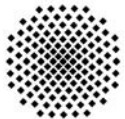


---

# Auswirkungen des Klimawandels auf die großen Flüsse in Deutschland

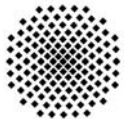
**András Bárdossy**



# Einführung

---

- Wie wird die Zukunft?
- Was soll man tun?
- Beobachtungen aus der Vergangenheit
- Wird die Zukunft so wie die Vergangenheit es war?
- Änderungen:
  - Klima :
    - Warme Jahre
    - Warme nasse Winter
- Konsequenzen ?

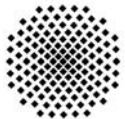


# Ändert sich der Abfluss ?

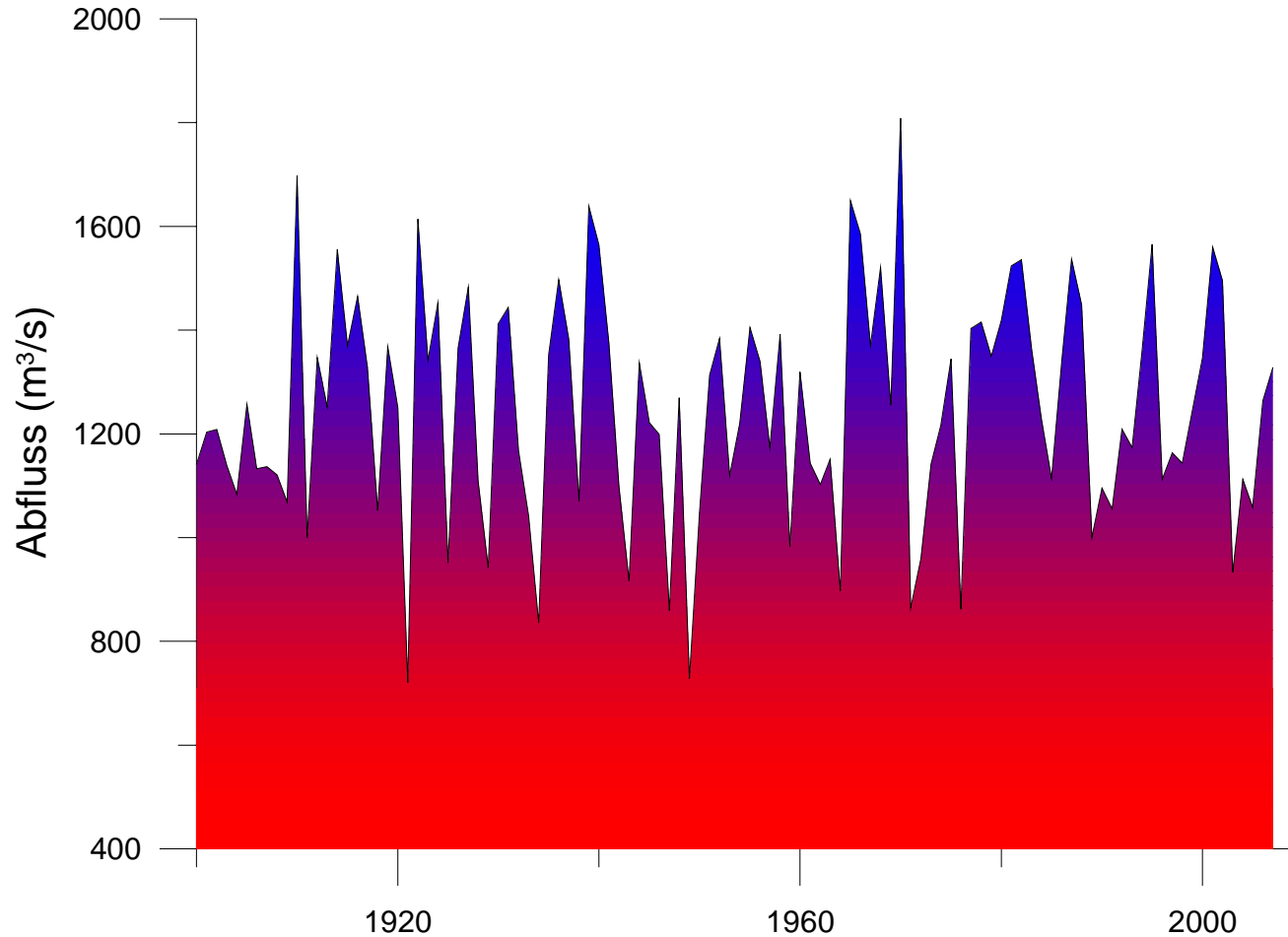
---

- Beobachtete Änderungen
  - Anstieg der Temperatur
- Wasserkreislauf ist teil des Klimasystems
- Extreme führen zu Katastrophen
- Wirtschaftlich sinnvolle Vorsorge
- Energieumsatz im Wasserkreislauf >> CO<sub>2</sub> Treibhauseffekt
- Ausgleichmöglichkeiten
  - Mehr Niederschlag
  - Mehr Verdunstung
- Änderung des Kreislaufes aber keine Änderung des Abflusses
- Es gab schon immer Variabilität
- Ungewisse Auswirkungen aber hohe Kosten
- Auswirkungen in der Zukunft

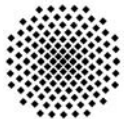
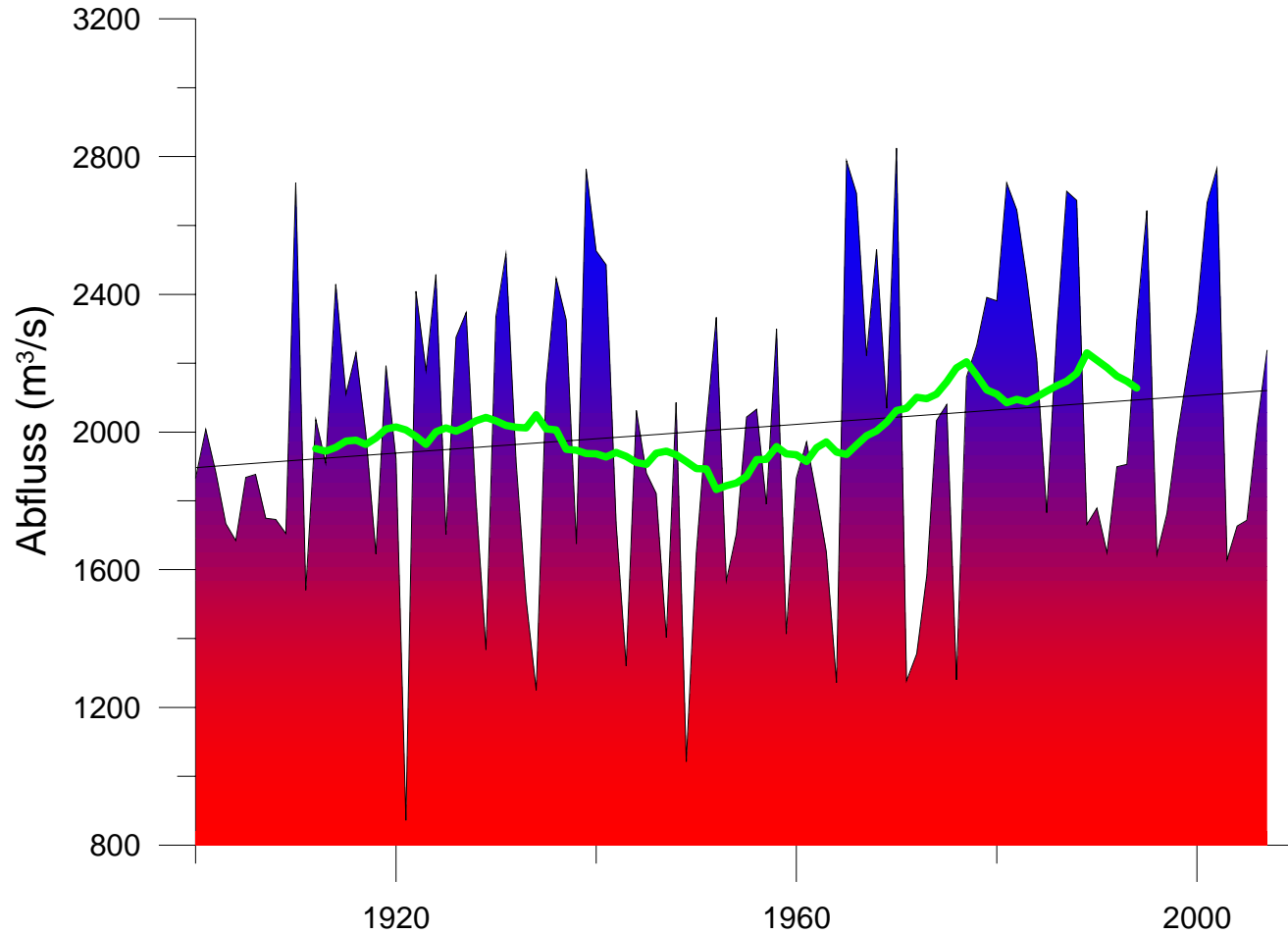
Gibt es bereits Zeichen einer Änderung im Abfluss bei uns?



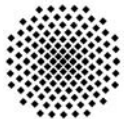
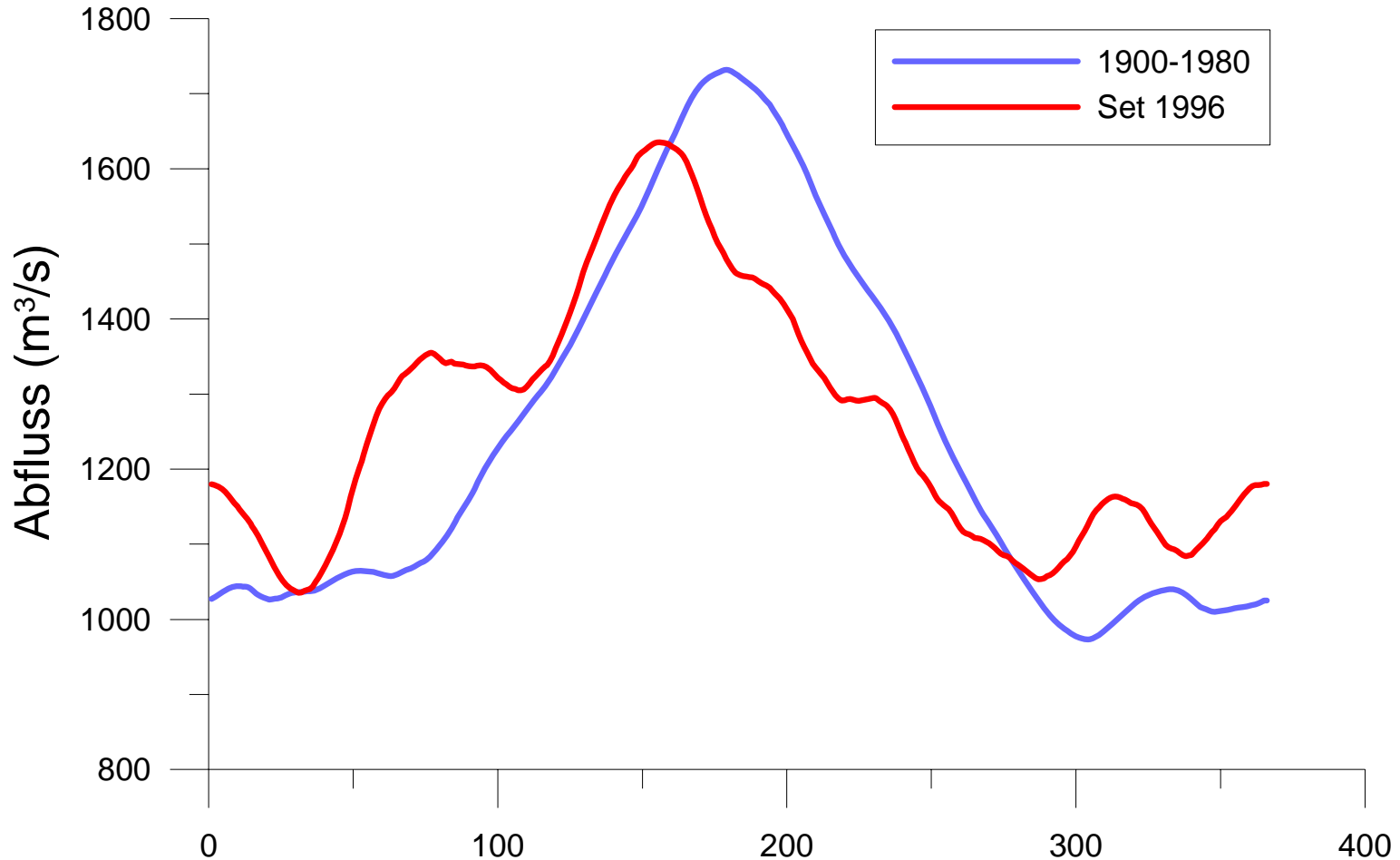
# Jahresabfluss (Mittelwerte) Rhein - Maxau



