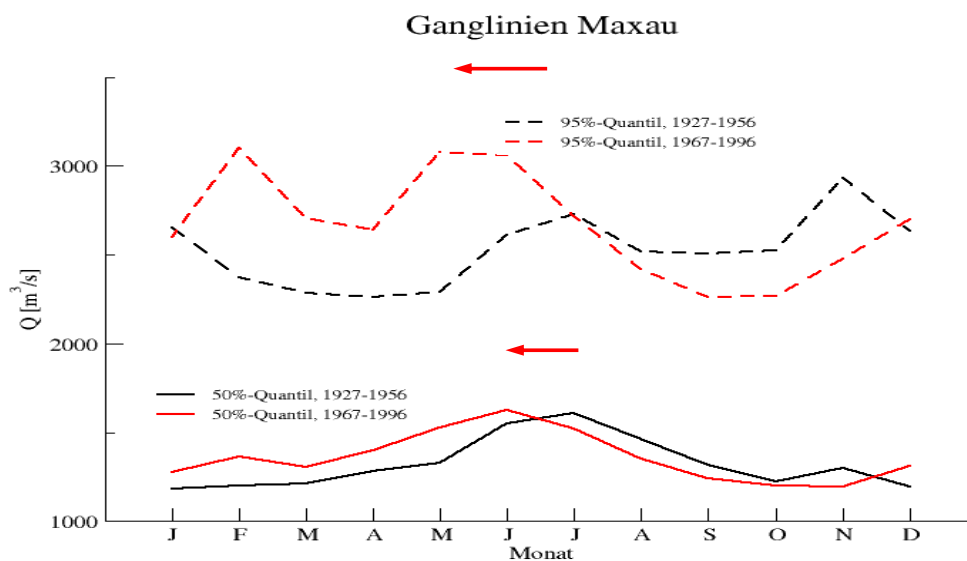
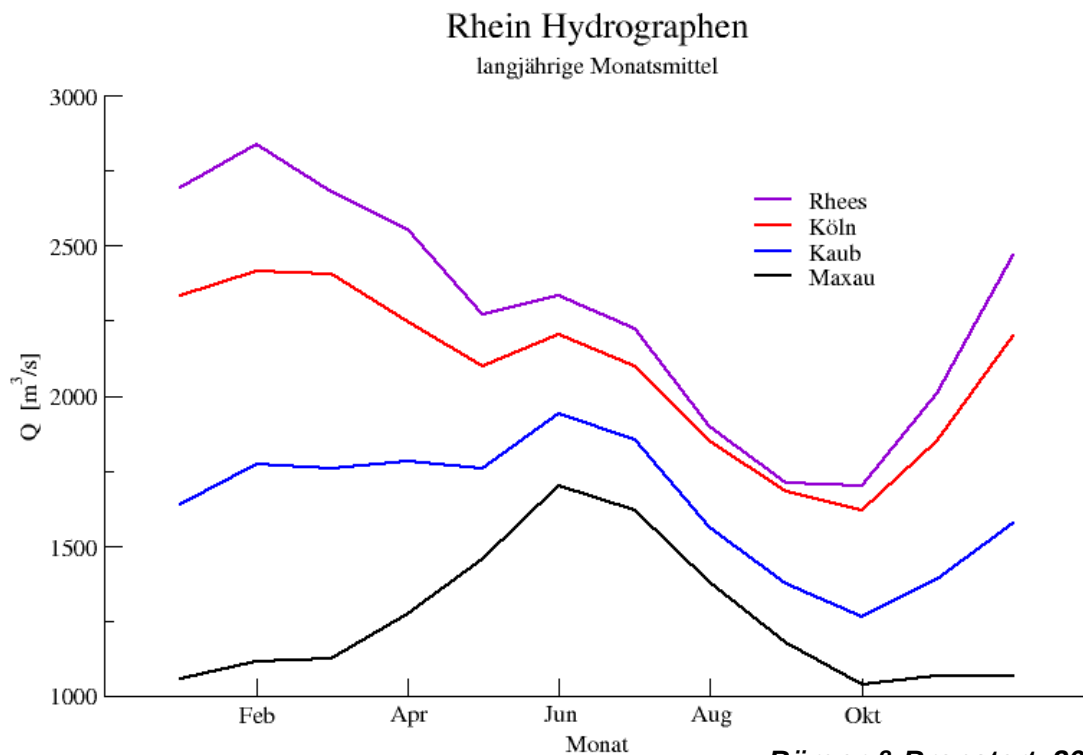
**Alpine Rhine:** mainly nival + glacial regime

⇒ **Floods in late spring / early summer**

**middle + lower Rhine:** mainly pluvial regime

⇒ **Floods in winter and spring**



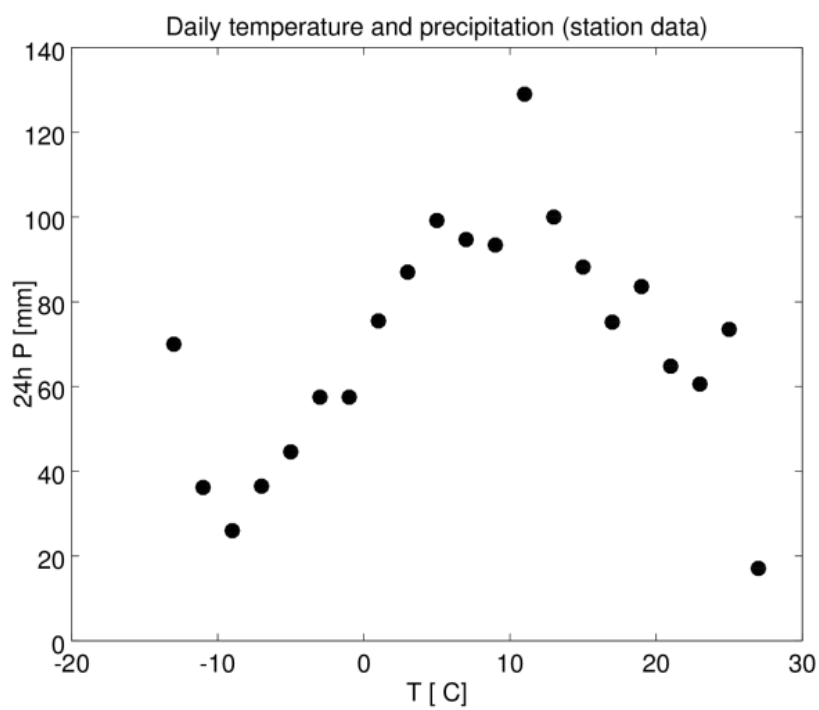


**Änderung des Abflussregimes am Pegel Maxau 1927-1996**

Bürger & Bronstert, 2004



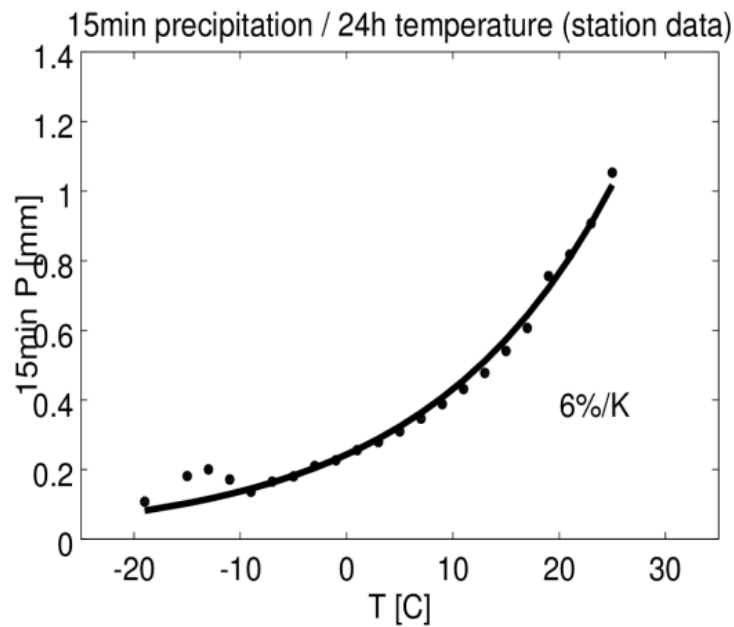
*Gewitterwolke über Bayern, 29. Mai 2016*



