

---

# Hydrologie und Flussgebietsmanagement

o.Univ.Prof. DI Dr. H.P. Nachtnebel

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau

The bottom right corner of the slide features a decorative graphic of several concentric, light blue circles of varying sizes, resembling ripples on water. These circles are arranged in a pattern that suggests movement and depth, with some overlapping others. The circles are semi-transparent and blend into the dark blue background.

# Gliederung der Vorlesung

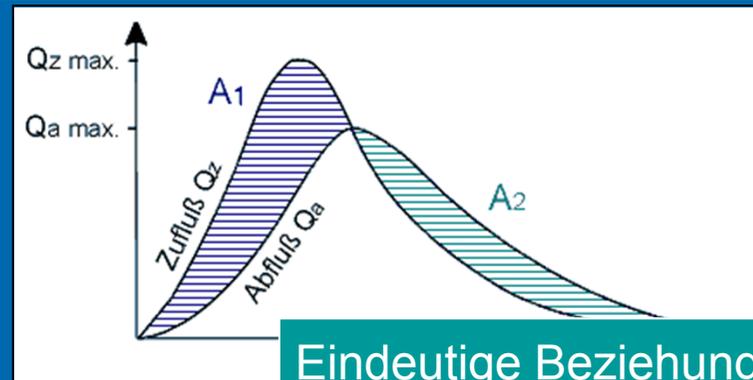
---

- Statistische Grundlagen
- Extremwertstatistik
- Korrelation und Regression
- Zeitreihenanalyse und Anwendung
- Regionalisierung & räumliche Interpolation
- Bodenwasserhaushalt
- Grundwasserhaushalt
- N-A Modelle – Einheitsganglinie
- N-A Modelle – kombinierte Translations- und Speichermodelle
- Kontinuierliche N-A Modelle
- **Retention und Flood Routing**
- Hydrologische Vorhersagen
- Flussgebietsmodelle
- Stofftransport
- Sedimenttransport – Modellierung
- Flussgebietsmodelle

