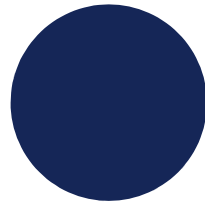


# *Einführung in die Modellierung*

Till Francke und Maik Heistermann  
*Universität Potsdam*



Seminar *Einführung in die Modellierung*  
im Modul *Versuchsplanung und Geoökologische Modellierung*

# ***Einführung in die Modellierung***

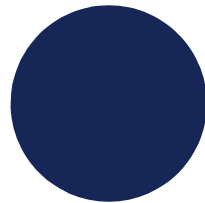
**In diesem Semester**

R als Werkzeug in der Modellierung

Ökologische Modelle

**Hydrologische Modelle**

(Ökohydrologische Modelle)



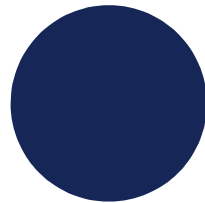
# *Einführung in die Modellierung*

## **Heute**

Rekapitulation: Modelldiagnose

Kalibrierung und Validierung

The Last Codefight



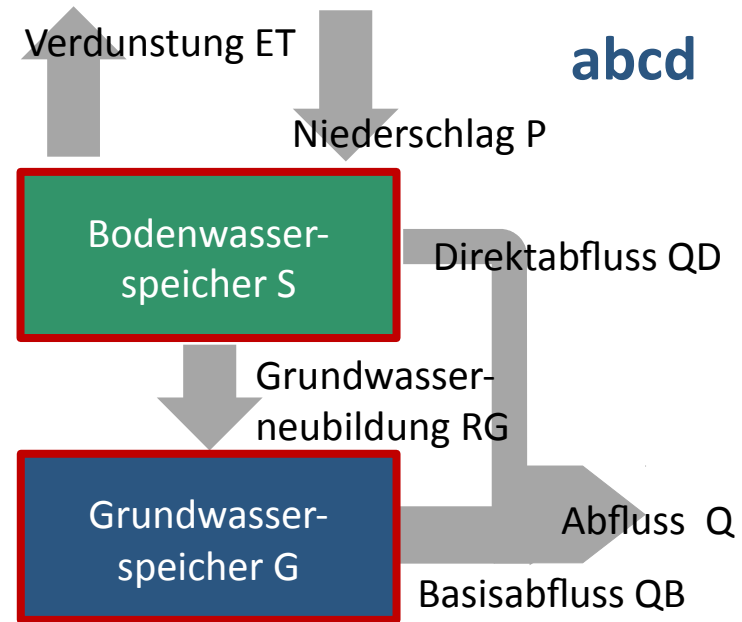


## Eigenschaften des *abcd*-Modells

- ✓ Massenerhaltung als Grundprinzip
- ✓ Einfluss der Gebietsfeuchte auf Abflussbildung
- ✓ Abbildung physikalischer Prozesse (hier: Verdunstung)

## Parameter des *abcd*-Modells

- Neigung zur Direktabflussbildung
- Effektive Speicherkapazität des Bodens
- Aufteilung zwischen GW-Neubildung und Direktabfluss
- Rezessionskonstante für Basisabfluss



## Was ist ein „gutes“ Modell?

### **Das Modell erfüllt einen bestimmten Zweck.**

z.B. Simulation des Jahresgangs der Gebietswasserbilanz  
(zur Ressourcenallokation, Klimafolgenabschätzung, ...)

z.B. Hochwasservorhersage

### **Das Modell hat eine sinnvolle Struktur.**

- Massenerhaltung
- Einfluss der Gebietsfeuchte auf Abflussbildung
- Abbildung physikalischer Prozesse (Verdunstung)

### **Das Modell ist im Zielgebiet einsetzbar.**

- Die Daten für den Antrieb des Modells sind vorhanden.
- Die dominanten Prozesse im Zielgebiet werden durch das Modell abgebildet.

abc

abcd



## Was ist ein „gutes“ Modell?

### Das Modell erfüllt einen bestimmten Zweck.

z.B. Simulation des Jahresgangs der Gebietswasserbilanz  
(zur Ressourcenallokation, Klimafolgenabschätzung, ...)