**daily**

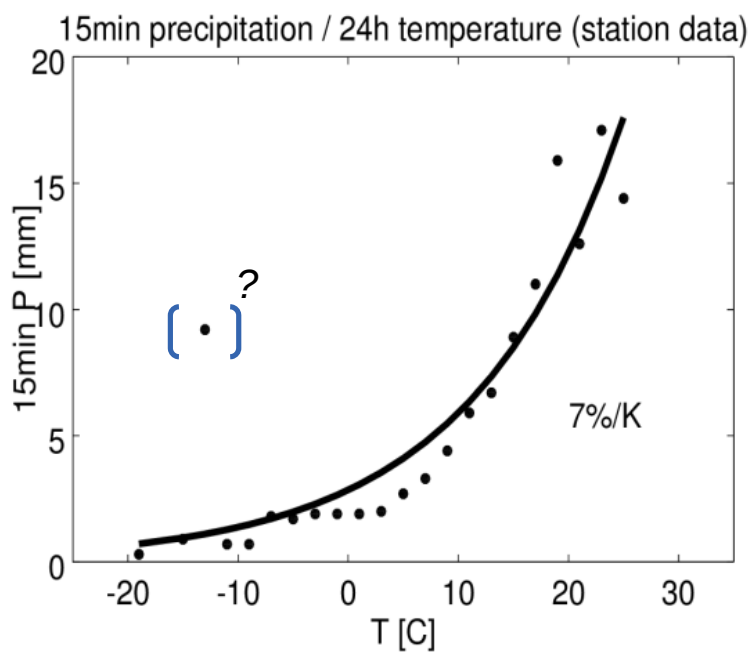


# 15min precipitation, means based on 1412900 wet events (Brixenbachtal, Längental, Ruggbachtal)



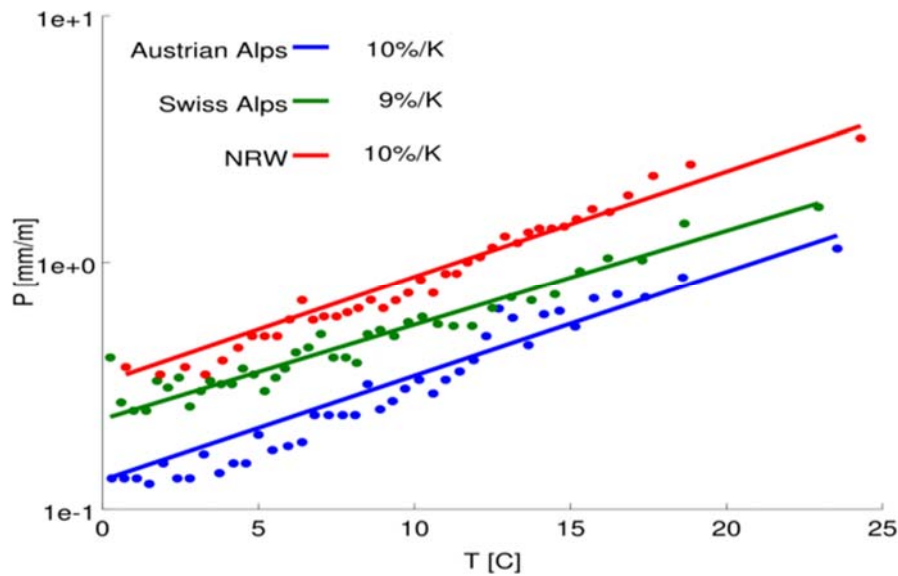
15min

# 15min precipitation, 99.9% quantiles based on 1412900 wet events (Brixenbachtal, Längental, Ruggbachtal)



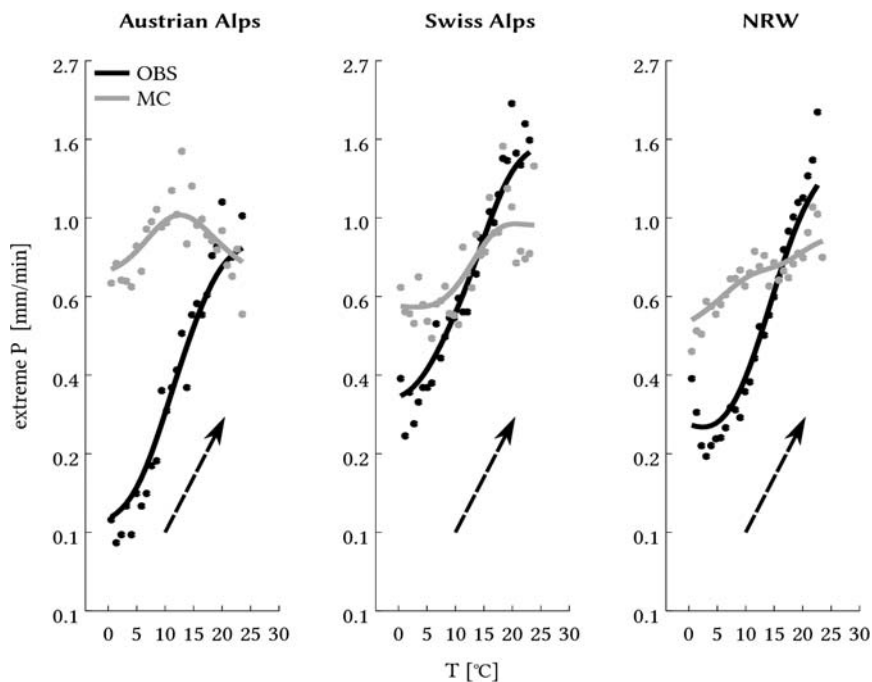
15min

# 15min precipitation, 99.9% quantiles Austrian Alps, Swiss Alps, North-Rhine-Westphalia



Bürger et al., 2014

## Increasing extreme rainfall intensities through climate change



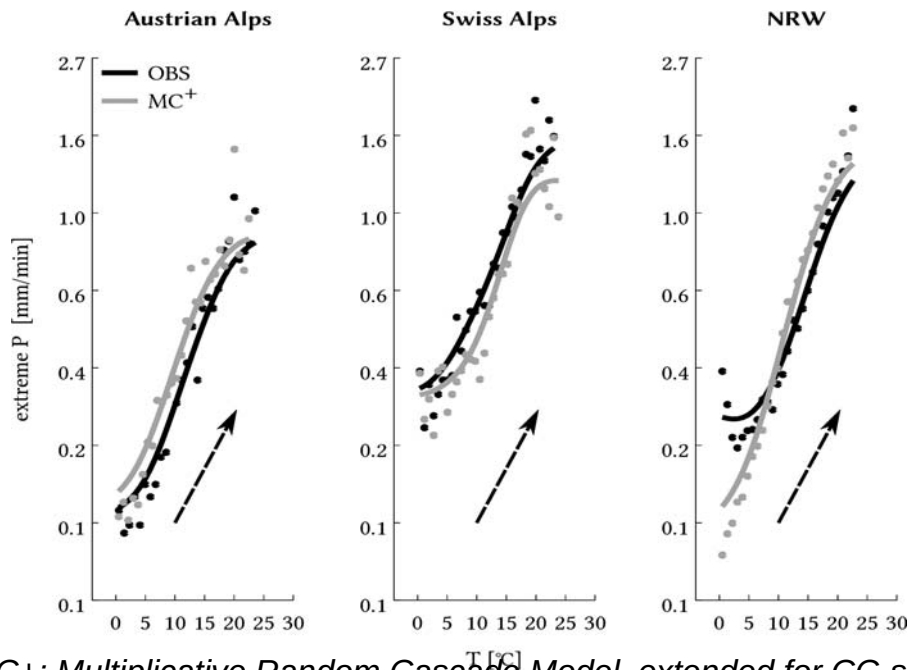
MC: Multiplicative Random Cascade Model, standard