# Begriffe

## ➤ Retention

- Dämpfung und
- zeitliche Verschiebung einer Abflusswelle



Eindeutige Beziehung zwischen Speicherinhalt und Abfluss

## ➤ Stehende Retention

in natürlichen Seen oder Speichern

- Mittels stehender Retention - Bemessung von
  - Hochwasserrückhaltebecken

## ➤ Fließende Retention

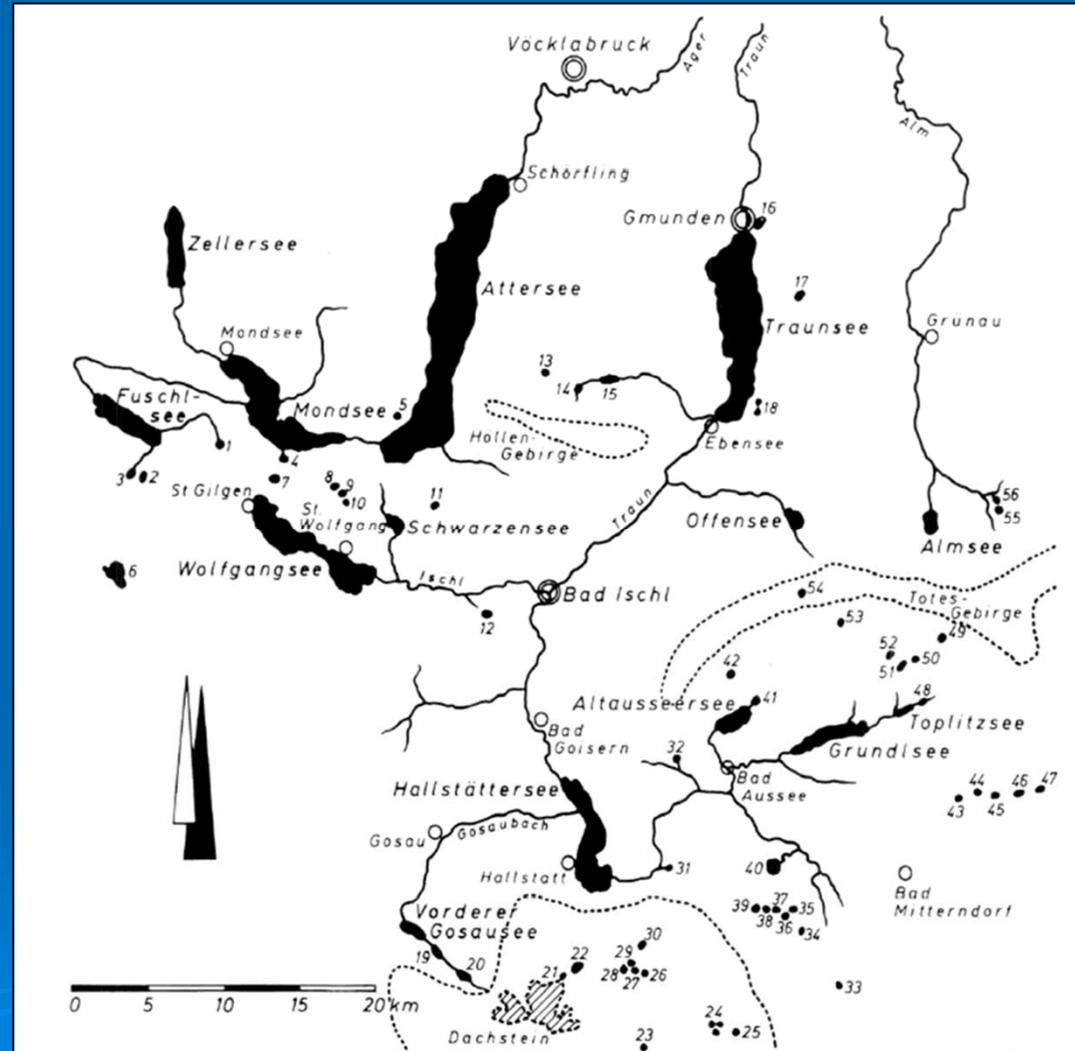
in Fließgewässern

- Mittels fließender Retention – Berechnung von
  - Wellenverformung inkl. Überflutung für Fließgewässer
  - Hochwasserprognosen

Speicherinhalt vom Zu- und Abfluss abhängig

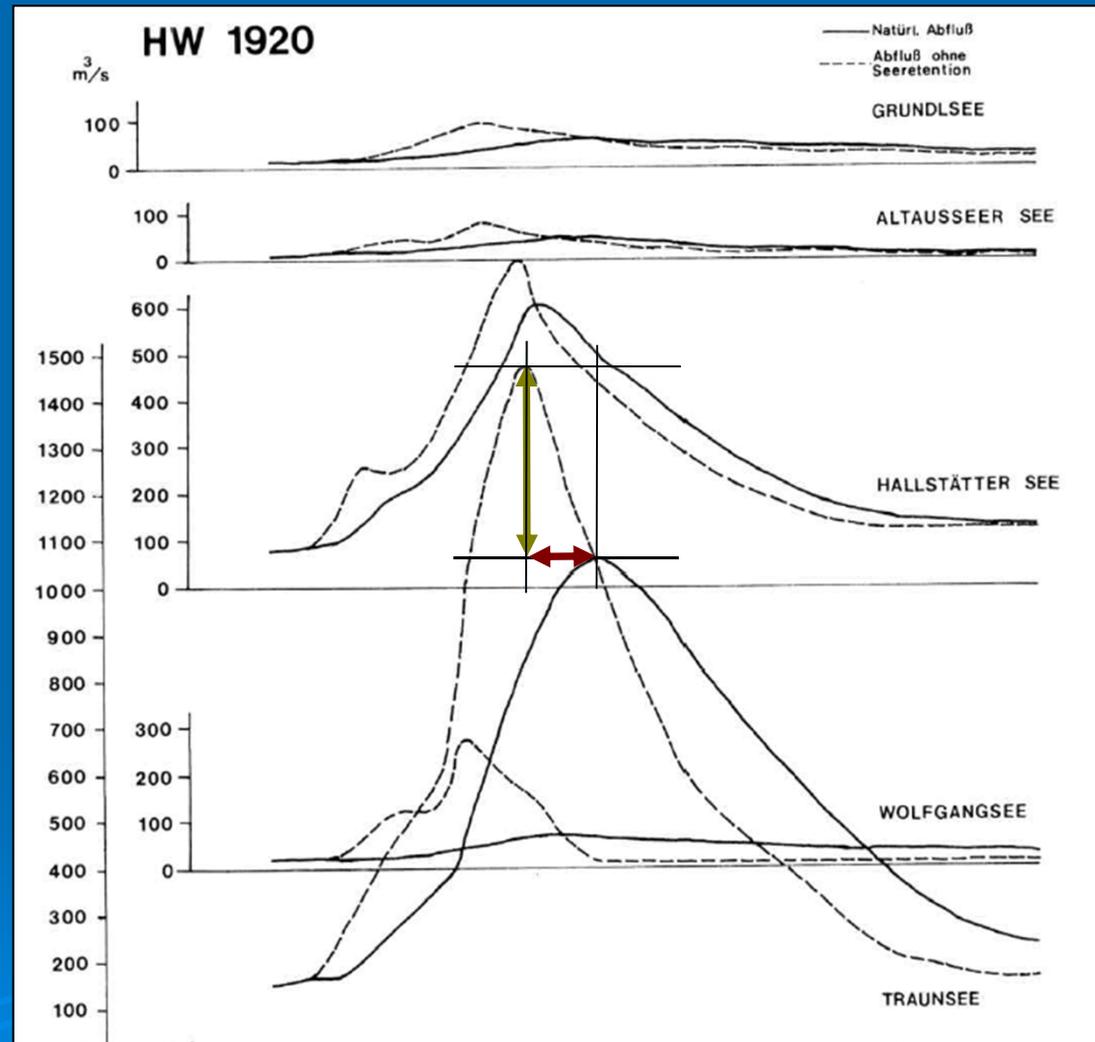
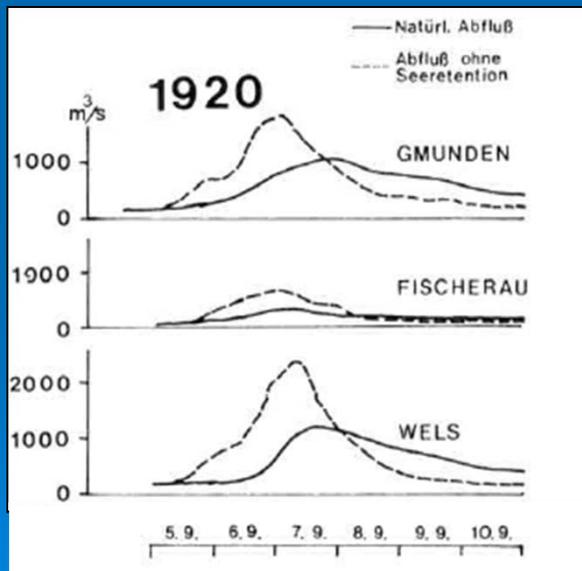
# Beispiel Seeretention: Salzkammergut 1

