

# **FGMOD UND LARSIM**

## **SKIZZEN DER MODELLGRUNDLAGEN**

**Dr.-Ing. Karl Ludwig**

**Wasserwirtschaft-Wasserbau GmbH,  
Karlsruhe**



**Dr. Manfred Bremicker**

**Landesanstalt für Umwelt,  
Messungen und Naturschutz  
Baden-Württemberg (LUBW)**



# **EINZUGSGEBIETSMODELLE - FLUSSGEBIETSMODELLE:**

## **Die Bearbeitung**

- **schlüssiger (mit ausreichendem physikalischen Hintergrund) und**
- **detaillierter (für viele Stellen im Einzugsgebiet gültiger) Einzugsgebietsmodelle (Flussgebietsmodelle) war eng mit den Möglichkeiten der EDV gekoppelt und begann in etwa um 1970.**

## **Davor gab es im wesentlichen nur**

- **einfache (halb-)grafische Bemessungsverfahren mit wenig physikalischem Hintergrund und**
- **Regressionsmodelle (mit meist grafischer Datenanalyse und Ergebnisaufbereitung)**



# Ergebnisse

der

## Untersuchung der Hochwasserverhältnisse

im

### Deutschen Rheingebiet.

Auf Veranlassung der Reichskommission zur Untersuchung der Stromverhältnisse des Rheins  
und seiner wichtigsten Nebenflüsse und auf Grund der von den Wasserbaubehörden der  
Rheingebietsstaaten gelieferten Aufzeichnungen

bearbeitet und herausgegeben

von dem

Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie  
im Großherzogtum Baden.

VIII. Heft

Der Abflußvorgang im Rhein unter der wechselnden Wasserlieferung des Stromgebietes  
und die Vorherbestimmung der Rheinstände.

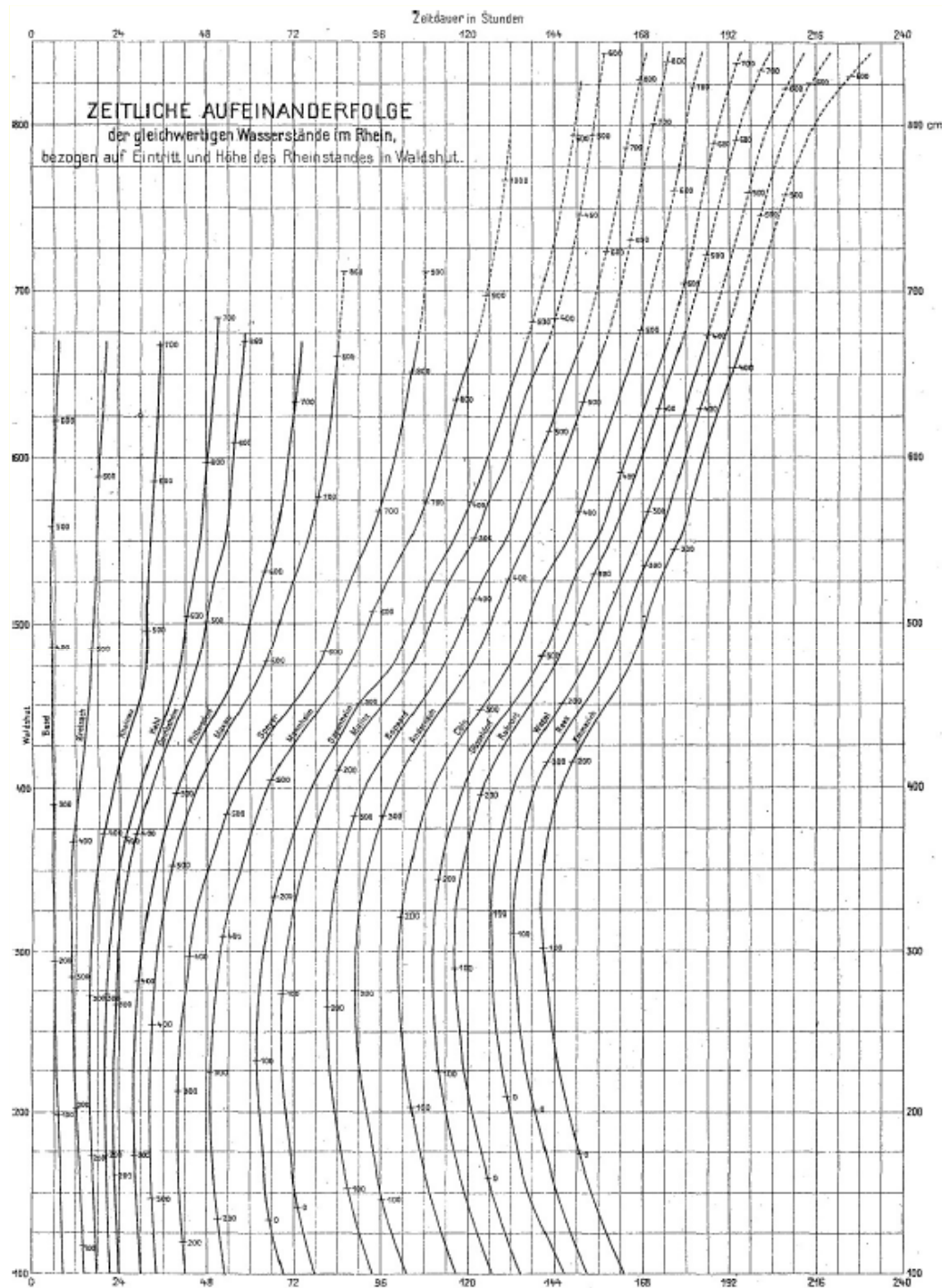


Berlin,  
Wilhelm Ernst & Sohn  
1908.

Geschenk.

**BEISPIEL FÜR EIN  
GRAFISCH  
ERMITTELTES MODELL**





# FLIESSZEITEN FÜR „GLEICHWERTIGE WASSERSTÄNDE“ FÜR DEN RHEIN IN DEUTSCHLAND

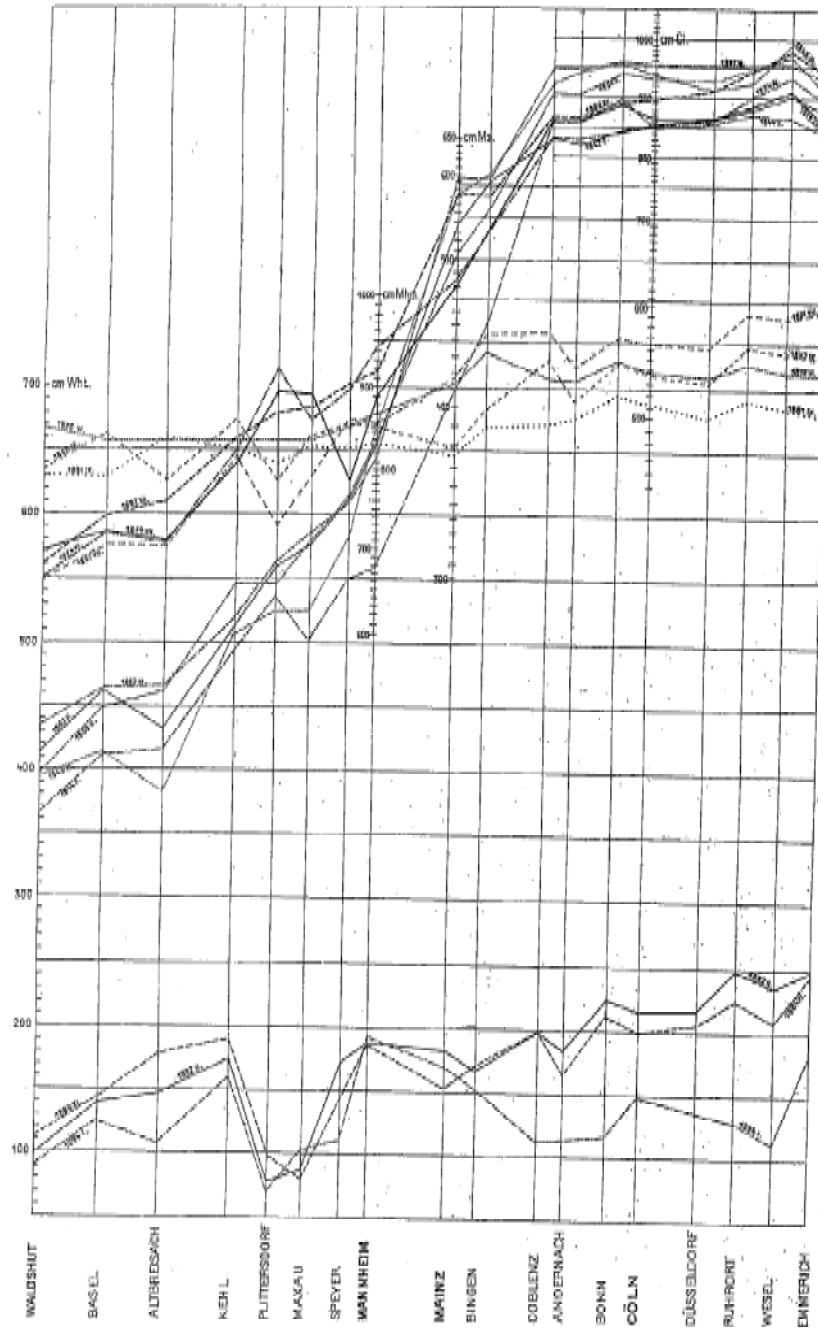
**(publiziert 1908)**

## Bezogen auf Zustand

- ohne Staustufen
- mit damaligem Deichverlauf



AUSSERGEWÖHNLICHE NIEDER- UND HOCHSTÄNDE DES RHEINS  
BEZOGEN AUF GLEICHWERTIGE ABFLUSSHÖHEN.



## AUSSERGEWÖHNLICHE NIEDER- UND HÖCHSTSTÄNDE FÜR DEN RHEIN IN DEUTSCHLAND

(publiziert 1908)

Bezogen auf Zustand

- ohne Staustufen
- mit damaligem Deichverlauf



**VERMUTLICH WAR IN DEUTSCHLAND (AB ca. 1973)  
FGMOD (FLUSSGEBIETSMODELL)  
DAS ERSTE SCHLÜSSIGE, EDV-ORIENTIERTE  
EINZUGSGEBIETSMODELL**

- **Programmiert in FORTRAN**
- **ERSTANWENDUNG FÜR NAHE-GEBIET (4.000 qkm)  
ab ca. 1973 mit ca. 300 Teilgebieten und ca. 30  
untersuchten Speichern; erstes EDV-Modell als  
Bestandteil eines Rahmenplanes (Nahe)**
- **Läuft mit wenigen Adaptierungen von Gerinne-  
geometrie heute noch als Vorhersagemodell**



# **ABHÄNGIGKEIT DER MODELLFORMULIERUNG VON EDV-MÖGLICHKEITEN:**

- Rechnen auf Kleinrechnern damals unmöglich (Rechner mit 128 Befehlen im Maschinencode)
- Großrechner mit 14 Kbyte Kernspeicher, davon waren u.U. 7 Kbyte für Fortran-Compiler erforderlich
- „Komfortable“ Großrechner mit externer (langsamer) Speicherplatte oder Bandlaufwerk
- Großrechner selten und auf Mehrfach-Nutzer-Betrieb ausgelegt
- Speichermedien: Lochkarten / Magnetbänder
- „Einheitliche“ FORTRAN-ANSI-Codes auf unterschiedlichen Rechnern nicht einheitlich (Programme u.U. nicht portabel)
- Viele Rechner mit Zeitlimit (üblich 10 - 100 sek), seltener Rechner ohne Zeitlimit (Mainz)
- Keine GIS-Systeme und Datenbanken, allenfalls Strichplotter mit unkomfortabler Software
- Deswegen:  
**Modellinhalt musste sich an EDV-Möglichkeiten orientieren**



## **GRUNDSÄTZLICHES MODELLKONZEPT FGMOD:**

- **Nach Einstein:**

**.. So einfach wie möglich, aber nicht einfacher.**

- **Viele der nachstehend beschriebenen Modellteile von FGMOD sind praktisch unverändert in der LARSIM-Version mit enthalten, obwohl es sich dabei z.T. um relativ grobe Näherungen handelt und LARSIM erheblich komplexere Modellkomponenten enthält.**



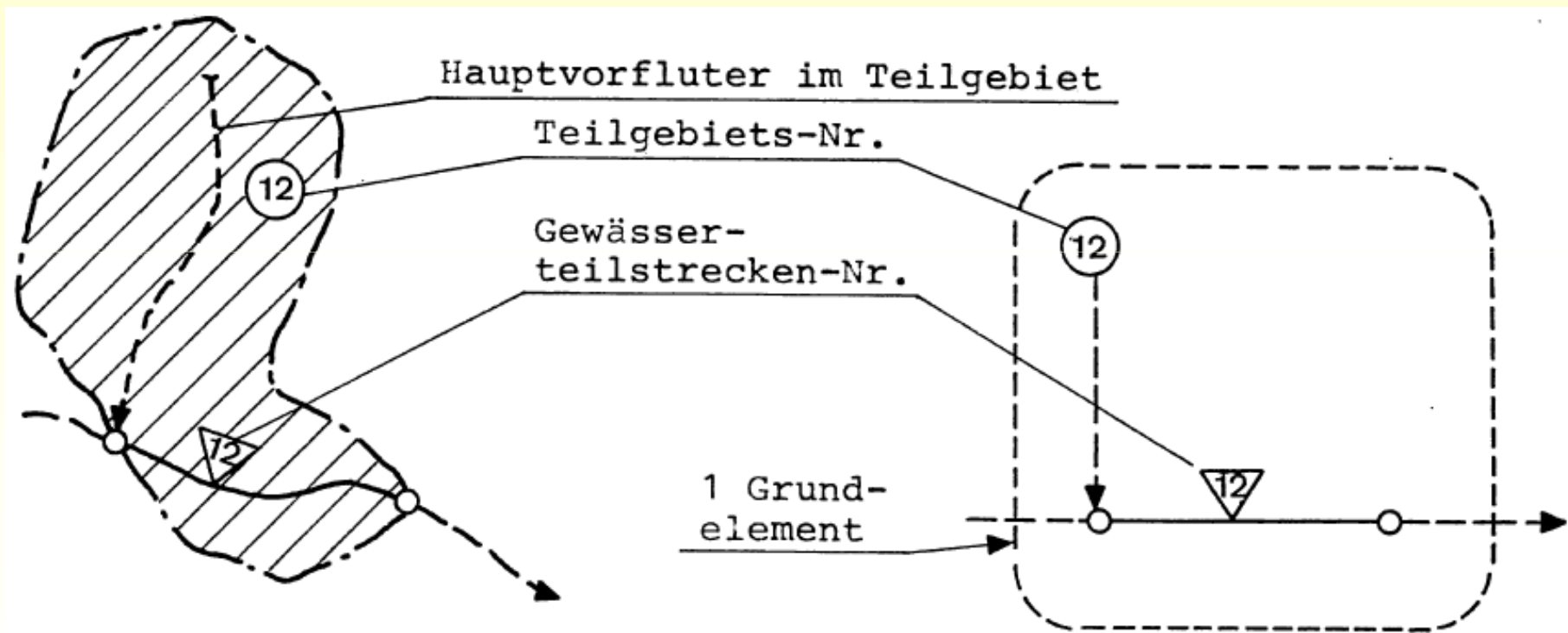


## **GRUNDSÄTZLICHES MODELLSYSTEM FGMOD:**

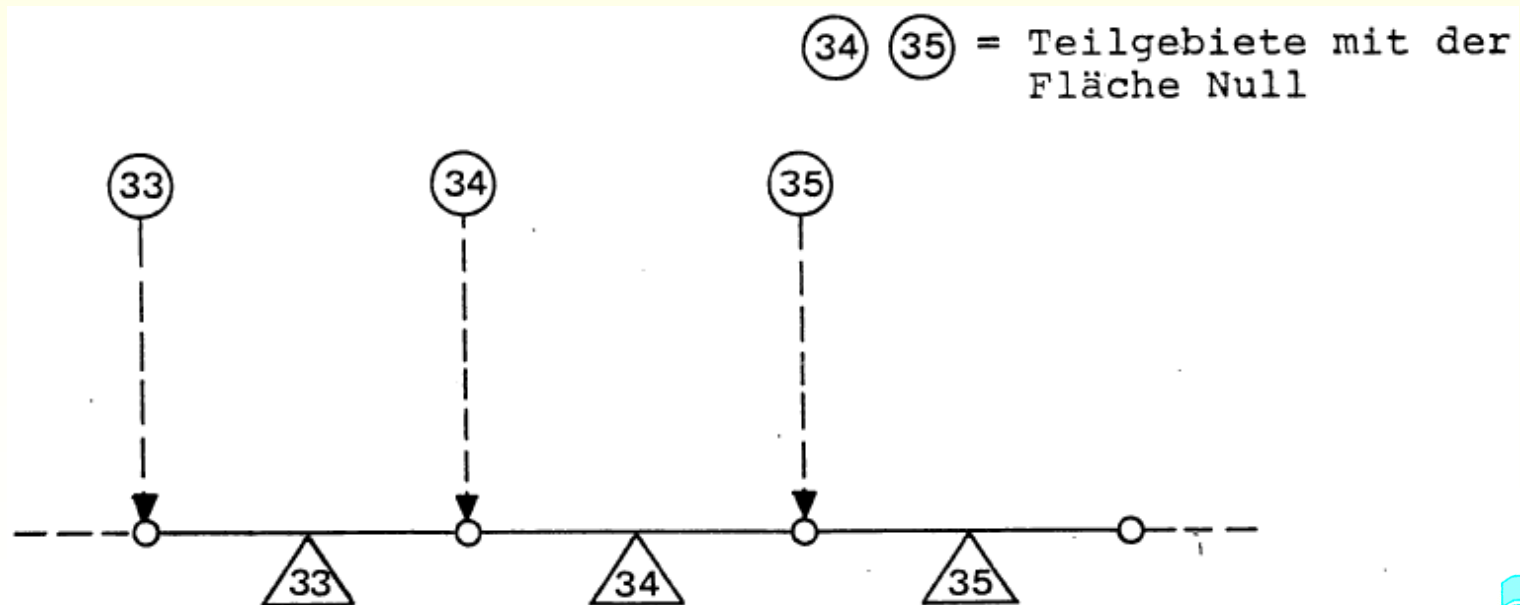
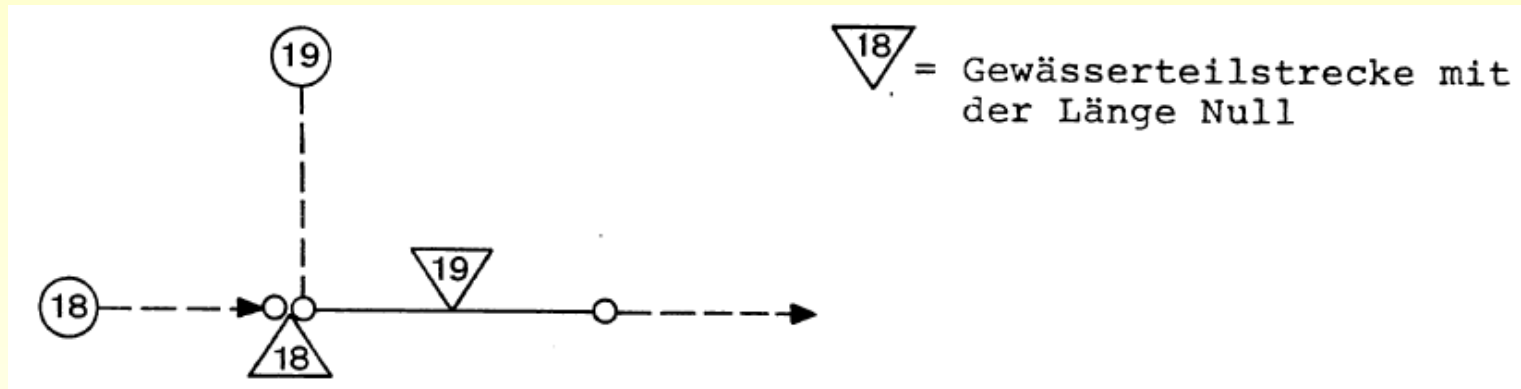
- **„Modellelement“ =  
Folge von einem Modellteilgebiet und einer  
Gewässerteilstrecke (grobe Näherung)**
- **Folge von Modellelementen = Systemstruktur  
(baumförmige Verästelungsstruktur, dargestellt  
z.B. als Systemskizze)**
- **Mehrere Modellteile mit dieser Systemstruktur  
zu größeren / großen Modellen zusammensetzbar**