Bürger et al., 2014



# Increasing extreme rainfall intensities through climate change

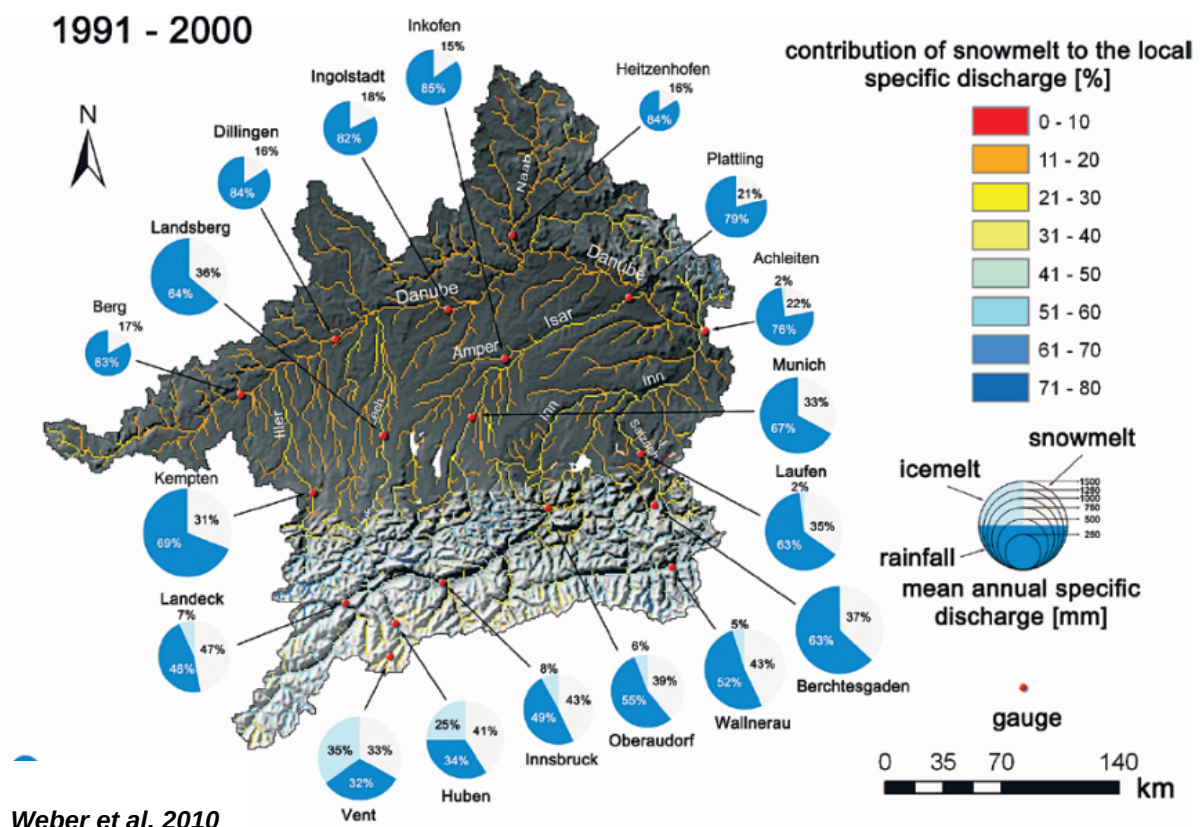
➔ Towards sub-daily rainfall disaggregation via Clausius-Clapeyron



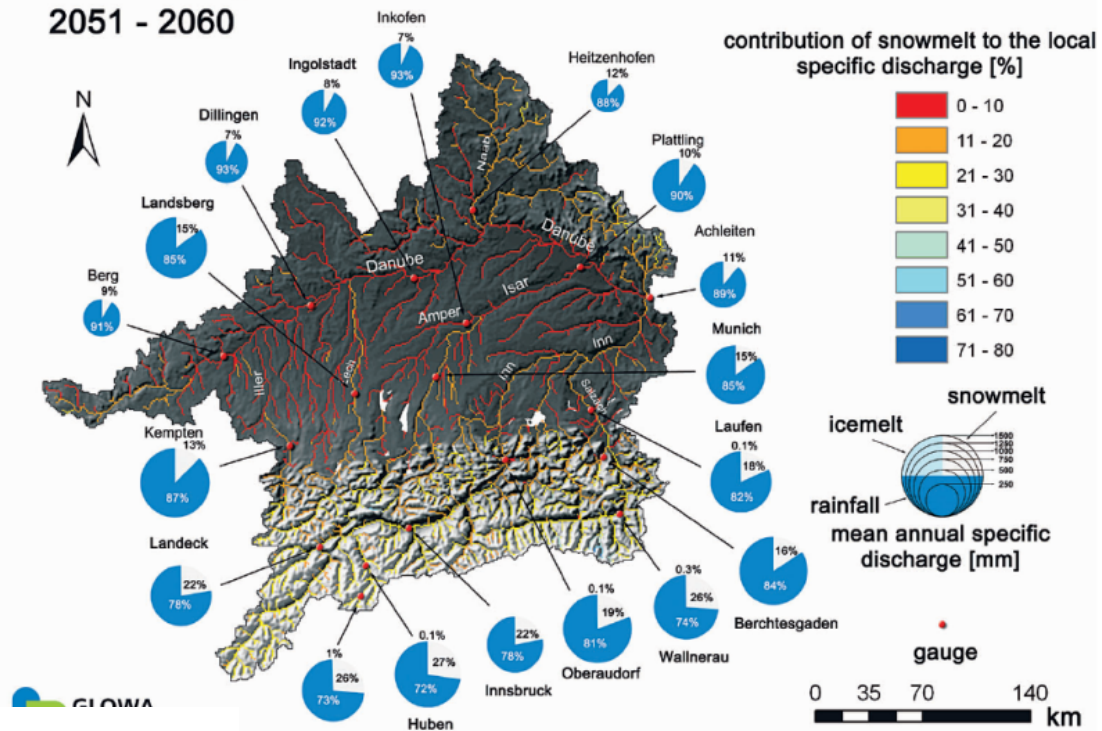
MC+: Multiplicative Random Cascade Model, extended for CC-scaling

Bürger et al., 2014

# Eis und Schnee im Hochgebirge ...



## Scenario REMO regional baseline 2051 - 2060



Weber et al, 2010

### II Herausforderungen





## Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

### I Stand des Wissens

- Zusammenhänge zwischen Wasserkreislauf und Klima
- Nutzbarkeit von Klimaprojektionen für das Wassermanagement
- Relevante Skalen

### II Herausforderungen

- Wasserversorgung;
  - Trinkwasser
  - Landwirtschaft
  - Tourismus
- Hydrologische Extreme:
  - Hochwasser. Sturzfluten; Änderungen Hydrologischer (Hochwasser)Regime
  - Niedrigwasser Wassermangel: Temperaturregime; Schifffahrt
- Vergleich mit anderen anthropogenen Einwirkungen
  - Landnutzungsänderungen; Wassermanagement/-infrastruktur; Wasserbedarfsentwicklung

### III Anpassungsstrategien

- Hochwasser; Niedrigwasser; Tourismus; Landwirtschaft (Zeitskala der Anpassung!)