- Größtes Seengebiet Österreichs: 124 km<sup>2</sup>
- Gesamtvolumen: 8,74 Mrd. m<sup>3</sup>
- Wasseranstieg Vergleich HQ1 zu HQ100: das bis zu 4fache
- Absolute Werte: abhängig vom betroffenen See bis zu 3,4 m (Traunsee, 1897) Wasserstandsunterschied: Ausgangswasserspiegel unmittelbar vor Hauptwelle zu Hochwasserspitze



# Beispiel Seeretention: Salzkammergut 2

- Darstellung der Abflussganglinien des Hochwassers 1920
  - Dämpfung und
  - Zeitliche Verschiebung



# Berechnung: Stehende Retention 1

- Anwendung
  - Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken

- Bilanzgleichung

$$Q_Z(t) - Q_A(t) = \frac{S(t)}{dt}$$

- Differenzengleichung

$$\frac{Q_Z(t) + Q_Z(t + \Delta t)}{2} - \frac{Q_A(t) + Q_A(t + \Delta t)}{2} = \frac{S(t) - S(t + \Delta t)}{\Delta t}$$

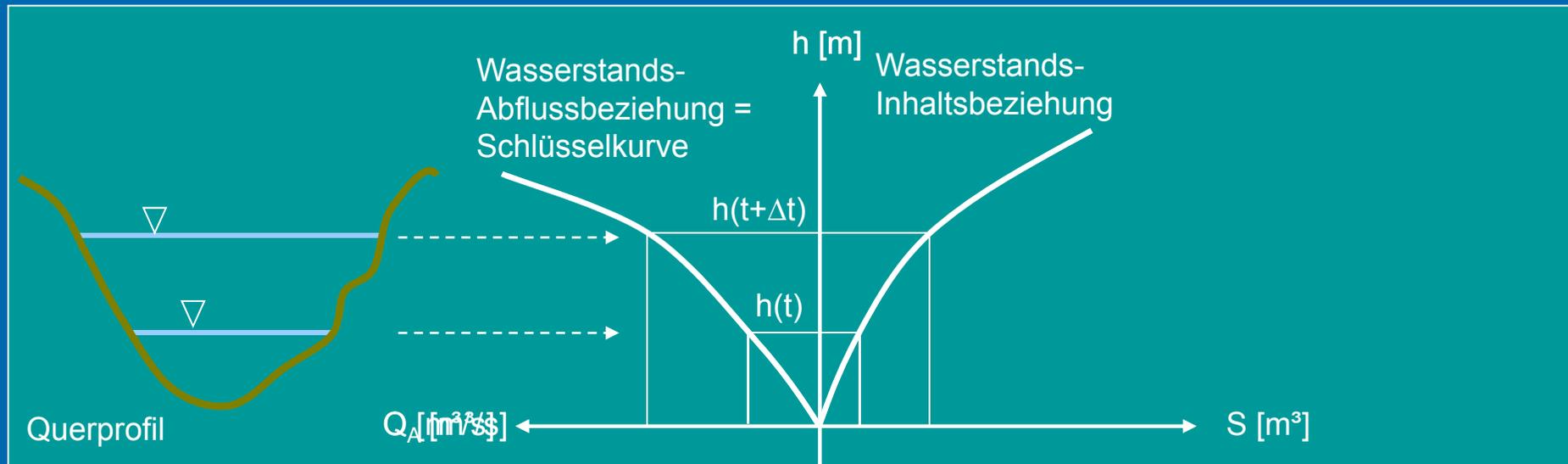
- Eingangsdaten
  - Zuflussganglinie
  - Speicherinhaltslinie
  - Abflusskurve
  - Startwert für den Abfluss

