

# Generierung von Abflussganglinien für unbeobachtete Einzugsgebiete

Vortrag beim 9. Internationalen Anwenderforum Kleinwasserkraftwerke,  
14.-15.09.2006, Kempten

Jürgen Brommundt

András Bárdossy, Jan Bliefernicht



**Universität Stuttgart**

Institut für Wasserbau

**Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie**

Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. András Bárdossy

Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart, Deutschland [www.iws.uni-stuttgart.de](http://www.iws.uni-stuttgart.de)



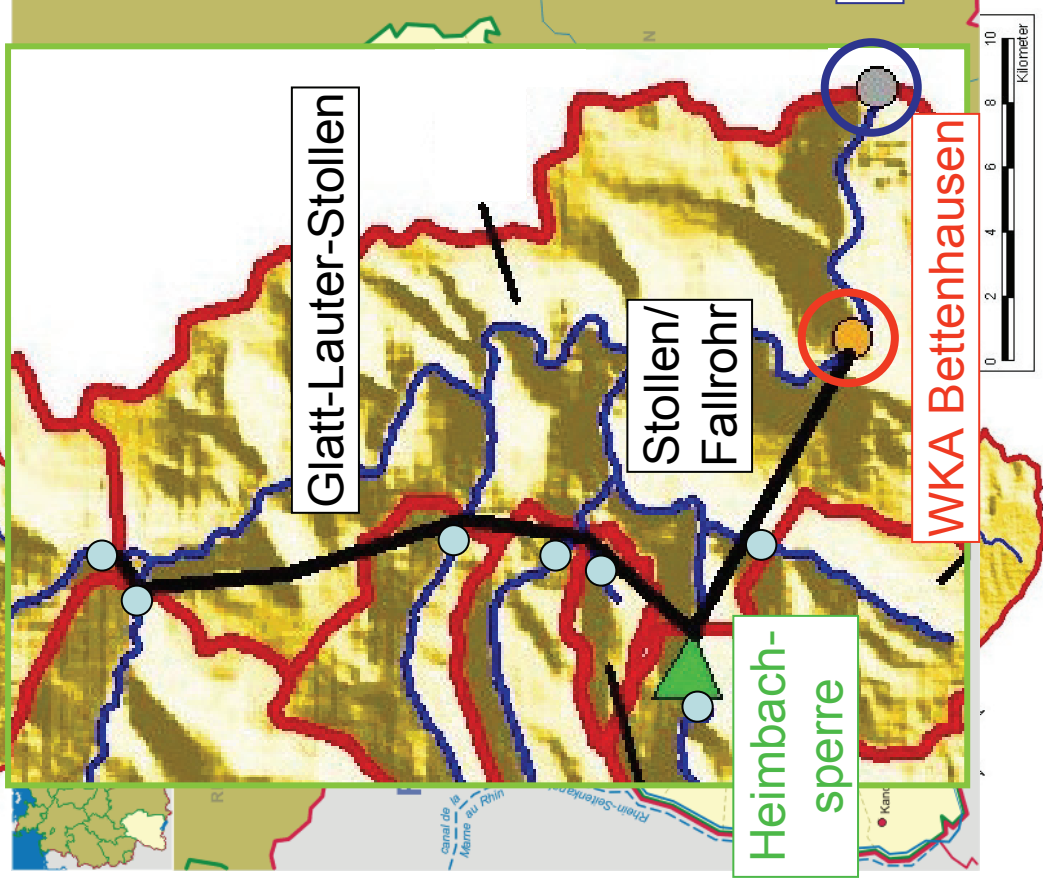
# Projektmotivation

- Konzessionsrechte der EnBW an der Wasserkraftanlage Bettenhausen laufen aus
- Genehmigungsplanung zum Weiterbetrieb
  - Abflussganglinien in Tagesauflösung für alle Teileinzugsgebiete der Anlage
- Lokale Messdaten fehlen
  - GENERIERUNG