### IV Schlussfolgerungen

## Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

### II Herausforderungen

#### ➤ Wasserversorgung:

- Trinkwasser
- Landwirtschaft
- Tourismus
- Hydrologische Extreme:
  - Hochwasser. Sturzfluten; Änderungen Hydrologischer (Hochwasser)Regime
  - Niedrigwasser Wassermangel: Temperaturregime; Schifffahrt
- Vergleich mit anderen anthropogenen Einwirkungen
  - Landnutzungsänderungen; Wassermanagement/-infrastruktur; Wasserbedarfsentwicklung



Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

Herausforderungen bzgl. Wasserversorgung

# 1. Trinkwasser ?



Quelle für Trinkwasser in Ost-Kongo

Foto: W. Kinzelbach





*Der gleiche Ort nach Fassung der Quelle:*

- *Materialkosten 150 €*

*Typische Probleme:*

- *Große Distanz zu sauberen Brunnen,*
- *Nähe Latrine ↔ Brunnen,*
- *Zusammenbruch der techn. und admin. Infrastruktur,*
- *höhere Preise für das Trinkwasser für die Armen als für uns.*

➤ *Trinkwasserprobleme sind praktisch nicht mit KÄ verbunden*

Foto: W. Kinzelbach



**LAWA Festkolloquium**

**"Klimawandel – Folgen und Anpassungsstrategien der Wasserwirtschaft"**

Langenargen, 30. Mai 2016



Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

Herausforderungen bzgl. Wasserversorgung

## 2. Landwirtschaft ?



Foto: swissduc.ch



**Weizenanbau mit Bewässerung, Punjab, Indien**

*In manchen semi-ariden Regionen nehmen die hydroklimatisch verfügbaren Wasserressourcen ab  
Dort werden die W-Ressourcen heute oft schon übernutzt*

31

- **Die landw. Produktion ist dort durch die W-Verfügbarkeit limitiert**



**Bewässertes Erdbeerfeld in Deutschland**

*In Deutschland verlängert sich die Wachstumsperiode*

*Dies ist prinzipiell positiv für die Landwirtschaft*

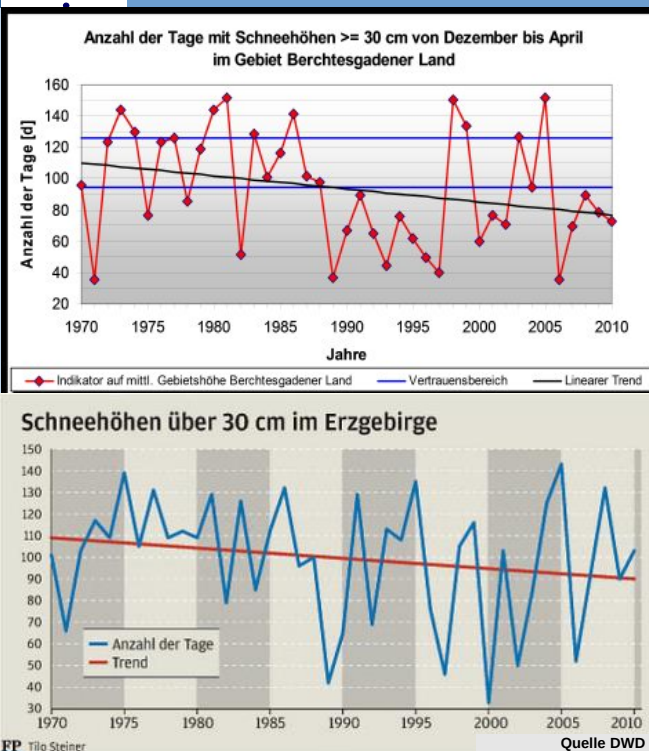
32

- **Die landwirtschaftliche Produktion ist aber auch bei uns in manchen Regionen durch die W-Verfügbarkeit begrenzt**

## Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

### Herausforderungen bzgl. Wasserversorgung

# 3. Tourismus?



*In Deutschland verringert sich  
die Ausdehnung und Dauer  
einer «skiträchtigen»  
Schneedecke*

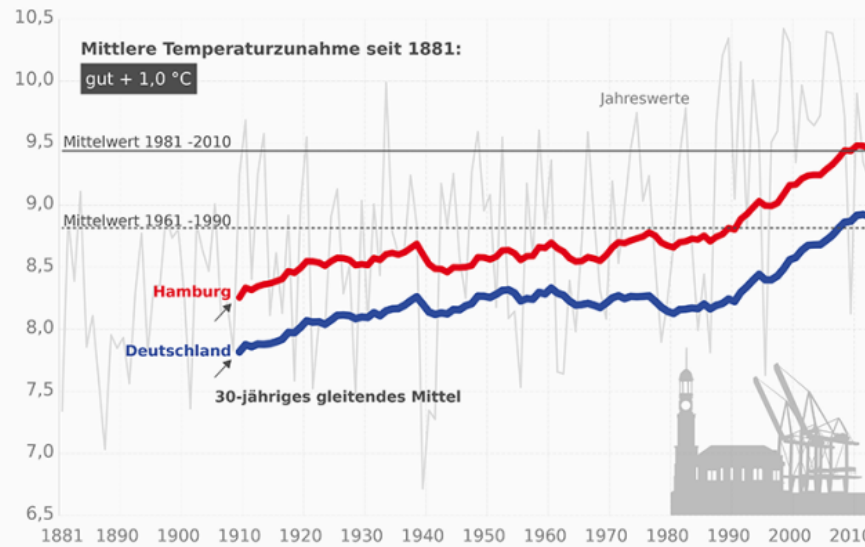
*Dies ist prinzipiell negativ für  
den momentanen  
Wintertourismus*

➤ **Für den Skitourismus wird es schwieriger ...**



## Es wird wärmer in Hamburg

Mittlere Jahrestemperatur seit 1881 in °C



Quelle DWD

Quelle DWD

Deutscher Wetterdienst

In Deutschland  
wird es  
wärmer...

Dies ist  
prinzipiell  
positiv für den  
Sommer-  
tourismus

➤ Für den Sommertourismus wird es (zum Teil) günstiger ...

35

## Hydrologische Änderungen – Herausforderungen und Anpassungsstrategien

### Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

#### II Herausforderungen

##### ➤ Wasserversorgung:

- Trinkwasser
- Landwirtschaft
- Tourismus

##### ➤ Hydrologische Extreme

- Hochwasser. Sturzfluten; Änderungen Hydrologischer (Hochwasser)Regime
- Niedrigwasser Wassermangel: Temperaturregime; Schifffahrt