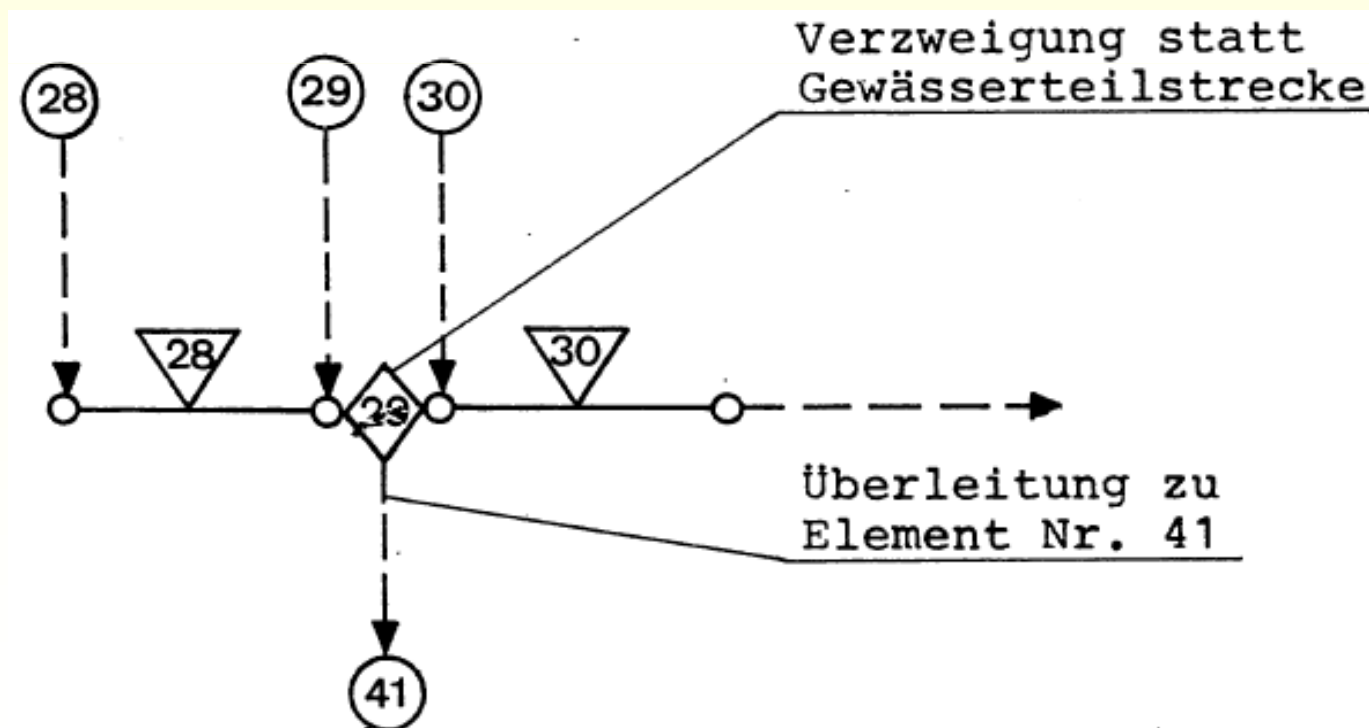
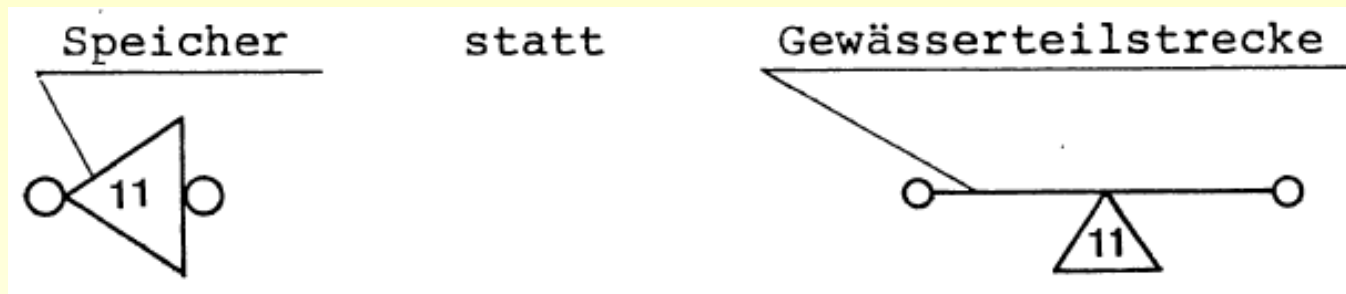
## FORMULIERUNG GRUNDSÄTZLICHES MODELLELEMENT:



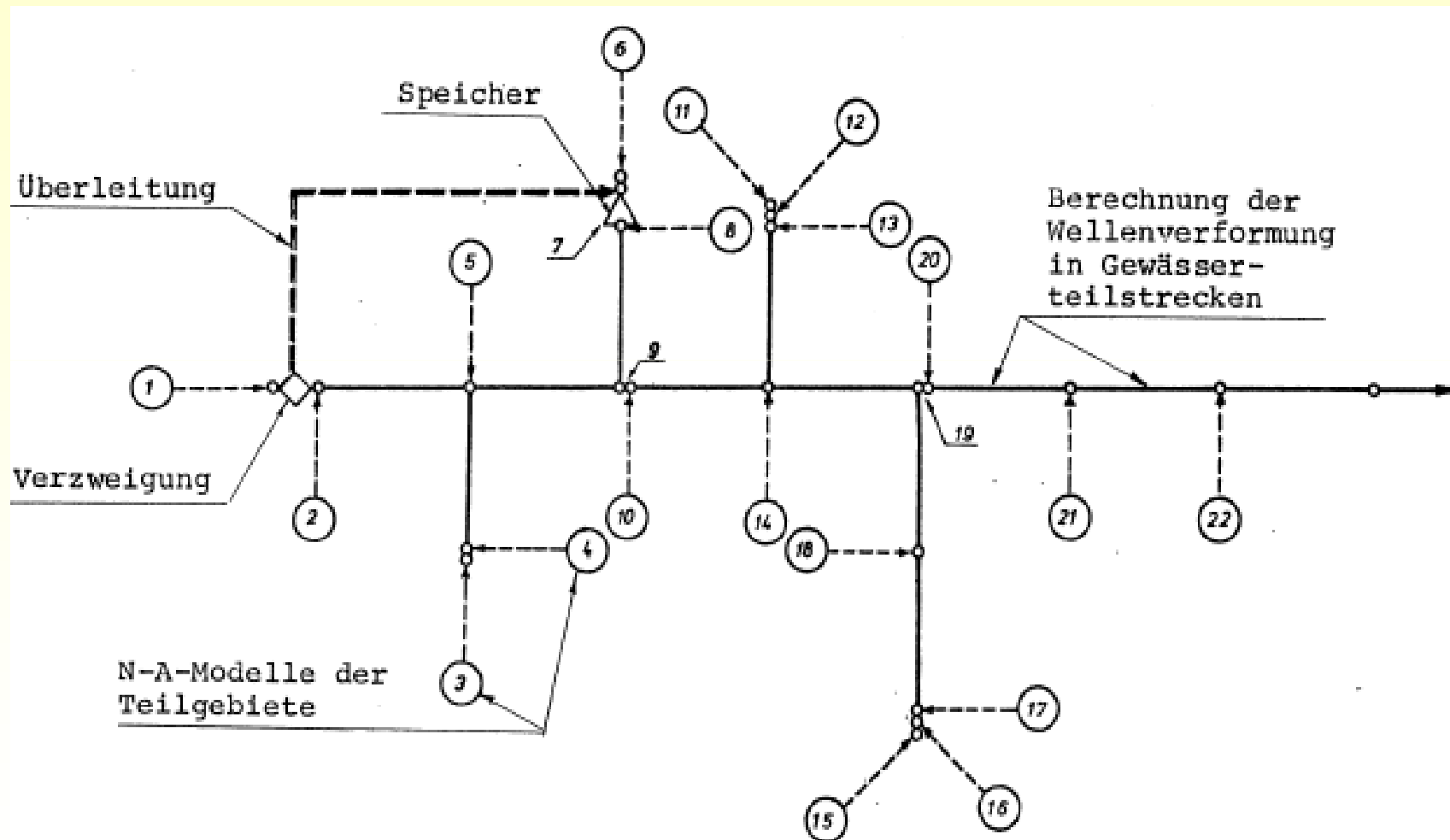
## SONDERFÄLLE VON MODELLELEMENTEN:



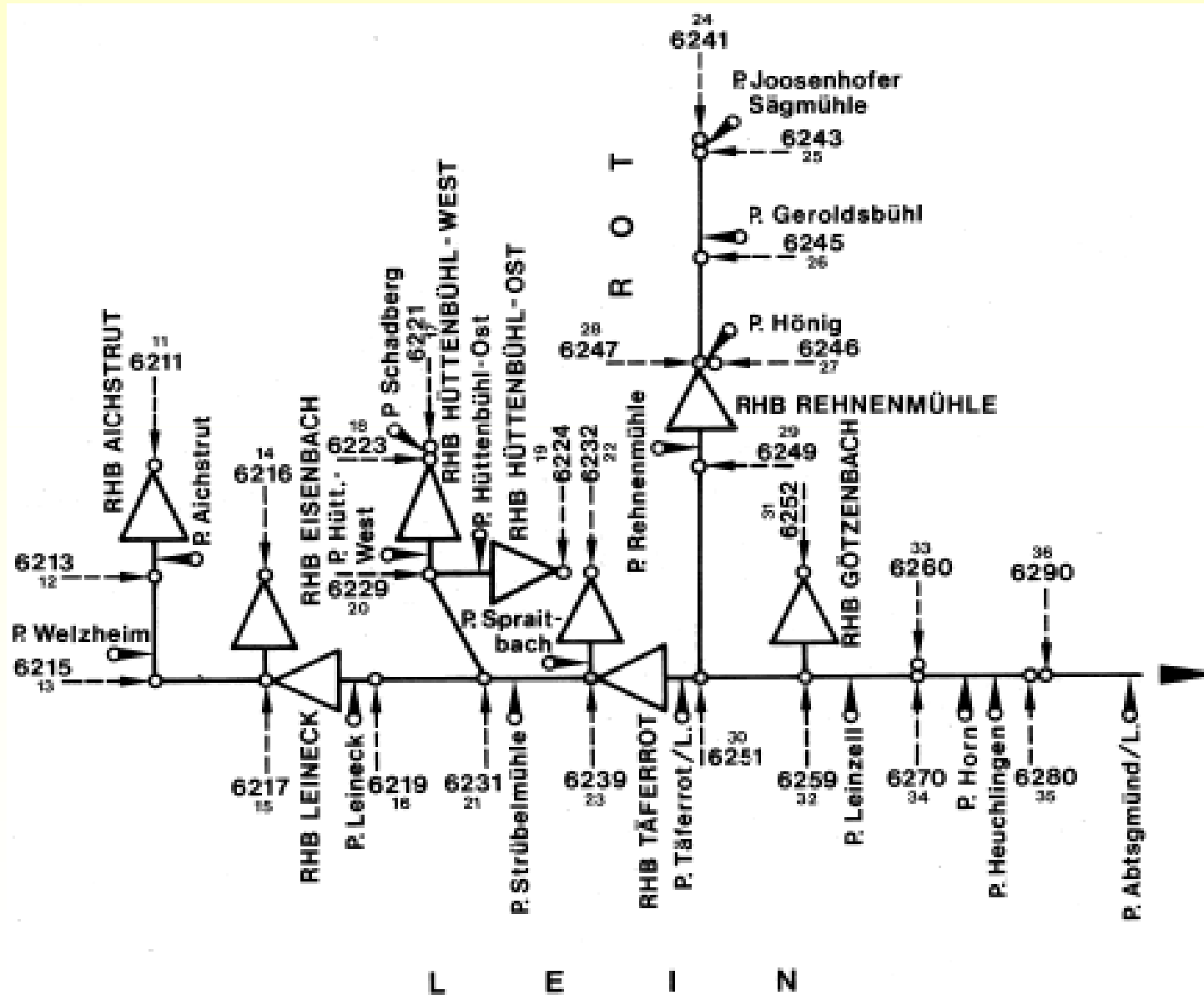
## WEITERE SONDERFÄLLE VON MODELLELEMENTEN:



## SYSTEMSKIZZE AUS MEHREREN SYSTEMELEMENTEN:



## BEISPIEL FÜR SYSTEMSKIZZE: (Flußgebiet Lein aus Kocher-Lein-Modell)



**zum  
Kocher**



## **KONSEQUENZEN DER GEWÄHLTEN MODELLSTRUKTUR BEI EDV-MÖGLICHKEITEN VOR 25 JAHREN:**

- **„Sequentielle Modellabarbeitung“ :**  
**Zeitschleife läuft vor Ortsschleife**  
  
**statt**
- **„State-Space-Modell“ =**  
**(Ortsschleife läuft vor Zeitschleife)**  
**hätte ggf. Vorteile bei Optimierung von**  
**Speicherabgaben oder sonstigen Steuerungsregeln**



## **HYDROLOGISCHE TEILMODELLE: GEBIETSNIEDERSCHLAG**

- **Alternativ anwendbare Verfahren:**
- **Thiessen-Verfahren**
- **Rasterpunktverfahren**
- **Beide Teilmodelle enthalten unterschiedliche Fehlerquellen (für Fehlertests nutzbar)**





## **HYDROLOGISCHE TEILMODELLE: SCHNEESCHMELZMODELL**

- **Implementiert: „Knauf-Verfahren“**
- **Später in den 90-ern im Auftrag LfW Bayern mehrere andere Schneemodelle unterschiedlicher Komplexität implementiert und**
- **vom LfW getestet mit dem Ergebnis, Knauf-Verfahren für Vorhersage beizubehalten**



## **HYDROLOGISCHE TEILMODELLE: TEILGEBIETSMODELL**

- **Abflußwirksame Komponenten:  
berechnet über Abflußbeiwerte oder Verlustraten  
(ggf. mit zeitabhängigen Formulierungen)**
- **Teilgebiete werden im Modell als Rechtecke mit  
charakteristischer Länge L und Höhendifferenz H  
interpretiert (grobe Näherung)**
- **Für L und H wird "Laufzeit" TC berechnet  
(als Index nach US Soil Conservation Service =  
grobe Näherung)**