Ergebnis

Abfluss am Ende des Zeitintervalls

# Berechnung: Stehende Retention 2

- Methode nach PULS



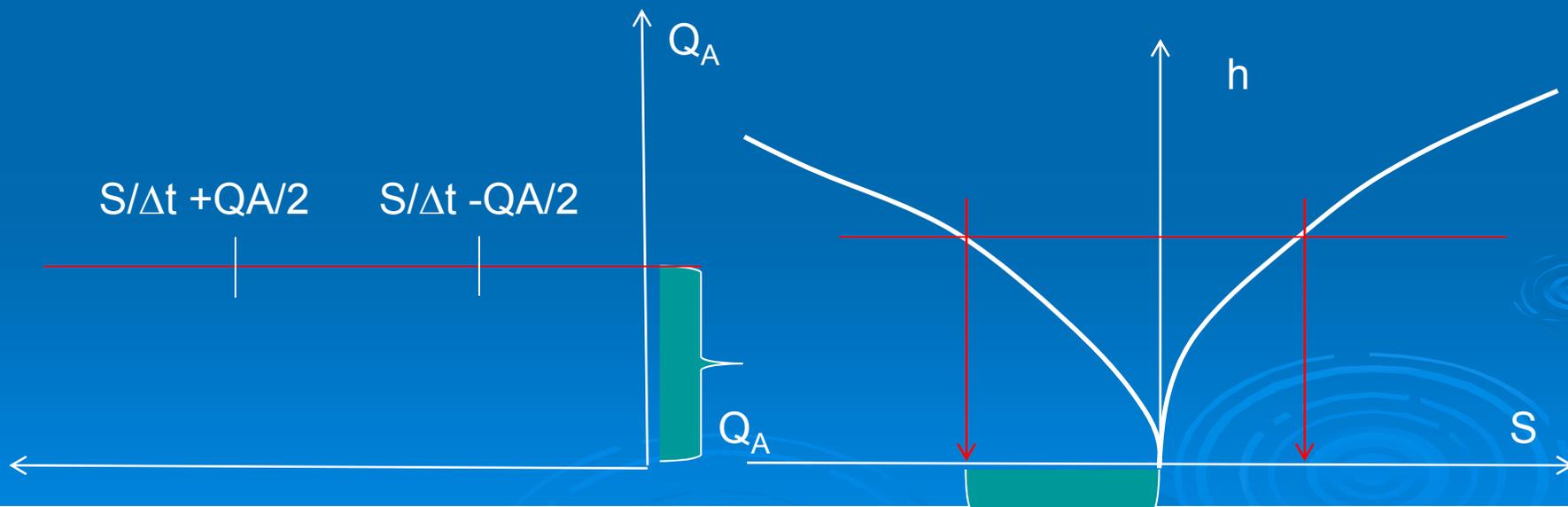
$$\frac{Q_Z(t) + Q_Z(t + \Delta t)}{2} - \frac{Q_A(t) + Q_A(t + \Delta t)}{2} = \frac{S(t) - S(t + \Delta t)}{\Delta t}$$

**Bekanntes**  **Unbekanntes**

$$\frac{Q_Z(t) + Q_Z(t + \Delta t)}{2} + \frac{S(t)}{\Delta t} - \frac{Q_A(t)}{2} = \frac{S(t + \Delta t)}{\Delta t} + \frac{Q_A(t + \Delta t)}{2}$$

# Lösungsverfahren

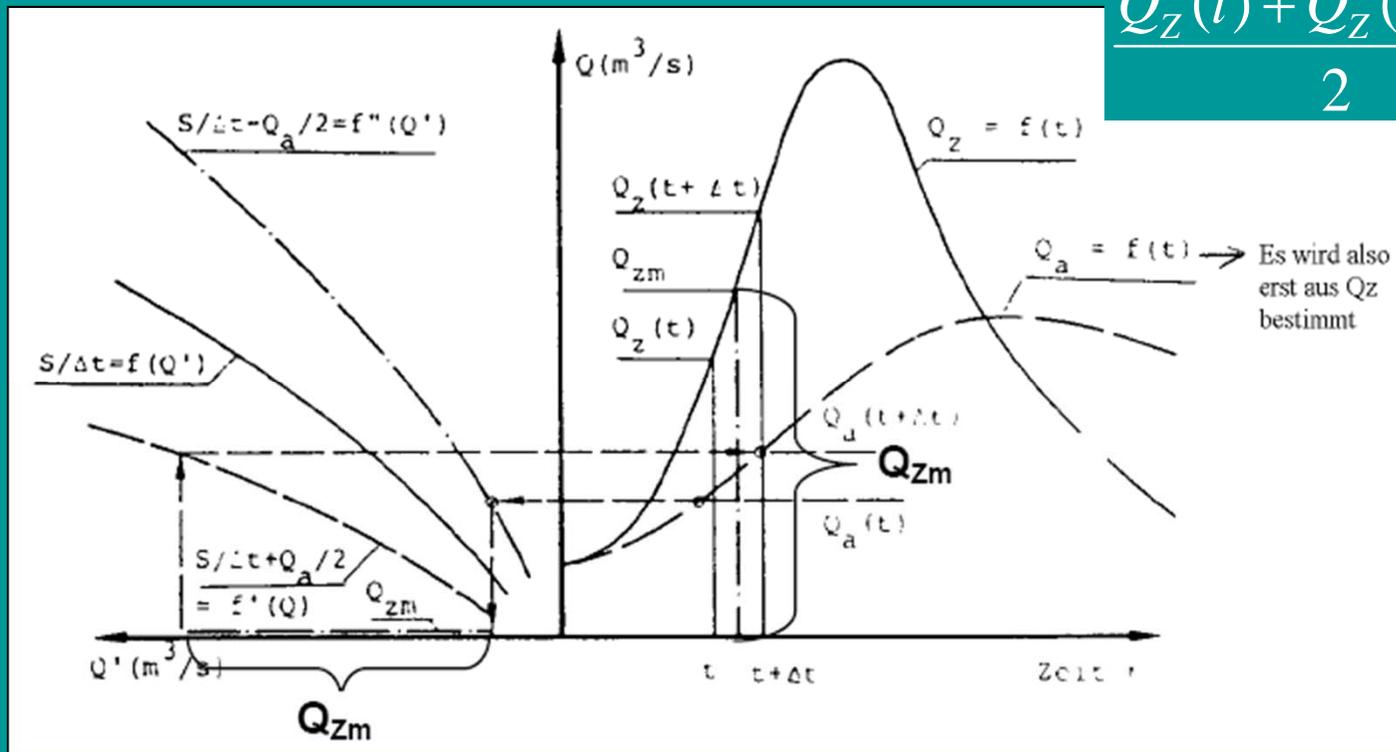
- Unabhängig vom Zeitpunkt kann ein  $Q_A$  und das zugehörige  $S$  aus voriger Grafik entnommen werden
- Damit kann  $S/\Delta t + QA/2$  und  $S/\Delta t - QA/2$  berechnet werden



