

Modellnachführung und Fehlerkorrektur in LARSIM

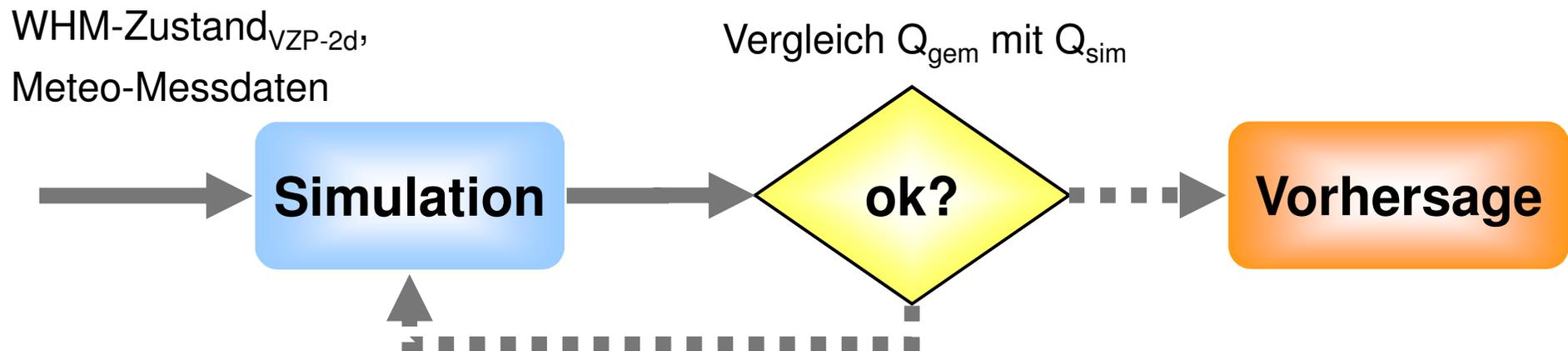
Kai Gerlinger

HYDRON Ingenieurgesellschaft für
Umwelt und Wasserwirtschaft mbH, Karlsruhe

März 2010

Grundlagen der Modellnachführung

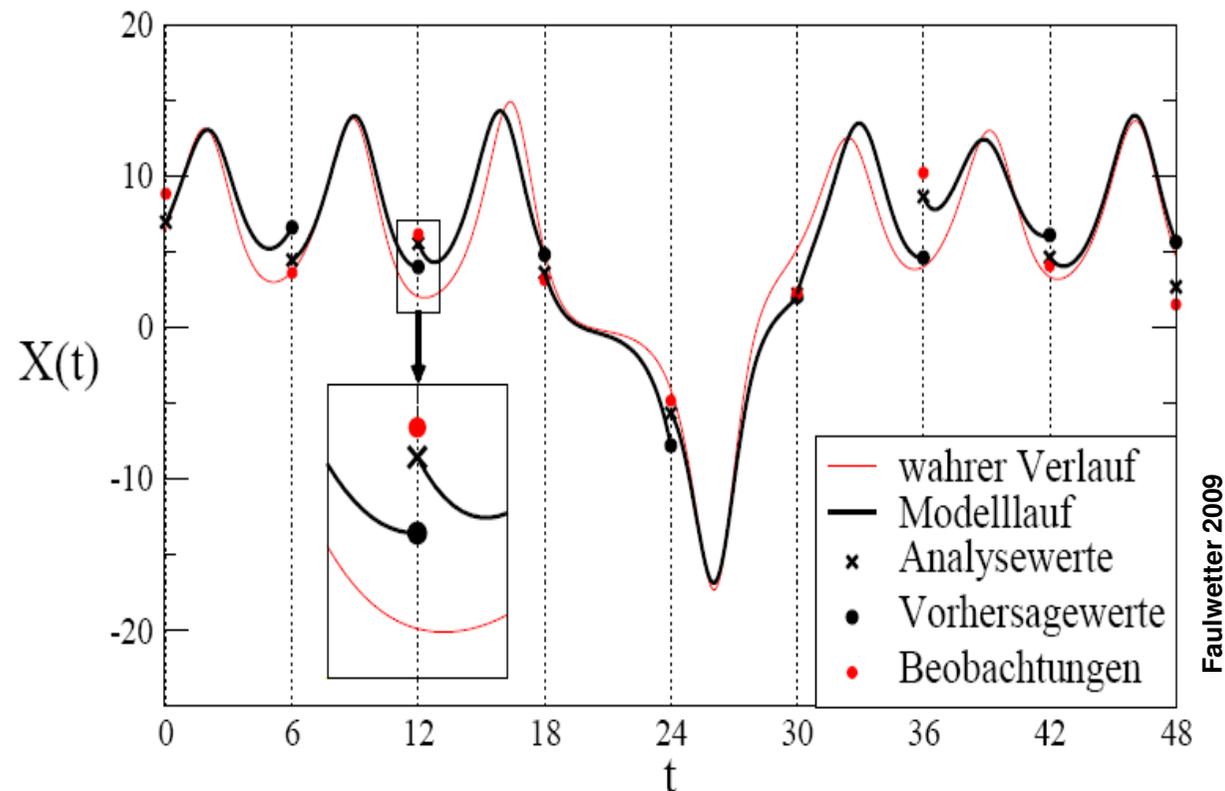
- **An einzelnen Pegel ergeben sich Abweichungen zwischen gemessenen und simulierten Abflüssen aufgrund von u.a.:**
 - unzureichende Stationsdichte Meteo-Messnetz (nicht repräsentative Erfassung der Meteorologie)
 - Ungenauigkeiten der WQ-Beziehungen an den Pegeln
 - modellimmanente Ungenauigkeiten
- **Sofern am jeweiligen Pegel der aktuelle Messwert im „vertrauenswürdigen“ WQ-Bereich liegt, wird das Modell automatisiert an den gemessenen Wasserstand nachgeführt.**