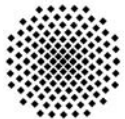
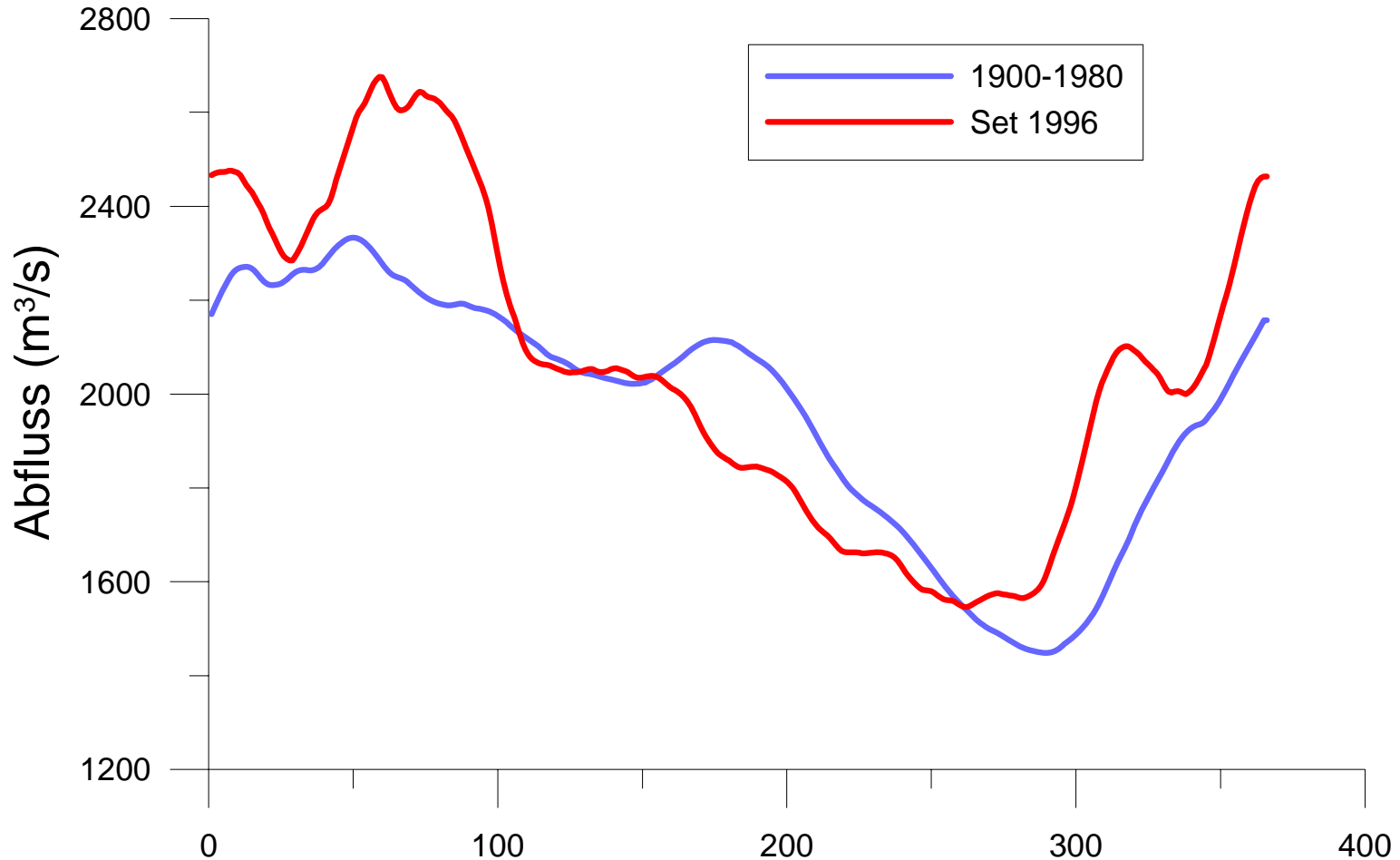
# Jahresabfluss (Mittelwerte) Rhein - Andernach



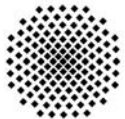
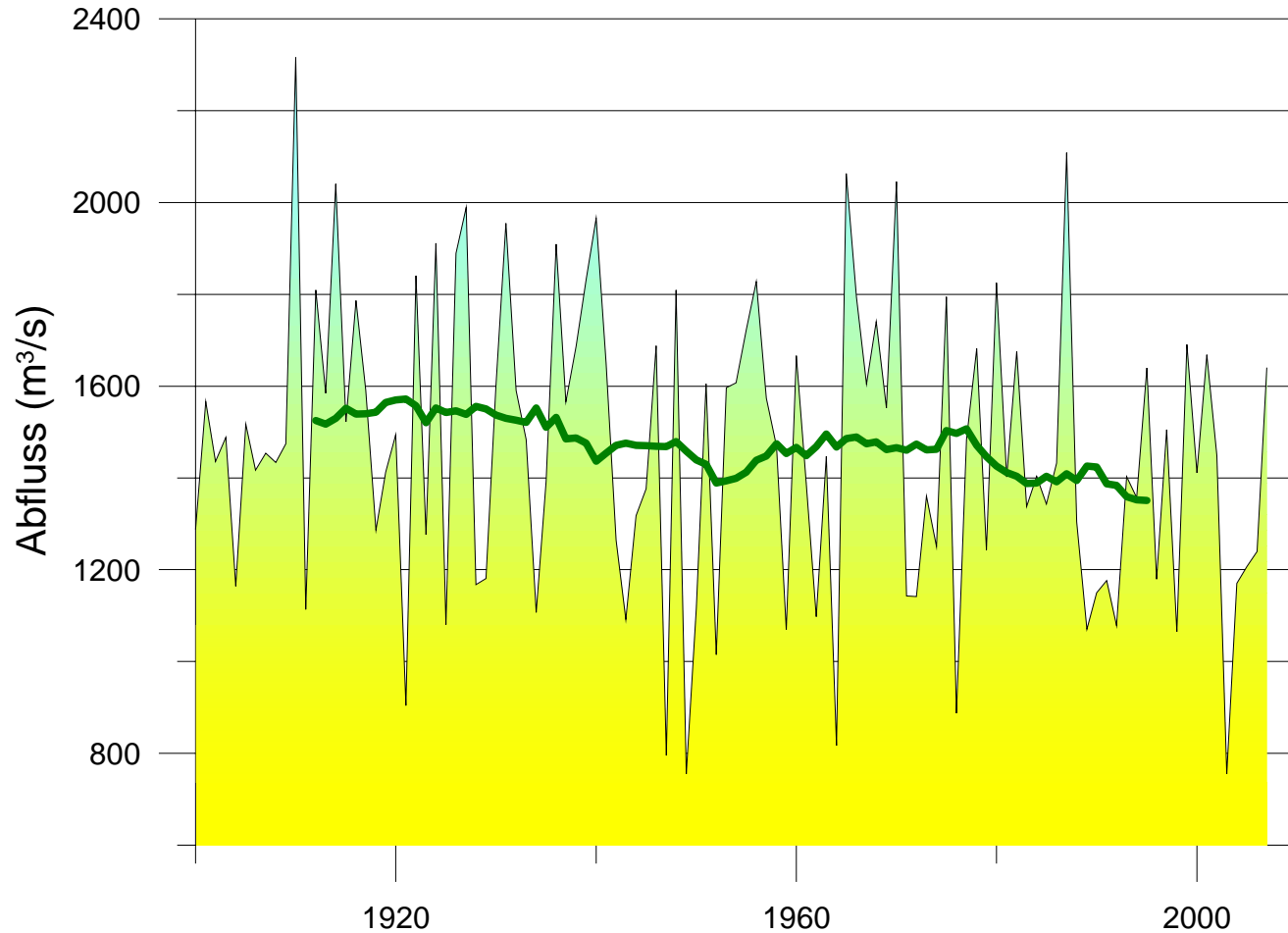
# Jahresgang (Rhein – Maxau)



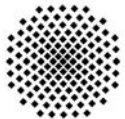
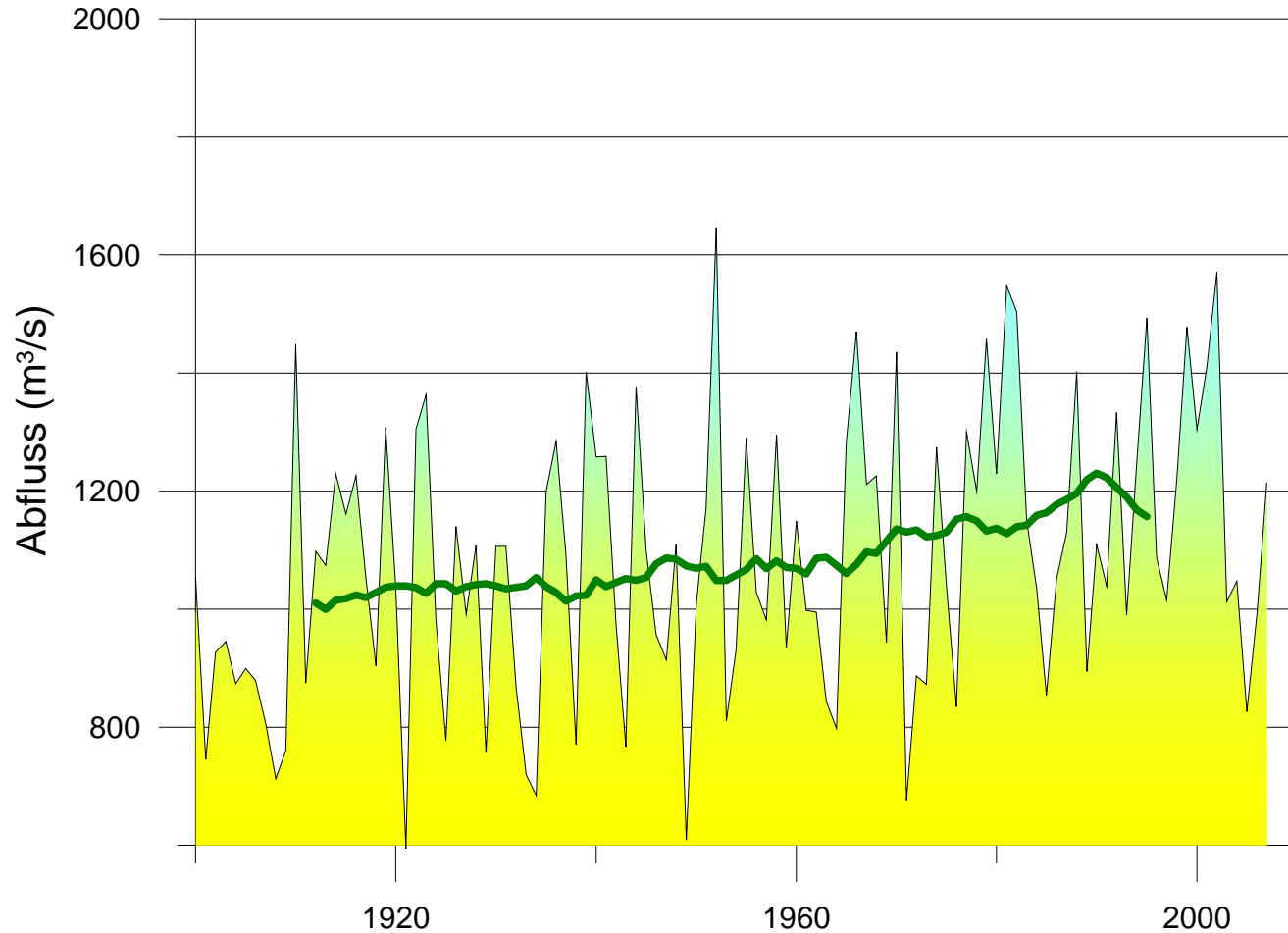
# Jahresgang (Rhein – Andernach)