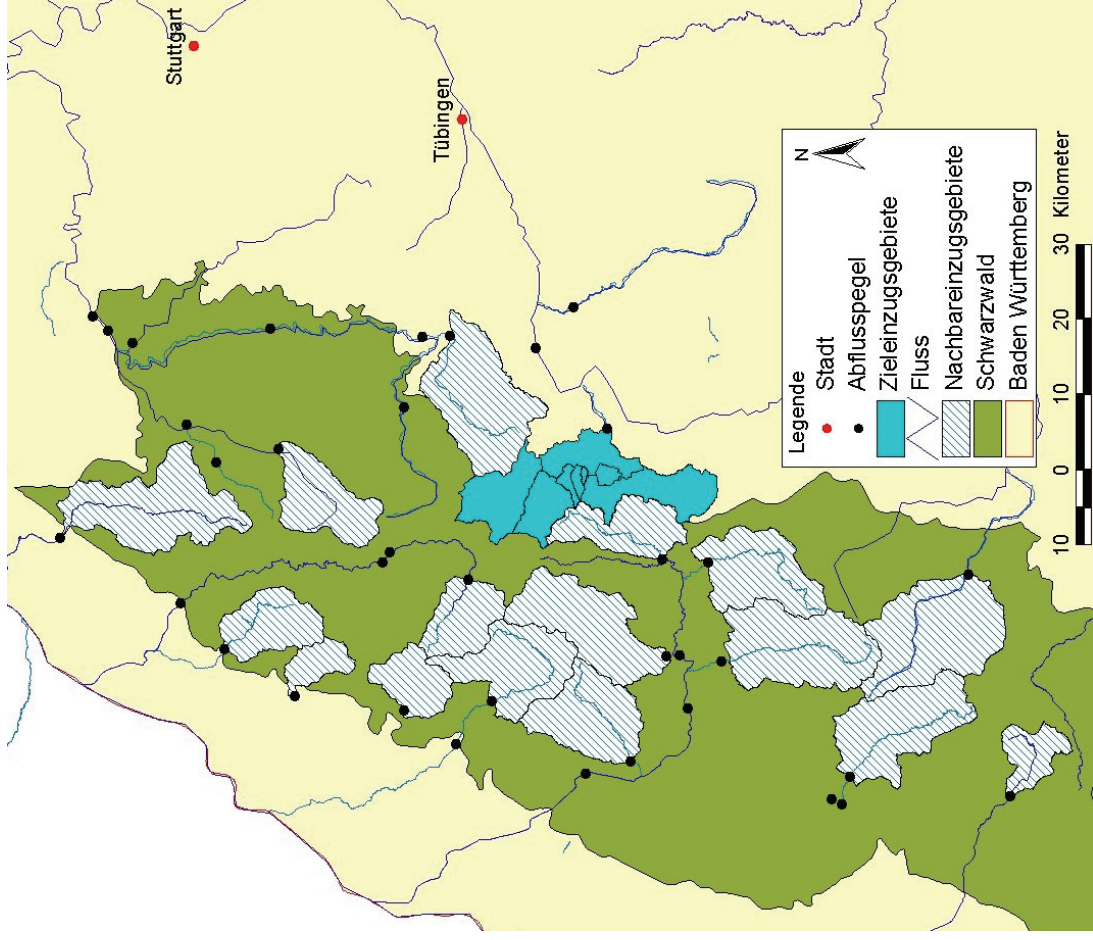
# WKA Bettenhausen

- 13km S/O Freudenstadt
- Laufwasserkraftwerk
- 7 Teileinzugsgebiete
- $\Sigma A_E = 165 \text{ km}^2$
- Pegel Hopfau: **Abflussmessungen!**



# Weitere Abflussdaten

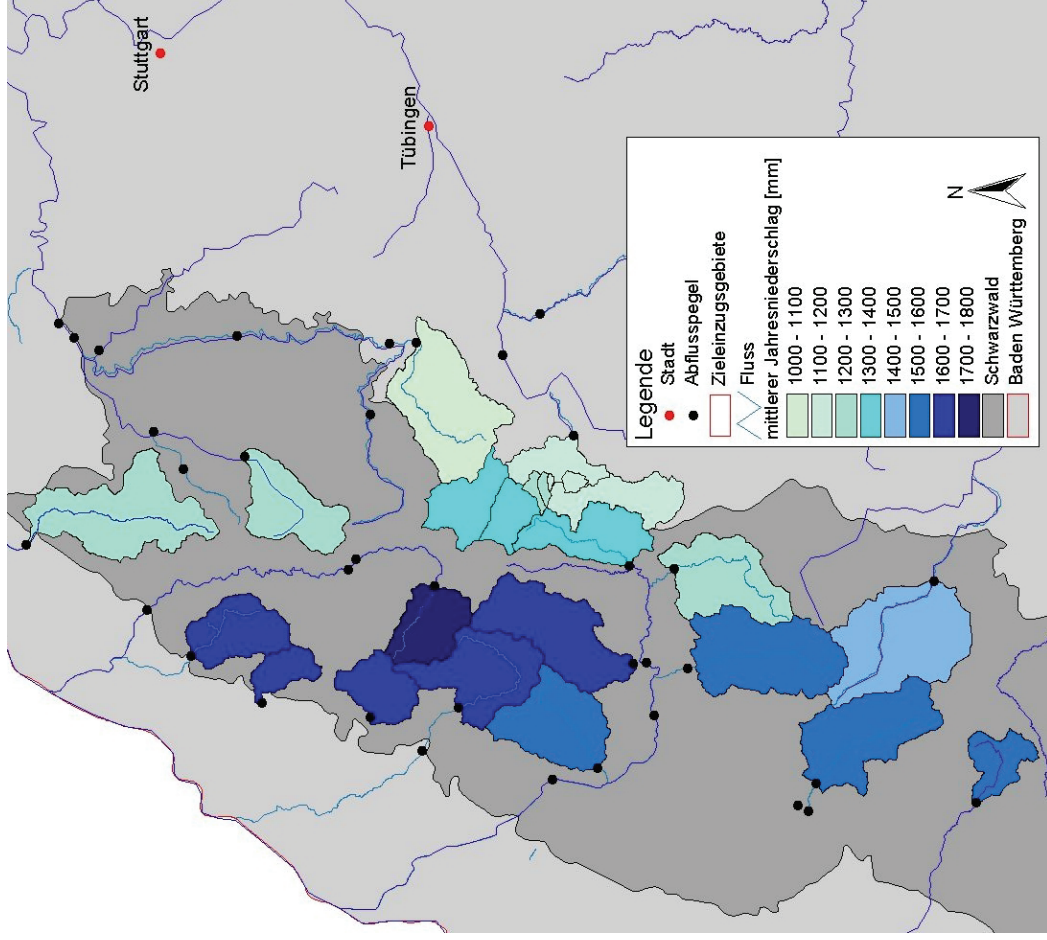
- aus 37 Pegeln in BW mit Daten 1950 - 2003
- 16 benachbarte Einzugsgebiete
- 1996-2003