Grundlagen der Modellnachführung

Methoden der Modellnachführung (Datenassimilation):

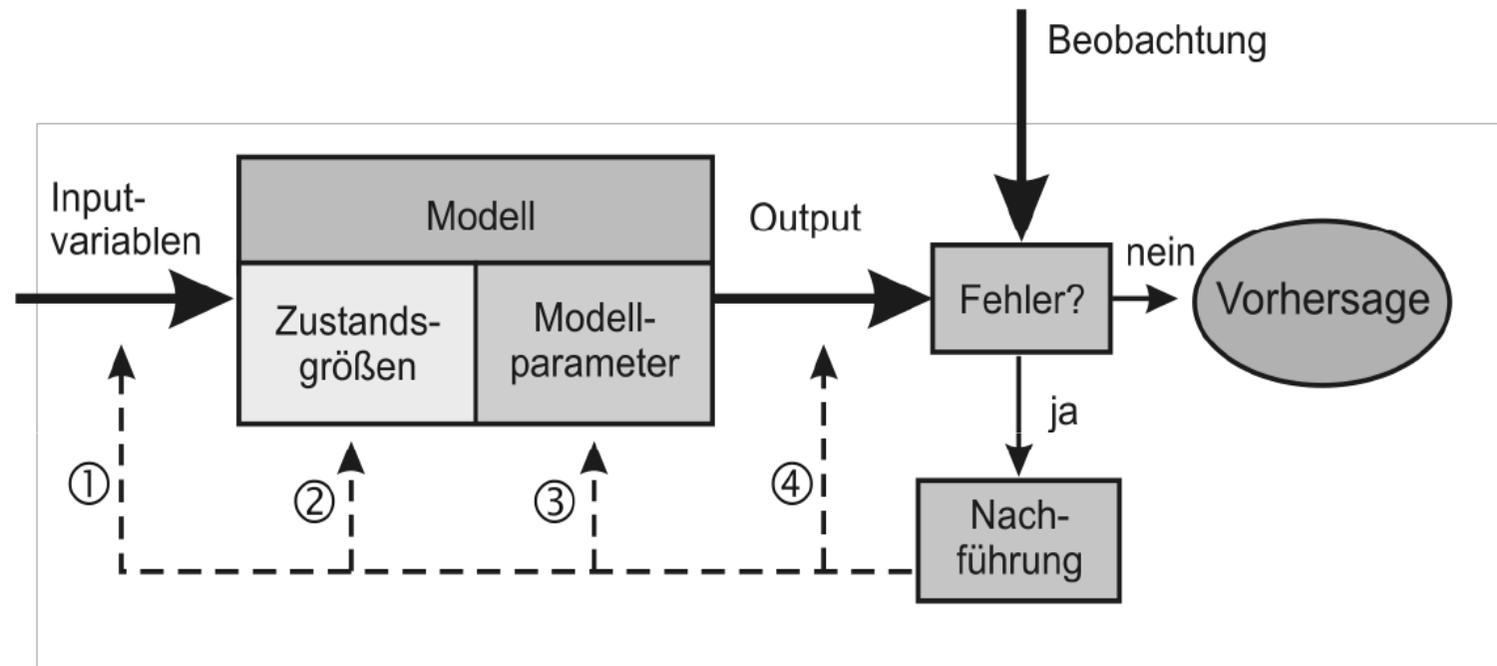
- Filtermethoden, die auf statistischen Prinzipien basieren.
- Variationelle (oder deterministische) Methoden, die auf der Optimierungstheorie basieren. Sie sind auf eine Minimierung des Abstands zwischen den beobachteten und den gemessenen Werten ausgerichtet.