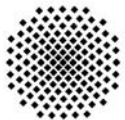
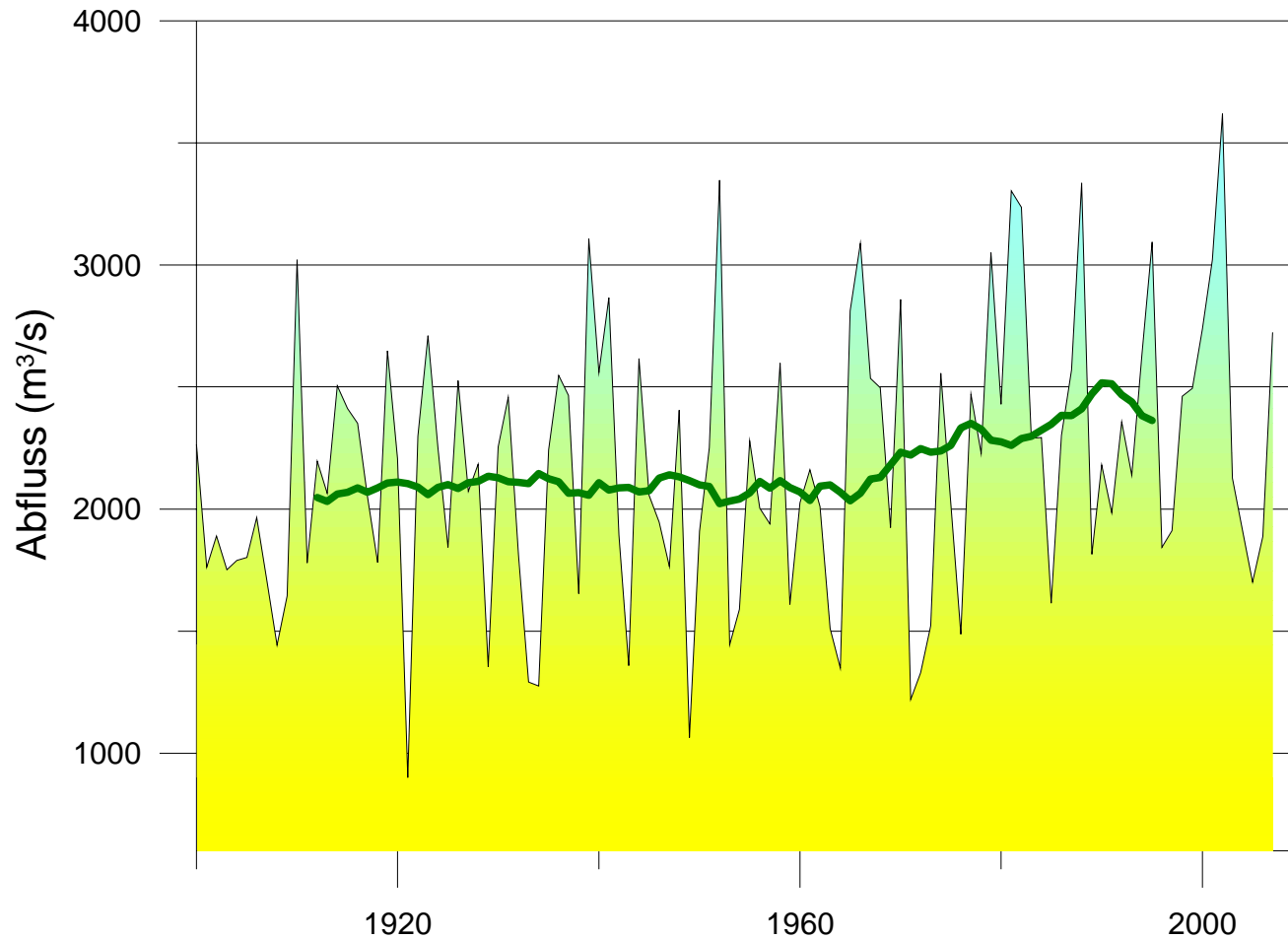
# Abfluss (Rhein – Maxau Sommer)



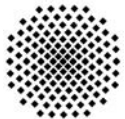
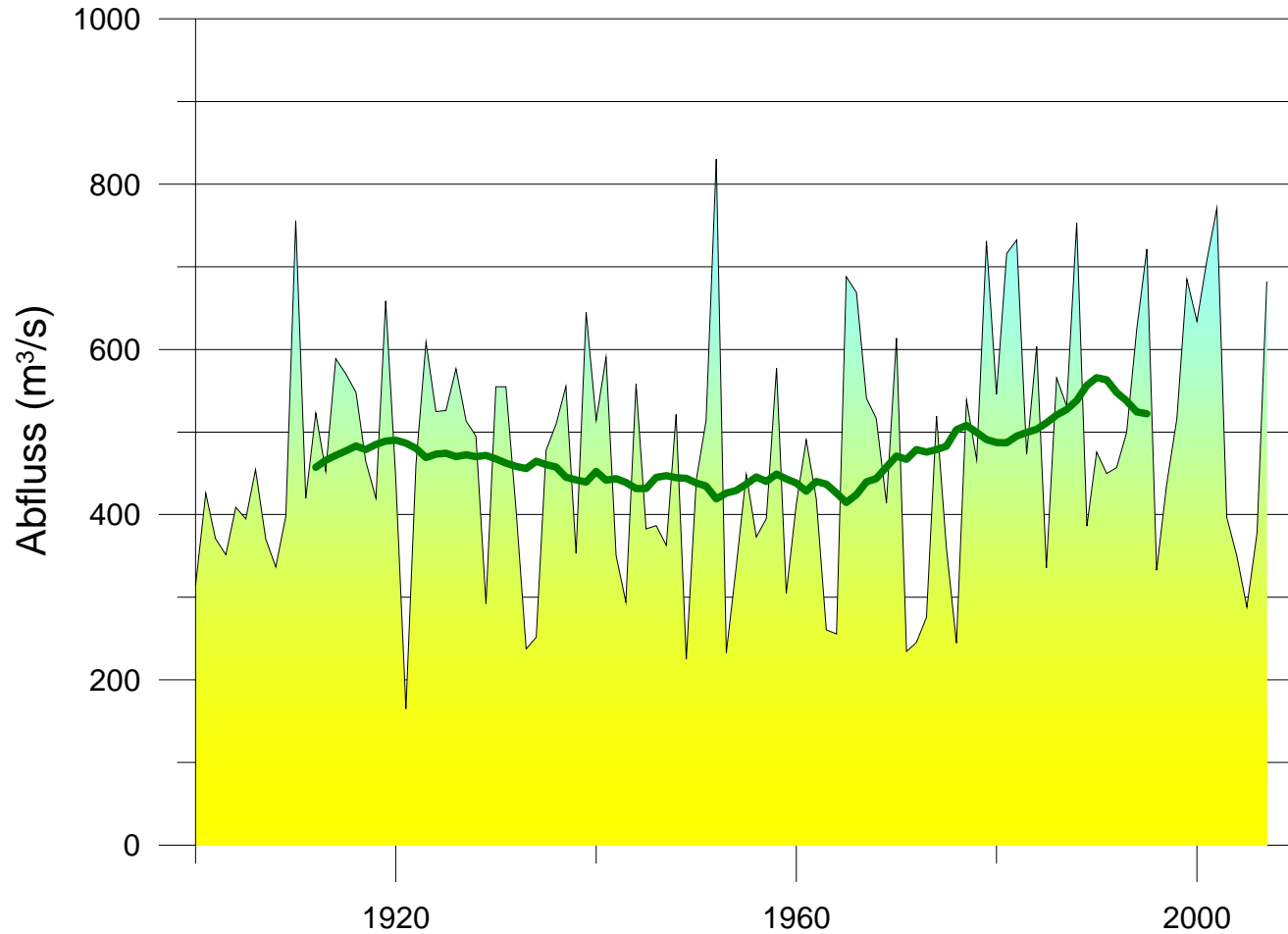
# Abfluss (Rhein – Maxau Winter)



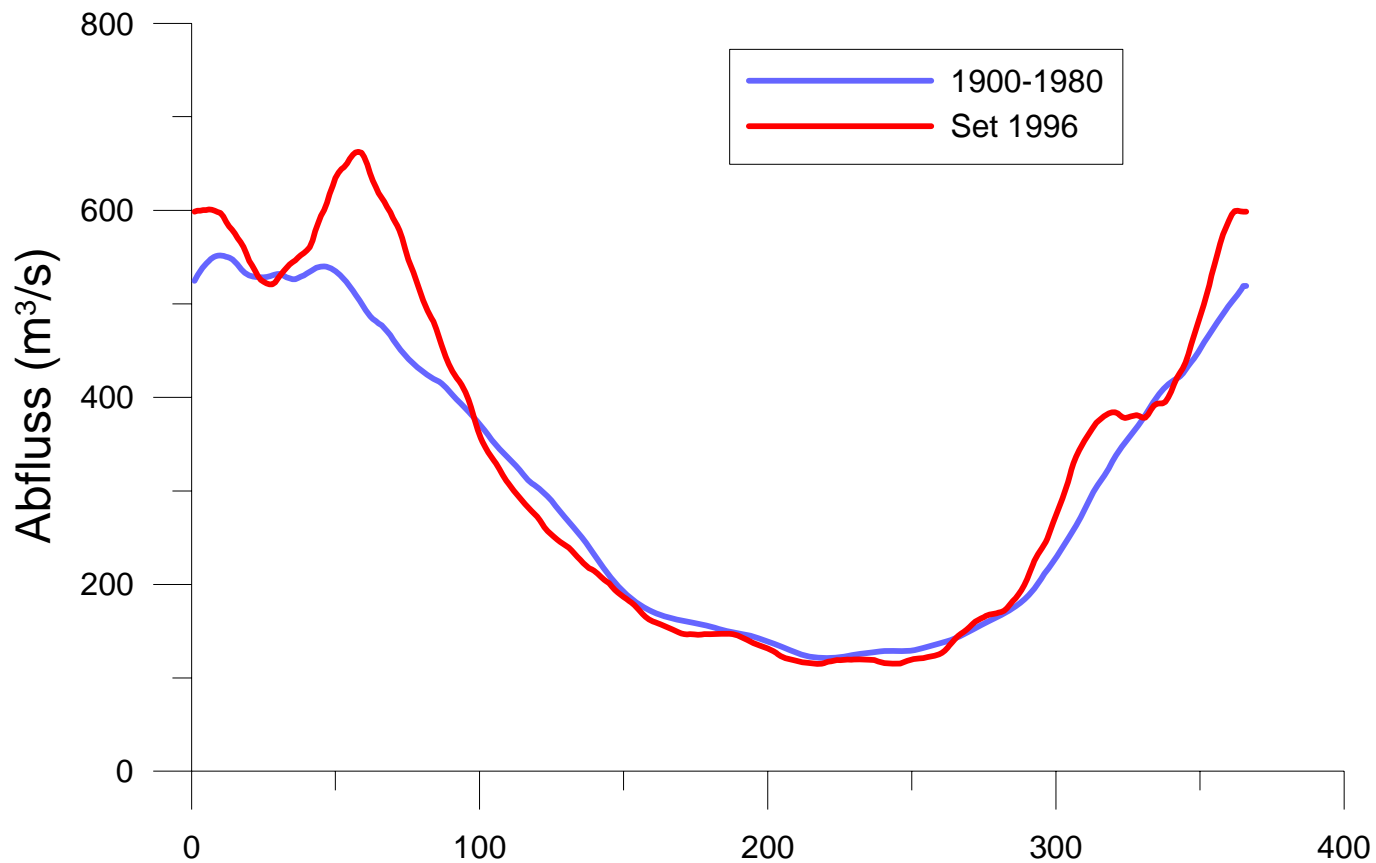
# Abfluss (Rhein – Andernach Winter)



# Abfluss (Mosel – Cochem Winter)



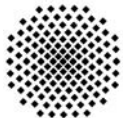
# Jahresgang (Mosel – Cochem)



# Änderungen der Mittelwerte

---

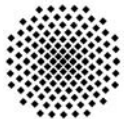
- Es gibt bereits Änderungen im Abfluss am Rhein
  - Maxau – neuer Jahresgang!
    - Keine Änderung der Jahreswerte
    - Weniger Abfluss im Sommer
    - Mehr Abfluss im Winter
  - Andernach – geänderter Jahresgang!
    - Mehr Abfluss
    - Geringe Änderung im Sommer
    - Mehr Abfluss im Winter
  - Nebenflüsse (Mosel, Neckar)
    - Mehr Abfluss im Winter