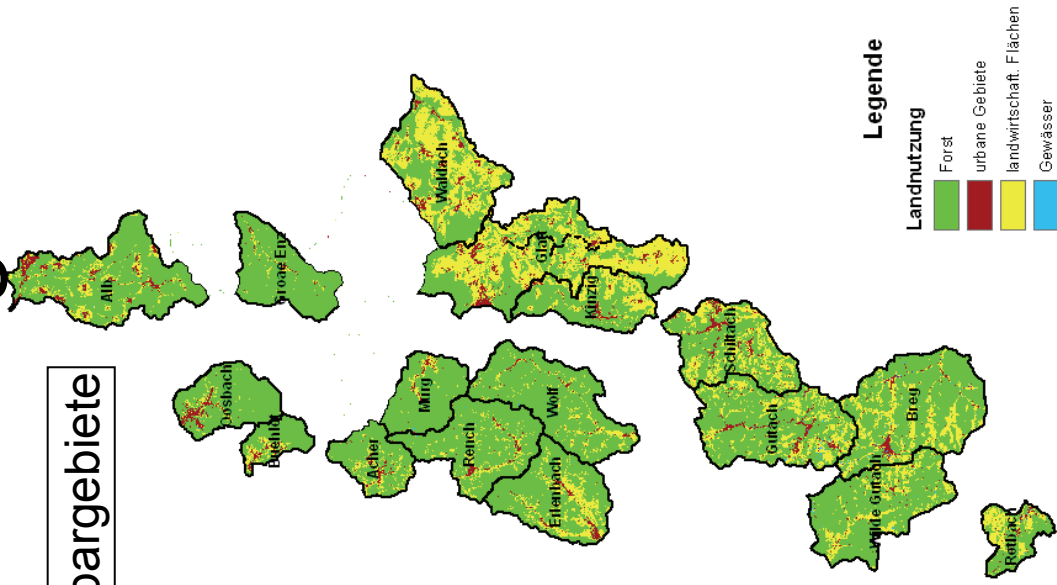
# Gebietseigenschaften - Niederschlag

- Flächig verfügbar für ganz BW
- Als abfluss-  
verursachende  
Größe relevant

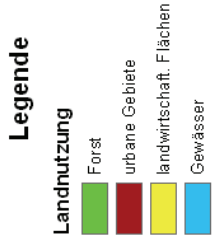
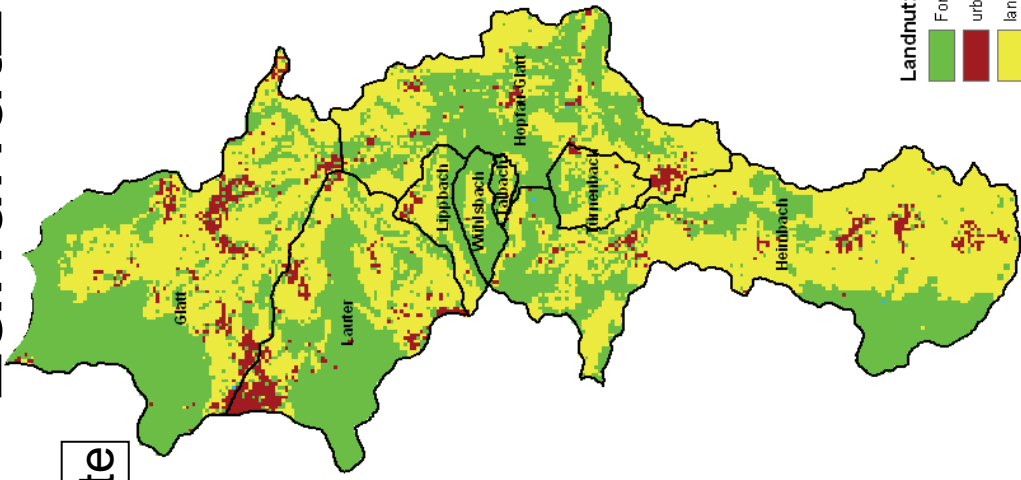


# Gebietseigenschaften - Landnutzung

Nachbargebiete



Zielgebiete



... und 10 weitere Eigenschaften



# Methode

- Wie kann man die Abflüsse von den Nachbargebieten auf die Zielgebiete übertragen?
1. Regionalisierung (Übertragung) von Abflusskenngrößen mit Hilfe der Gebietseigenschaften
  2. Generierung von Ganglinien mit den Abflusskenngrößen



# 1. Regionalisierung - Abflusskenngrößen

Wir verwenden:

- den mittleren Abfluss - *Energieproduktion*
- die Standardabweichung - *Variabilität*