##### ➤ Vergleich mit anderen anthropogenen Einwirkungen

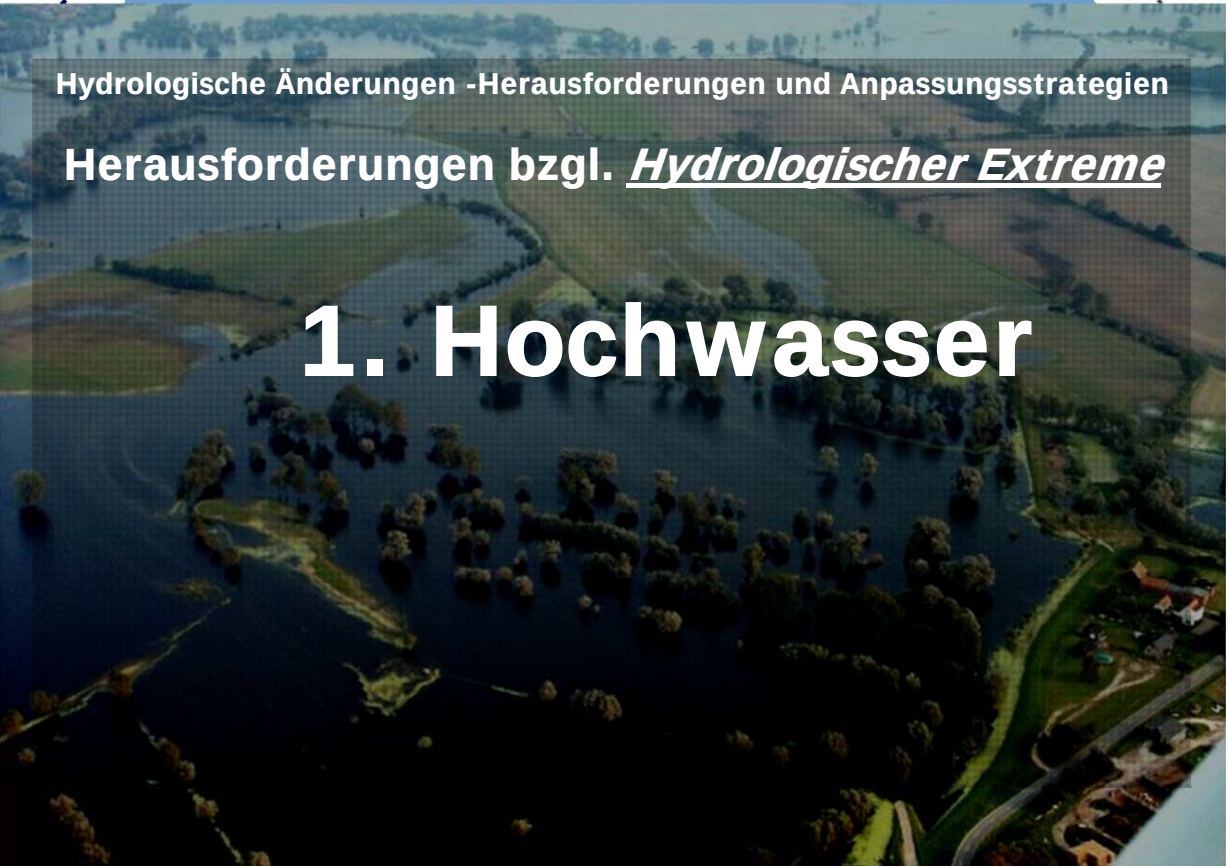
- Landnutzungsänderungen; Wassermanagement/-infrastruktur; Wasserbedarfsentwicklung

36

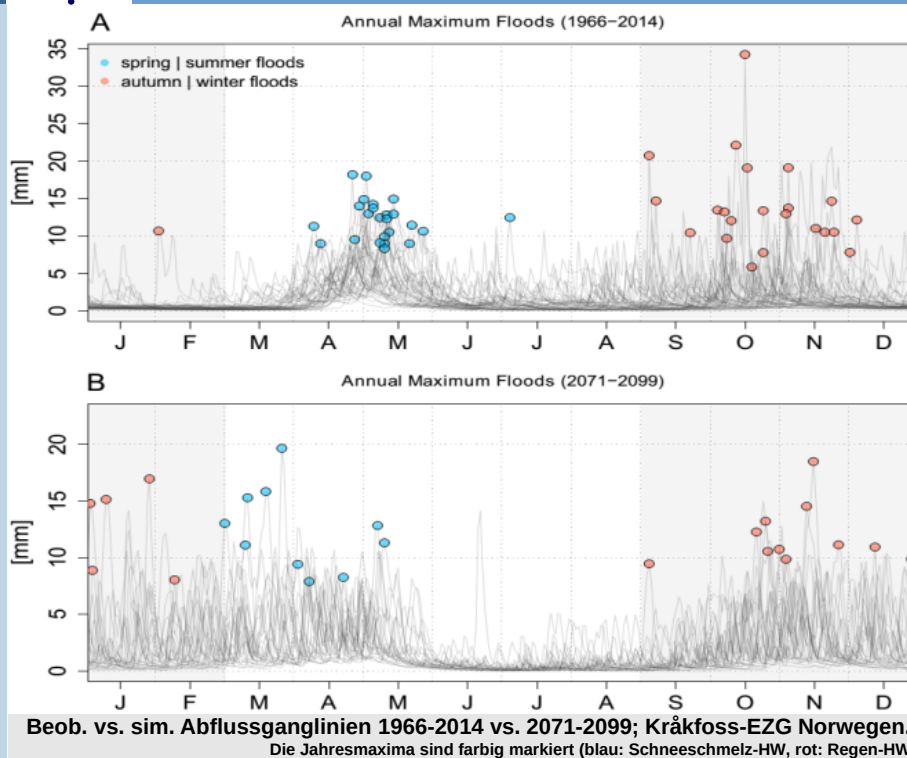
Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

Herausforderungen bzgl. Hydrologischer Extreme

# 1. Hochwasser



## Hochwasserregime



Hydrologische  
Abflussregime  
können sich  
ändern...

Das gilt auch für  
Hochwasser-  
Regime, insb.  
Änderungen bei  
Schneeschnelz-  
hochwassern

(Vormoor et al, 2016)

➤ In nival und pluvio-nival geprägten Flussgebieten können sich die Hochwassertypen und -häufigkeiten ändern ...



# „Flash floods“

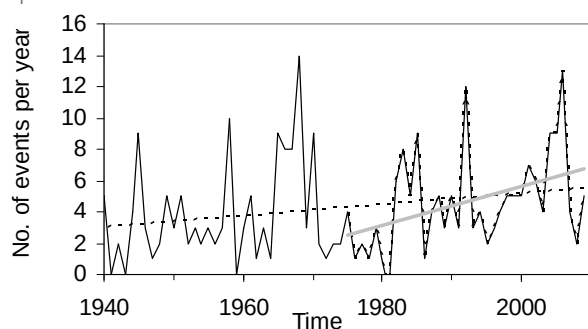
Auswirkungen von „flash floods“: 29. Mai 2016



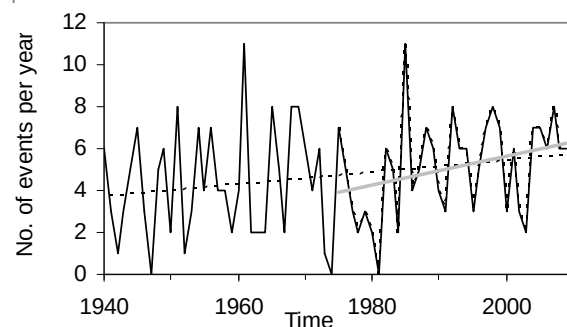
## Starkregen / flash floods

Starkregenentwicklung: **Station Soest**

**N-Dauer:** 1 min  
**N-Höhe:** 1-2 mm  
**N-Intensität:** 1-2 mm/min

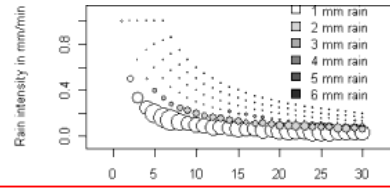


**N-Dauer:** 4 min  
**N-Höhe:** 2-3 mm  
**N-Intensität:** 0.5-0.7 mm/min

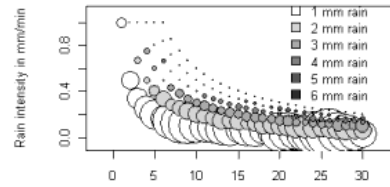


# Starkregen – Trends: Intensität – Dauer – Höhe

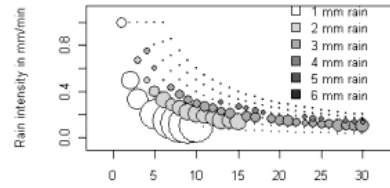
Positive Trends für  
1940er-2009



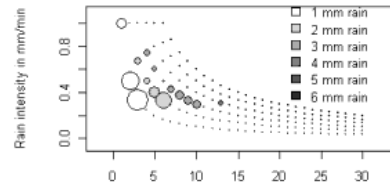
Positive Trends für  
1975-2009



Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant



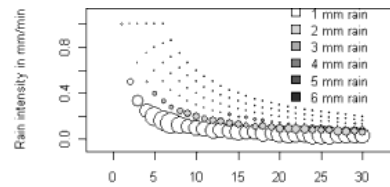
Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant  
Erosions-relevant