# Extreme

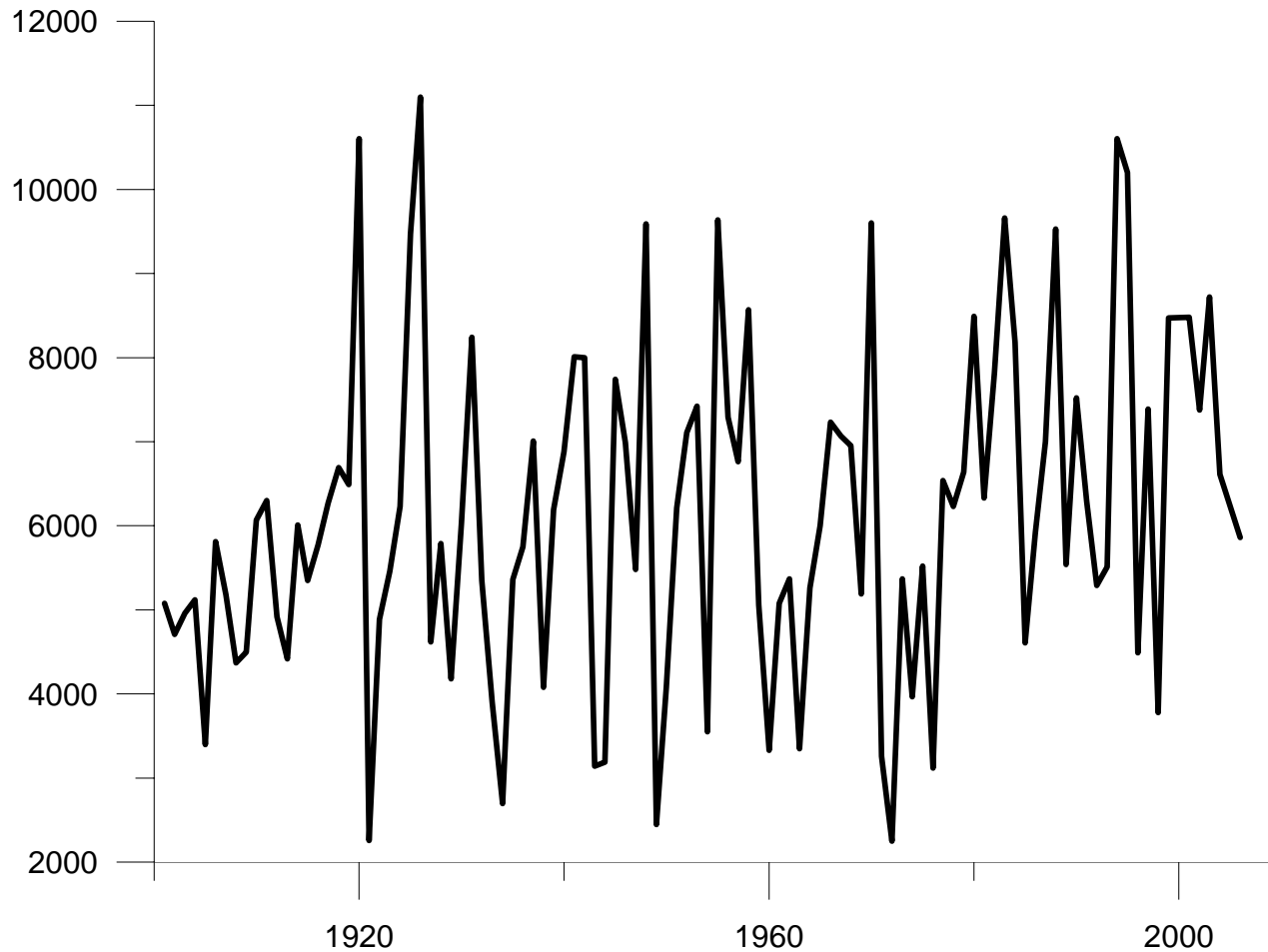
---

- Hochwasser
- Niedrigwasser

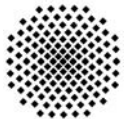
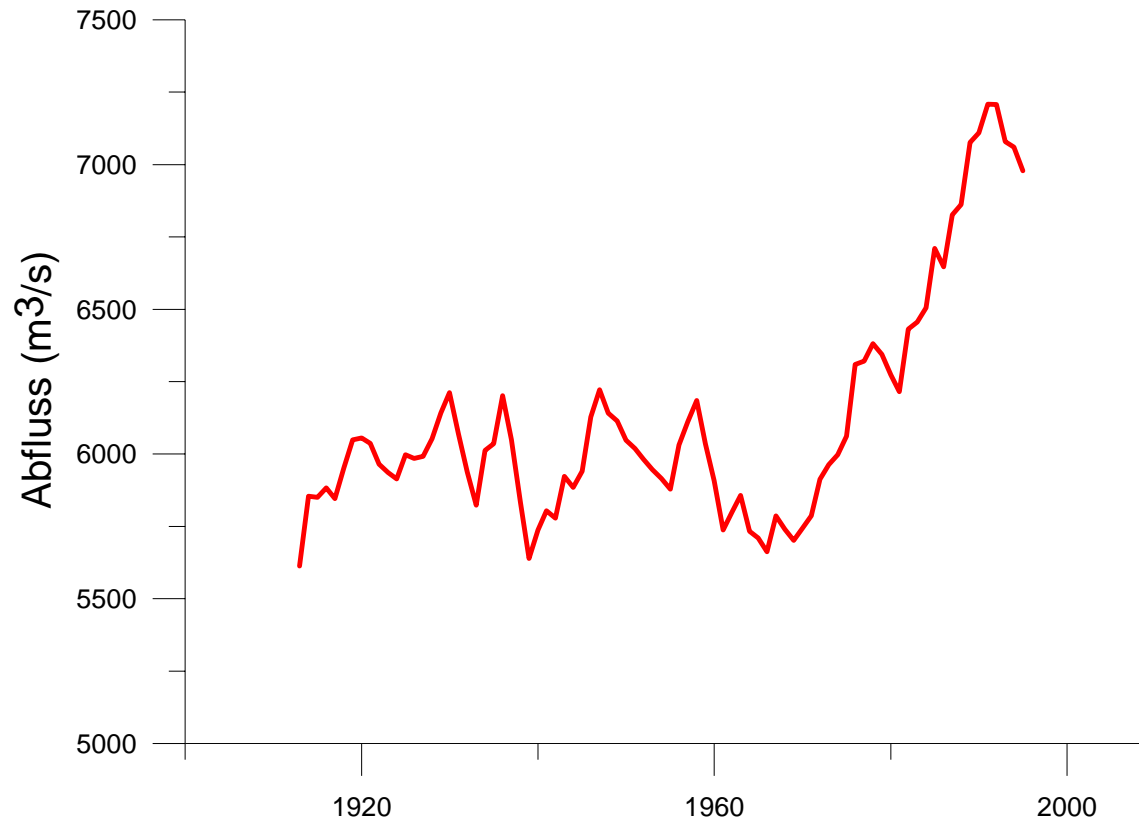




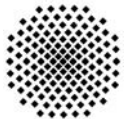
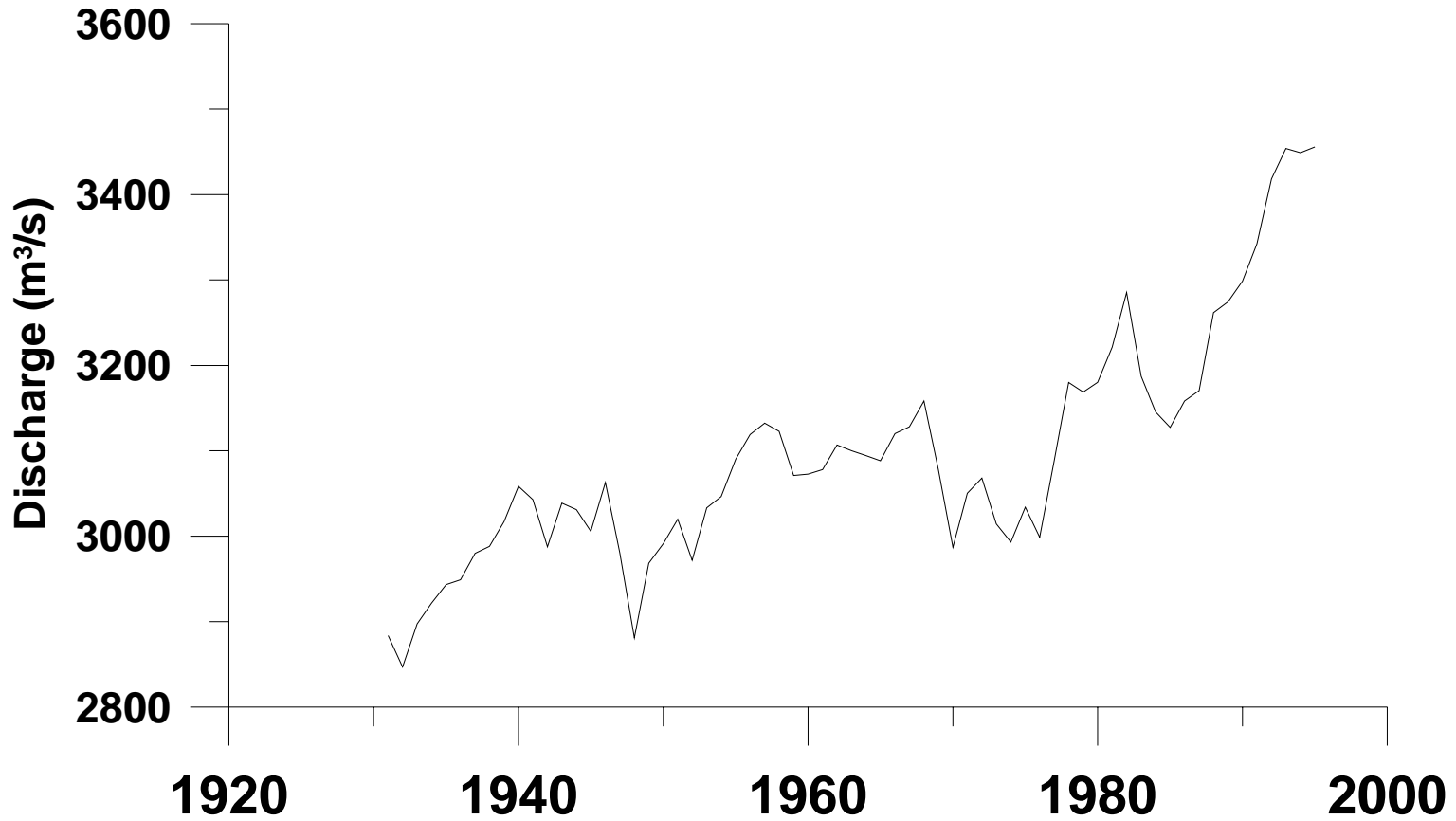
# Andernach - Jahresmaxima