# Berechnung: Stehende Retention 3

$$\frac{Q_Z(t) + Q_Z(t + \Delta t)}{2} + \frac{S(t) - Q_A(t)}{\Delta t} = \frac{S(t + \Delta t) + Q_A(t + \Delta t)}{2}$$

$$\frac{Q_Z(t) + Q_Z(t + \Delta t)}{2} = Q_{Z,m}(t)$$



# Muskingum Verfahren

## ➤ Verfahren

- Muskingum Verfahren verwendet Bilanz und

$$\begin{aligned}
 S(t) &= k * Q_G(t) \quad \left. \vphantom{S(t)} \right\} \text{ Annahme eines linearen Speichers} \\
 &= k * [x * Q_Z(t) + (1-x) * Q_A(t)] \quad \left. \vphantom{S(t)} \right\} \text{ Gewichtetes Mittel aus } Q_Z \text{ und } Q_A \rightarrow x = \text{Gewicht}
 \end{aligned}$$

$$Q_A(t + \Delta t) = Q_A(t) + C_1(Q_Z(t) - Q_A(t)) + C_2(Q_Z(t + \Delta t) - Q_Z(t))$$

$$\left. \begin{aligned}
 C_1 &= \frac{\Delta t}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} & C_2 &= \frac{\frac{\Delta t}{2} - k * x}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}}
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Allgemein für fließende} \\ \text{Retention} \\ x \sim 0,2 / 0,3 \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned}
 C_1 &= \frac{\Delta t}{k + \frac{\Delta t}{2}} & C_2 &= \frac{\frac{\Delta t}{2}}{k + \frac{\Delta t}{2}} = \frac{C_1}{2}
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{für stehende Retention} \\ x = 0 \end{array}$$