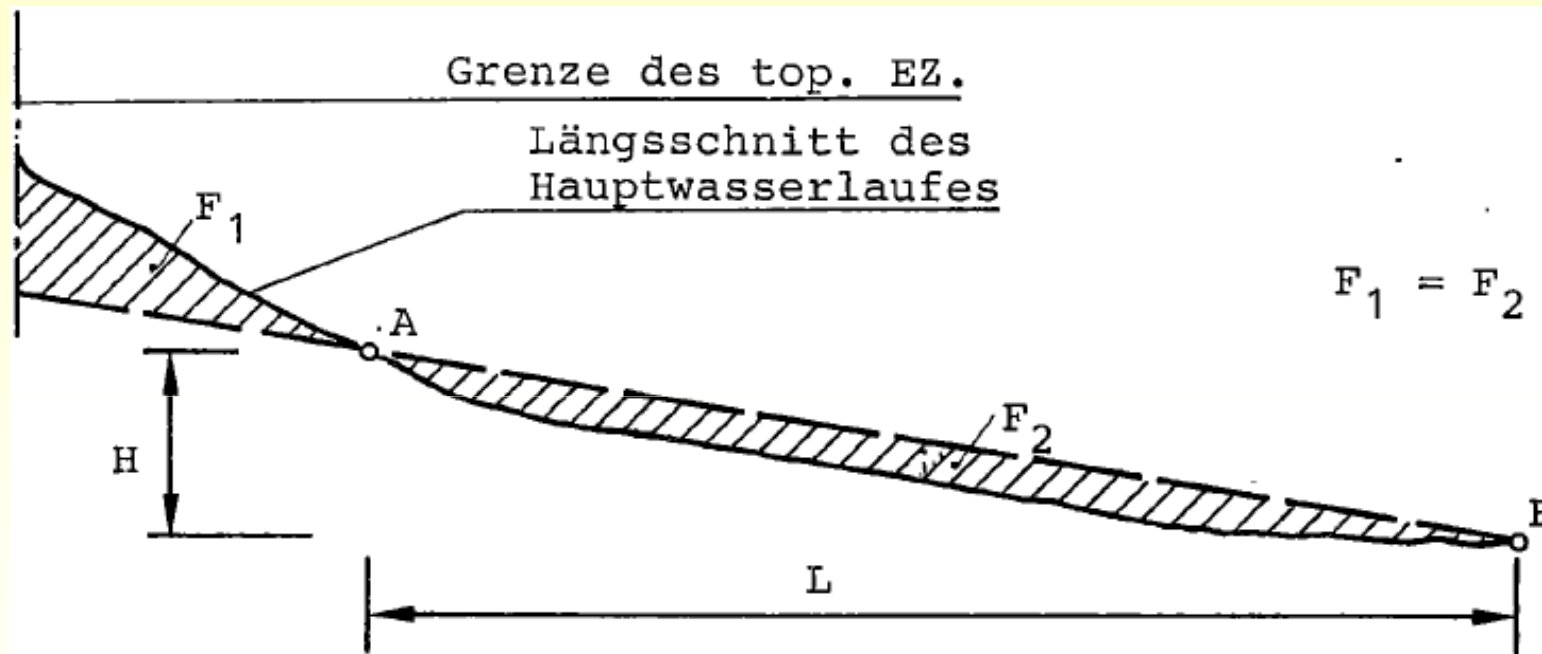


## **NOCH: HYDROLOGISCHE TEILMODELLE: TEILGEBIETSMODELL**

- **Speicherparameter (Retentionsparameter) für Teilgebiet werden proportional zu TC angenommen:  
Speicherkoeffizienten = Faktoren (Eichgrößen) mal TC  
(grobe Näherung)**
- **Speicher = Linearspeicher (gute Näherung)**
- **Vorsichtsmaßnahme:  
Teilgebiete sollten möglichst sehr ähnliche Größenordnung aufweisen.**



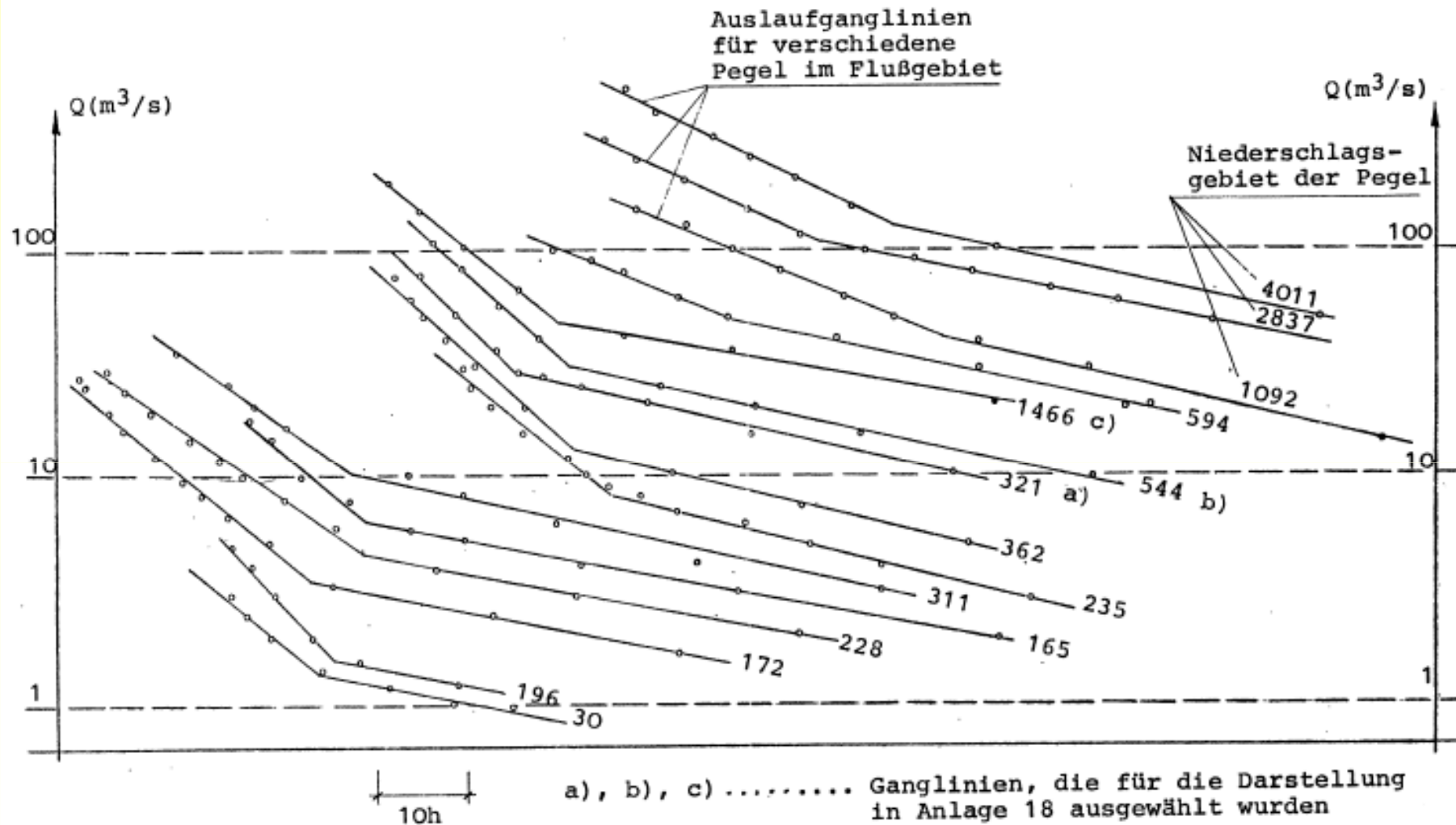
## HYDROLOGISCHE TEILMODELLE: TEILGEBIETSMODELL



**“Laufzeit” TC nach US Soil Conservation Service =  
 $f(L,H)$**



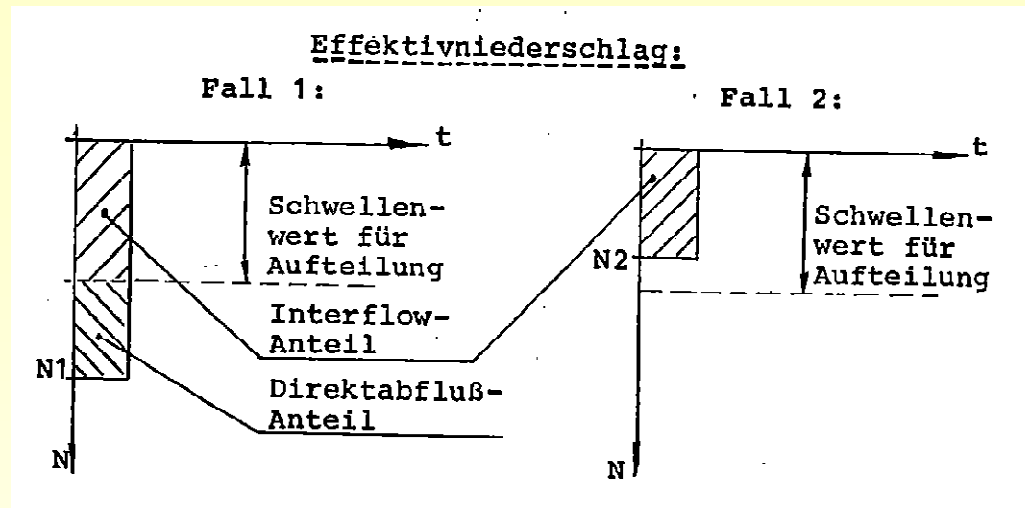
Die Auslaufäste sind nicht  
zeitsynchron dargestellt



## LOGARITHMIERTE AUSLAUFGANGLINIEN

Für ein Hochwasser im Nahegebiet und verfügbare Pegel

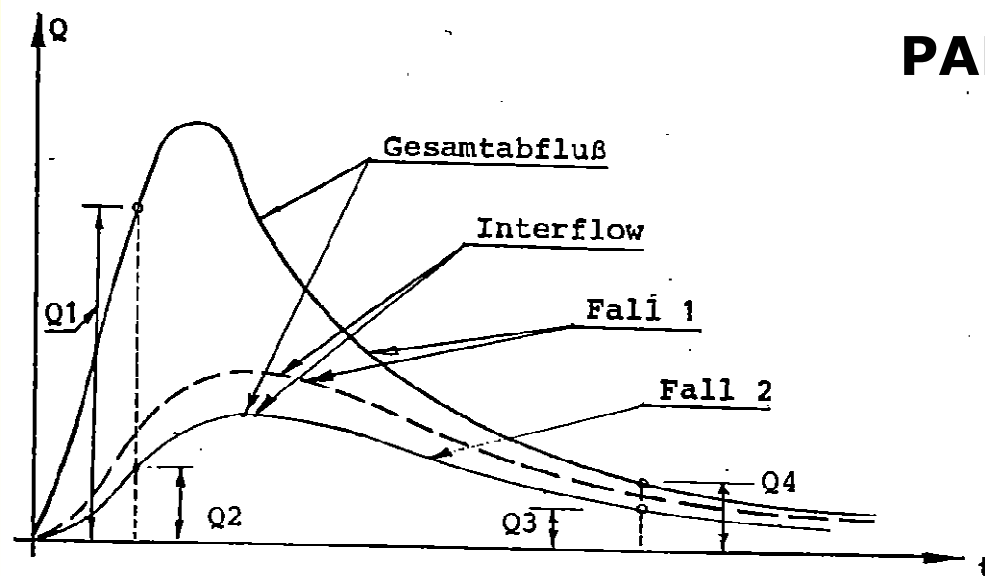




**FOLGERUNG:**

**NICHTLINEARES  
PARALLELSPEICHERMODEL  
IST WIRKSAM**

**(z.B. mit konstanter  
Aufteilungsrate)**

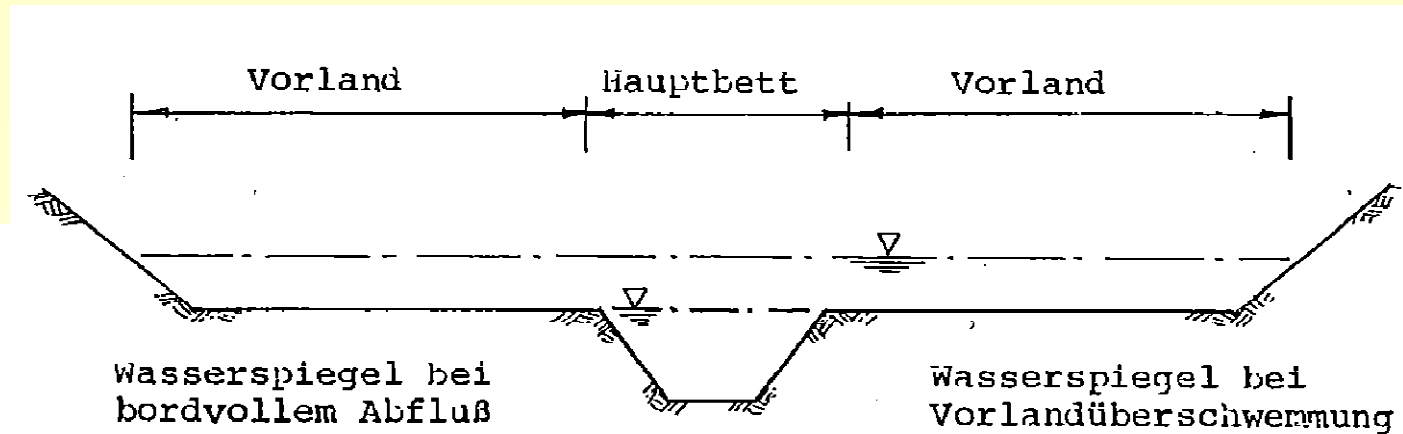
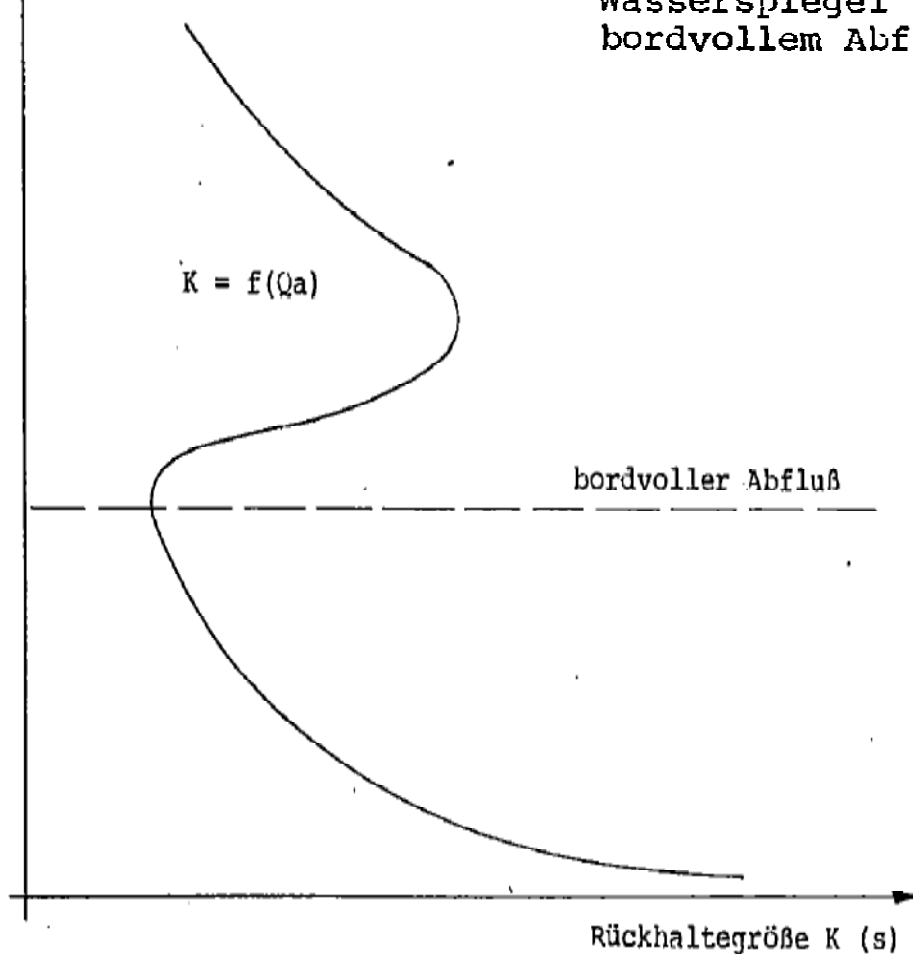


Die Abflußganglinien für Fall 1 und Fall 2 sind nicht proportional.

Es gilt:  $Q1/Q2 \neq Q4/Q3$ .