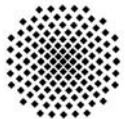
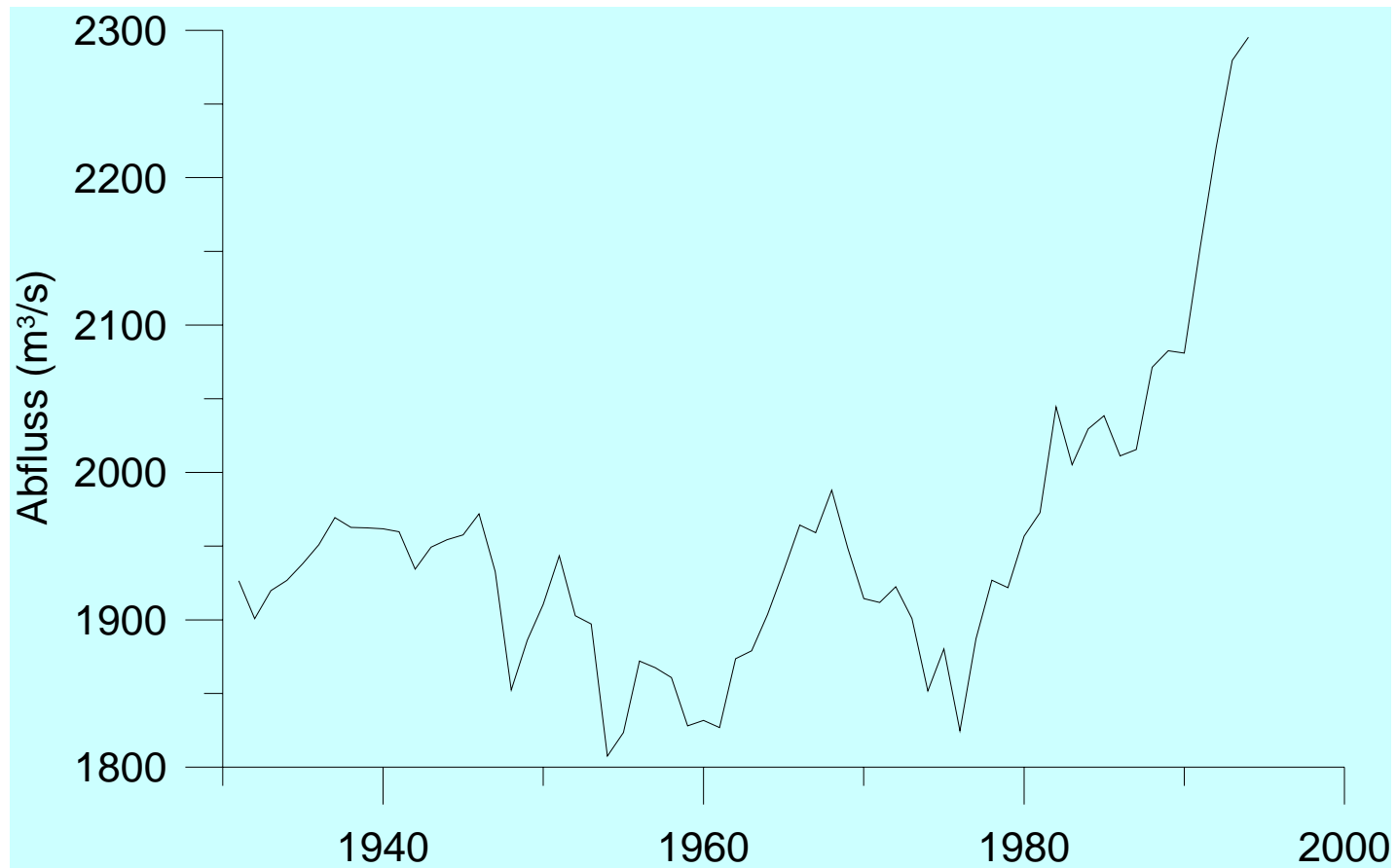
# Andernach – 25 Jahre MHQ



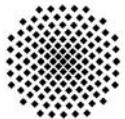
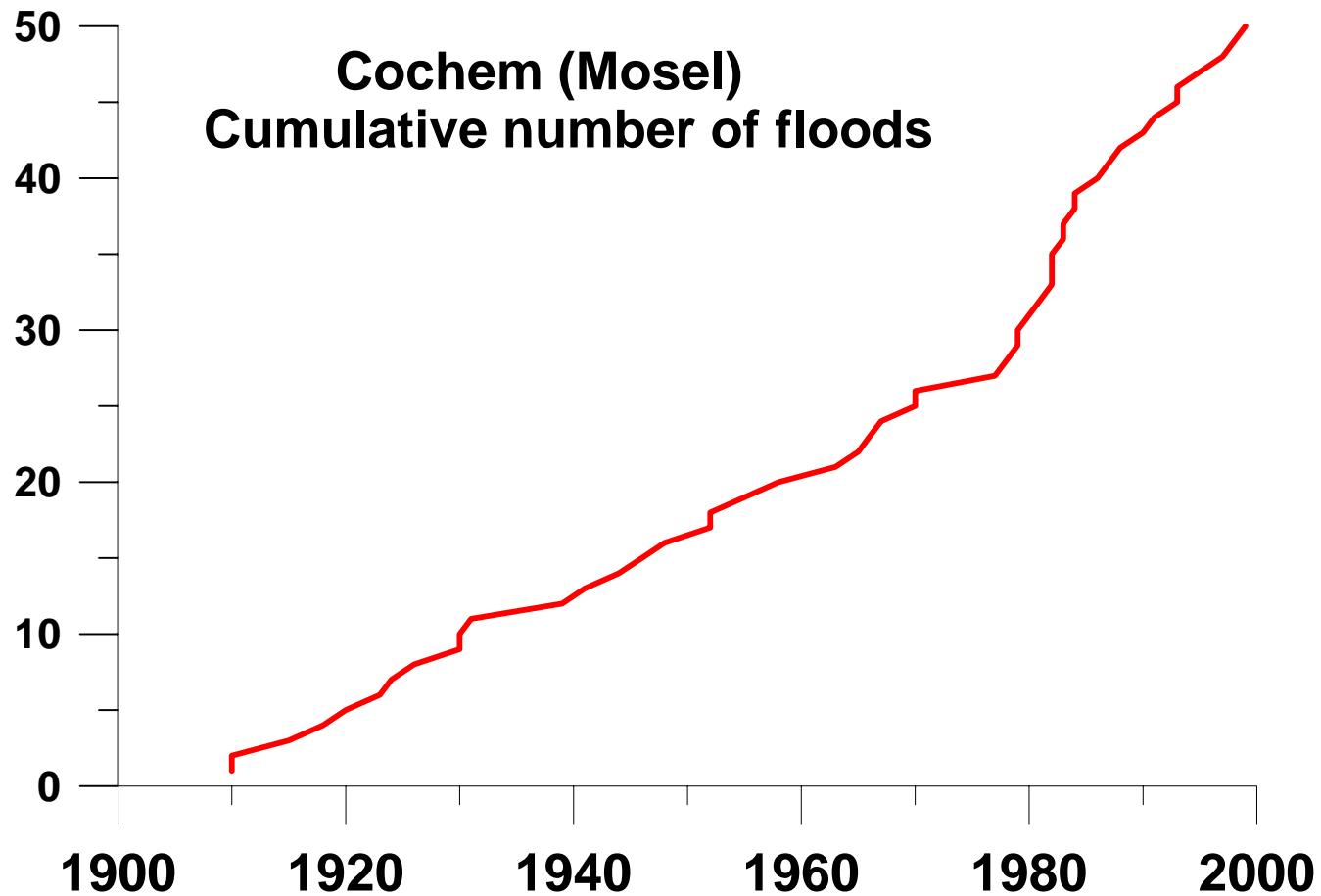
# Mittelwert der Jahresmaxima (Rhein - Worms)



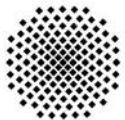
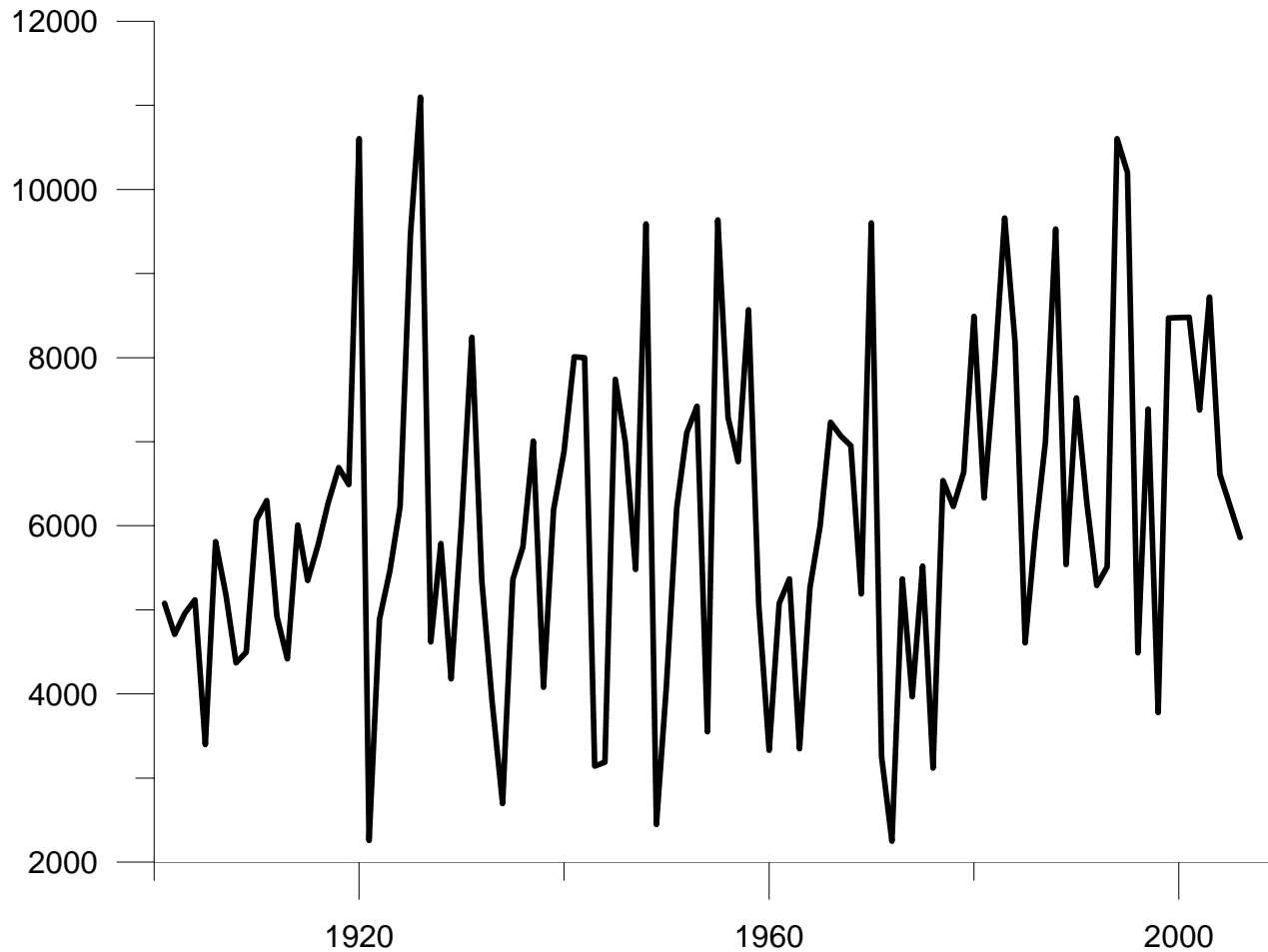
## Mittelwert der Jahresextreme Mosel (Cochem)



# Partielle Reihen



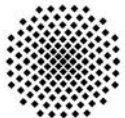
# Andernach - Jahresmaxima



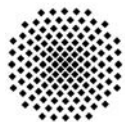
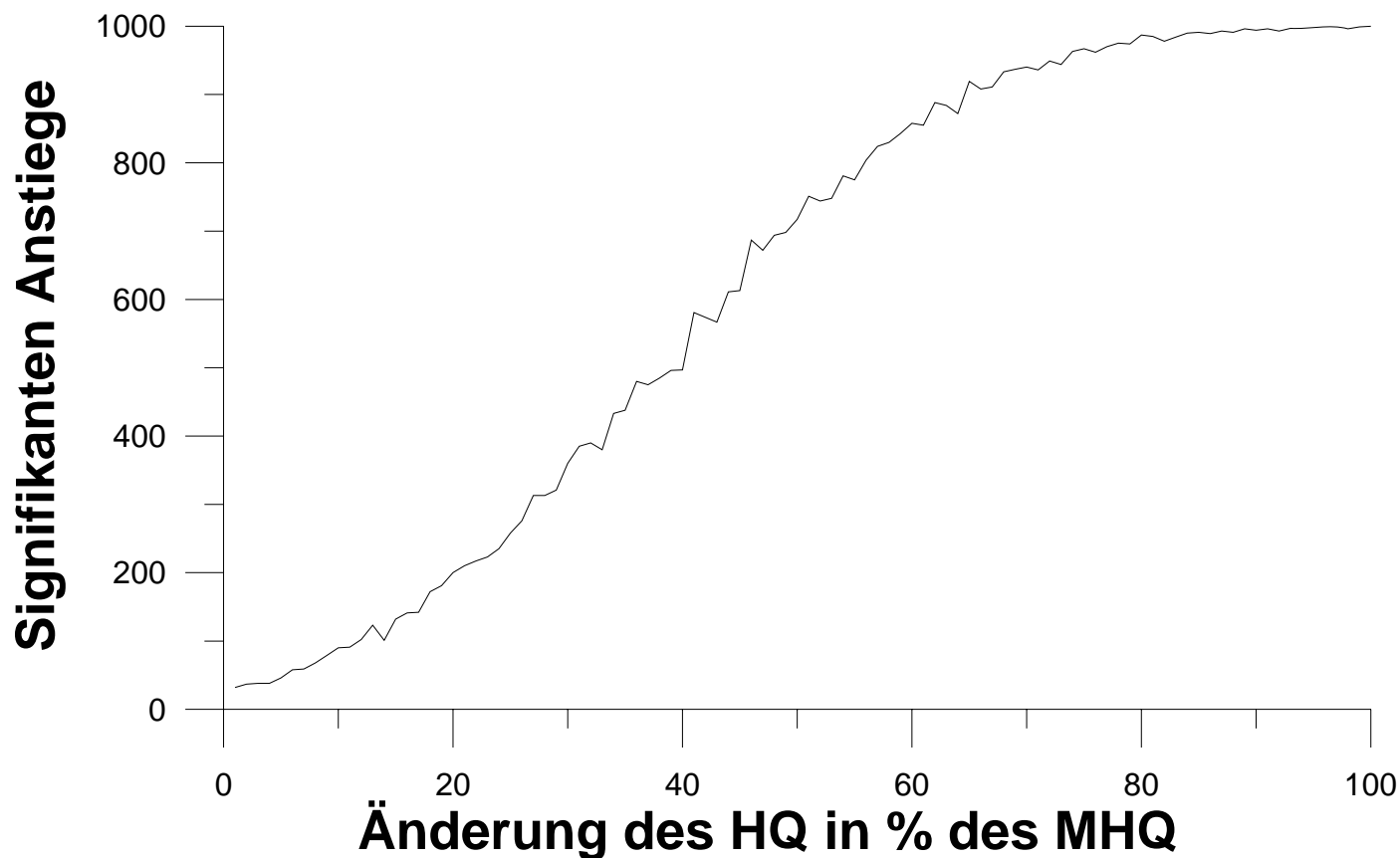
# Ergebnisse

---

- Änderung der Jahresmaxima
  - Anstieg des MHQs
  - Anstieg der Anzahl der Ereignisse
  - Wenig Jahre ohne Hochwasser
- Statistische Signifikanz ?
  - Können wir die Ergebnisse glauben?
  - Dürfen wir noch warten ?