# Muskingum Verfahren

---

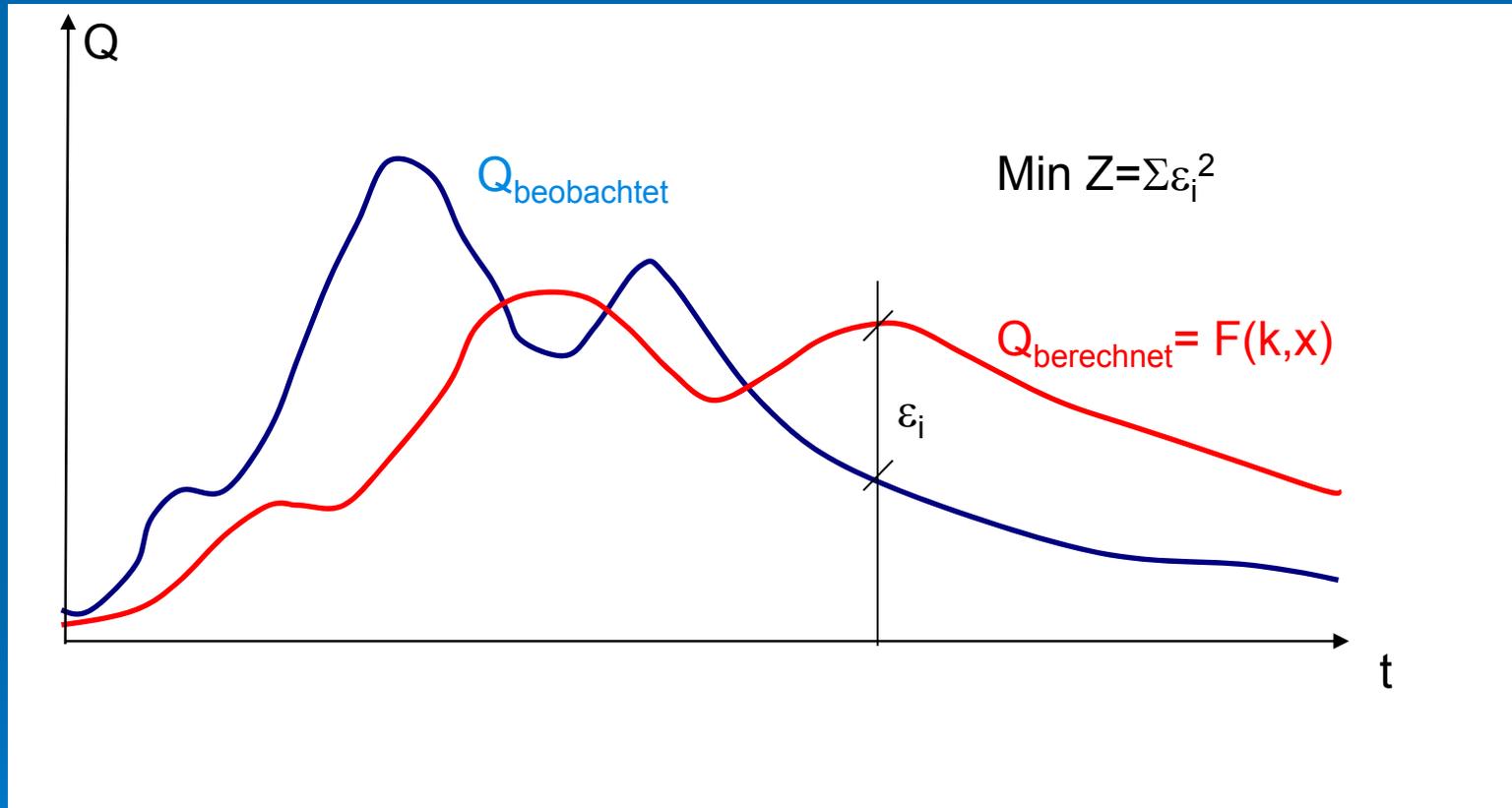
- Die Parameter  $k$  und  $x$  werden für einen Gewässerabschnitt aus beobachteten Zu- und Abflussganglinien ermittelt
- D.d. bei Änderung der Gewässergeometrie it neuerliche Kalibrierung nötig.