z.B. Hochwasservorhersage

### Das Modell hat eine sinnvolle Struktur.

- Massenerhaltung
- Einfluss der Gebietsfeuchte auf Abflussbildung
- Abbildung physikalischer Prozesse (Verdunstung)

### Das Modell ist im Zielgebiet einsetzbar.

- Die Daten für den Antrieb des Modells sind vorhanden.
- Die dominanten Prozesse im Zielgebiet werden durch das Modell abgebildet.

abc

abcd

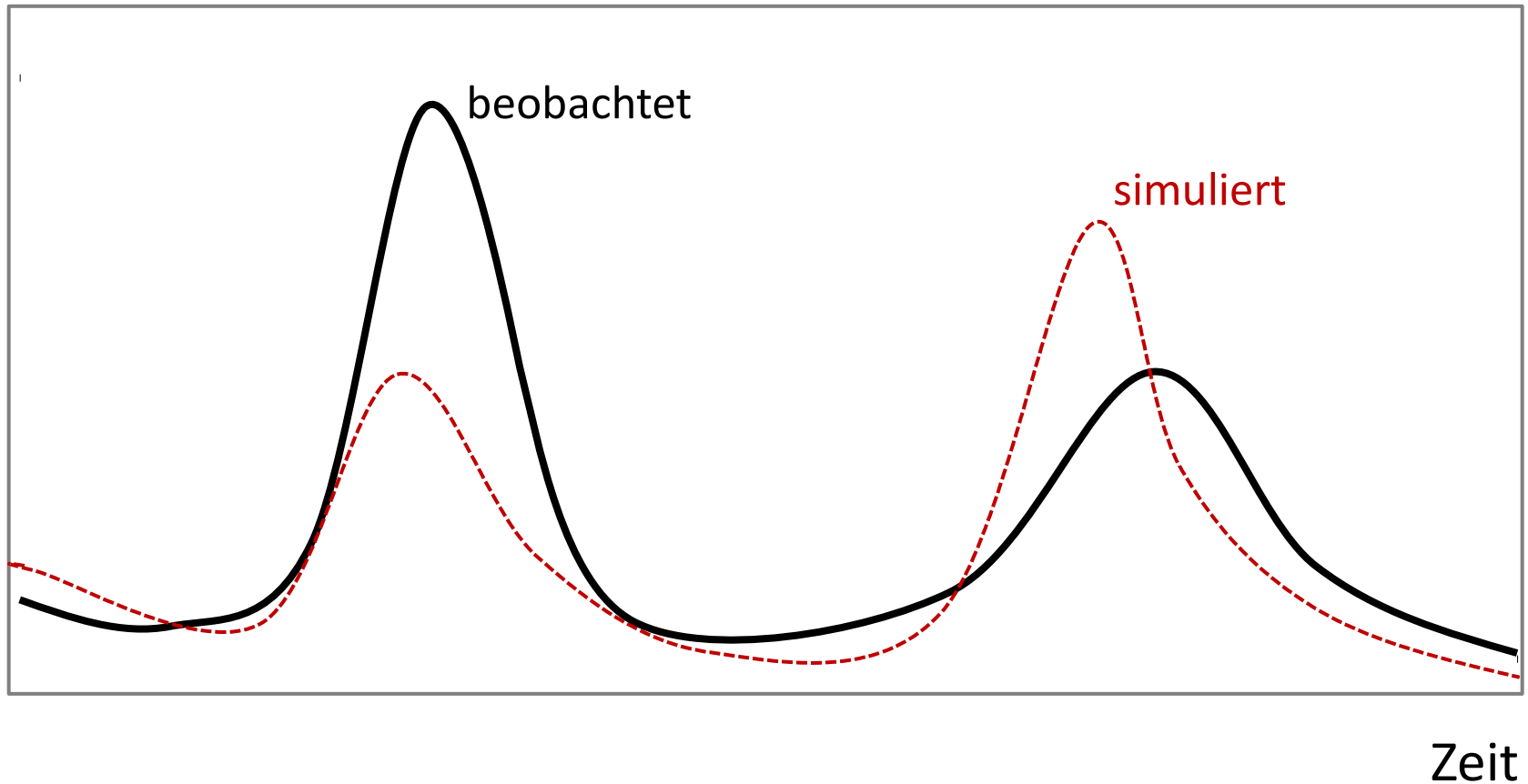


?