Faulwetter 2009

Grundlagen der Modellnachführung

Möglichkeiten der Modellnachführung:



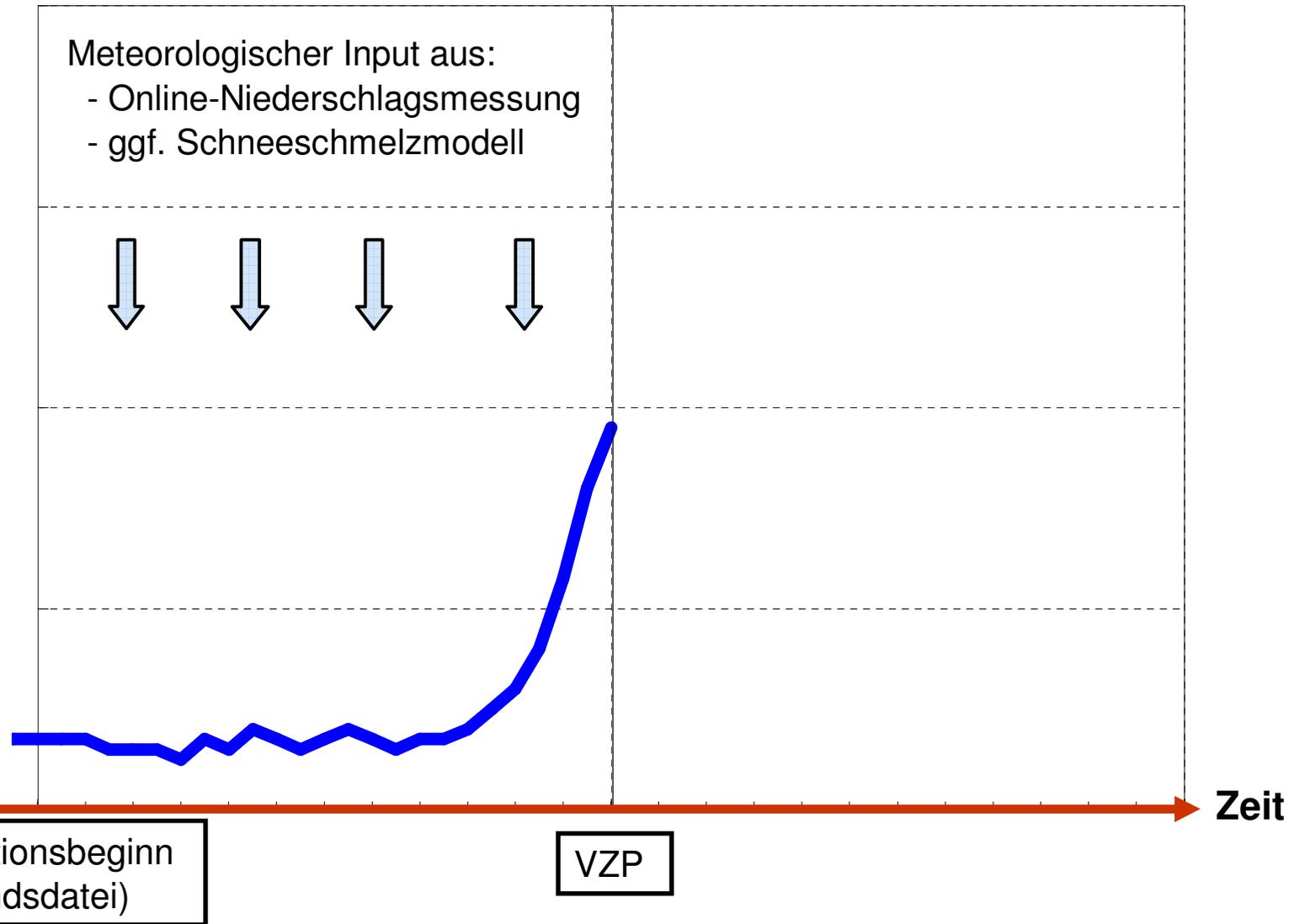
Komma et al. 2009

- (1): Korrektur der Eingangsdaten
- (2): Korrektur des Systemzustandes
- (3): Korrektur der Parameter
- (4): Korrektur der Resultate