- den minimalen Abfluss - *Ausfallzeiten*
- das erste Dezil des Abflusses  
– *Häufigkeit von Niedrigwasser*
- jeweils spezifisch jährlich & saisonal





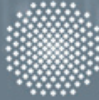
# Schrittweise Multiple Regression

- Die **Abflusskennwerte**  $y_k$  werden von den **Gebietseigenschaften**  $x_i$  „erklärt“

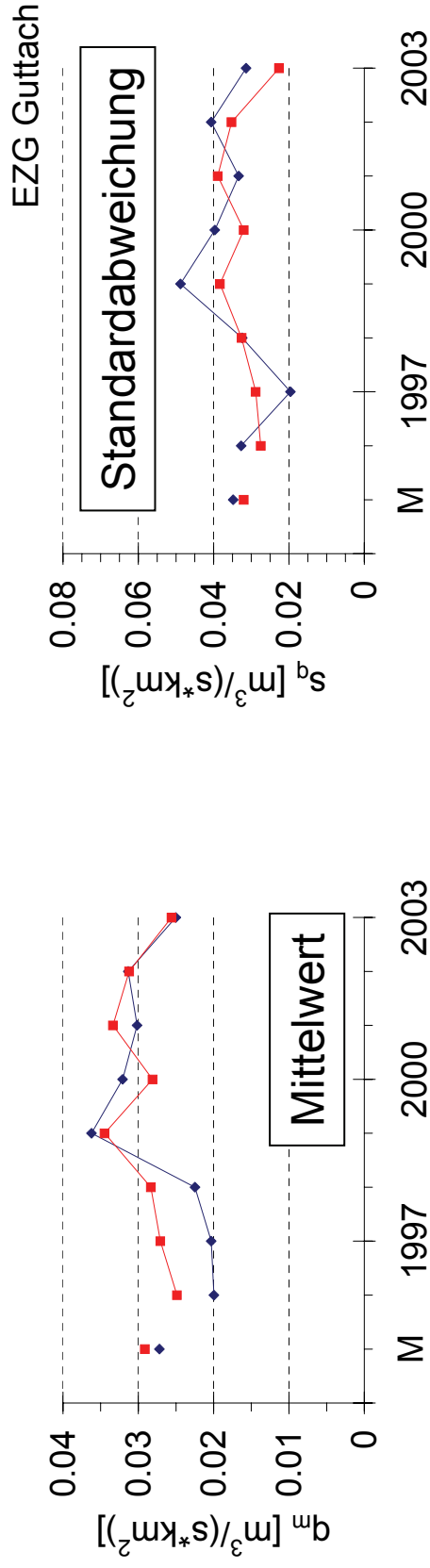
- Linearer Ansatz  $y_k = a_o + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n$

- Potenzansatz  $y_k = a_o \cdot x_1^{a_1} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}$

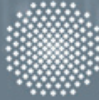
- Die **Anzahl der Eigenschaften**  $n$  hängt vom **Informationsgehalt** ab.
- Kreuzvalidierung der Modelle