?

## Was ist ein „gutes“ Modell?

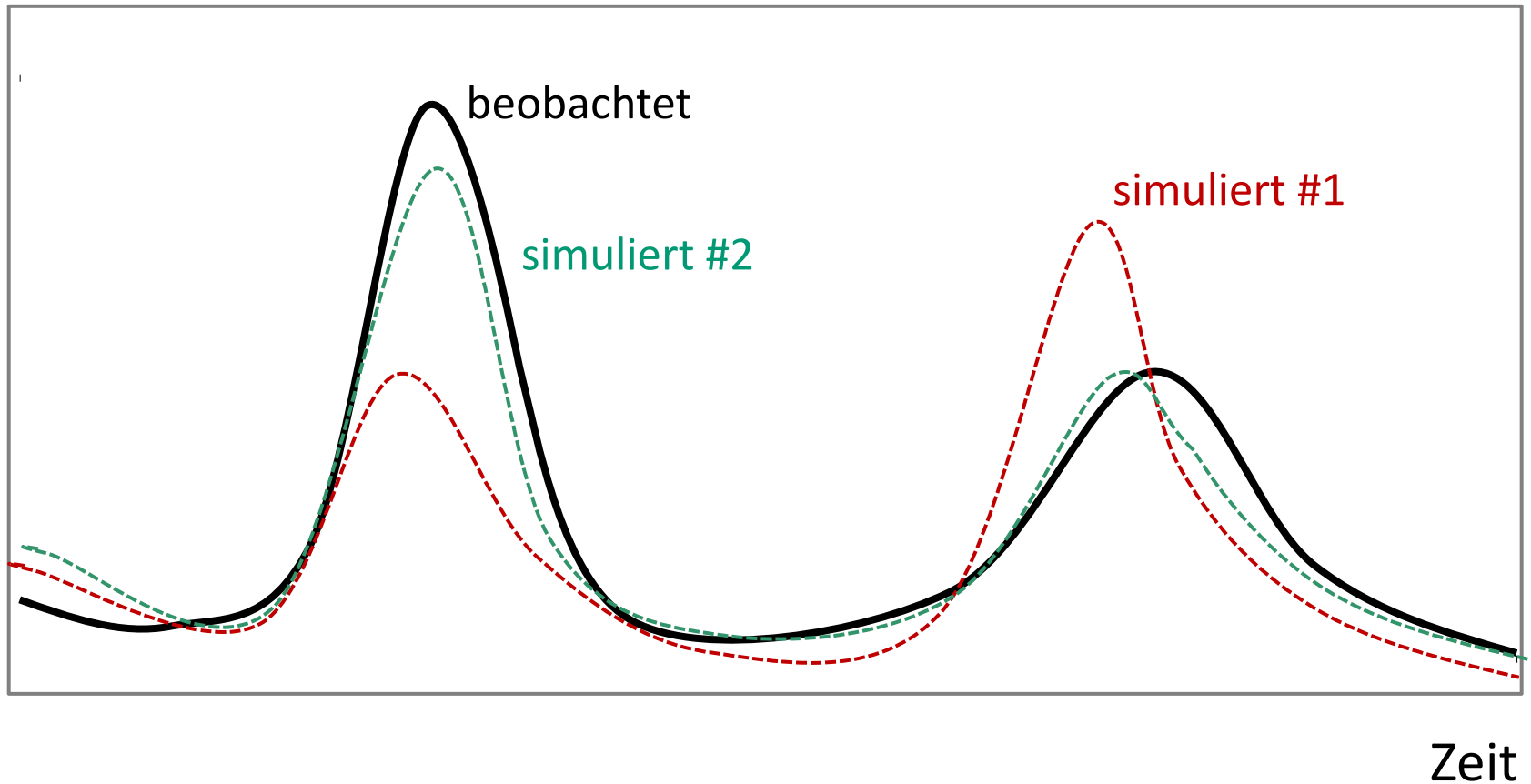
Abfluss





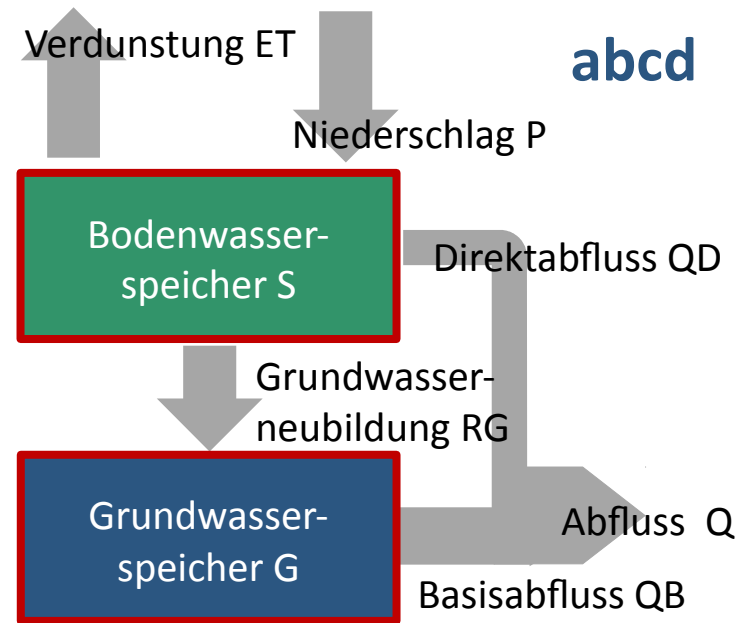
## Was ist ein „besseres“ Modell?

Abfluss



## Parameter des abcd-Modells

- a. Neigung zur Direktabflussbildung
- b. Effektive Speicherkapazität des Bodens
- c. Aufteilung zwischen GW-Neubildung und Direktabfluss
- d. Rezessionskonstante für Basisabfluss



Kann man die Parameter im Feld messen?

## Modellkalibrierung

Parameter des abcd-Modells sind alle „konzeptionell“

- Physikalisch interpretierbar, aber nicht direkt messbar
- Wie kann ich dann aber die Parameterwerte wählen?

**Suche** eine Kombination von Parametern ( $\text{param}$ ),  
so dass **Beobachtung** und **Simulation**  
möglichst gut **übereinstimmen**.

**Beobachtung** : gemessener Abfluss  $\text{obs}$  am Gebietsauslass

**Simulation** : simulierter Abfluss  $\text{sim}(\text{param})$  am Gebietsauslass

**Übereinstimmung** : ein quantitatives Fehlermaß/Gütemaß  $x(\text{obs}, \text{sim}(\text{param}))$

**Suche** : Suchalgorithmus, der  $x(\text{param})$  maximiert /minimiert

## Modellkalibrierung

### Maße für Übereinstimmung / Fehler / Güte

- unendliche Vielfalt
- objektives Maß für **Deine** Anforderung an das Modell

### Beispiele (in R-Schreibweise)

- `obs` sei ein Vektor mit Beobachtungen
- `sim` sei ein Vektor mit Simulationsergebnissen

Sum of Squared Errors      $SSE = \text{sum}((\text{obs} - \text{sim})^2)$

Root Mean Squared Error      $RMSE = \text{sqrt}(\text{mean}((\text{obs} - \text{sim})^2))$

Nash-Sutcliffe Effizienz      $NSE = 1 - SSE / \text{sum}((\text{obs} - \text{mean}(\text{obs}))^2)$