# Muskingum Verfahren

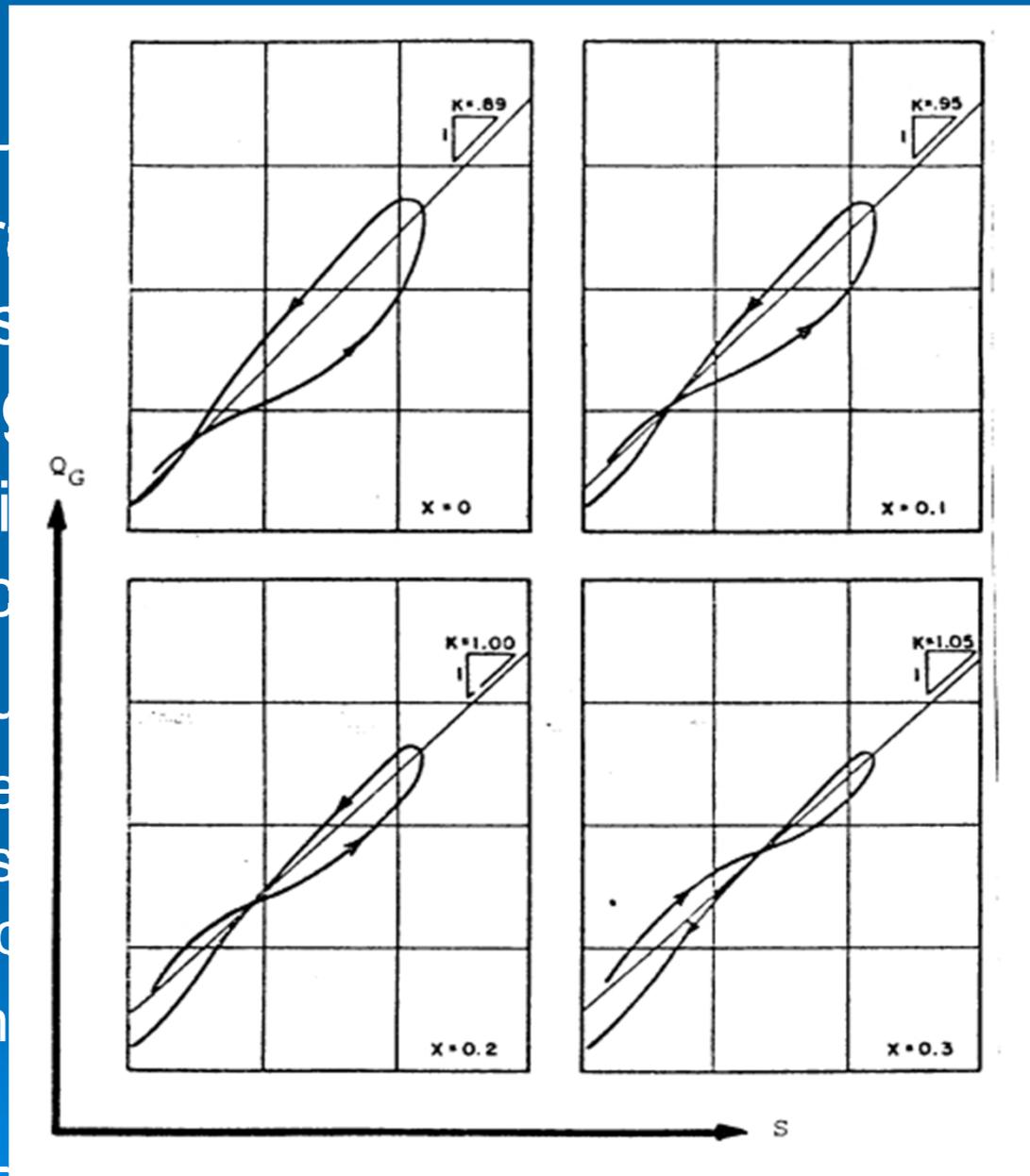
---

- Die Parameter  $k$  und  $x$  werden für einen Gewässerabschnitt aus beobachteten Zu- und Abflussganglinien ermittelt
- D.d. bei Änderung der Gewässergeometrie it neuerliche Kalibrierung nötig.
- Schätzung der Parameter durch Optimierung:
  - Wähle  $k$  und  $x$  so, dass die berechnete Abflussganglinie (bei gegebener Zuflussganglinie) möglichst gut mit der beobachteten übereinstimmt

# Muskingum Verfahren



- Die Par...  
Gewäss...  
Abfluss...
- D.d. bei...  
neuerlic...
- Schätzu...
  - Wähle...  
Abfluss...  
möglich...
  - Durch...