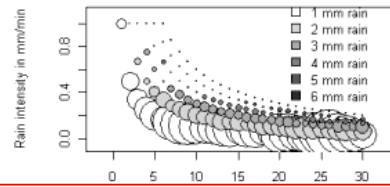
Müller & Pfister (2011) J Hydrology

# Starkregen – Trends: Intensität – Dauer – Höhe

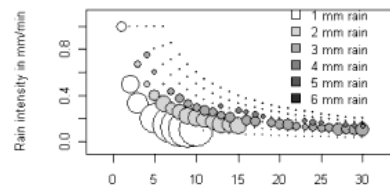
Positive Trends für  
1940er-2009



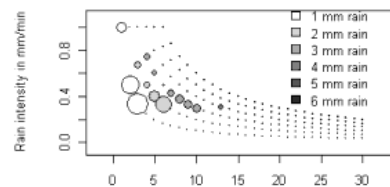
Positive Trends für  
1975-2009



Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant



Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant  
Erosions-relevant

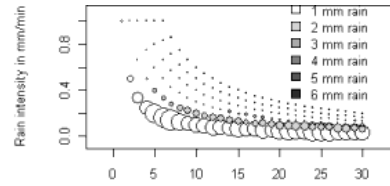


Müller & Pfister (2011) J Hydrology

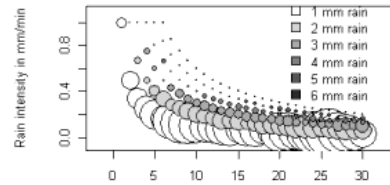


## Starkregen – Trends: Intensität – Dauer – Höhe

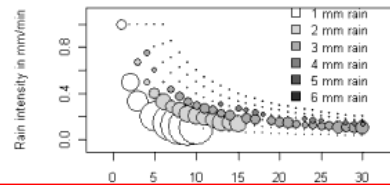
Positive Trends für  
1940er-2009



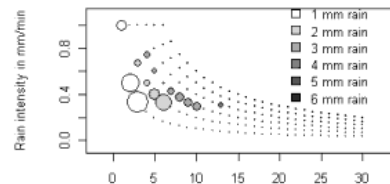
Positive Trends für  
1975-2009



Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant



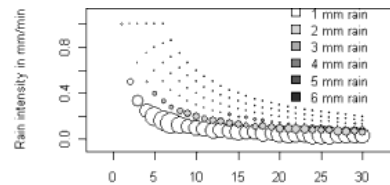
Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant  
Erosions-relevant



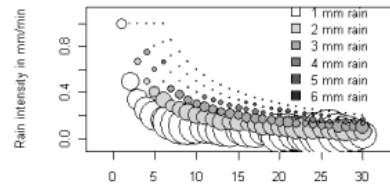
Müller & Pfister (2011) J Hydrology

## Starkregen – Trends: Intensität – Dauer – Höhe

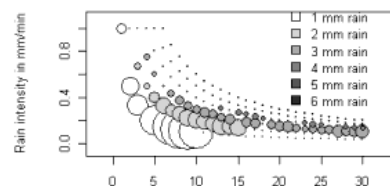
Positive Trends für  
1940er-2009



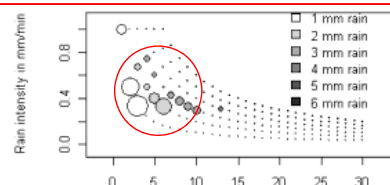
Positive Trends für  
1975-2009



Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant



Positive Trends für  
1975-2009  
Statistisch signifikant  
Erosions-relevant



Müller & Pfister (2011) J Hydrology

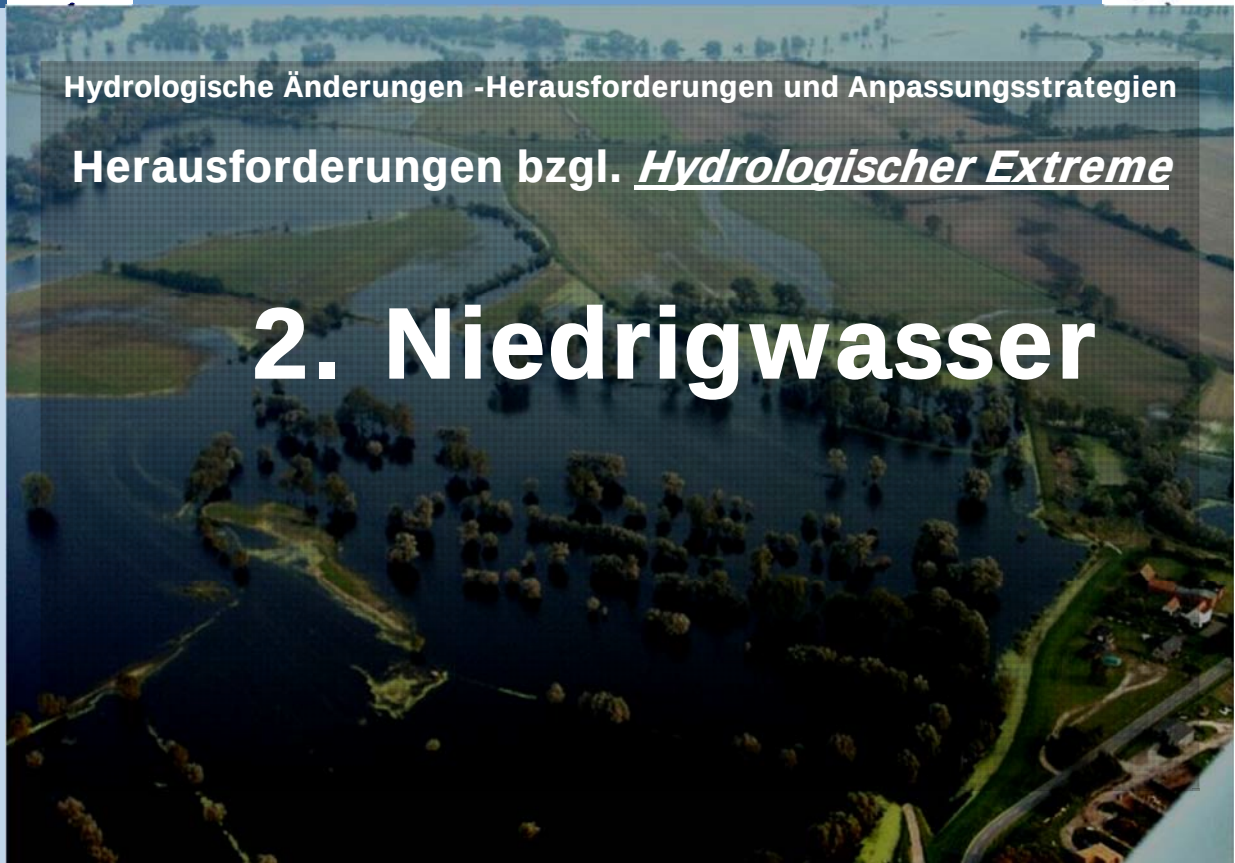


- **Hochintensive Starkregen treten häufiger auf...**
- **Dies bedingt vermutlich vermehrte «flash floods»**
- **Mit Auswirkungen, u.a.:**
  - **Ernteschäden**
  - **Bodenerosion**
  - **Verlandung von wasserbaulichen Anlagen**
  - **Nährstoff- und Schadstoffmobilisierung**
  - **Eutrophierung von Gewässern**
  - **Überlastung urbaner Entwässerungssysteme**

Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

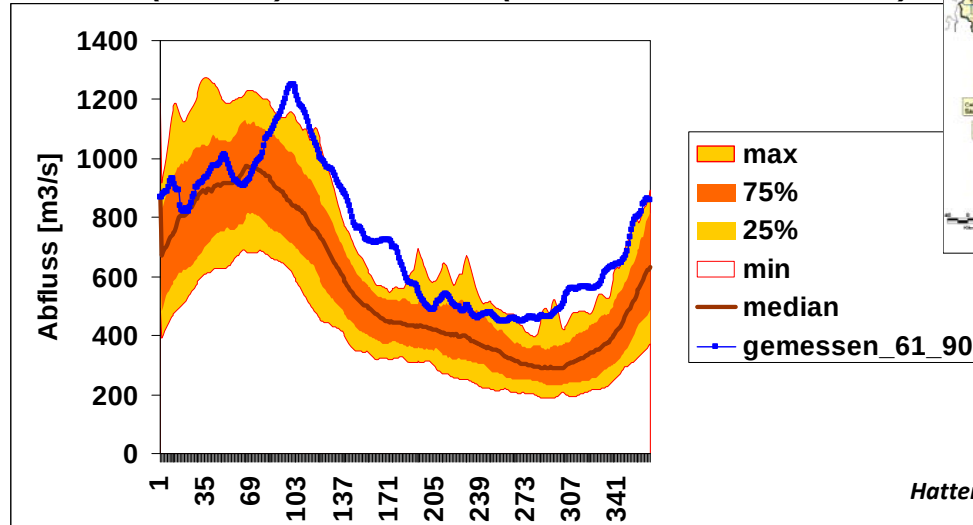
Herausforderungen bzgl. Hydrologischer Extreme

## 2. Niedrigwasser





## Täglicher Abfluss an Pegel Neu Darchau Referenz (1961-90) und Szenario (100 Realisationen 2051-55)



Hattermann et al. 2007

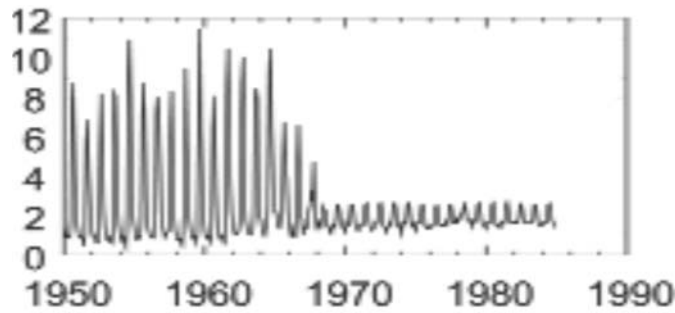
- Der Anteil der Verdunstung am WK wird zunehmen
- Dies bedingt vermutlich längere und stärkere NW-phasen
- Mit Auswirkungen, u.a.:
  - Schifffahrt
  - Kühlung der Wärmekraftwerke
  - Eutrophierung

### Hydrologische Änderungen -Herausforderungen und Anpassungsstrategien

#### II Herausforderungen

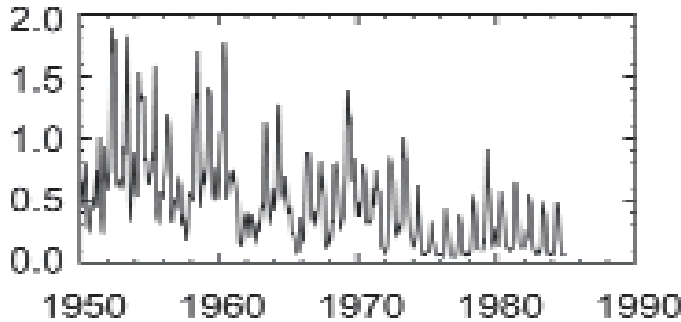
- Wasserversorgung:
  - Trinkwasser
  - Landwirtschaft
  - Tourismus
- Hydrologische Extreme
  - Hochwasser. Sturzfluten; Änderungen Hydrologischer (Hochwasser)Regime
  - Niedrigwasser Wassermangel: Temperaturregime; Schifffahrt
- **Vergleich mit anderen anthrop. Einwirkungen**
  - Landnutzungsänderungen; Wassermanagement/-infrastruktur; Wasserbedarfsentwicklung

monatl. Q  
(1000 m<sup>3</sup>/s)



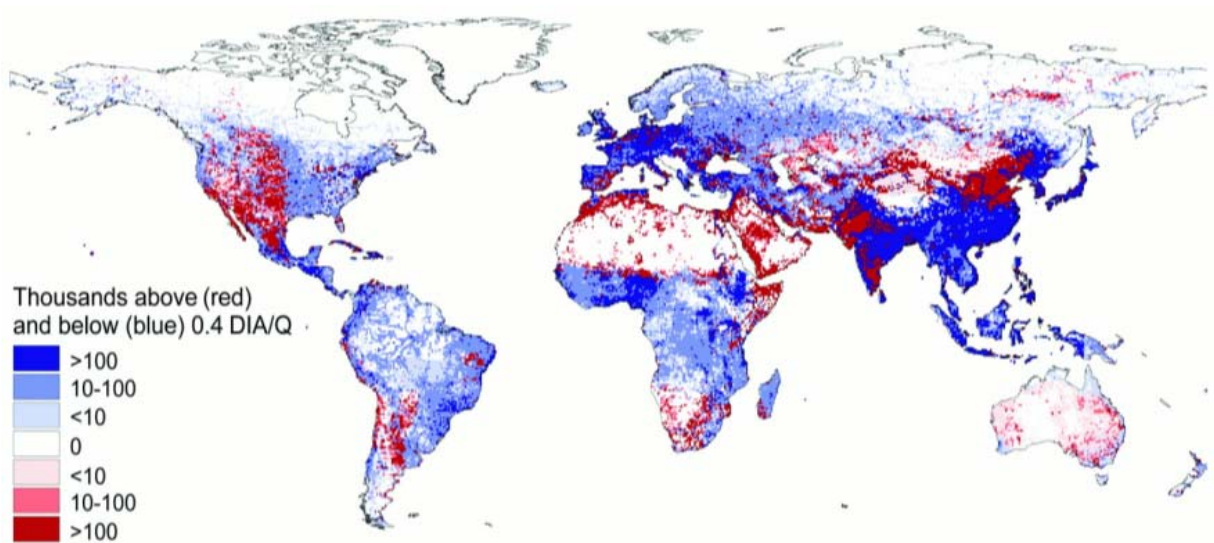
*Nil in Assuan*

monatl. Q  
(1000 m<sup>3</sup>/s)