# Kreuzvalidierung



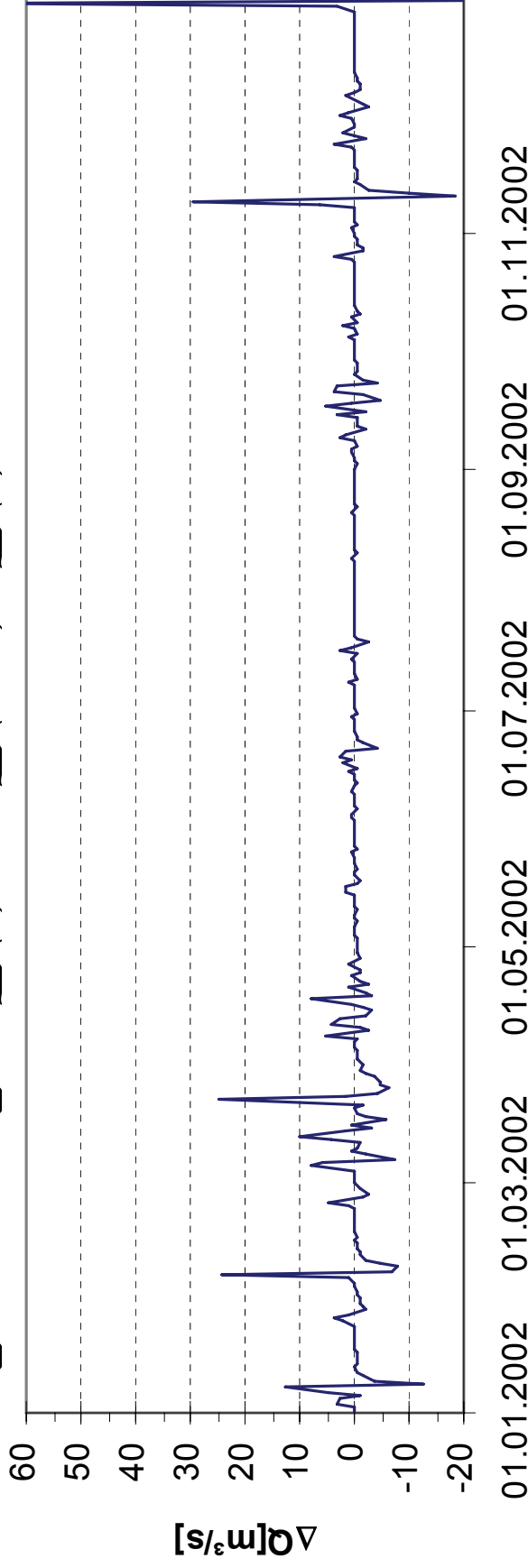
- Potenzansatz am Besten
  - zeitliche Dynamik der 4 Kennwerte wird gut wiedergegeben
  - leichte Überschätzung des minimalen und des ersten Dezils des Abflusses
- ⇒ **Unterschätzung der Standardabweichung**