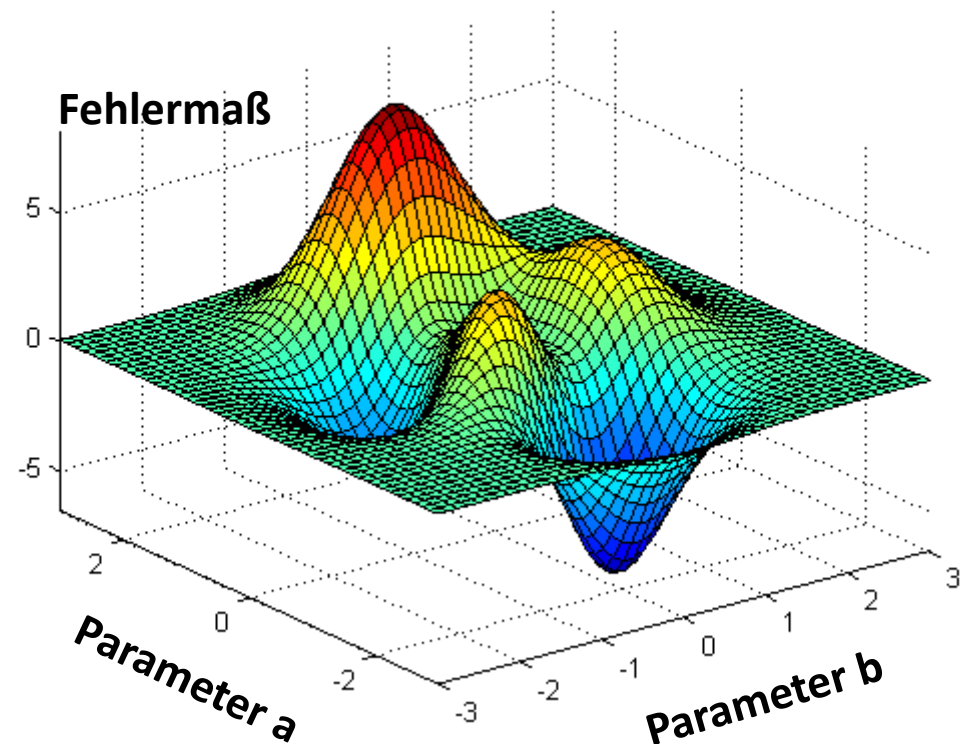
Mean Error      $ME = \text{mean}(\text{obs} - \text{sim})$

## Modellkalibrierung

### Suchverfahren und -algorithmen

- Ausprobieren
- Rohe Gewalt (Brute Force)
- „Intelligente“ Suchalgorithmen

Beispielhafte Oberfläche einer Zielfunktion  
mit zwei Modellparametern a und b



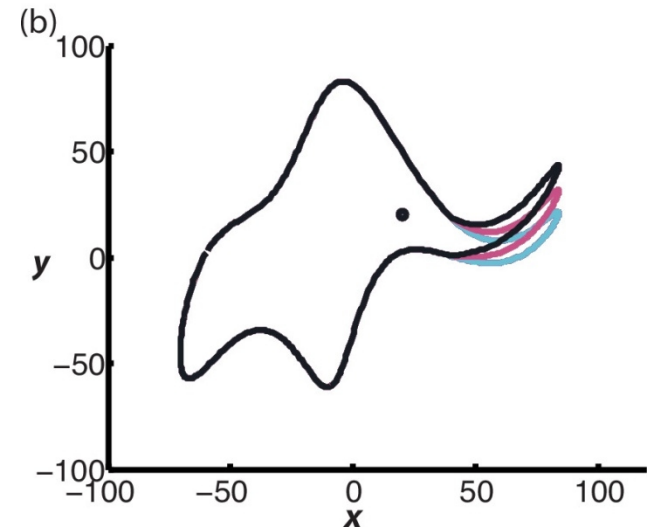
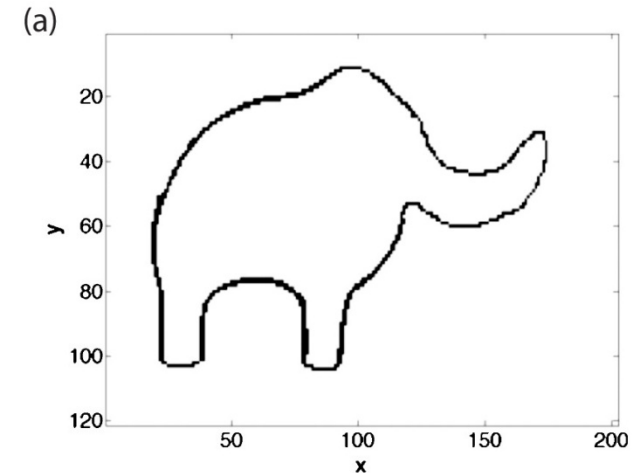
## Modellvalidierung

“With four parameters I can fit an elephant,  
and with five I can make him wiggle his trunk.”

*John von Neumann, Mathematiker*

### Mit anderen Worten

Wie kann ich beurteilen, dass mein kalibriertes  
Modell auch außerhalb der verwendeten  
Beobachtungen funktioniert?