- und  
 tie it  
 ung:  
 (linie)  
 timmt

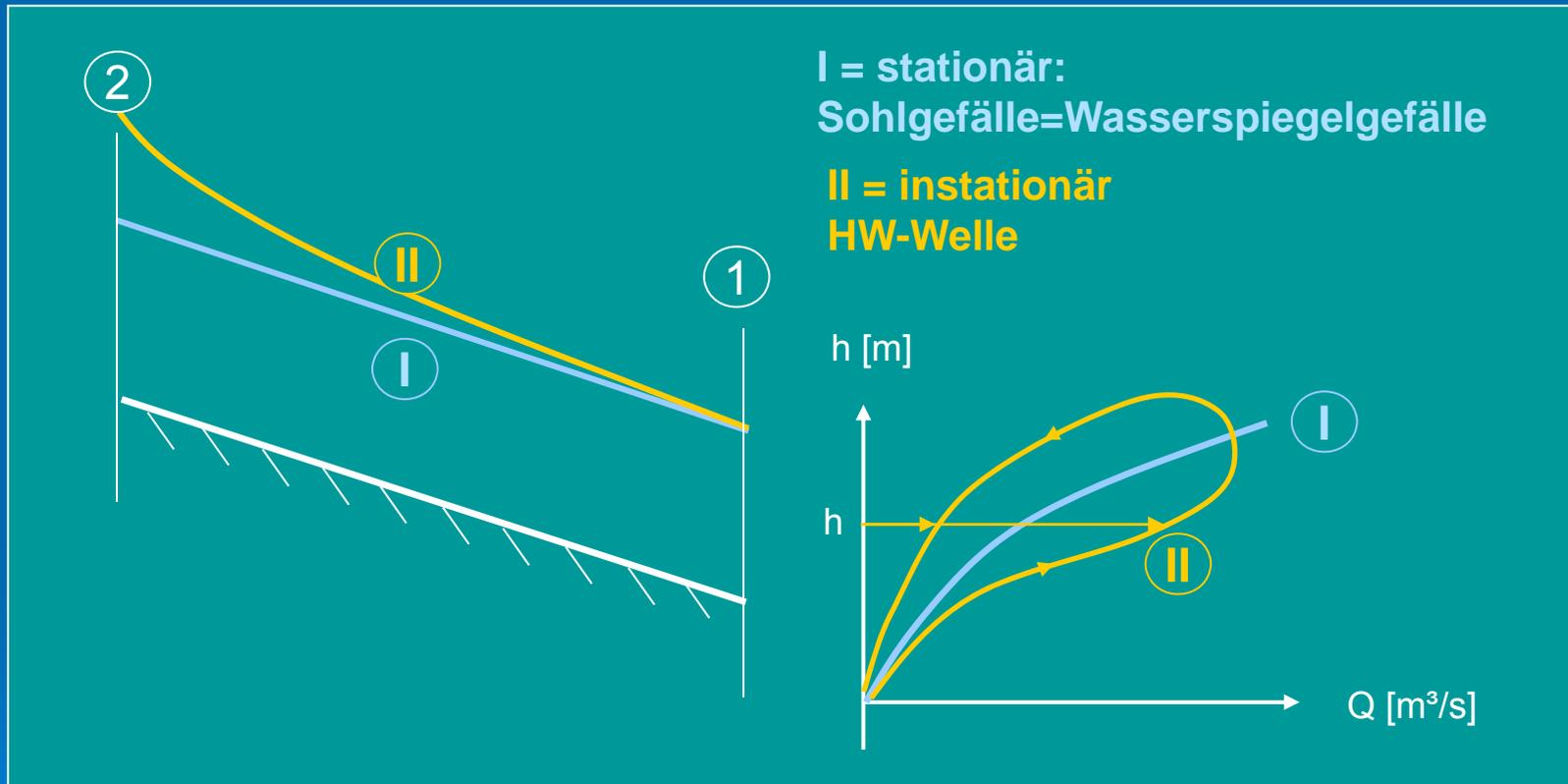
# Kalinin-Miljukov Verfahren 1

---

- Verwendet Längenschnitt und Querprofile
- Der Gewässerabschnitt ist in „homogene“ Abschnitte zu zerlegen
- Berücksichtigung der Abflusshysterese
- Berücksichtigung der Bilanzgleichung und eines linearen Speichers

# Kalinin-Miljukov: Abflusshysteresis 2

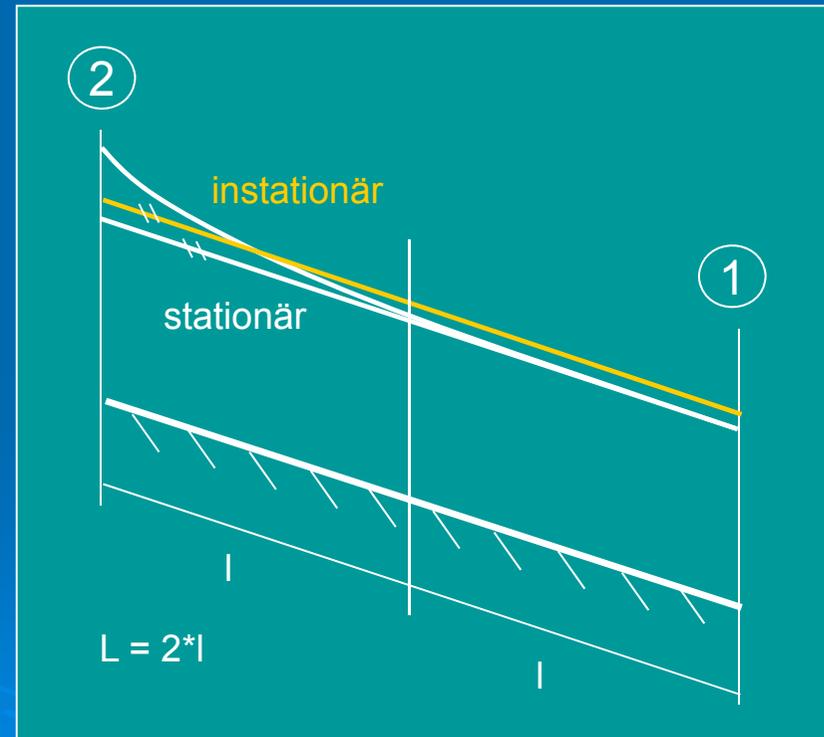
## Abflusshysteresis



# Kalinin-Miljukov Verfahren 3

- Kalinin-Miljukov Verfahren

- Modellvorstellung: Eindeutige Volumen-Abfluss-Beziehung
- Lineare Speichergleichung  $S = k * Q_A$
- Abflusshysterese umgehen mittels Unterteilung in quasistationäre Abschnitte → eindeutige Wasserstands-Abfluss-Beziehung
- Ausfluss aus oberliegendem Teilabschnitt ist Zufluss im nachfolgenden
- Gewässerstrecke  $L =$  charakteristische Länge



# Kalinin-Miljukov Verfahren 4

## ➤ Berechnungen

- Charakteristische Länge  $L$

$$L(Q) = \frac{Q_{St}}{I_{St}} * \left( \frac{dh}{dQ} \right)_{St}$$

Index St: Stationäre Bedingungen

$Q$  ... Abfluss im charakteristischen Abschnitt

$I$  ... Sohlgefälle im charakteristischen Abschnitt

$dh$  ... Wasserspiegeldifferenz zwischen  $Q + (Q+dQ)$

- Anzahl der charakteristischen Abschnitte

$$n = \frac{\text{Länge Gewässerabschnitt}}{L}$$

- Berechnung des Abflusses aus einem charakteristischen Gewässerabschnitt

$$Q_{A2} = Q_{A1} + (Q_{Z1} - Q_{A1}) * k_1 + (Q_{Z2} - Q_{Z1}) * k_2$$

# Kalinin Miljikov Verfahren 5

---

- Schätzung der Parameter

$$K_1 = 1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$$

$$K_2 = 1 - \frac{\tau}{\Delta t} \cdot K_1$$

- Vorteil: Die Parameter hängen von der Geometrie des Gewässers ab und können daher auch bauliche Veränderungen berücksichtigen

# Rückblick Retention und Flood Routing

---

- Begriffe: Retention
- „Arten“ der Retention
  - Stehende Retention
    - Beispiel
    - Berechnungsmethoden
      - Iterationsverfahren
      - Methode nach PULS
  - Fließende Retention
    - Berechnungsmethoden
      - Muskingum Verfahren
      - Kalinin-Miljukov Verfahren
- Stationär – Instationär: Abflusshysteresis