Abfluß aus einer  
Gewässerstrecke  
 $Q_a \text{ (m}^3/\text{s)}$

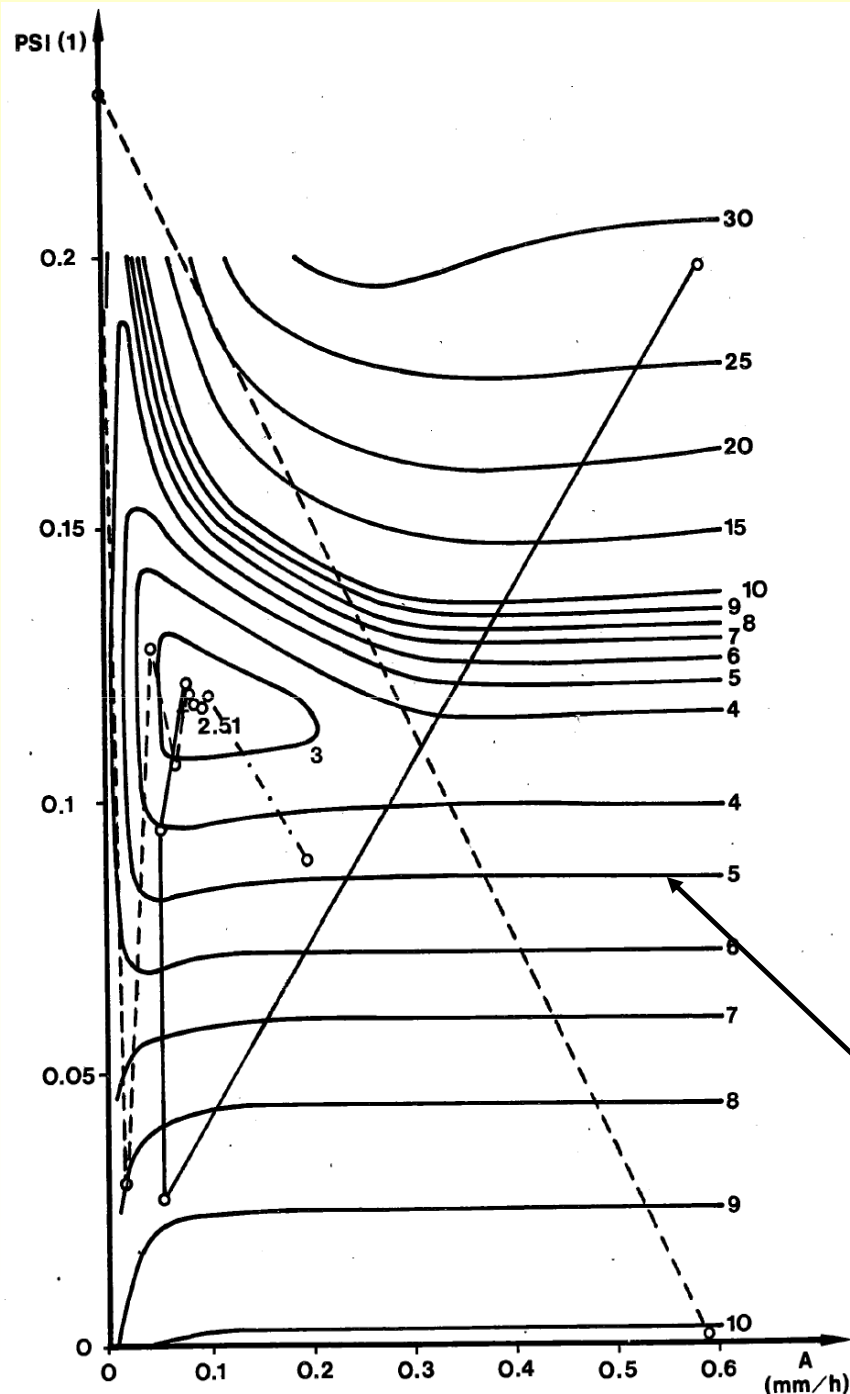


## MODELL FÜR GEWÄSSERTEILSTRECKEN:

**Doppeltrapezprofil mit  
einheitlichem Gefälle und  
Rauheitsbeiwerten für  
Fluss/Vorland pro  
Gewässerteilstrecke**

**Mögliche Eichgrößen:  
Faktoren für  
Rauheitsbeiwerte**





## OPTIMIERUNGSVERFAHREN NACH GAUSS-MARQUARDT:

**Beispiel für Optimierung  
zweier Parameter:**

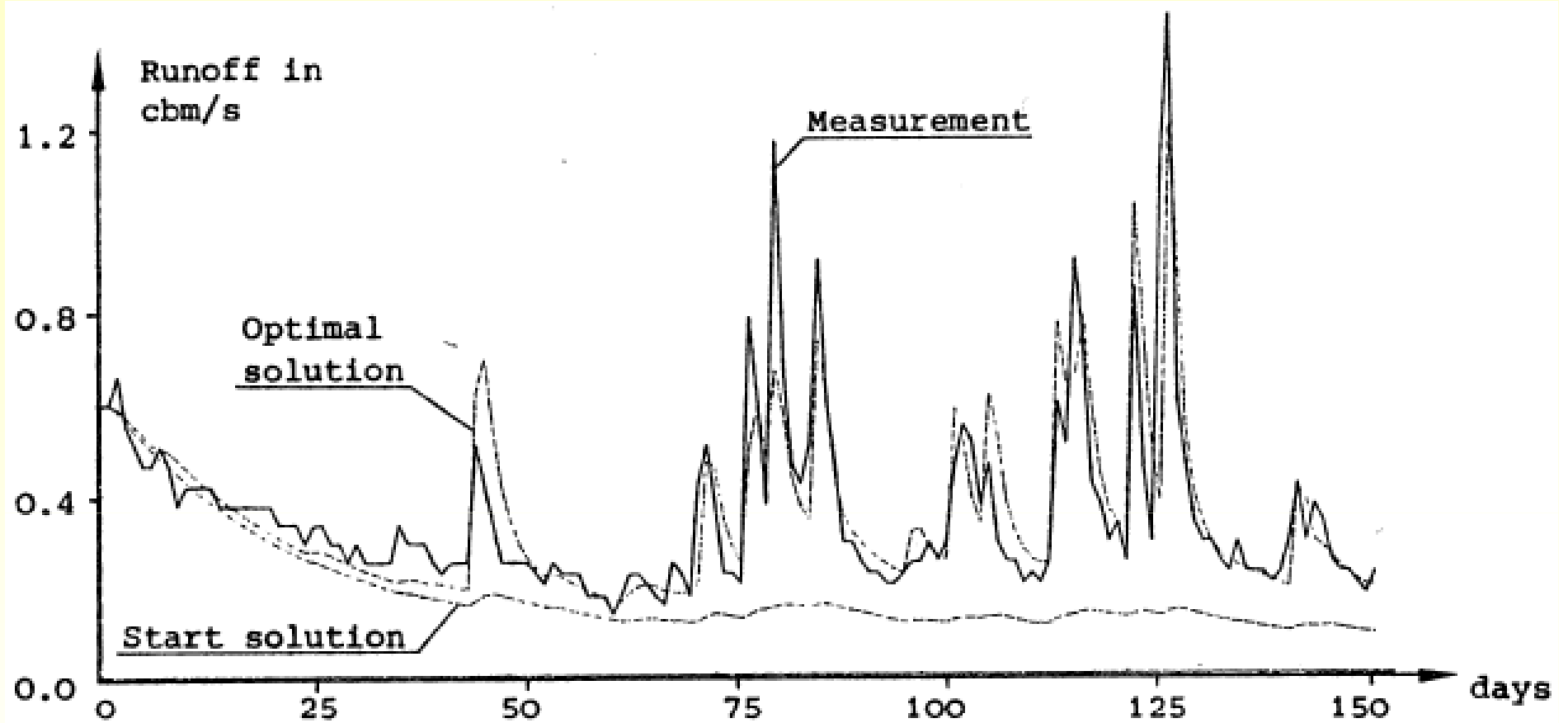
**Abflußbeiwert PSI und  
konstante Aufteilungsrate A  
zwischen Direktabfluss und  
Interflow**

**Test mit unterschiedlichen  
Startparametern, verschiedene  
Zielfunktionen implementiert**

**Zielfunktionsfläche für 2 Parameter**







**Unterschiede zwischen Startlösung und optimaler Lösung beim Gauß-Marquardt-Verfahren**



## **MODELLEICHUNG**

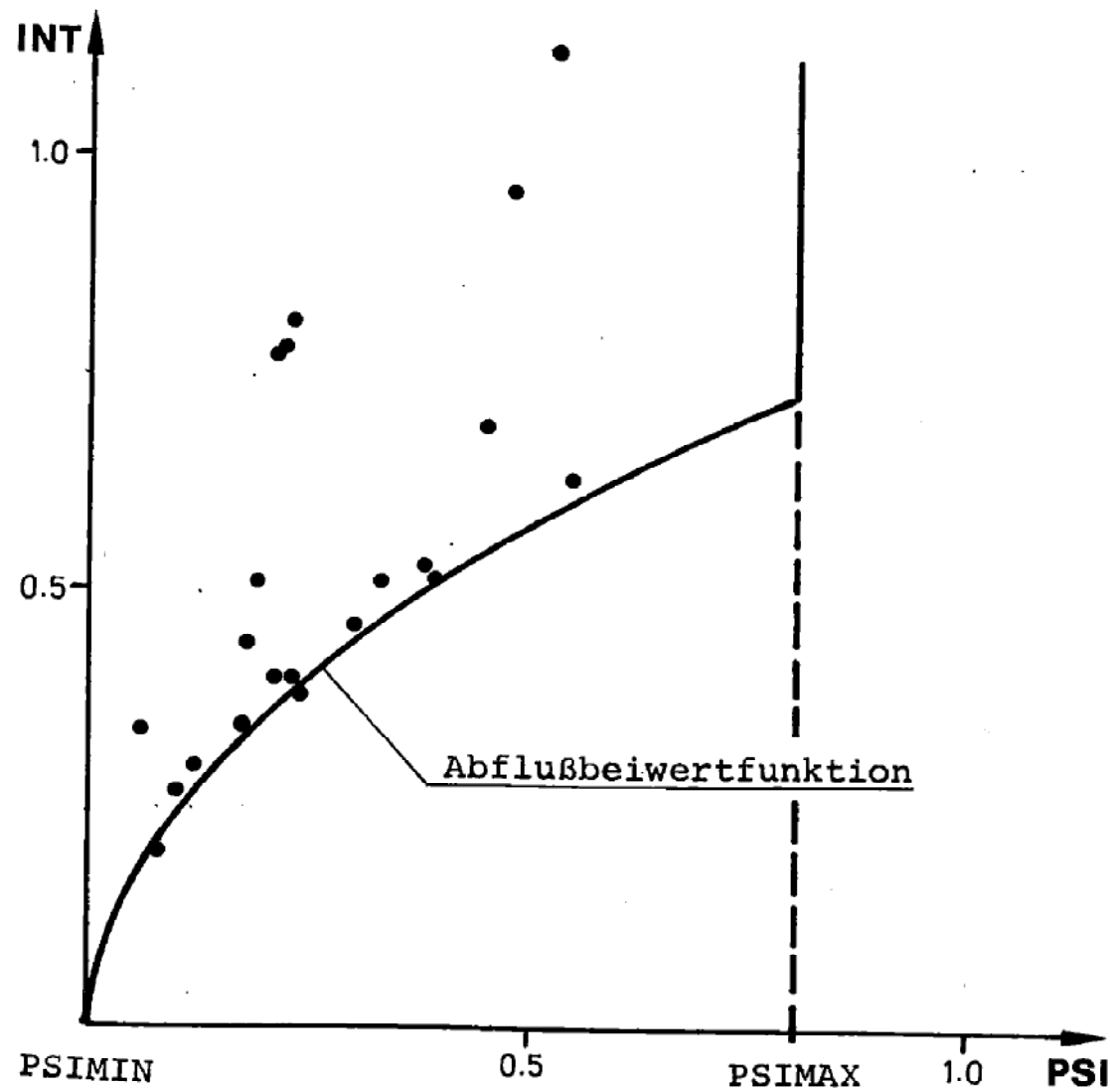
- **Anhand von Durchflußganglinien an Pegeln**
- **Zwei mögliche Vorgehen: a) simultan b) sequentiell**
  - a) **Durchflußganglinien werden zum Vergleich benutzt,**
  - b) **Durchflußganglinien werden in Modell eingelesen.**
- **Die Methoden bieten verschiedene Prüfmöglichkeiten:**
  - a) **eher: großräumige Parameterzuordnung**
  - b) **eher: Analyse lokaler Fehlerquellen**



## **HYDROLOGISCHE TEILMODELLE: INTERFLOWSPEICHER ZUR NIEDRIGWASSERSIMULATION**

- Analyse von niederschlagsfreien Abschnitten von Niedrigwasserauslaufganglinien und jeweils davor aufgetretenen Niederschlägen**
- ergibt „Interflow-Index-Funktion“**
- mit plausibler Niedrigwassersimulationsmöglichkeit.**

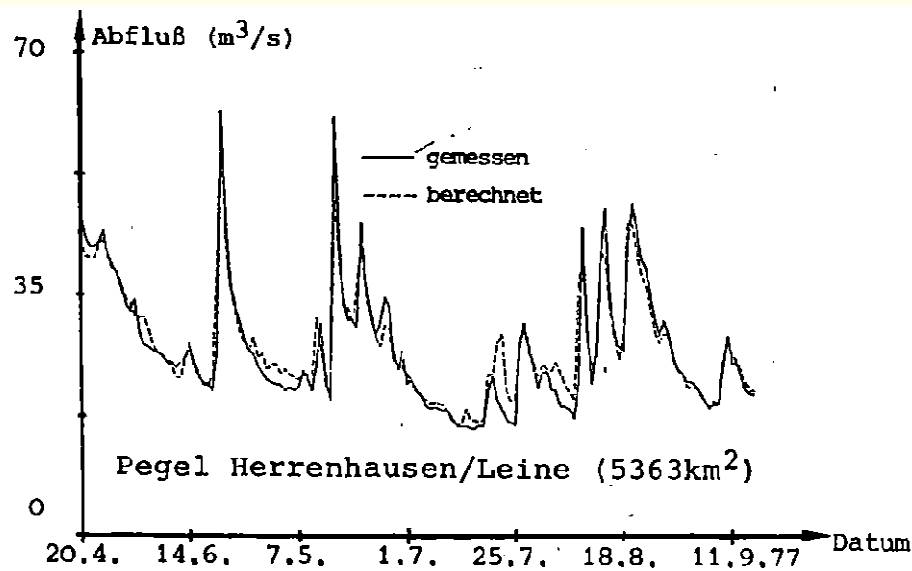
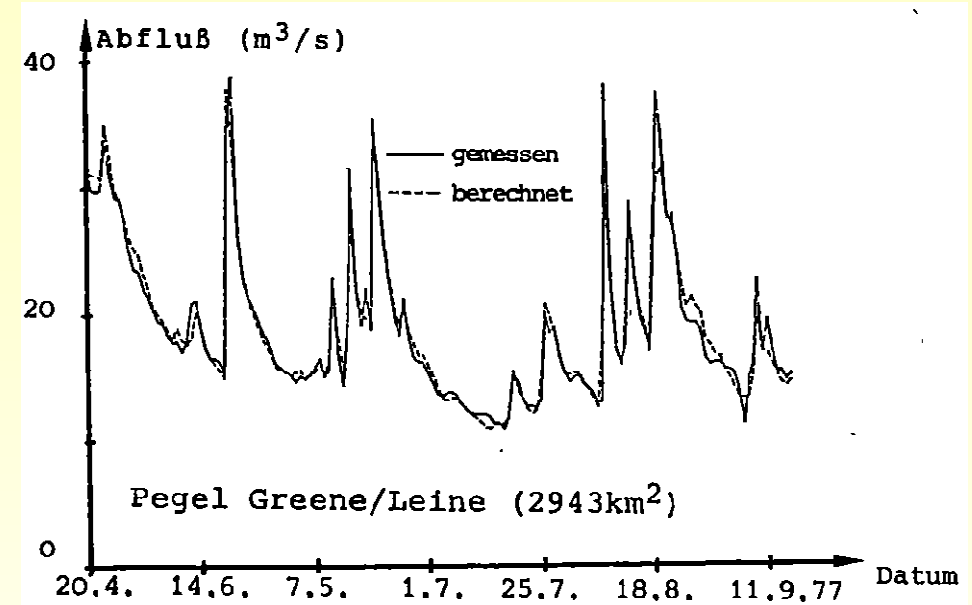
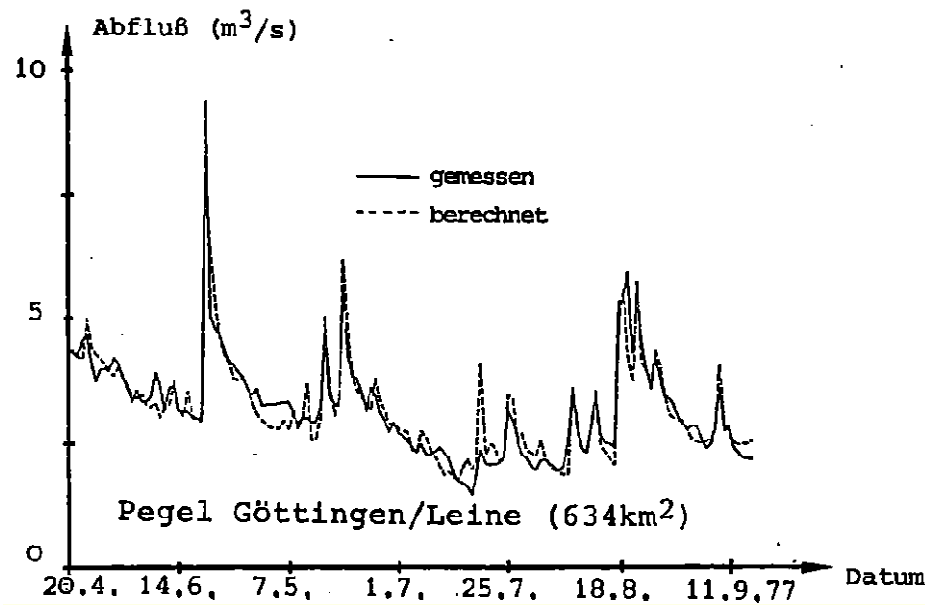