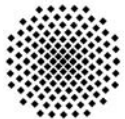
# Trend Nachweis (95 % Signifikanz 74 Jahre)



# Ursachen

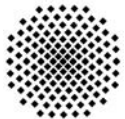
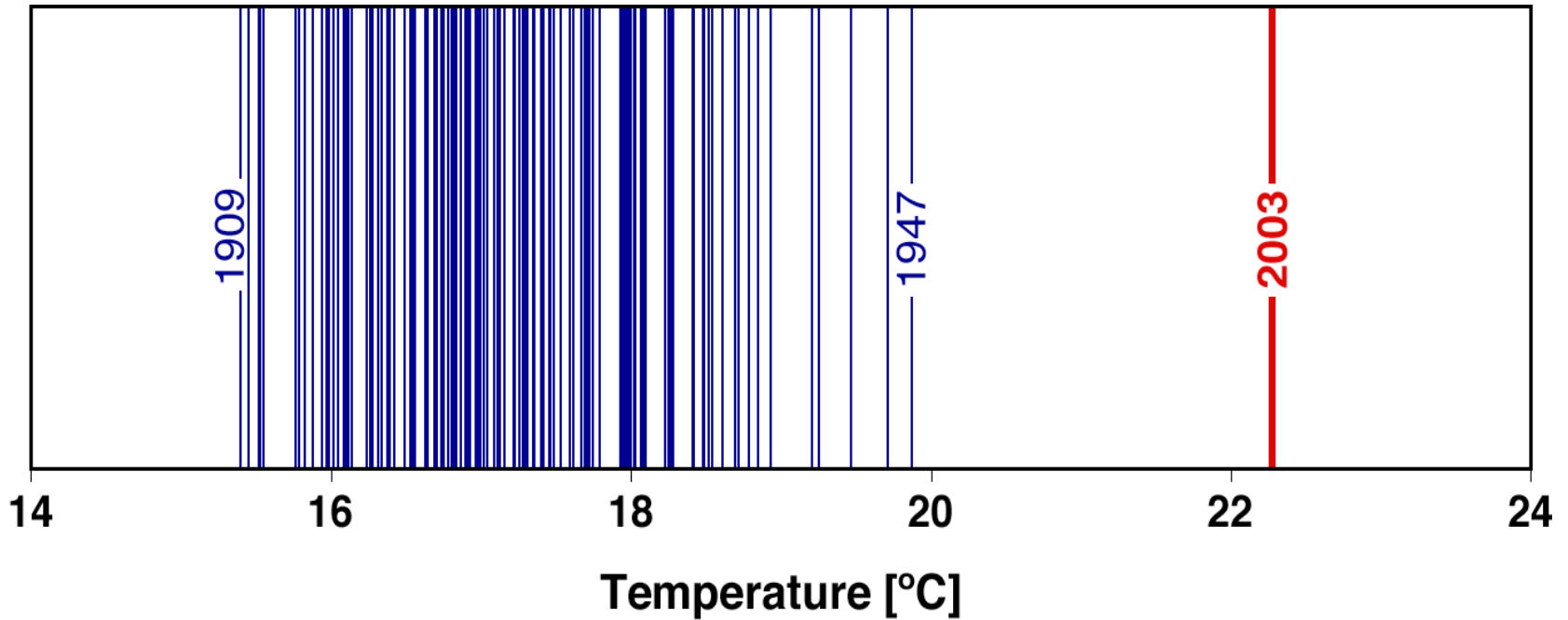
---

- Änderung der Temperatur
  - Frühere Schneeschmelze in CH
  - Keine kontinuierliche Schneedecke + Winterregen
- Änderung des Niederschlags
  - Mehr Niederschlag im Winter
  - Weniger im Sommer (Wirkung?)
- Untersuchung für hydrologische Zwecke  
STARDEX



# Schweizer Sommertemperaturen 1864-2003 (Schär)

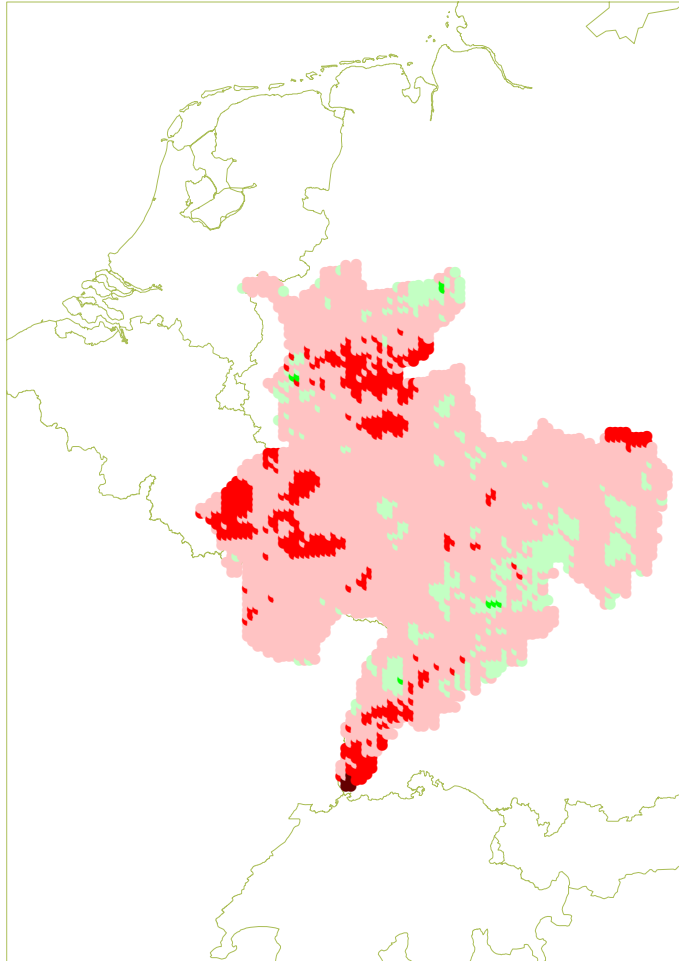
Durchschnitt der Stationen Zürich, Basel, Bern, Genf



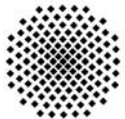
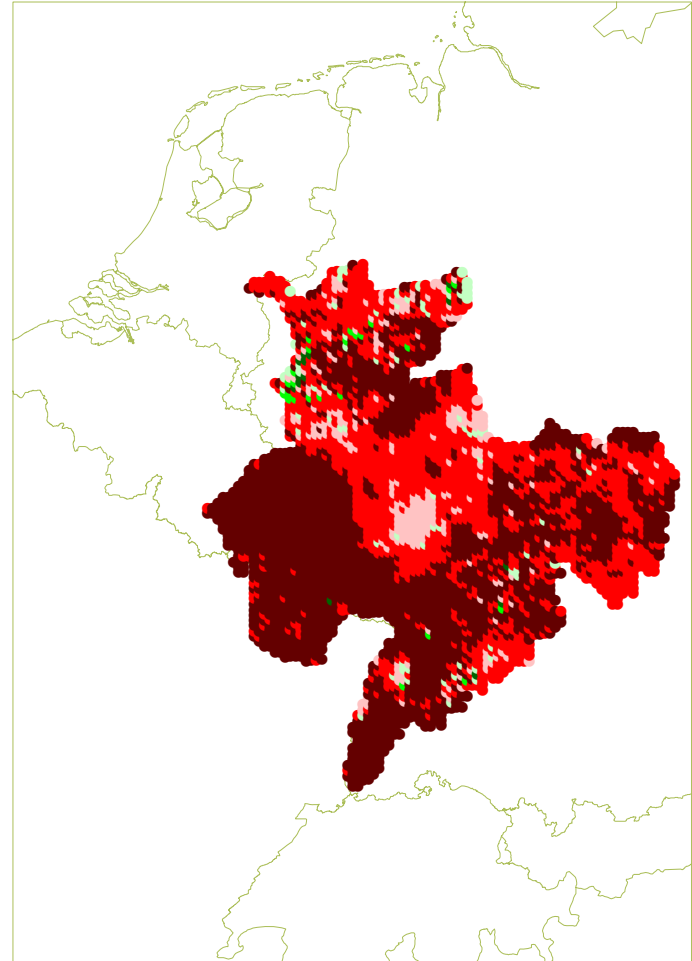
# Rhein Winter

1958-2001 (601 Stationen)

P90



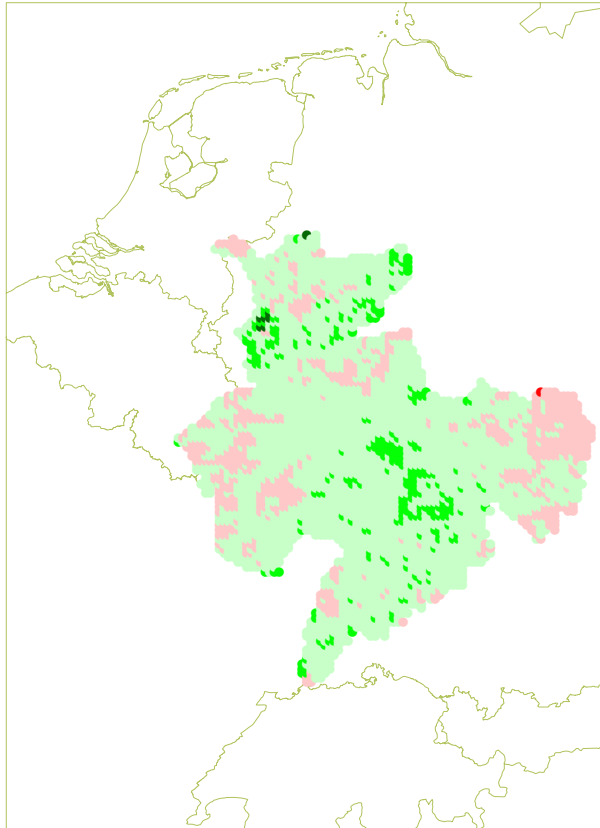
5 Tage



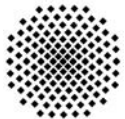
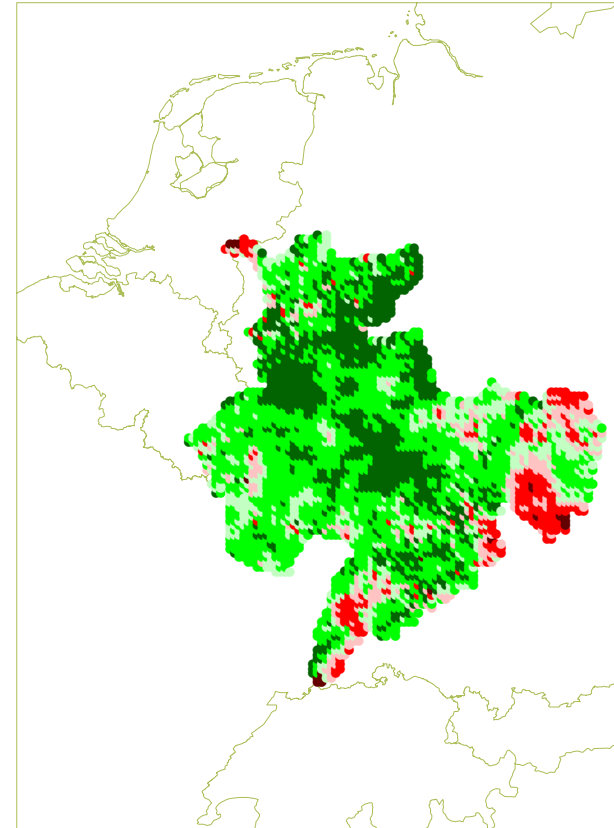
# Rhein Sommer