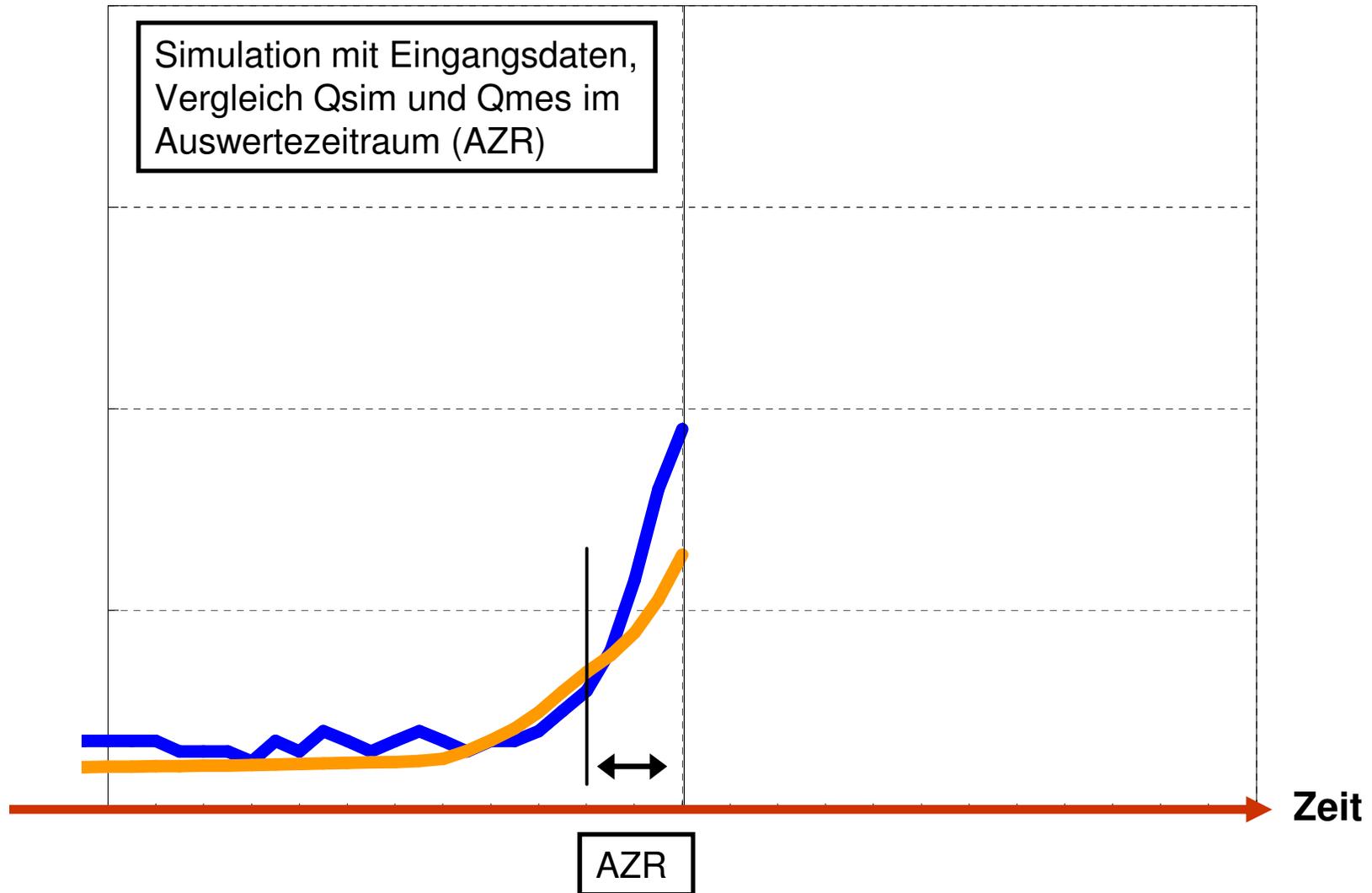
Grundlagen der Modellnachführung

- **Möglichkeiten der Modellnachführung in LARSIM:**
 - Nachführung des Wasserdargebots (Korrektur Inputvariable)
 - Nachführung der Gebietspeicher (Korrektur Systemzustand)
 - Nachführung der Schnee-Wasseräquivalente (Korrektur Systemzustand)
 - ARIMA-Korrektur (Korrektur Outputvariable)
- **Zielgröße: möglichst hohe Übereinstimmung des gemessenen und simulierten Abflussvolumens im Auswertezeitraum**