## INTERFLOW- INDEX- FUNKTION

$$INT = Q(\text{Interflow}) / FN$$





**PLAUSIBLE  
NIEDRIGWASSER-  
SIMULATION MIT  
INTERFLOW-INDEX-  
FUNKTION**



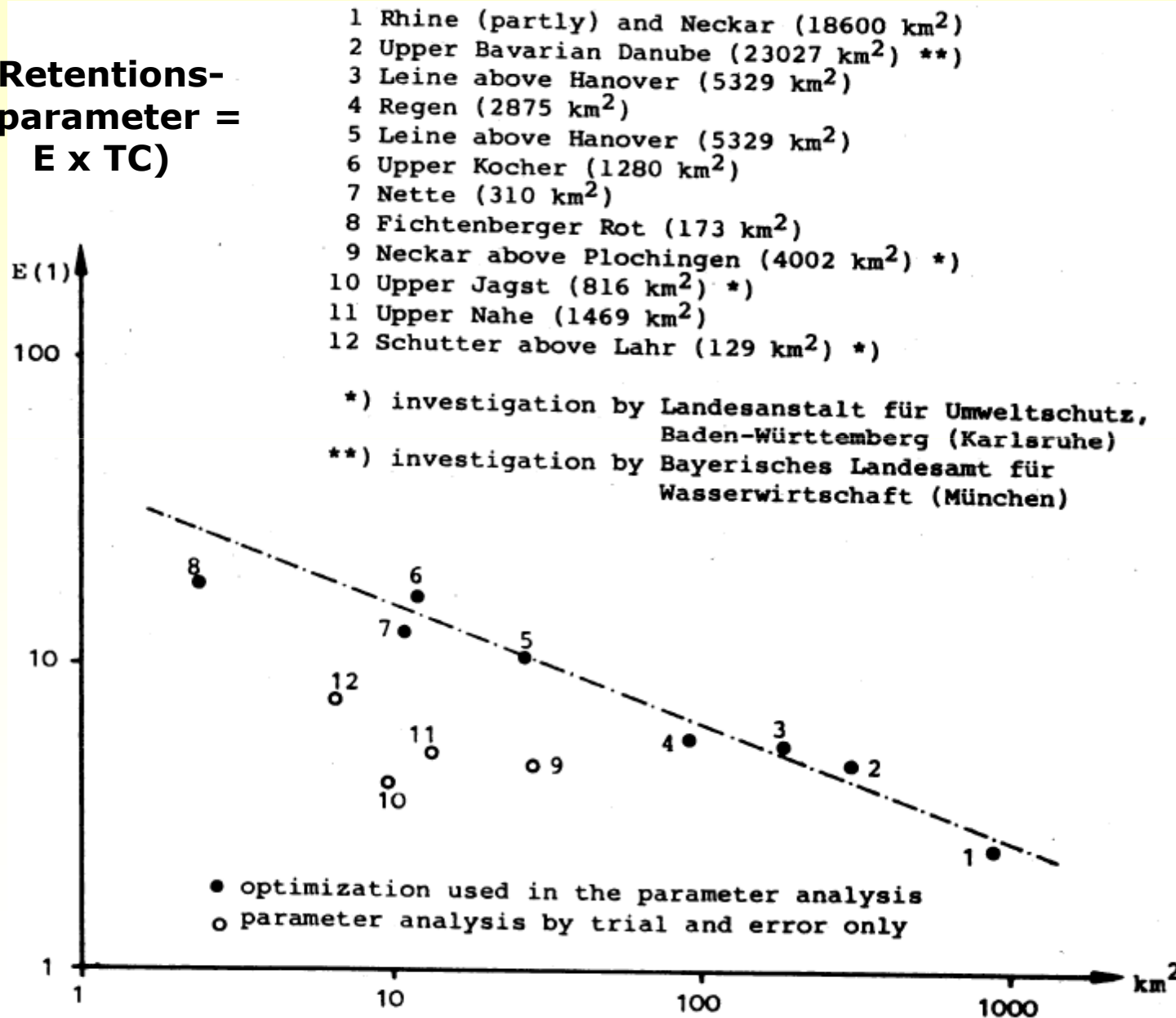
## **NOCH: HYDROLOGISCHE TEILMODELLE: TEILGEBIETSMODELL**

- **Vorsichtsmaßnahme:  
Teilgebiete sollten möglichst sehr ähnliche Größen-  
ordnung aufweisen.**
- **Bestätigt sich nach Anwendung von FGMOD für  
mehrere Einzugsgebiete**



# E = Eichgröße für Direktabfluss

(Retentions-  
parameter =  
 $E \times TC$ )

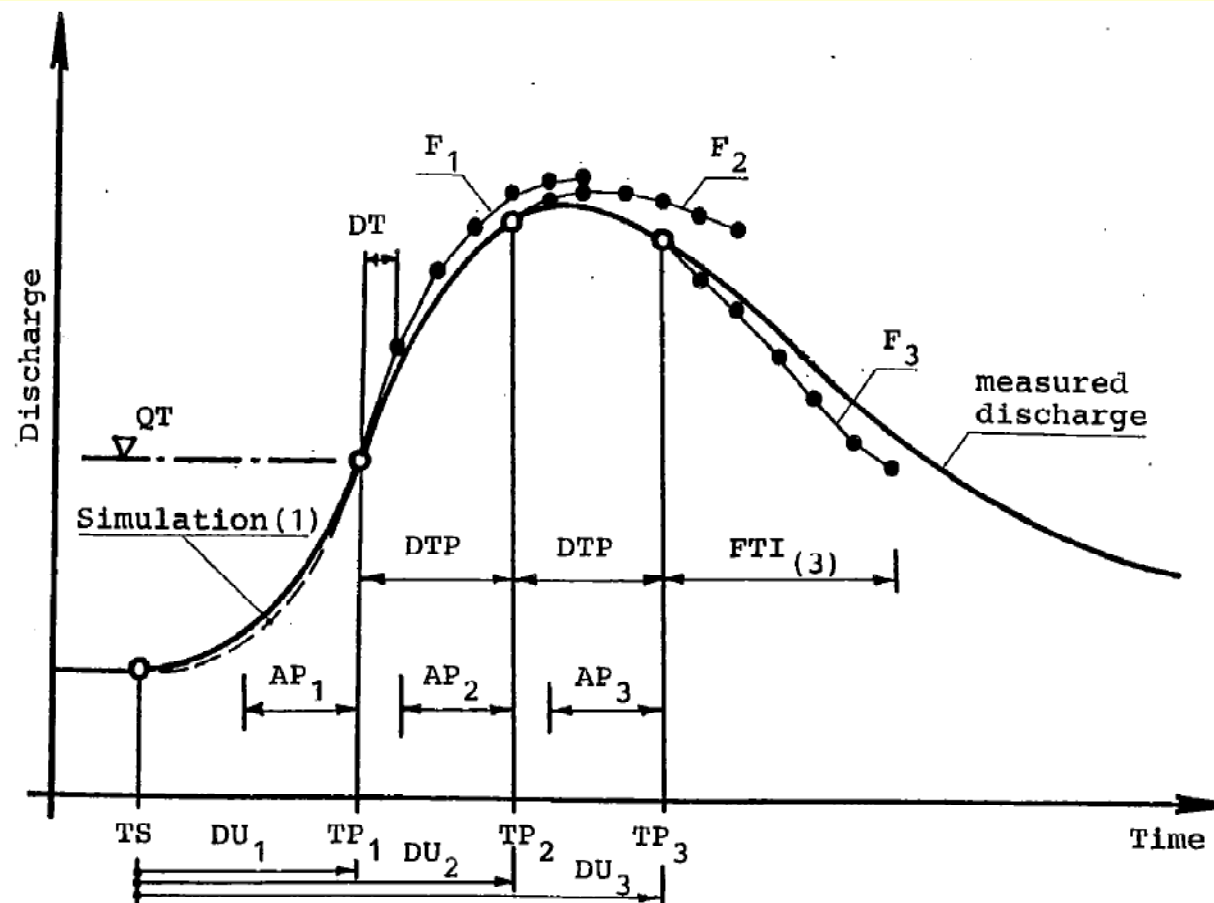


## **ABFLUSSVORHERSAGE:**

- **Hilfsmittel:**
  - .. Adaptive Optimierung weniger, ausgewählter Parameter z.B. PSI,
  - .. ARIMA 0,1,0-Modell,
  - .. Korrektur des Inhalts des untersten Modell-Parallelspeichers,
  - .. etc.
- **Wetter- (Niederschlags-) vorhersagen waren in den 1970-er und 1980-er Jahren erheblich schlechter,**
- **Im Wettermodell z.B. 250-km-Raster, Topografie Deutschlands insgesamt als geneigte Ebene.**
- **Deshalb weiteres Hilfsmittel:  
Persistenzannahme für Niederschlag**







**TP = Vorhersagezeitpunkte**  
**AP = Adaptierungszeit für Optimierung**  
**DTP = Zeit zwischen Vorhersagen**  
**F = Vorhersagen**  
**FTI = Vorhersage-Zeitraum**



## **ZUSAMMENFASSUNG: 3 GESICHTSPUNKTE FÜR LARSIM-NUTZER**

- 1. Auch in die Zeit „vor LARSIM“ schauen.**
- 2. In LARSIM noch wirksame Funktionalitäten von FGMOD verstehen.**
- 3. Bei Weiterentwicklung von LARSIM angemessen beachten.**



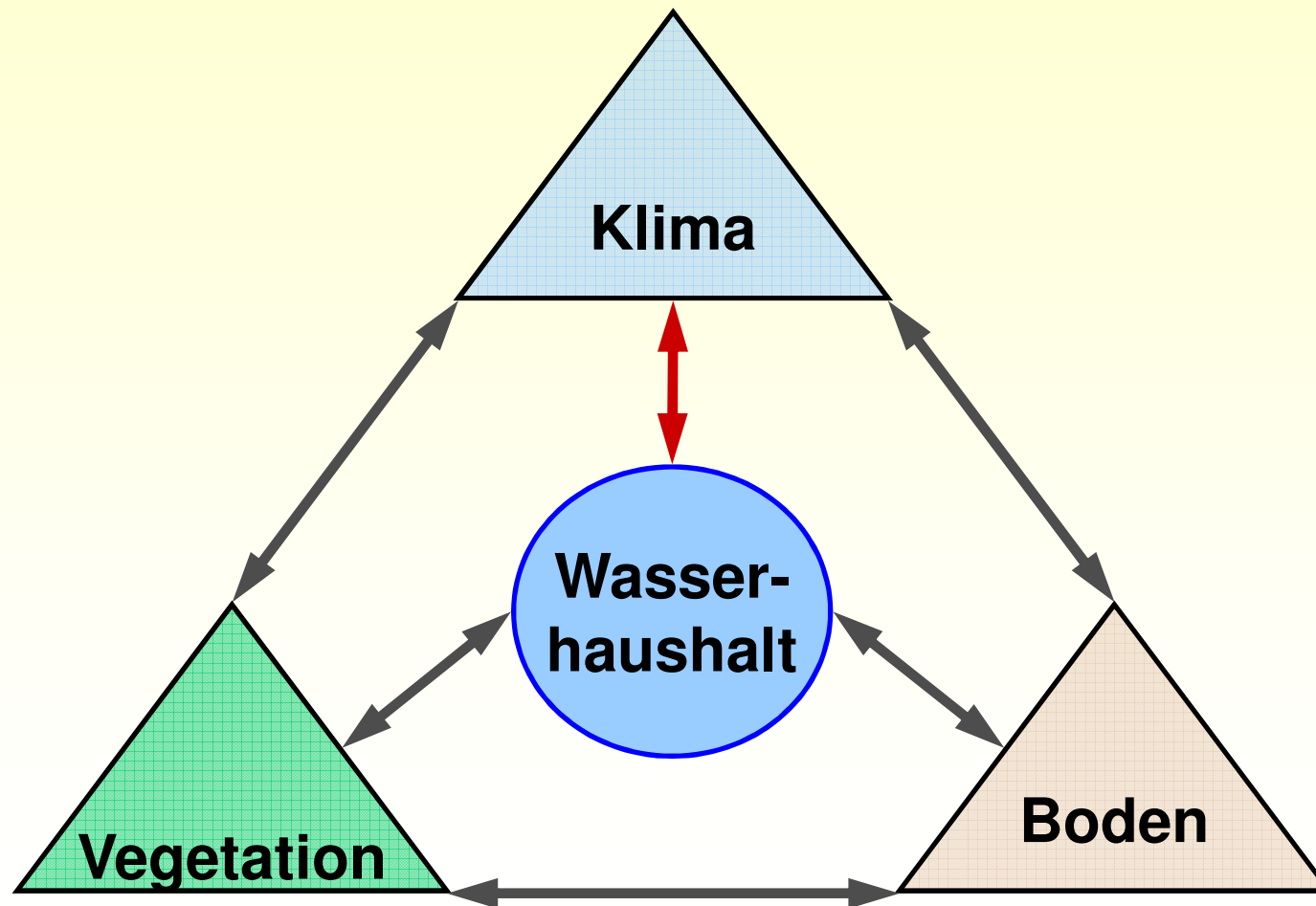
**vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



# Der Wasserkreislauf



# Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt



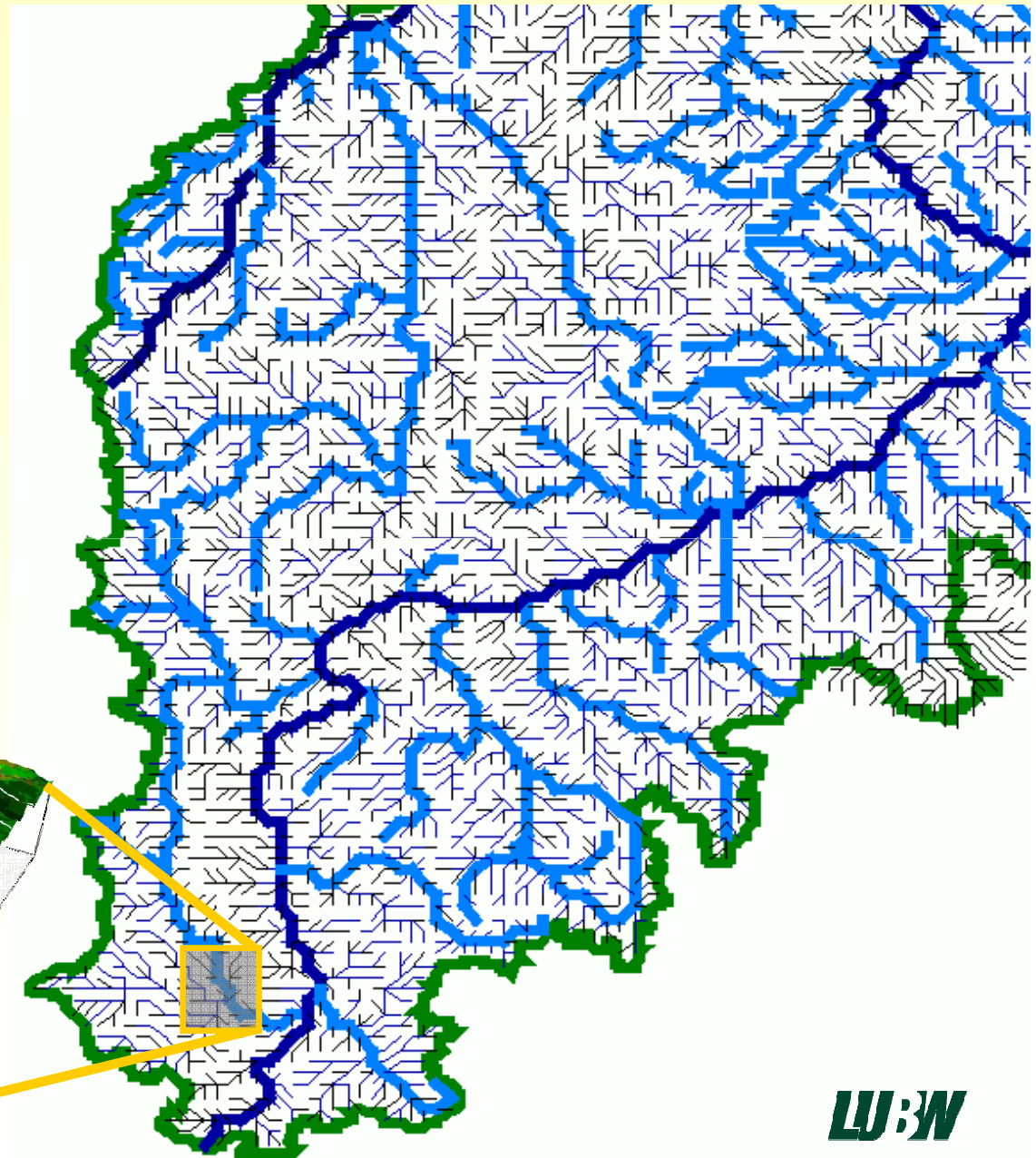
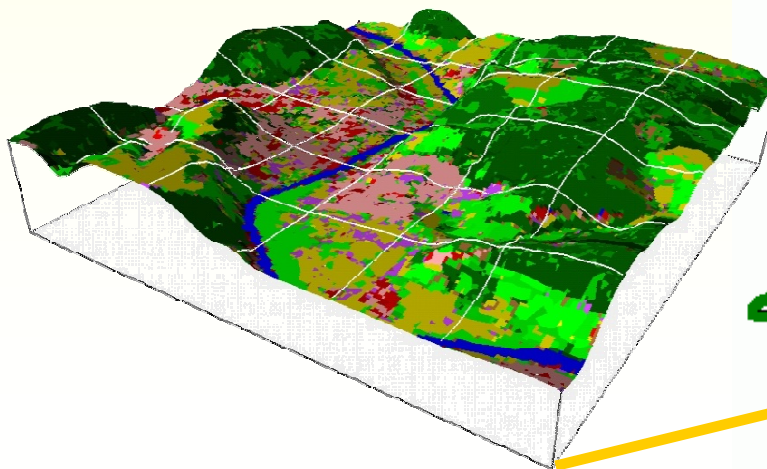


# Wasserhaushaltsmodelle für b-w. Flüsse und Hochrhein

Flächenauflösung: 1\*1 km

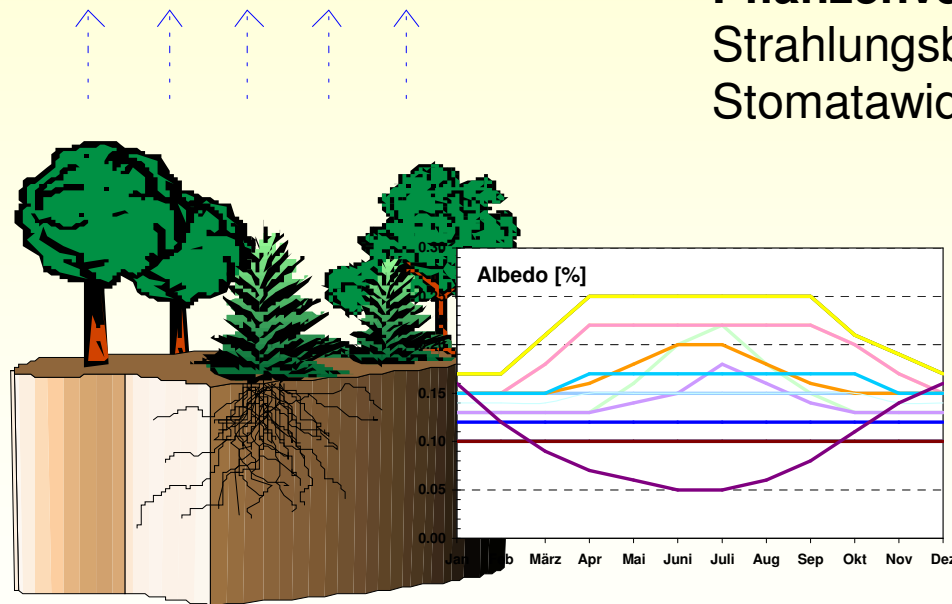
Erfassung pro Raster / TGB:

- bis zu 16 Landnutzungen
- Geländegeometrie
- Bodendaten
- Gewässergeometrie

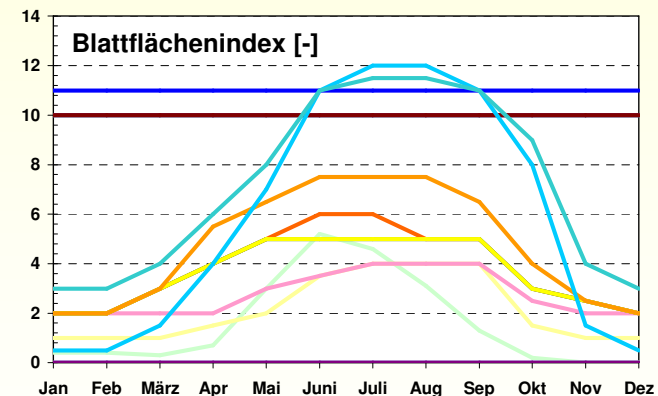


# Prozessbeschreibung im WHM: **Vegetation** ↔ **Boden**

im Jahresmittel verdunsten  
rund 2/3 des Niederschlags



- **Interzeption, Interzeptionsverdunstung**  
Speicherung von N auf (Blatt-) Oberflächen
- **Pflanzenverdunstung**  
Strahlungsbilanz, atmosphärischer Widerstand, Stomatawiderstand, verfügbares Bodenwasser



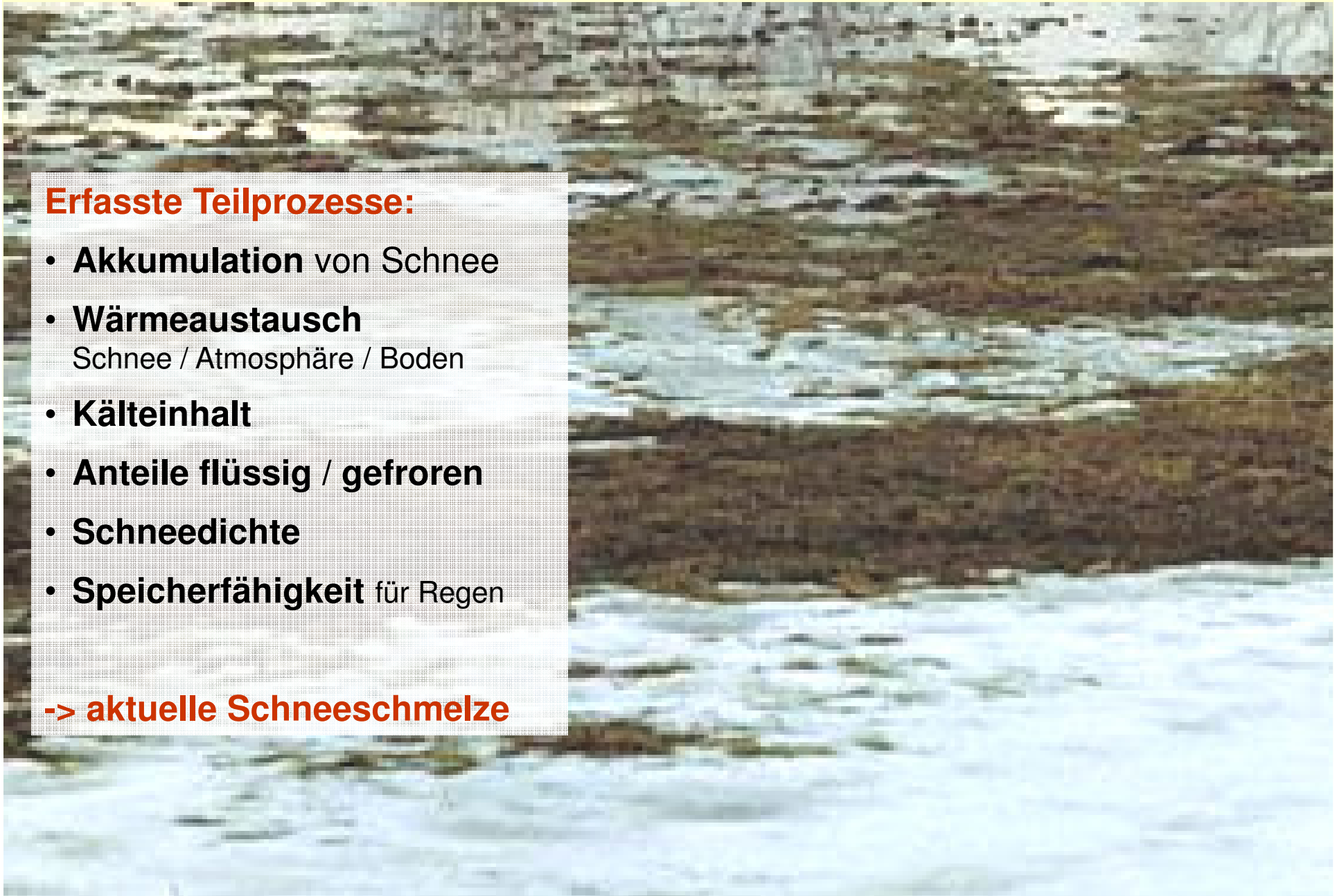
- spezielle Module für **versiegelte Flächen** sowie für **freie Wasserflächen**

# Prozessbeschreibung im WHM: **Schneemodul**

## **Erfasste Teilprozesse:**

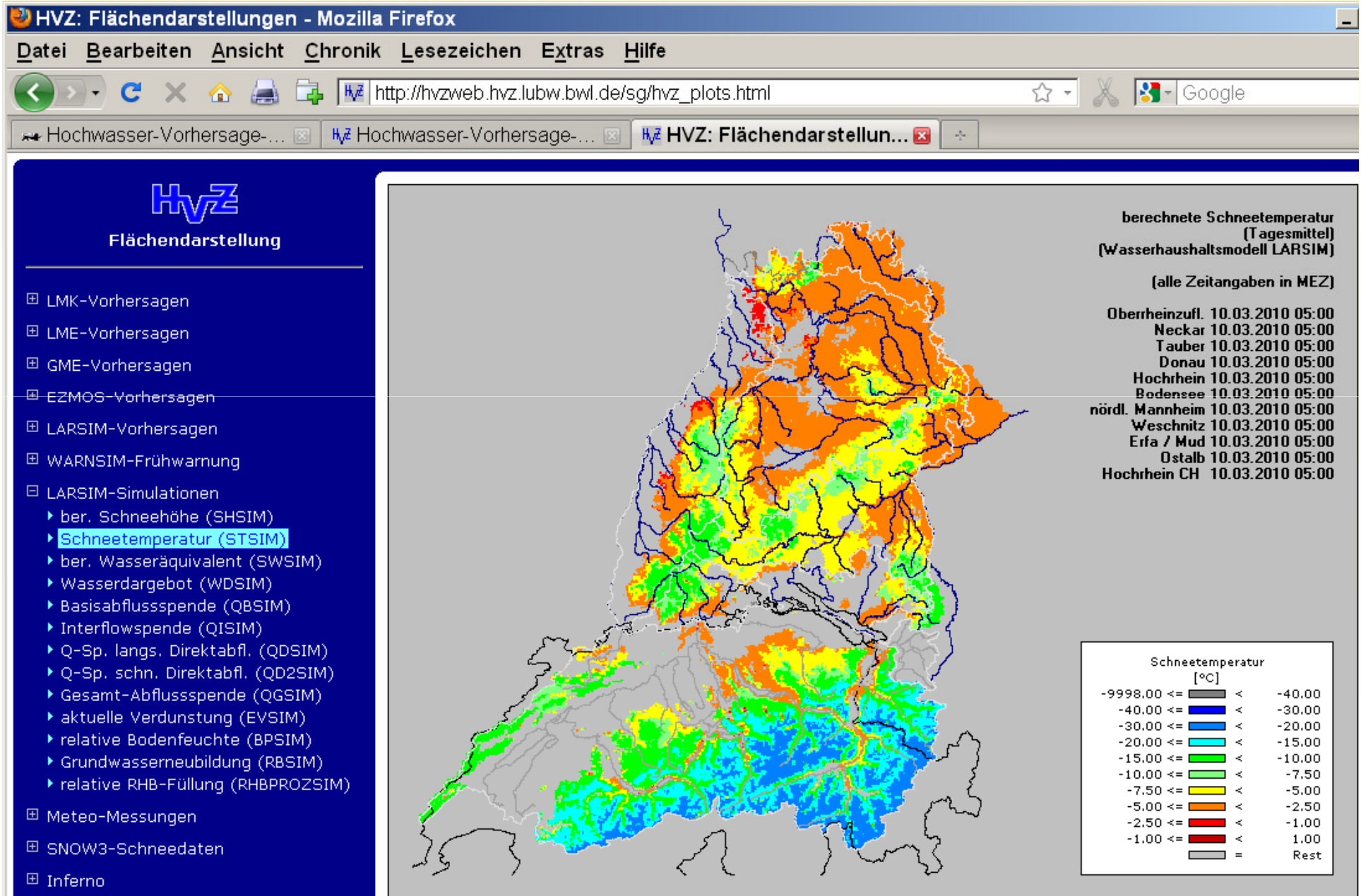
- **Akkumulation** von Schnee
- **Wärmeaustausch**  
Schnee / Atmosphäre / Boden
- **Kälteinhalt**
- **Anteile flüssig / gefroren**
- **Schneedichte**
- **Speicherfähigkeit** für Regen

**-> aktuelle Schneeschmelze**

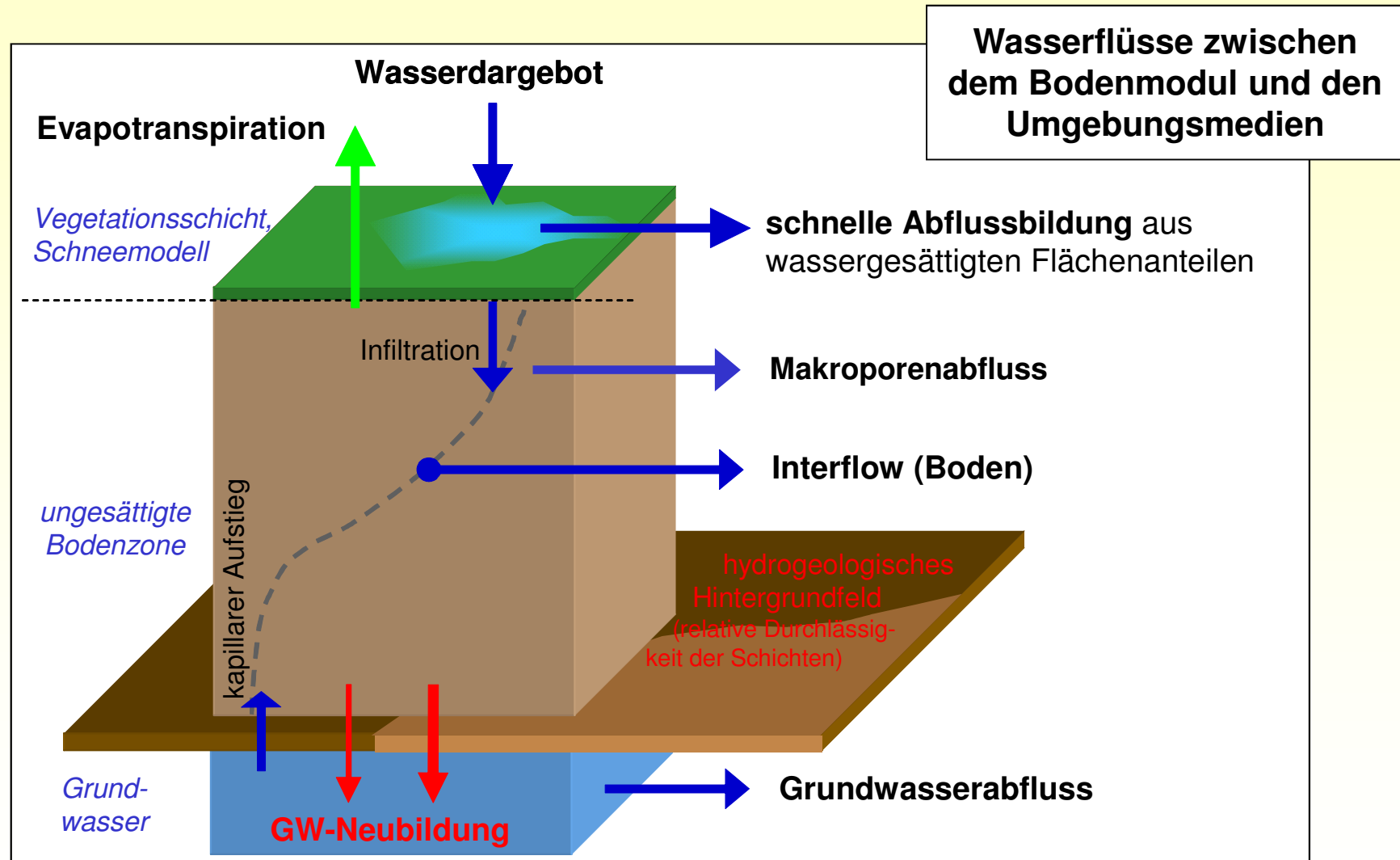




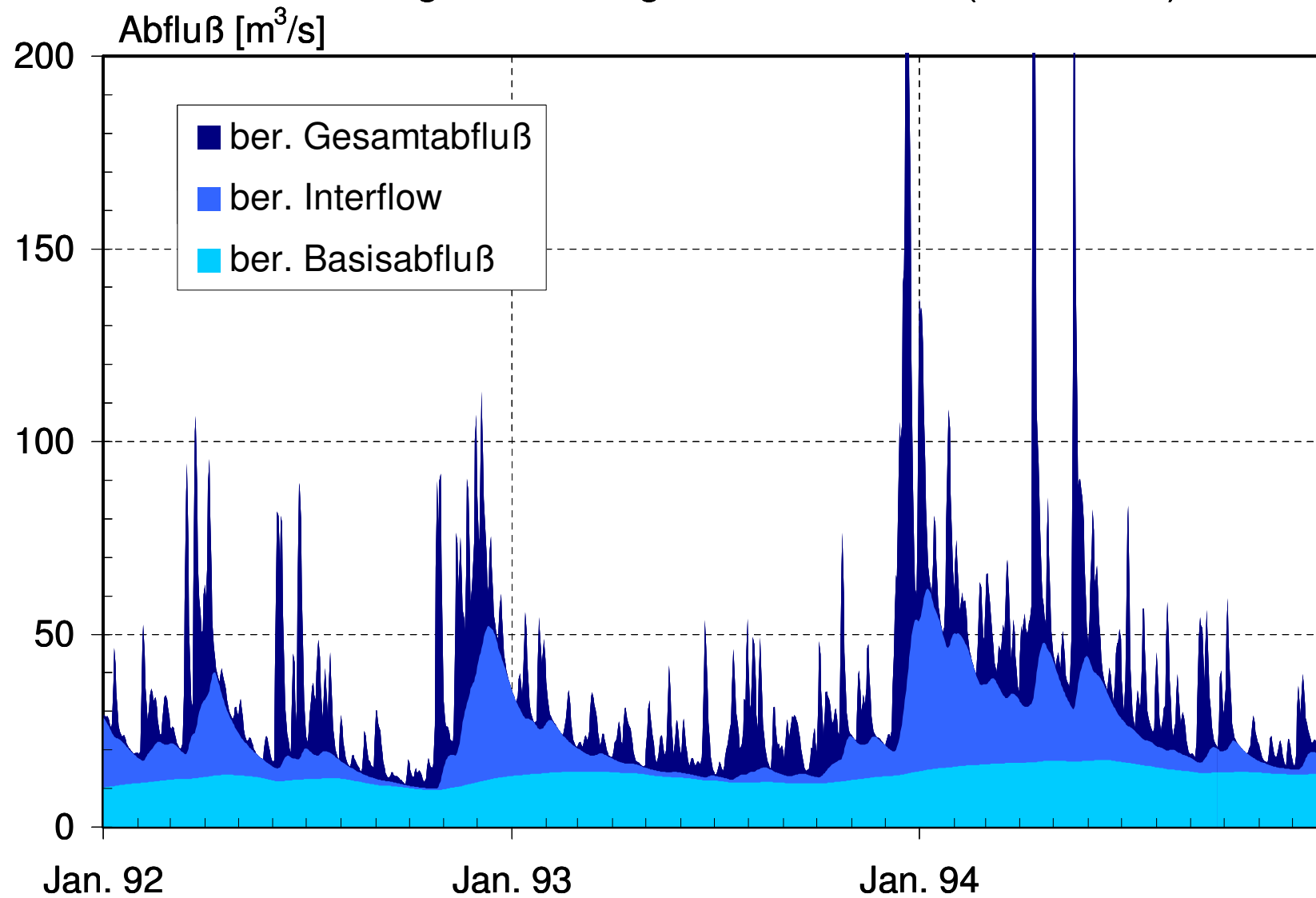
# Visualisierungen im HVZweb - berechnete Schneetemperatur