1958-2001 (601 Stationen)

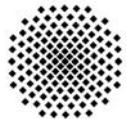
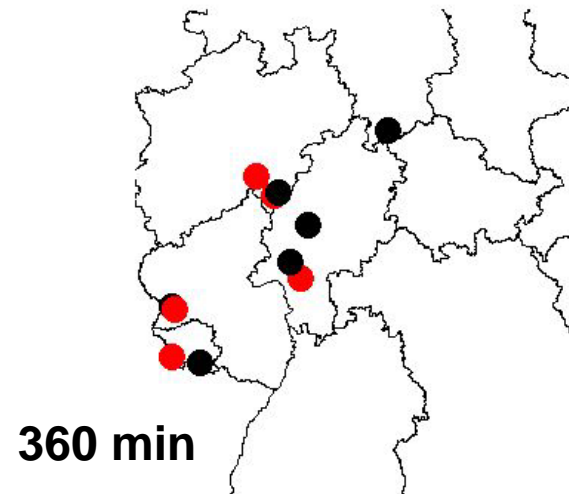
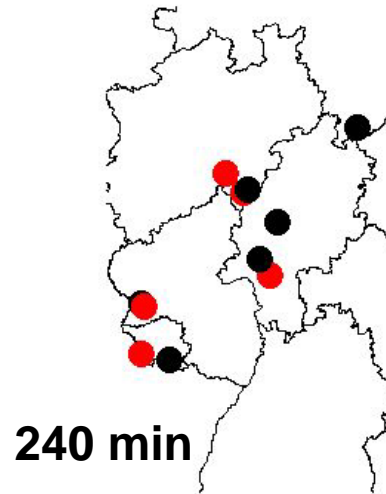
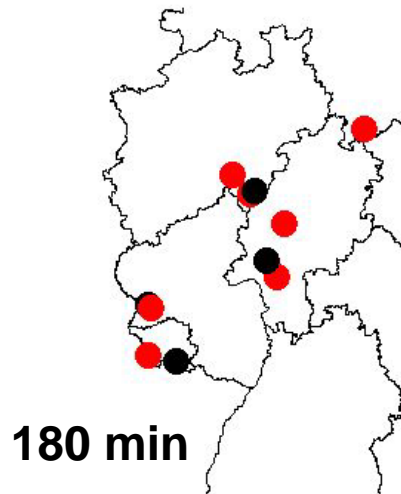
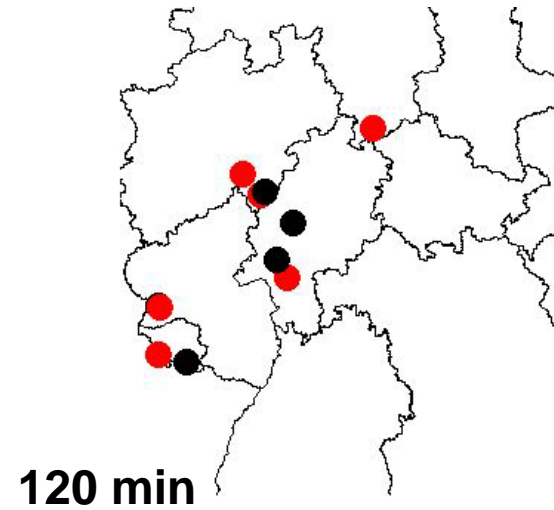
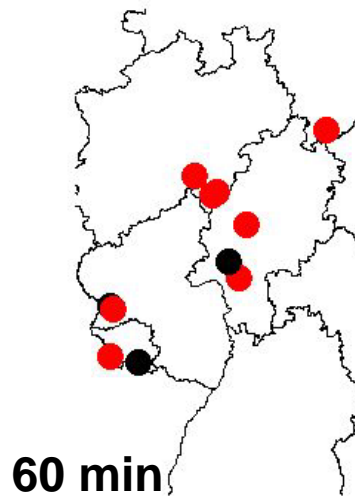
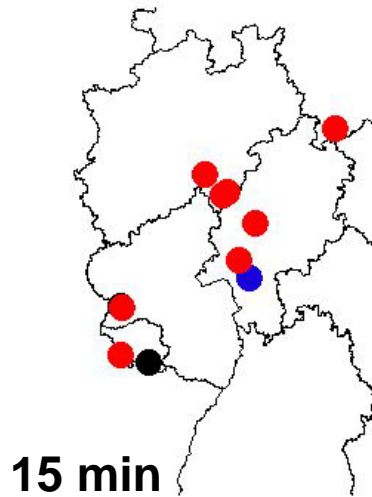
P90



5 Tage



# Trends Jahresmaxima



Uni

● neg. Trend

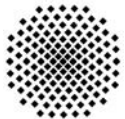
● kein Trend

● pos. Trend

# Zukunft ??

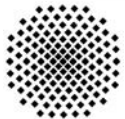
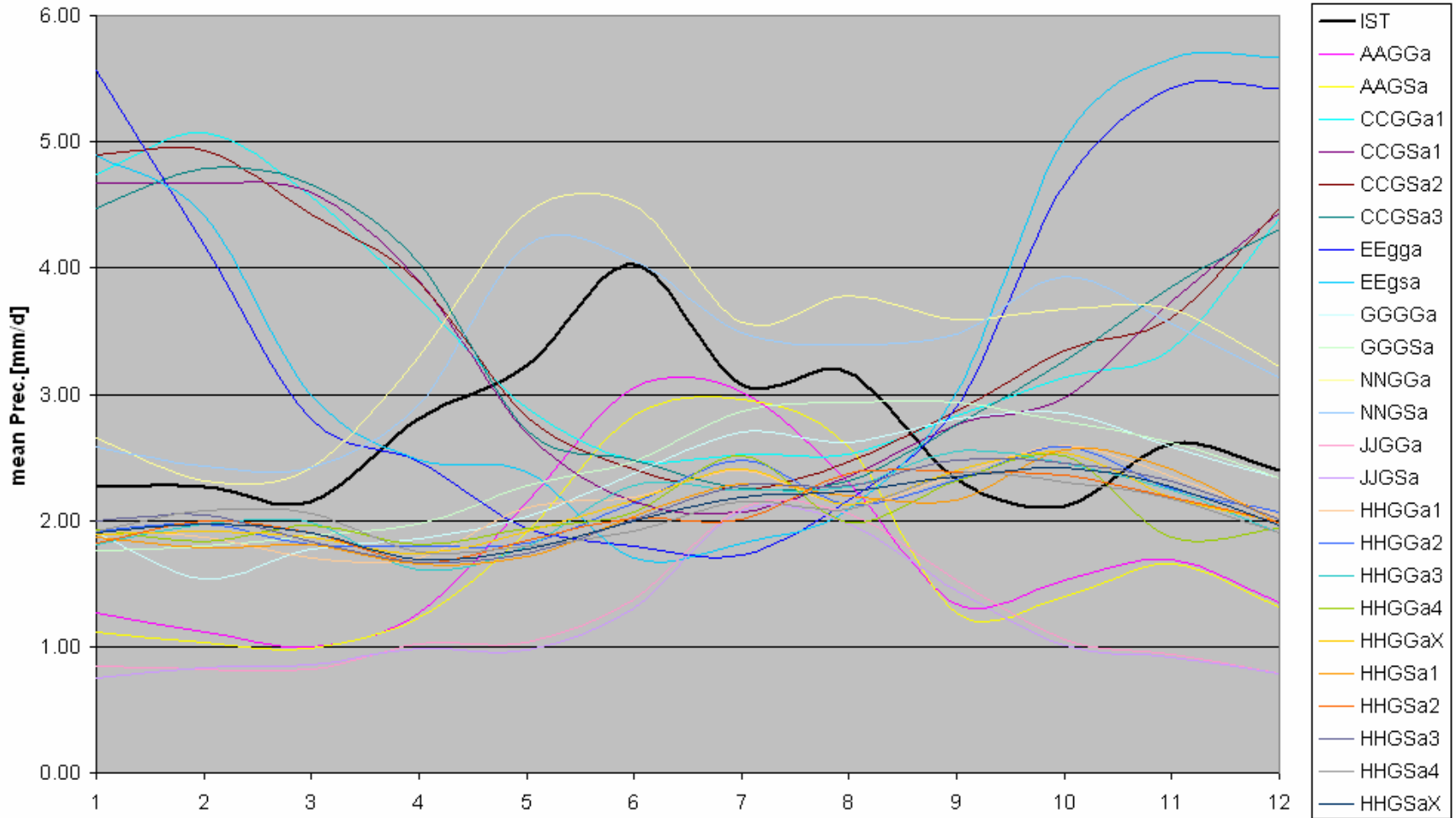
---

- Wie ?
  - Weiterführung der Trends
    - Kann es so weitergehen ? (Schalterprozesse)
    - Welcher Zeitraum soll hierfür verwendet werden ?
  - Globale Modellierung
    - Meteorologische Modelle
    - Niederschlag ist nicht gut modelliert
    - Wasserkreislauf extrem sensitiv
    - Auflösung



# Monatsniederschläge 1961-1990

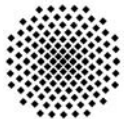
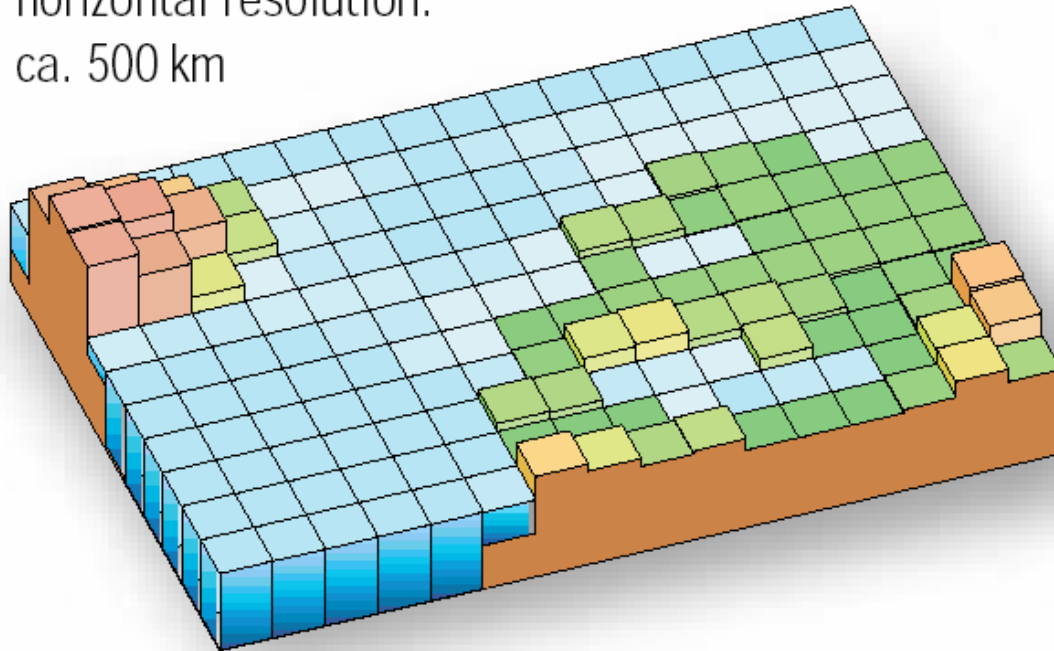
1961-90, alle IS92a, MW aus 4 Grids