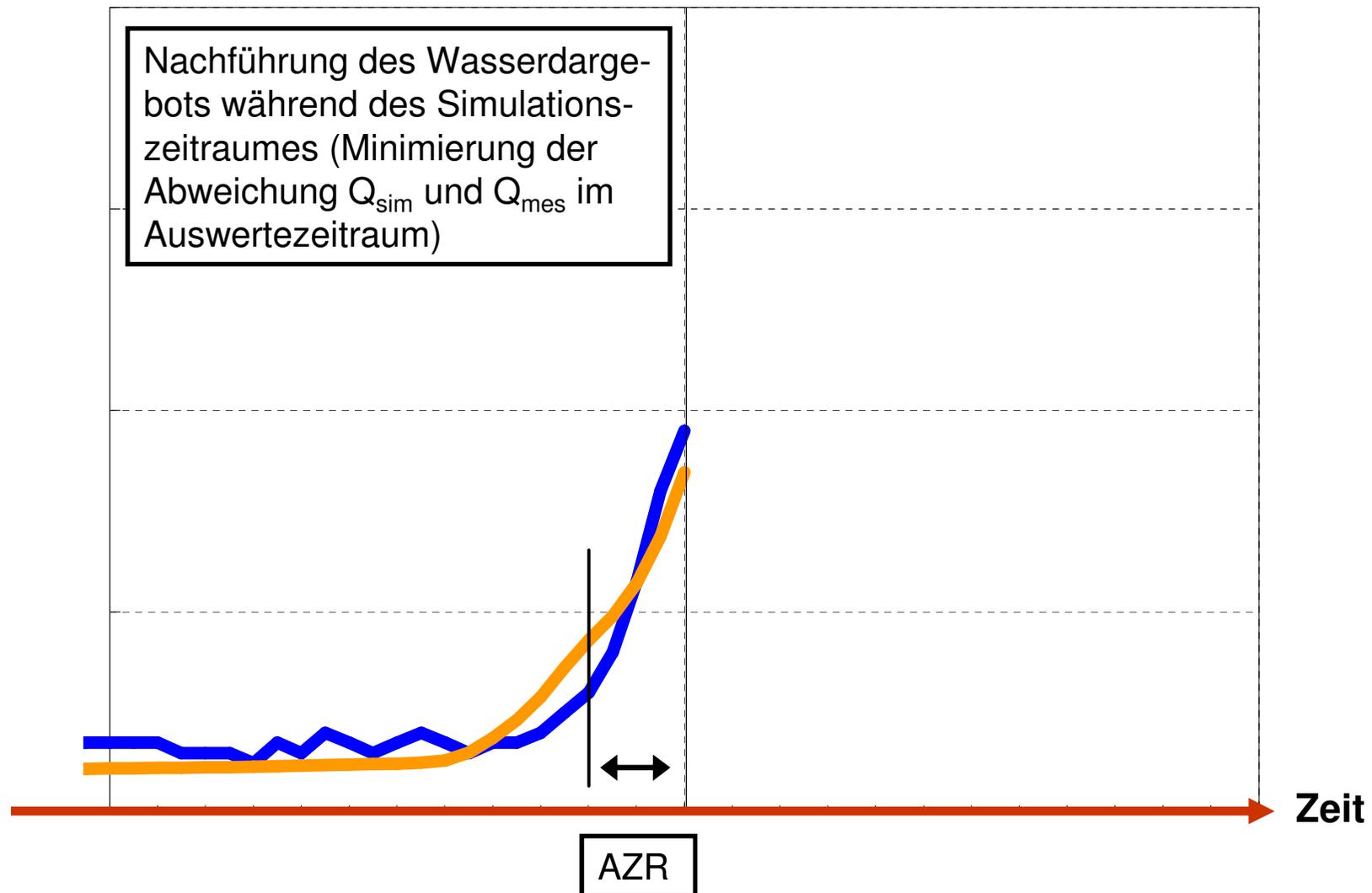
Modellnachführung Wasserdargebot



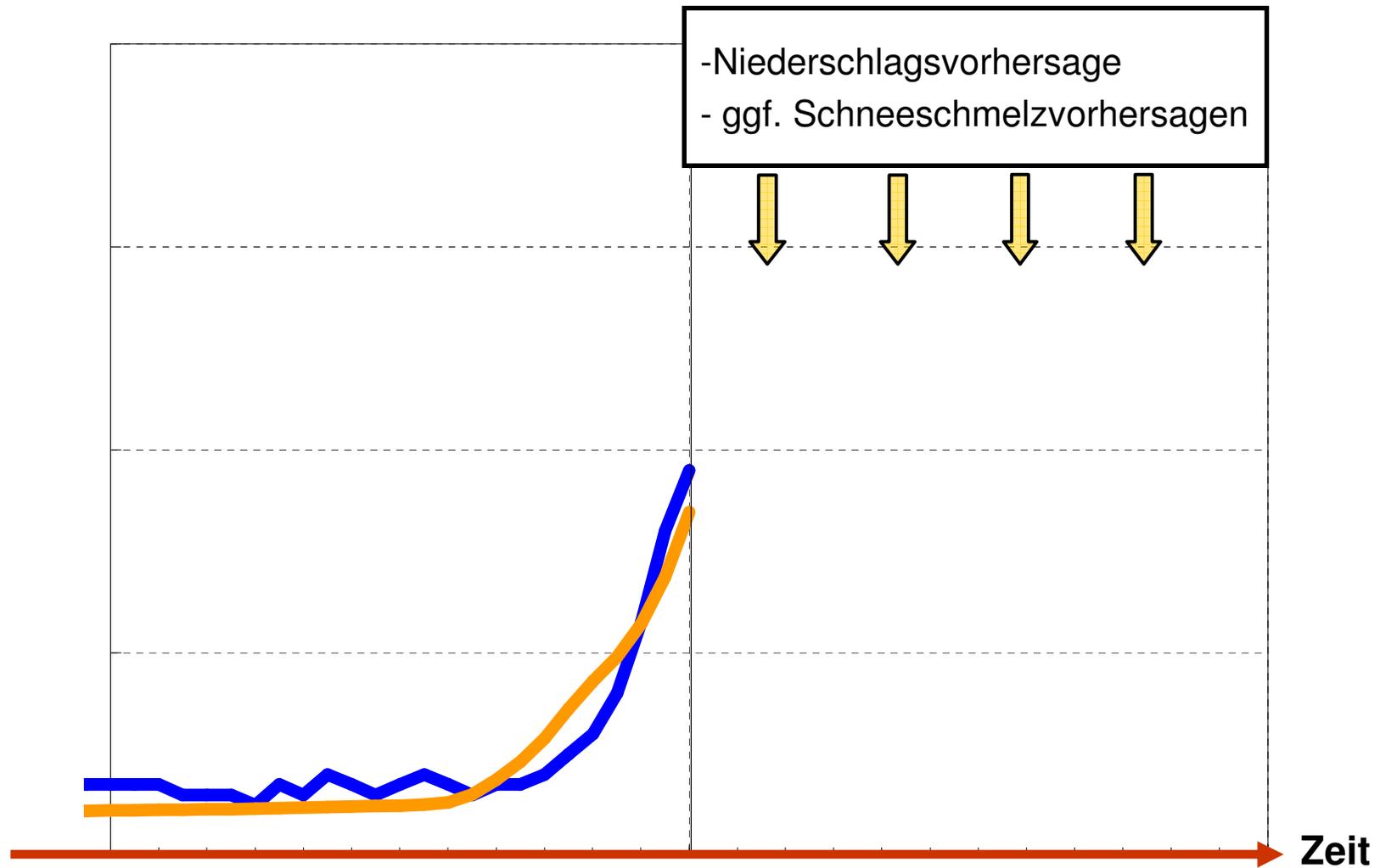
Modellnachführung Wasserdargebot



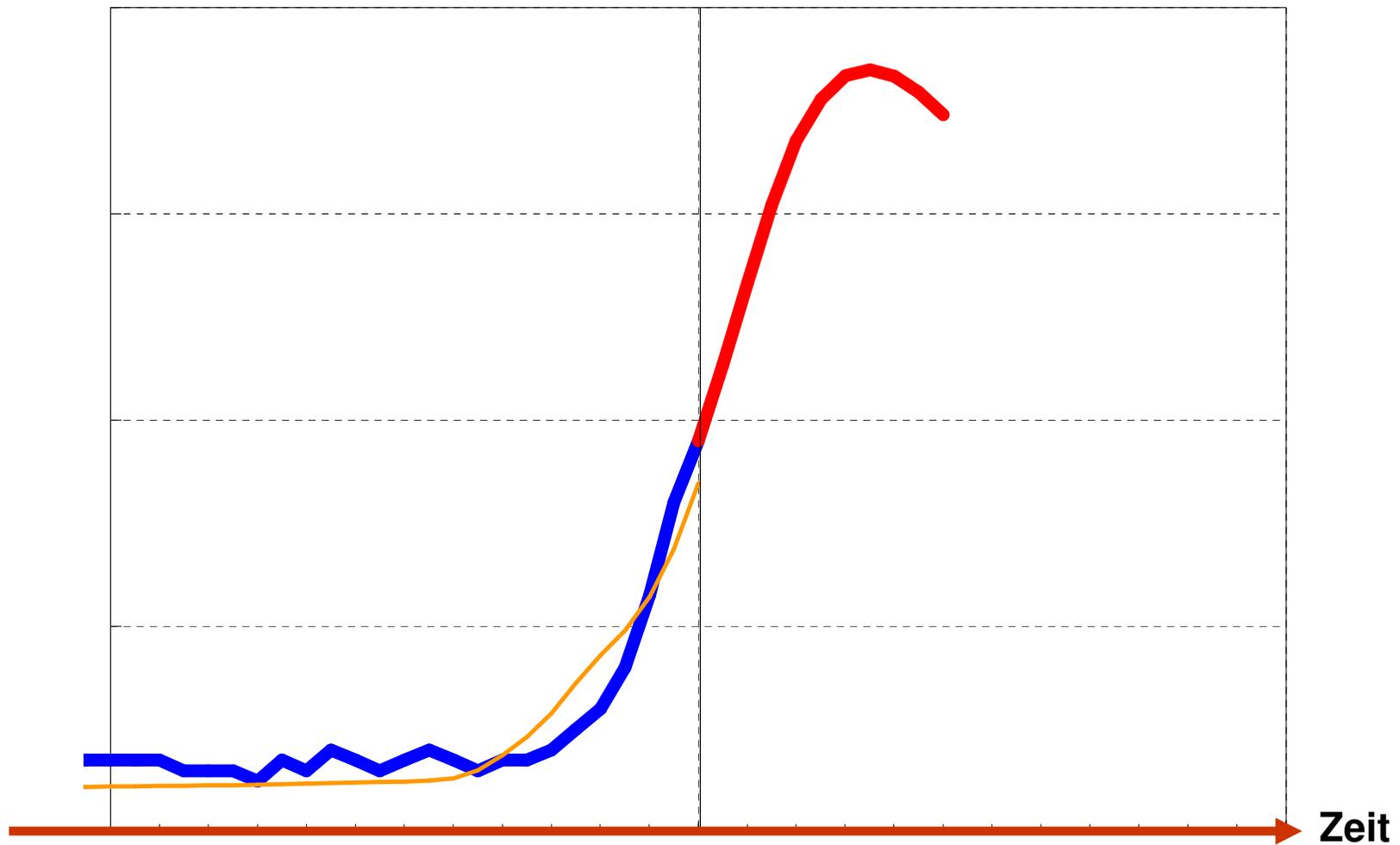
Modellnachführung Wasserdargebot



Modellnachführung Wasserdargebot



Modellnachführung Wasserdargebot