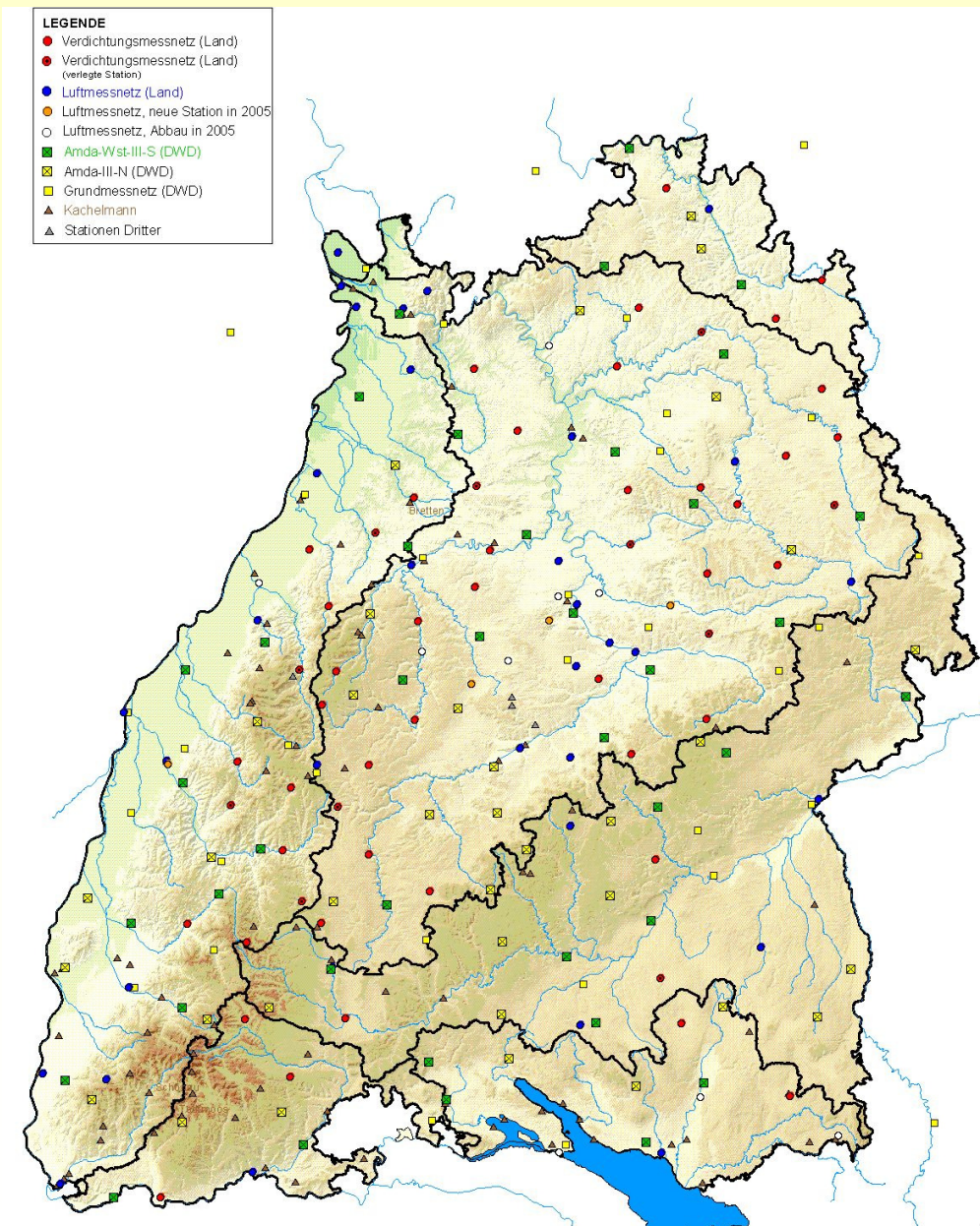
# Der Boden als Speicher- und Verteilersystem



# Pegel Wendlingen-Kla / Neckar (3.269 km<sup>2</sup>)



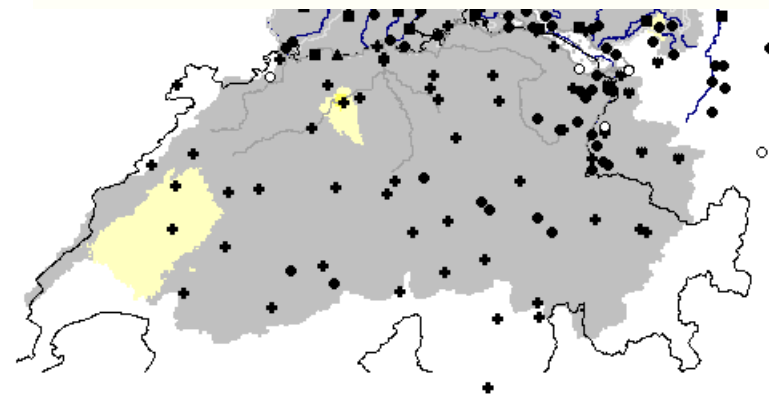
# Wasserhaushaltsmodelle: Dateninput



## Anbindung an Online-Messnetze (DWD, Land, Meteomedia, MeteoSwiss, AVLR):

Niederschlag (~ 320 Stationen)  
Lufttemperatur (~ 210)  
Windgeschwindigkeit (~130)  
Globalstrahlung (~90)  
Luftfeuchte (~170)  
Luftdruck (~60)

**Daten von insgesamt ca. 1.000  
Wettersensoren**



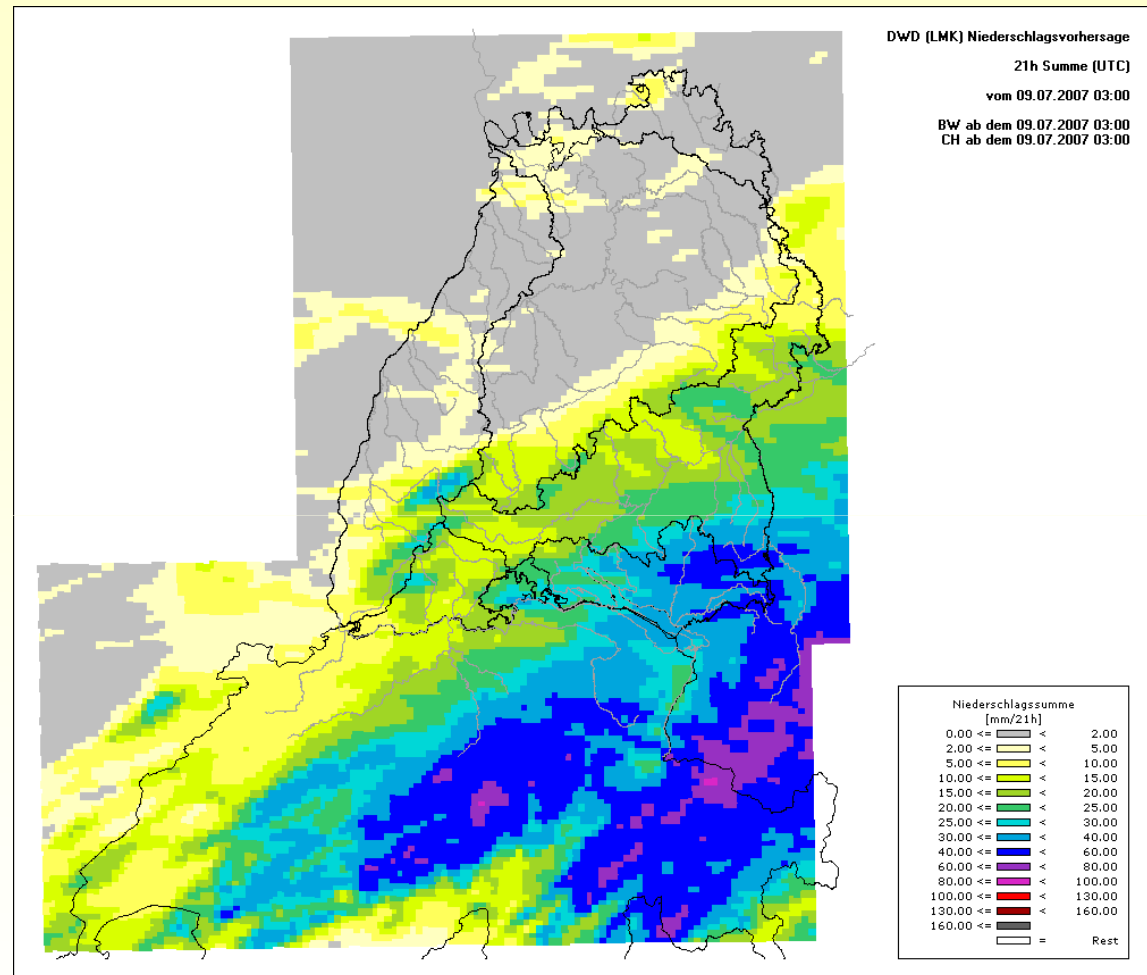
# Verarbeitung numerischer Wettervorhersagen

## Vorhersagemodelle:

- COSMO-DE (21 Stunden)
- COSMO-EU (3 Tage)
- EZMOS (4 Tage)
- GME (7 Tage)

## Vorhersagefelder jeweils:

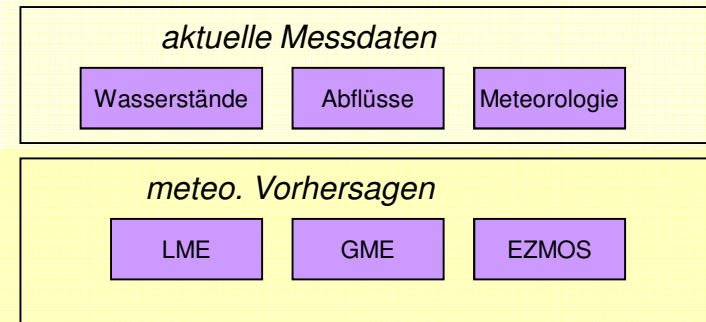
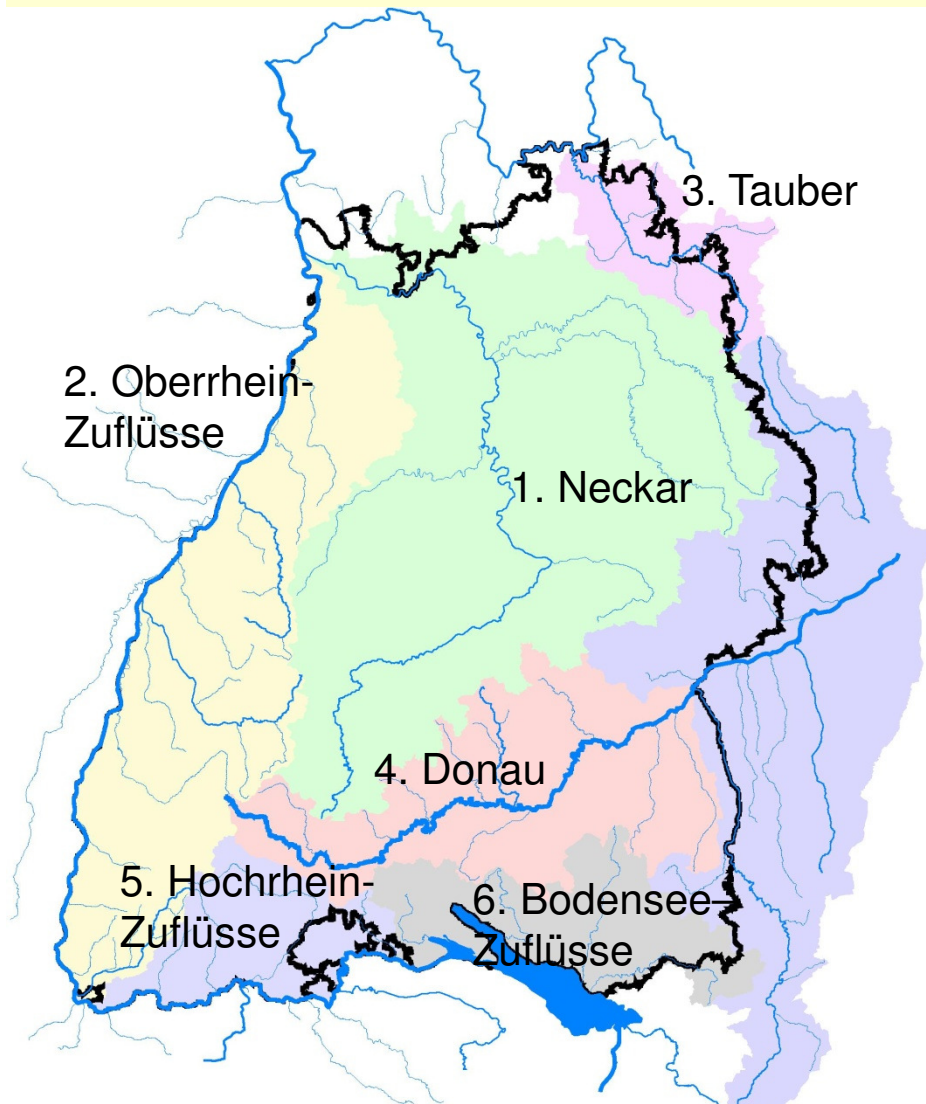
- Niederschlag
- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Globalstrahlung
- Windgeschwindigkeit
- Luftdruck



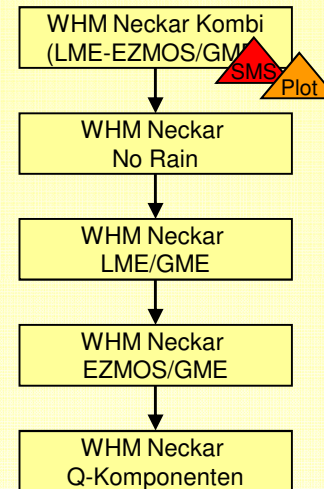
Niederschlagsvorhersage, COSMO-DE-Modell (DWD)



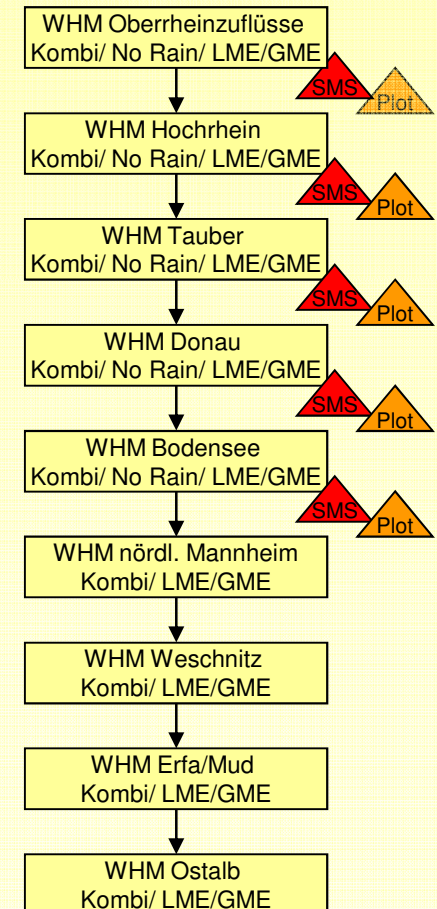
# Flächenaufteilung und operationelles Rechenschema



*whm\_auto\_1.cmd*

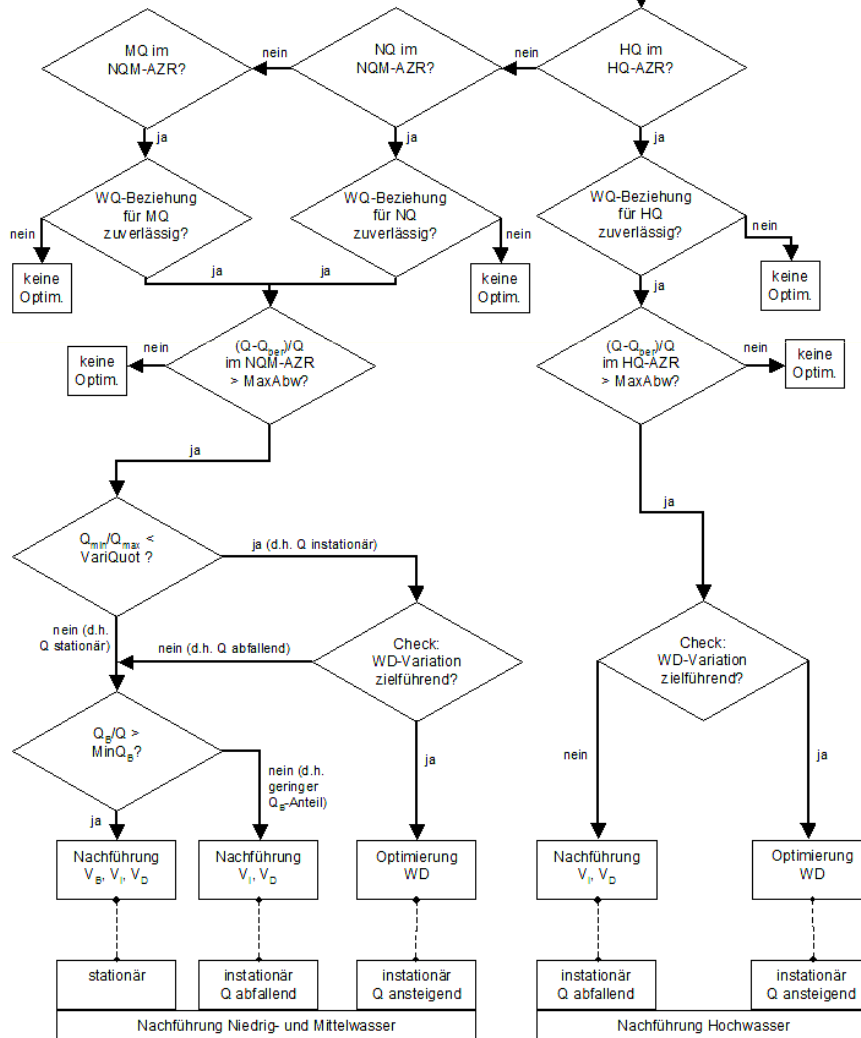


*whm\_auto\_2.cmd*



# Automatisierte WHM-Nachführung

HQ-AZR = Auswertezeitraum für Hochwasser (z.B. 6 h)  
 NQM-AZR = Auswertezeitraum für Niedrig- und Mittelwasser (z.B. 48 h)  
 MaxAbw = Maximal zulässige mittlere Abweichung des berechneten vom gemessenen Abfluss im Auswertezeitraum (z.B. 5%)  
 VariQuot = Variationsquotient  $Q_{min}/Q_{max}$  als Maß für die Schwankungsbreite des Abflusses (z.B. 80%)  
 MinQ<sub>s</sub> = Mindestanteil Basisabfluss am Gesamtabfluss für die Nachführung des Basisabflussspeichers (z.B. 90%)  
 V<sub>B</sub>, V<sub>I</sub>, V<sub>D</sub> = Gebietsspeicher für Basisabfluss, Interflow, Direktabfluss  
 WD = Wasserdargebot