# Wo ist der Rhein?

## Model T21

horizontal resolution:  
ca. 500 km

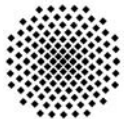
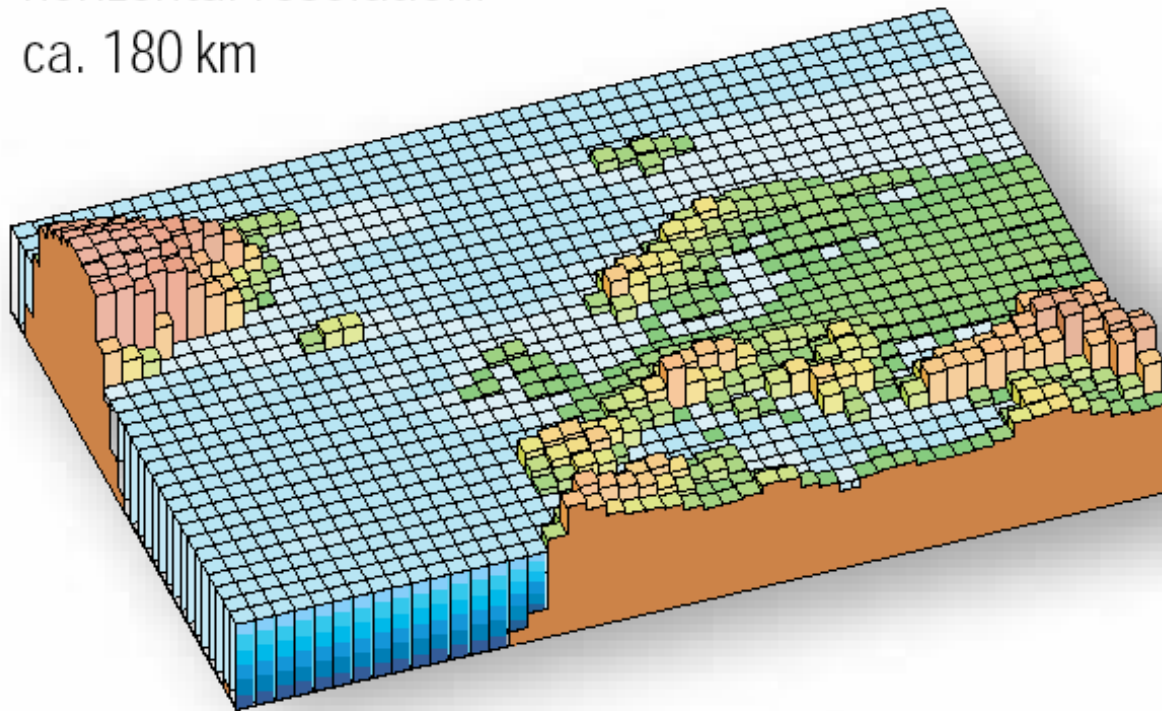


# Wo ist der Rhein?

---

## Model T63

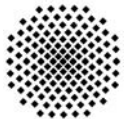
horizontal resolution:  
ca. 180 km



# Methoden

---

- Modellierung
  - Grobe Auflösung
  - Lokale Ungenauigkeiten
- Downscaling
  - Globale und lokale Skalen verbinden
  - Detailinformationen verwenden



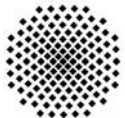
# Downscaling

---

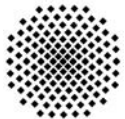
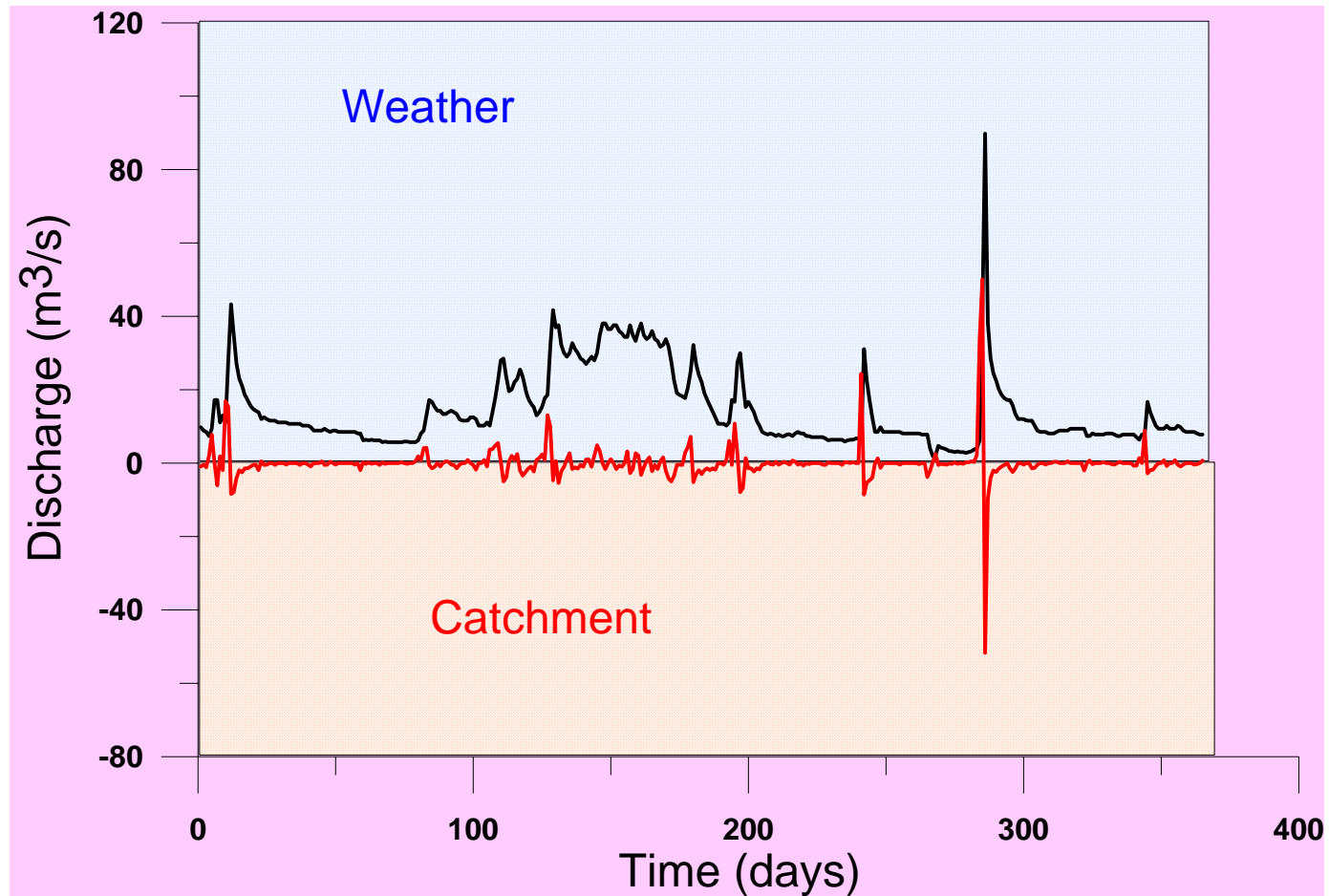
- Ziel: Größere Skala auf feinere „umrechnen“
  - Berücksichtigung der lokalen Feinheiten

$$F : \mathbf{x}_G \rightarrow \mathbf{y}_L$$

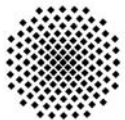
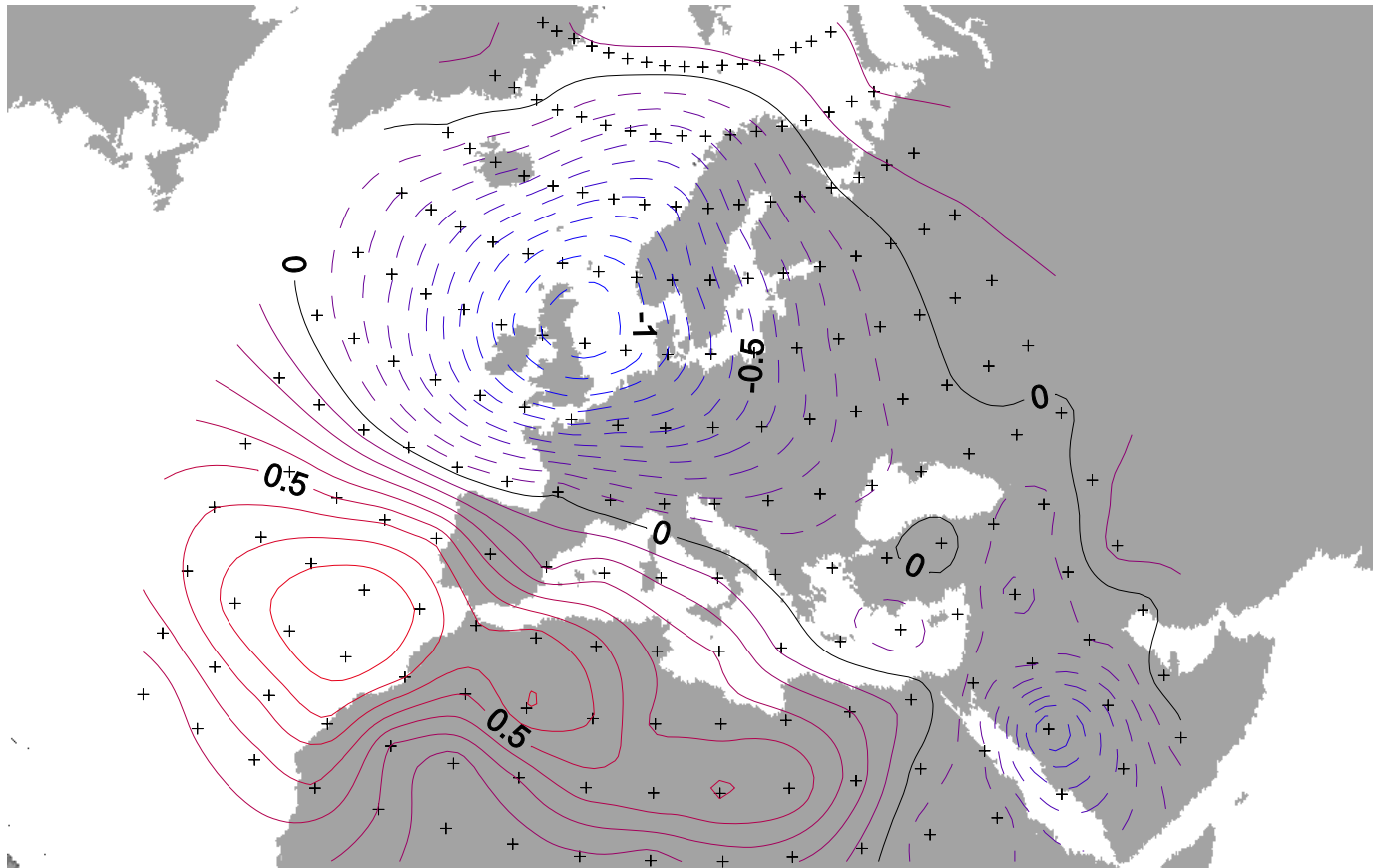
- Nicht eindeutige Abbildung – statistische Annahmen
- Mustererkennung
  - Typische Großwetterlagen mit spezifischem Wetter
  - Musterabhängiges stochastisches Modell
  - Typische Zeitreihen der „Zukunft“



# Wetterlagenklassifikation

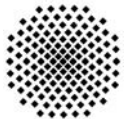


# CP 2



# Niederschlag Neckar - Winter

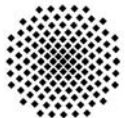
	Frequency (%)	Mean Precip.	Relative >P90
<b>CP02</b>	<b>14.0</b>	<b>36.8 %</b>	<b>34.0 %</b>
<b>CP07</b>	<b>10.7</b>	<b>3.5 %</b>	<b>2.4 %</b>
<b>CP09</b>	<b>8.7</b>	<b>20.9 %</b>	<b>23.7 %</b>
<b>CP11</b>	<b>7.6</b>	<b>13.1 %</b>	<b>15.8%</b>



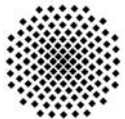
# Zusammenfassung

---

- Es gibt bereits Änderungen
- Klimaänderung ist ein Problem
  - Da die Vergangenheit nicht mehr repräsentativ ist müssen wir
    - Aussagen über das zukünftige Klima machen
      - Global und lokal (Verbindung)
    - Unsere Systeme besser kennen



- 
- Der Rhein wird sein Charakter weiter ändern
    - Oberrhein schwacher Jahresgang
    - Niederrhein Rückgang im Sommer Zunahme im Winter
    - Kleine Extreme werden häufiger
    - Grosse Extreme ?
  
  - Andere Flüsse → andere Konsequenzen



---

Danke!