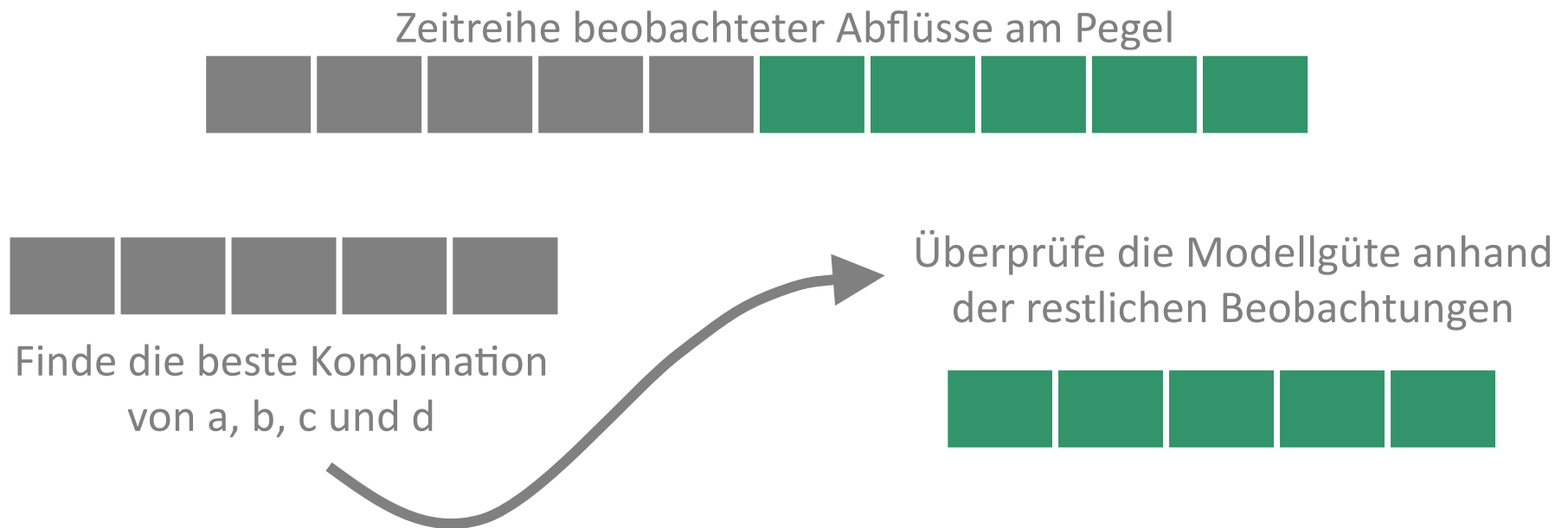


Mayer et al. (2010), Amer. J. Phys.

## Modellvalidierung

### Split Sampling

- Kalibriere das Modell an einer Teilmenge der Beobachtungen;
- überprüfe anhand der verbleibenden Teilmenge die Güte des Modells.





## MOPEX: **MO**dell **P**arameter **E**stimation **EX**periment

- homogener Datensatz für 431 Einzugsgebiete in den USA
- Abflusszeitreihen
- Gebietsmittelwerte für Niederschlag, PET,  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$
- tägliche Auflösung (für diesen Kurs: Monatsmittelwerte)

Download der Daten und Metadaten:

[ftp://hydrology.nws.noaa.gov/pub/gcip/mopex/US\\_Data](ftp://hydrology.nws.noaa.gov/pub/gcip/mopex/US_Data)

### Legend

-  Selected 92
-  MOPEX 431 Catchments
-  ModisTiles
-  US States



## MOPEX: **MO**dell **P**arameter **E**stimation **EX**periment

- homogener Datensatz für 431 Einzugsgebiete in den USA
- Abflusszeitreihen
- Gebietsmittelwerte für Niederschlag, PET,  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$
- tägliche Auflösung (für diesen Kurs: Monatsmittelwerte)

Download der Daten und Metadaten:

[ftp://hydrology.nws.noaa.gov/pub/gcip/mopex/US\\_Data](ftp://hydrology.nws.noaa.gov/pub/gcip/mopex/US_Data)

Legend

Selected 92

MOPEX 431 Catchments

Tiles

US States



Bearbeite die Aufgaben in `diagnose.R` und `calval.R`.

0 250 500 1,000 km