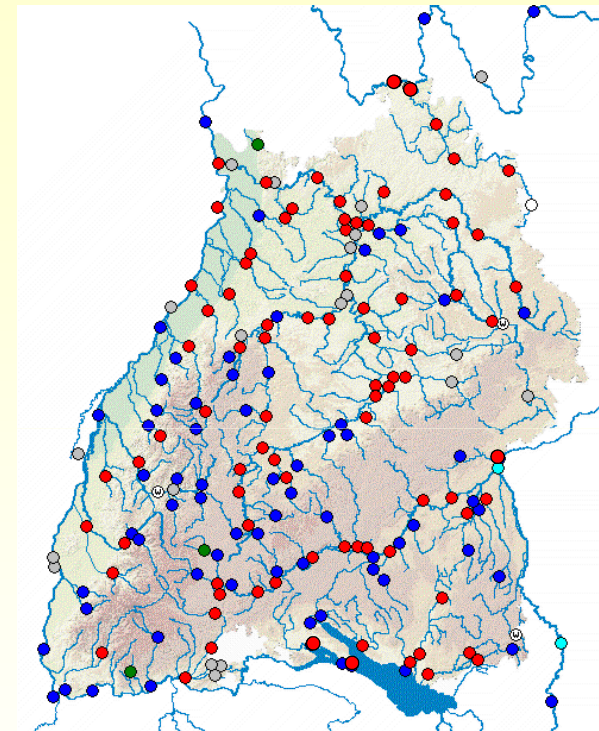
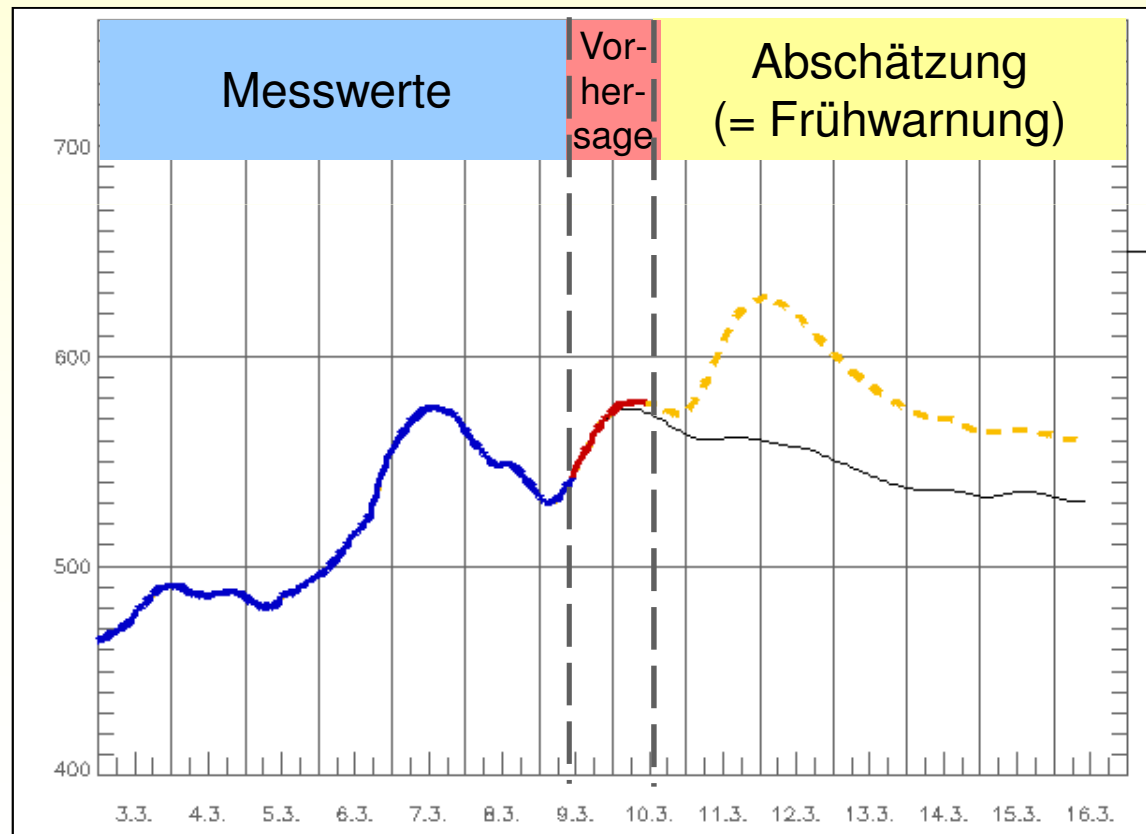


## Grundannahmen automat. Nachführung:

- Nachführung nur, wenn
  - $W_{\text{(aktuell, AZR)}}$  im vertrauenswürdigen WQ-Bereich liegt
  - Abweichung > **MaxAbw.**
- Ziel der Nachführung ist die Minimierung der Abweichung Q.gem und Q.sim im Auswertungszeitraum (AZR)
- automatisierte, abflussabhängige Auswahl des Auswertungszeitraums
- Zuordnung und Durchführung der Nachführungsstrategien für 5 hydrologische Fälle:
  - Niedrig- und Mittelwasser, Q stationär
  - Niedrig- und Mittelwasser, Q fallend
  - Niedrig- und Mittelwasser, Q steigend
  - > 3 MQ, Q steigend
  - > 3 MQ, Q stationär bis fallend

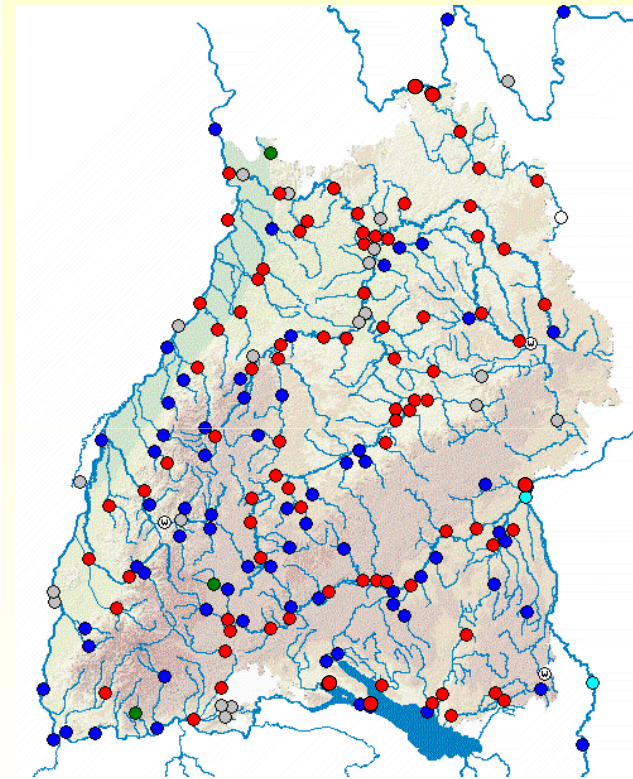
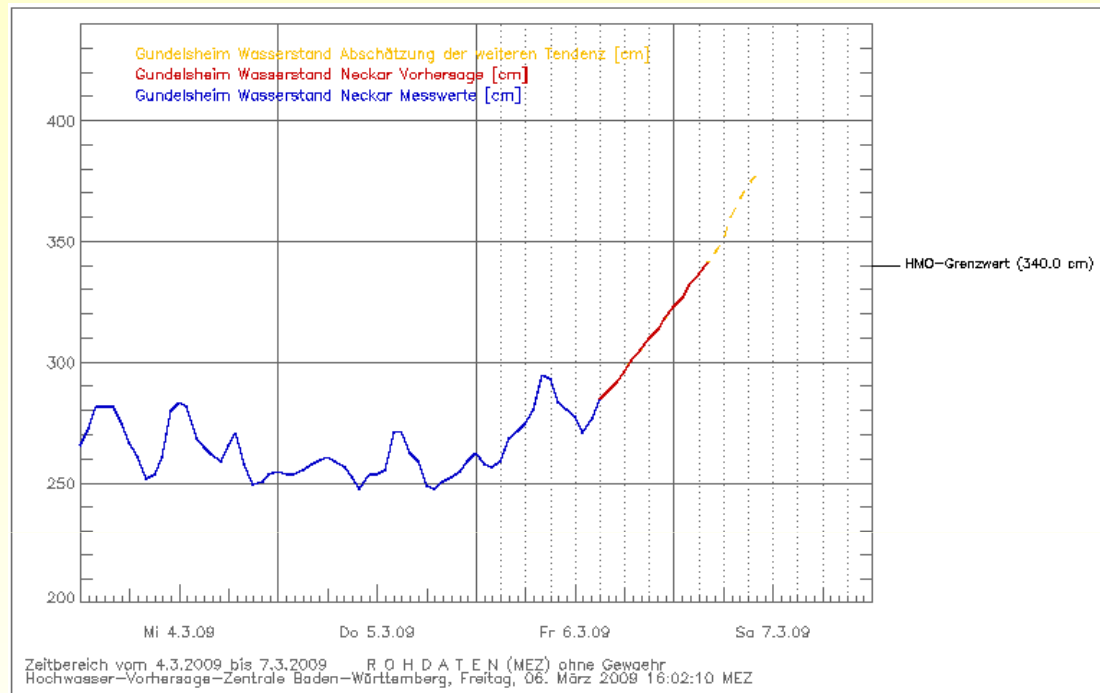
# pegelbezogene Hochwasser-Frühwarnung

- rund 90 Pegel in Baden–Württemberg (> 150 km<sup>2</sup>)
- tägliche Aktualisierung der Vorhersagen
- Vorhersagehorizont bis zu 7 Tage



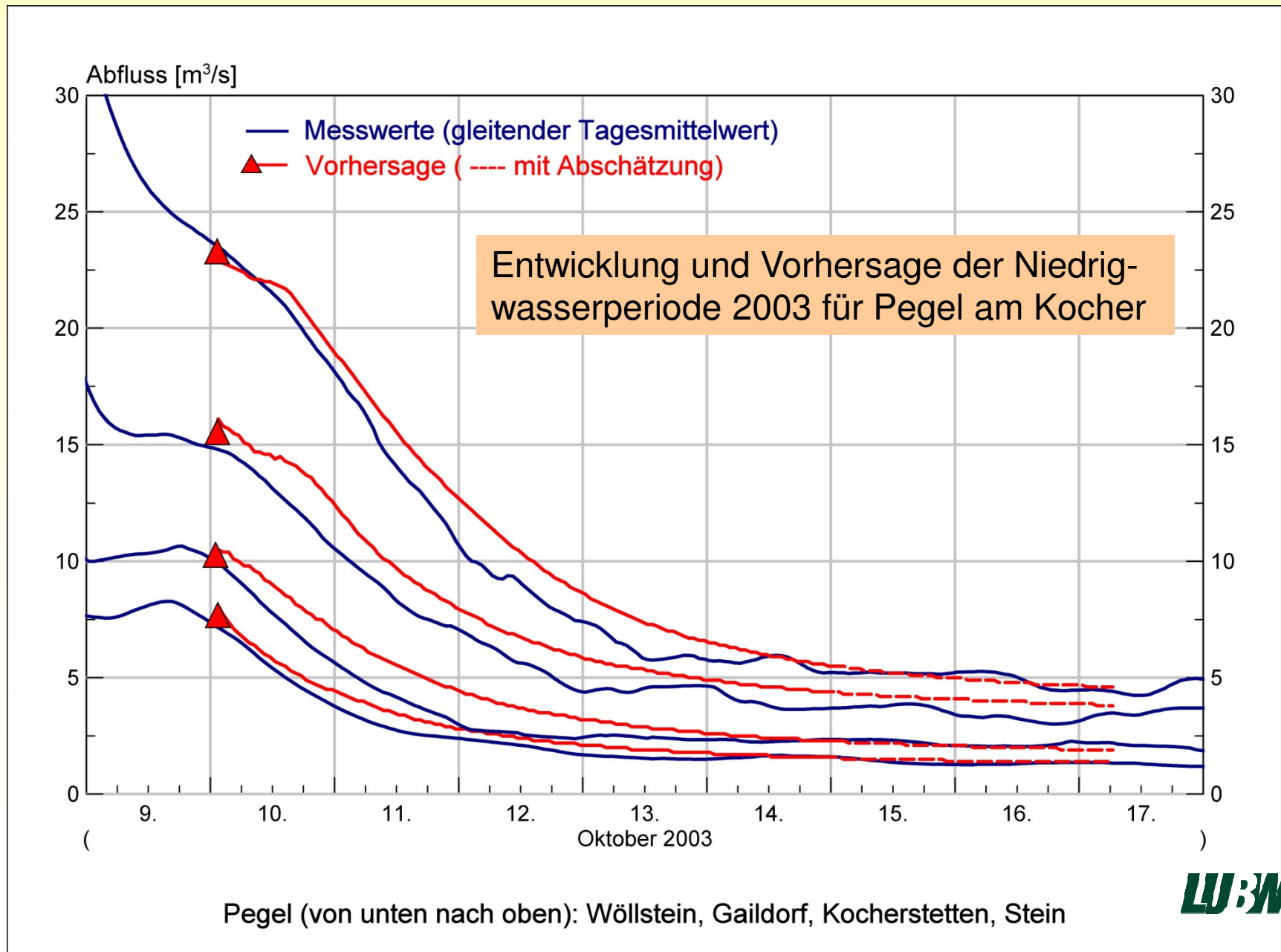


# Hochwasservorhersage



- **stündliche** Aktualisierung für 90 Pegel
- automatisierte Kürzung auf den **verlässlichen** Vorhersagezeitraum (maximal 24 Stunden)
- zusätzlich: Abschätzung bis max. 48. Stunde
- Basis zur Durchführung konkreter Maßnahmen (mobile Schutzwände, ...)

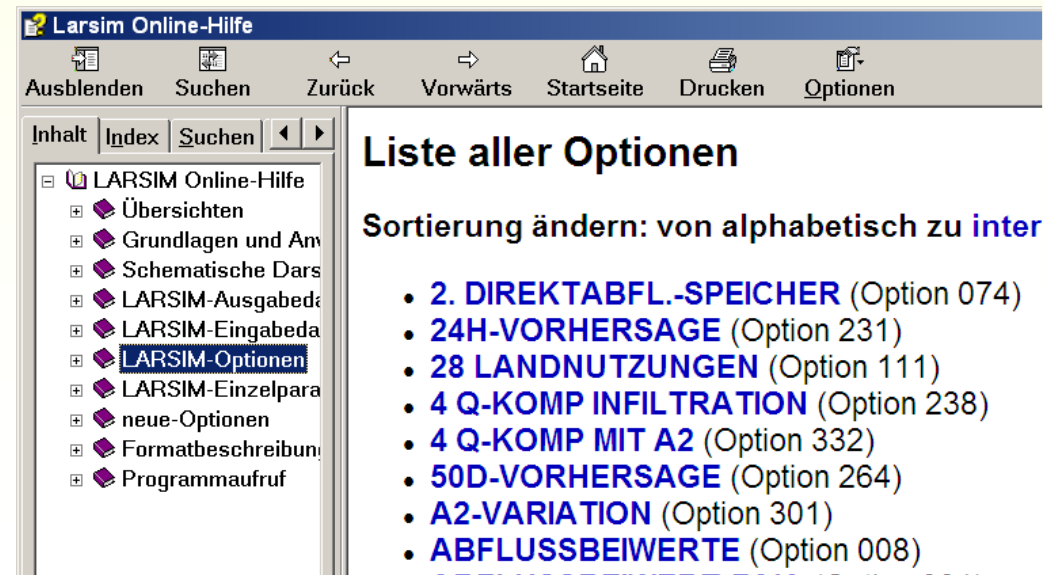
# Niedrigwasservorhersage



# programmtechnische Daten zu LARSIM

## FORTTRAN-Quellcode:

- Einsetzbar unter Windows, VMS, Unix
- aktuelle Release/Revision: 103 / 703
- derzeit rund 580 Subroutinen
- 414 Option und 114 Einzelparameter zur Steuerung der Berechnung



The screenshot shows the 'Larsim Online-Hilfe' web application. The top navigation bar includes links for 'Ausblenden', 'Suchen', 'Zurück', 'Vorwärts', 'Startseite', 'Drucken', and 'Optionen'. The left sidebar contains a tree view with the following items: 'LARSIM Online-Hilfe', 'Übersichten', 'Grundlagen und An', 'Schematische Dar', 'LARSIM-Ausgabed', 'LARSIM-Eingabeda', 'LARSIM-Optionen' (highlighted), 'LARSIM-Einzelpara', 'neue-Optionen', 'Formatbeschreibun', and 'Programmaufruf'. The main content area is titled 'Liste aller Optionen' and includes a sorting instruction: 'Sortierung ändern: von alphabetisch zu **inter**'. Below this, a list of options is displayed, each with a blue icon and text:

- **2. DIREKTABFL.-SPEICHER** (Option 074)
- **24H-VORHERSAGE** (Option 231)
- **28 LANDNUTZUNGEN** (Option 111)
- **4 Q-KOMP INFILTRATION** (Option 238)
- **4 Q-KOMP MIT A2** (Option 332)
- **50D-VORHERSAGE** (Option 264)
- **A2-VARIATION** (Option 301)
- **ABFLUSSBEIWERTE** (Option 008)

# Einsatzgebiete von LARSIM

## Prognosen und Szenarien ...

- Niedrig-, Mittel- und Hochwasserabfluss
- Verdunstung
- Grundwasserneubildung
- Bodenfeuchte
- Wassertemperatur
- u.a.

## ... für unterschiedliche Randbedingungen

- Ist-Zustand
- Klimaszenarien
- Landnutzungsänderungen
- wasserwirtschaftliche Maßnahmen  
(Wasserüberleitungen, Talsperrenbetrieb u.a.)

## ... und operationelle Vorhersage

**vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**