Modellnachführung Wasserdargebot/Speicher

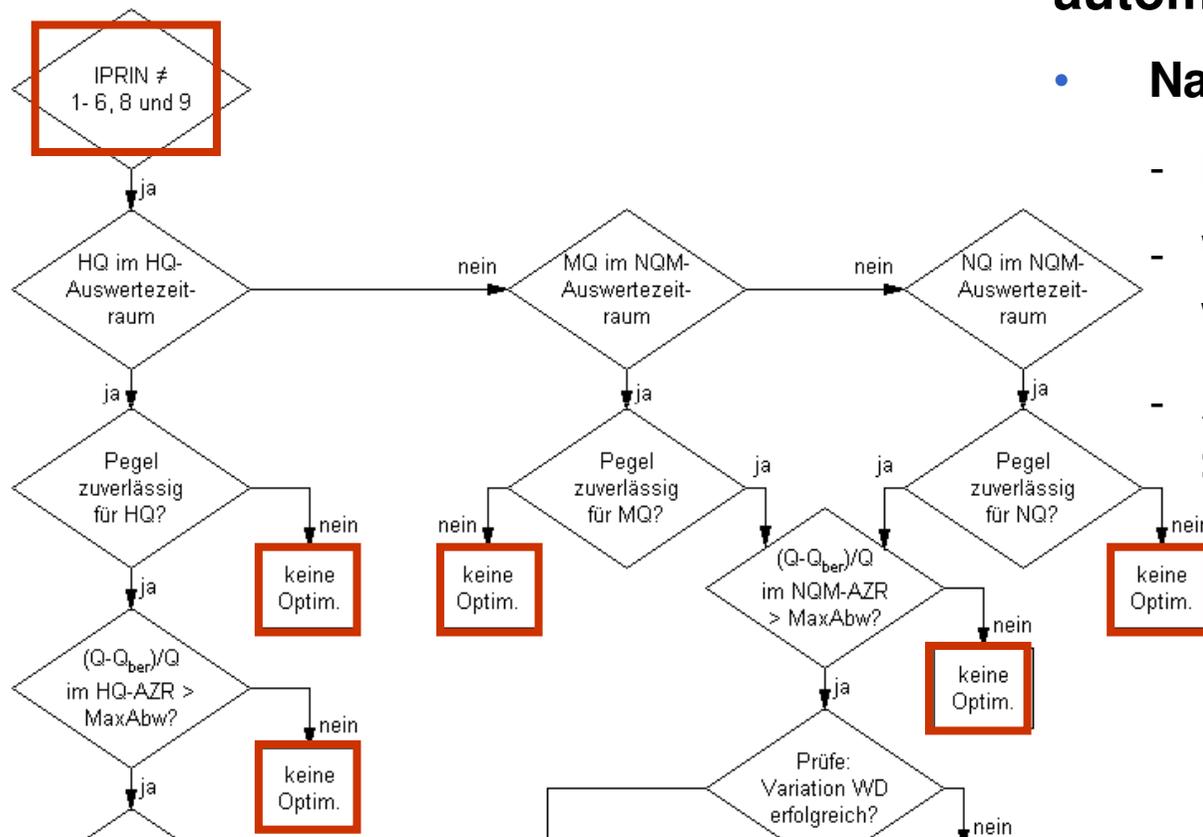
Pegel- und abflussabhängige Modellnachführung:

- **Vorgehen:**
 - **Soll für den Pegel eine Nachführung durchgeführt werden?**
 - **Zu welchem Abflussbereich (Hoch-, Mittel- oder Niedrigwasser) gehört der aktuell gemessene Abfluss?