## 2. Generierung - Grundlagen

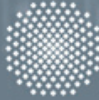
Auf Basis der Abflussunterschiede von

Tag zu Tag  $\Delta Q(t) = Q(t-1) - \bar{Q}(t)$



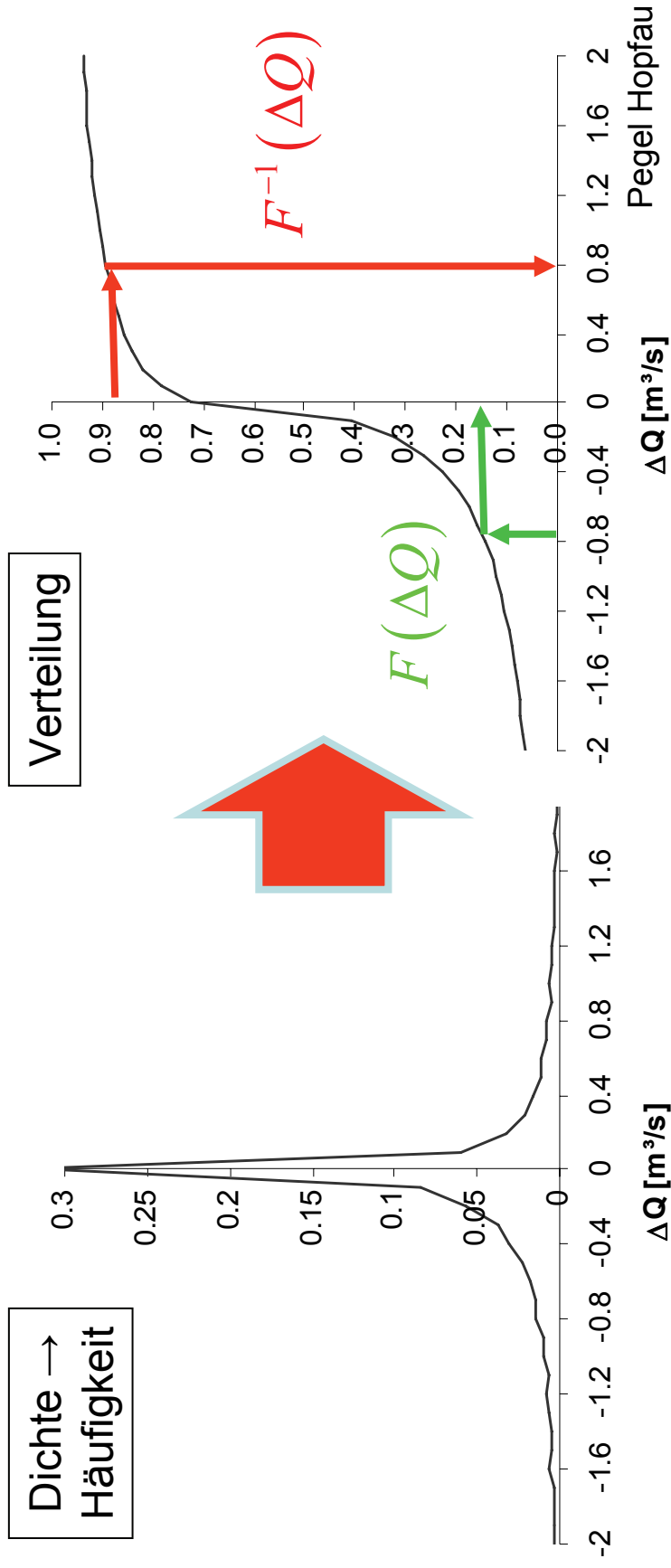
Pegel Hopfau

- $\Delta Q$ -Reihe sind unabhängig von der Einzugsgebietsfläche



# Verteilungsfunktion

- empirische Verteilungsfunktion der Abflussänderung  $\Delta Q(t)$



Diese unterscheiden sich nur auf der x-Achse

# Generierung einer Abflussreihe

- Mit Hilfe der Verteilung:

$$F(\Delta Q)$$

$$F^{-1}(\Delta Q)$$

Abflüsse  $\rightarrow$  Wahrscheinlichkeiten  $\rightarrow$  Abflüsse

- $F^{-1}(\Delta Q)$  mit Parameter  $s_p, s_n$

- Neue Reihe:

$$\Delta Q_{neu}(t, s_p, s_n) = F^{-1} \left( \underbrace{\phantom{s_p, s_n}}_{s_p, s_n} \right)$$

Wahrscheinlichkeiten



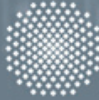


# Generierung einer Abflussreihe

- Ganglinie der Abflussänderung  $\checkmark$
- Startwert  $Q_s = Q_{neu}(t = 0)$