*Syr-Darya  
in Tyumen Aryk*

## Wasserstress heute und morgen CGCM-Klimaszenario, WBM-Modell



Vörösmarty et al. 2000

Wasserstress: Verhältnis Wasserentnahme/Abfluss ( $DIA^*/Q$ ) > 0.4

► 1985: 1,76 Mrd. Menschen leiden unter Wassermangel

\*DIA: domestic, industrial and agricultural water use

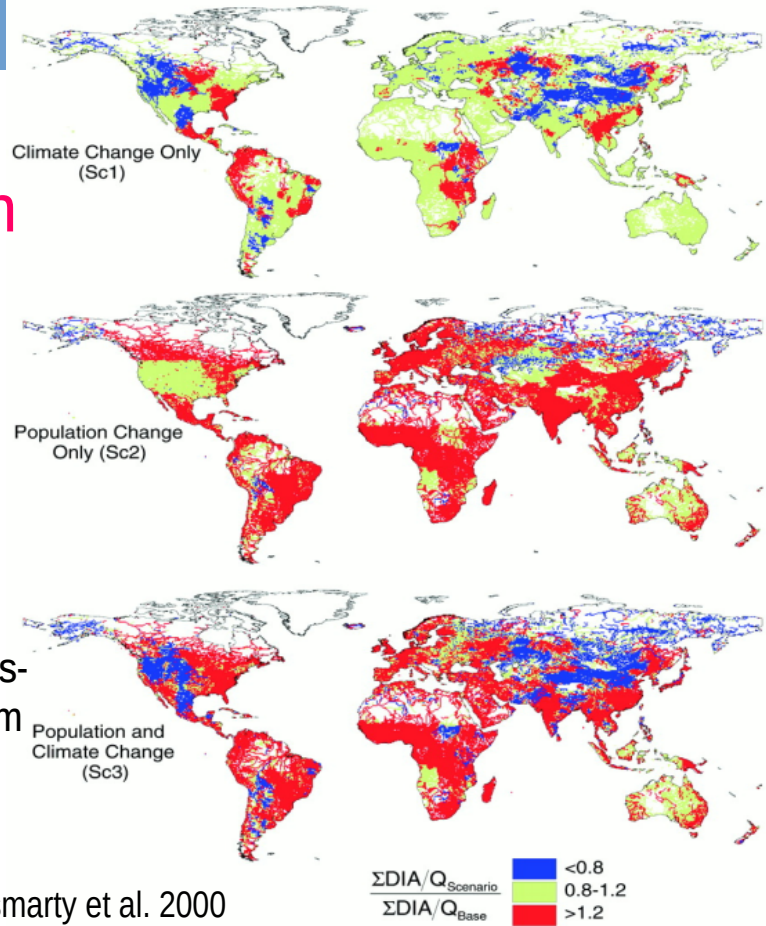


# Wasserstress heute und morgen

CGCM-Klimaszenario,  
WBM-Modell

- 2025: >3 Mrd. Menschen unter Wassermangel
- Effekte von Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum übersteigen Effekte des Klimawandels deutlich!

Relative Change in Demand per Discharge



Vörösmarty et al. 2000

## III Anpassungsstrategien

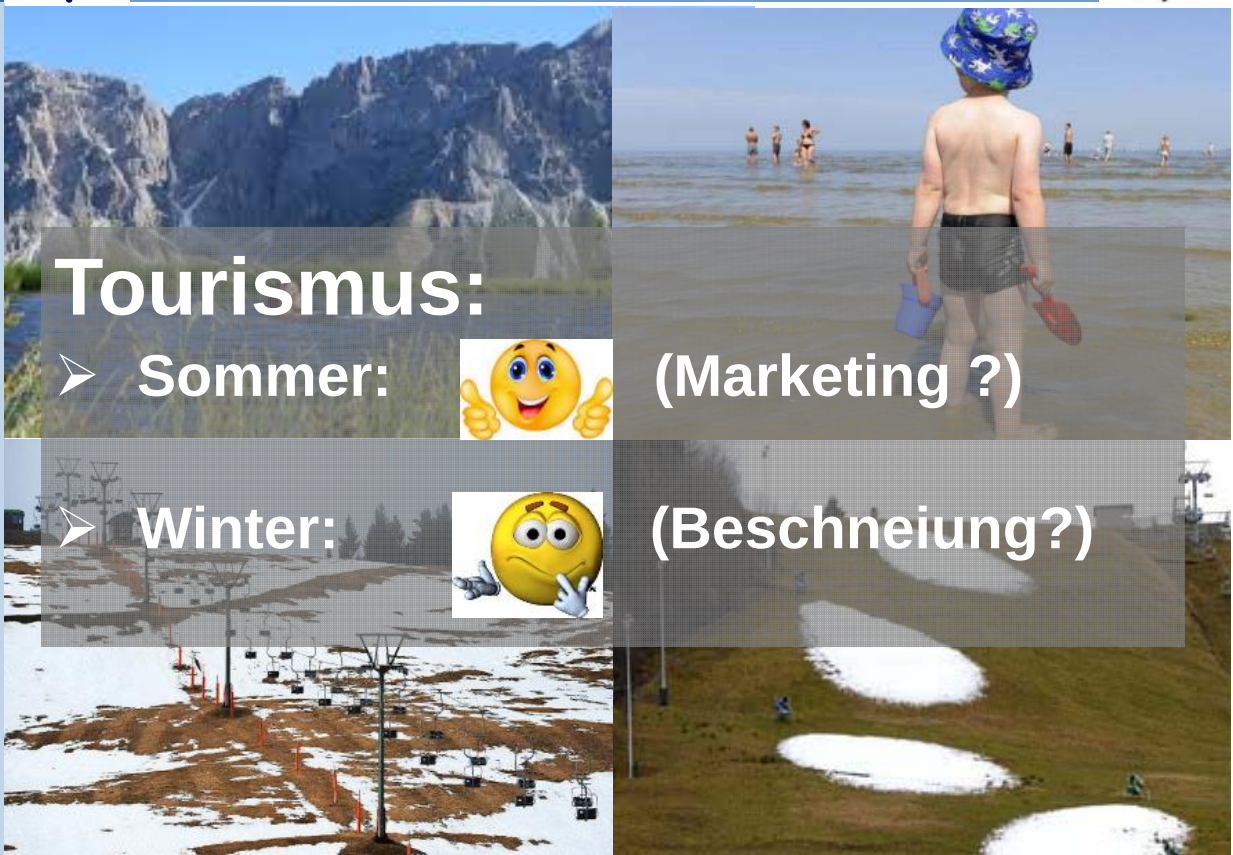






## Landwirtschaft:

- Bewässerungslandbau verstärken ?
- Zwei Ernten erwägen ?



## Tourismus:

➤ Sommer:



(Marketing ?)

➤ Winter:



(Beschneigung?)





## Großräumige Hochwasser:

- Untersuchungen zu Änderungen der Hochwasserregime



## Sturzfluten / „Flash Floods“:

- Weiterentwicklung der HW-Vorhersage für Sturzfluten (inkl. Radarniederschlagshydrologie)
- Überarbeiten der Bemessungsgrundlagen
- Anpassungen der wasserbaulichen Eingrenzungen der Vergangenheit



### III Anpassungsstrategien



## Niedrigwasser an den großen Flüssen: Anpassung der Schifffahrt ? Geschl. Kühlkreisläufe f. Kraftwerke ?

57

### IV Schlussfolgerungen



58



# Schlussfolgerungen

- *Management bitte nicht nach dem „Großmutterprinzip“!*
- *Wasserwirtschaft hat sich oft an geänderte Rahmenbedingungen orientieren müssen*
- *„Interinstitutioneller“ Fachaustausch zu Hydrologischem Wandel*
- *Datenanalyse in der relevanten Skala: Meso-skala, Managementskala*
- *Anpassungsmaßnahmen müssen spezifisch auf die Fragestellungen zugeschnitten werden !*



# Vielen Dank !

**Besonderer Dank an:**

Gerd Bürger (Uni Potsdam)  
Fred Hattermann (PIK Potsdam)  
Eva Paton (TU Berlin)  
Klaus Vormoor (Uni Potsdam)  
Wasti Weber (KfG, München)