$$Q_{neu}(t + 1) = Q_{neu}(t) + \Delta Q_{neu}(t + 1)$$

- Abflussganglinie mit Parametern  $Q_s, S_p, S_n$



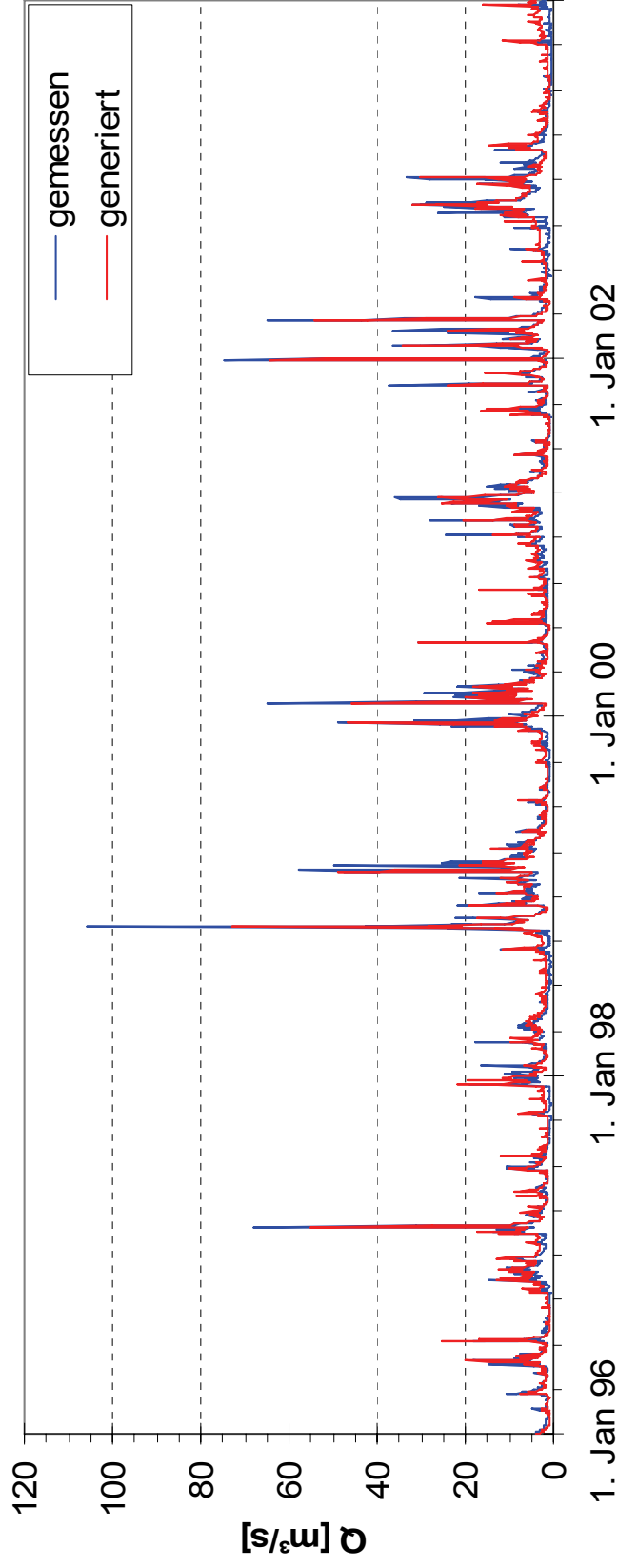
# Optimierung

- pro Zielgebiet aus allen 16 Nachbarreihen Abflussreihen
- Berechnen der 4 Abflusskennwerte
- Bestimmung von  $Q_{s^1, s^p, s^n}$
- Wahl der generierten Reihe mit der geringsten Abweichung zu den regionalisierten Abflusskennwerten



# Ganglinie Pegel Hopfau

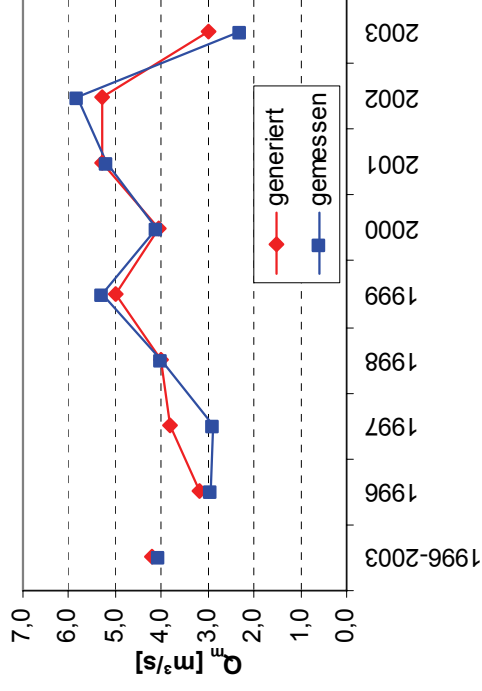
- Summe der Tageswerte der Teileinzugsgebiete



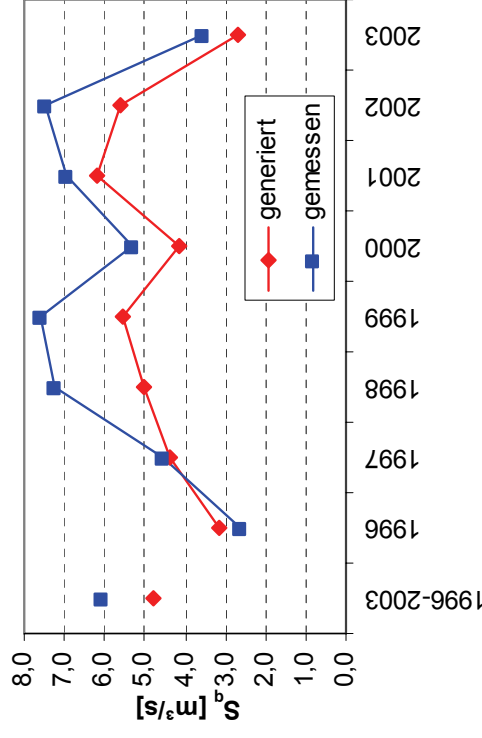
gemessene und generierte Ganglinie am Pegel Hopfau, 1996-2003



# Summenprobe Pegel Hopfau



Mittelwert Hopfau



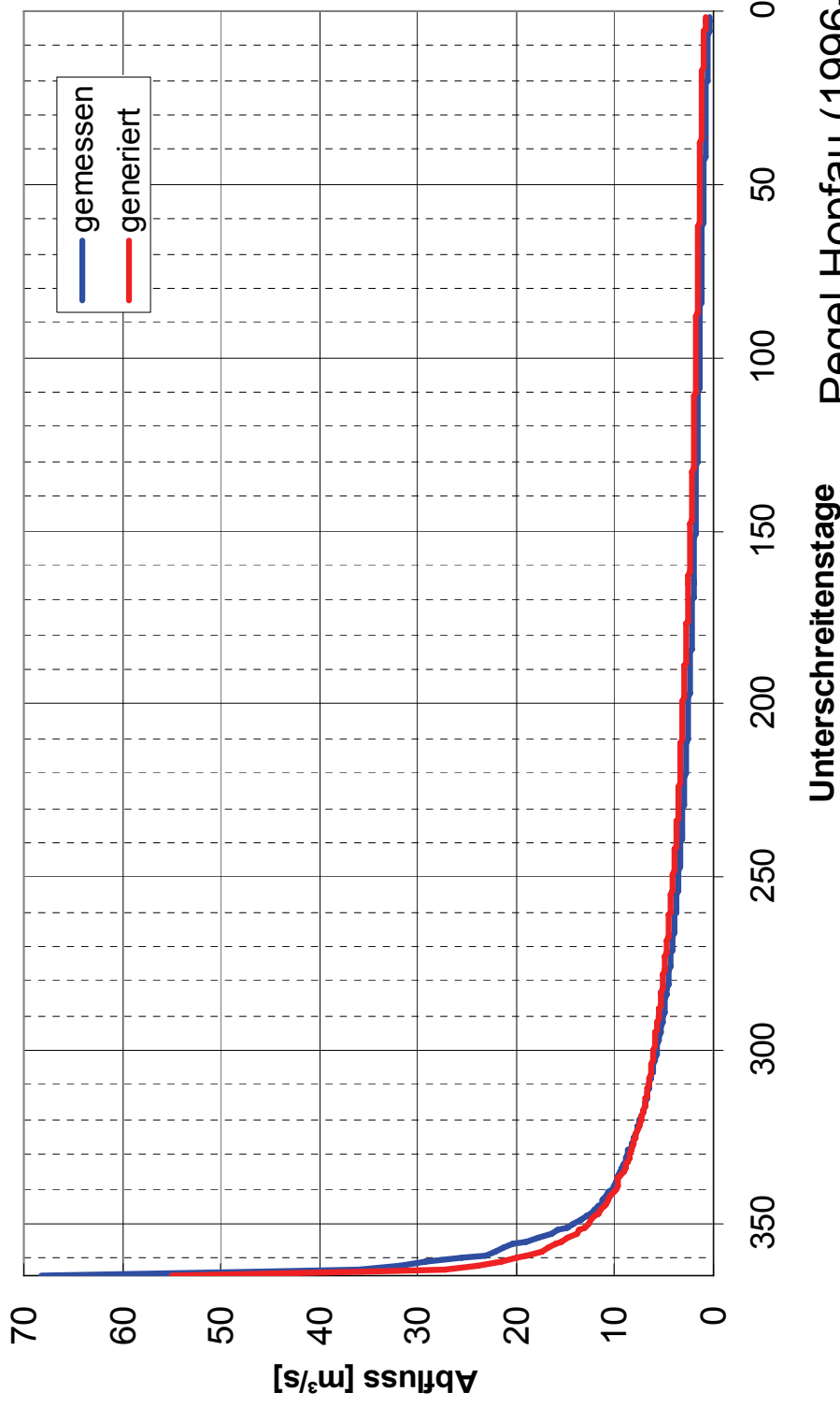
Standardabweichung Hopfau

- Erhöhung der Standardabweichung um 20% **nötig**, mehr ist nicht möglich

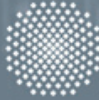


# Ergebnis

- Abflussdauerlinie



Unterschreitenstage Pegel Hopfau (1996-2003)





# Schlussfolgerungen

- Die Methode funktioniert und liefert plausible Zeitreihen
- Sie sind zur Bemessung von Wasserkraftanlagen geeignet
- Verbesserung der Regionalisierung der Standardabweichung
- Die Korrelation der generierten Reihen sollte reduziert werden ( $0.82 \leftrightarrow 0.63$ )



**Wir danken der EnBW Kraftwerke AG**



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**

**Fragen:**

**[Juergen.Brommundt@iws.uni-stuttgart.de](mailto:Juergen.Brommundt@iws.uni-stuttgart.de)**