**
 - **Ist die WQ-Beziehung innerhalb des Abflussbereichs plausibel?**
 - **Anpassung des Modells auf Grundlage der gemessenen Abflüsse am Pegel**
- **Die Datei <pegel.stm> enthält die nötigen Informationen über die Qualität der WQ-Beziehungen und somit der Plausibilität der Abflüsse für den Hoch-, Mittel- oder Niedrigwasserbereich jedes Pegels.**

Modellnachführung Wasserdargebot/Speicher

Grundannahmen der automatischen Nachführung:

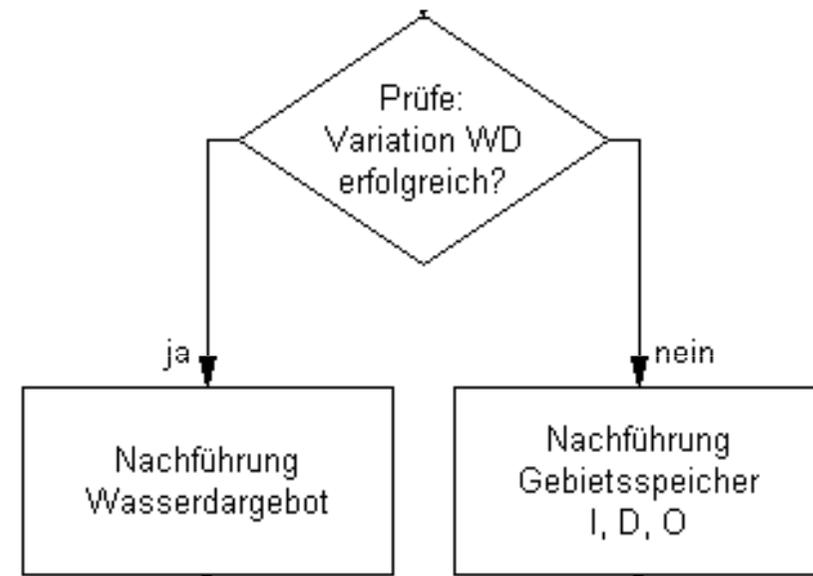
- Nachführung nur, wenn
 - IPRIN nicht 1-6, 8 und 9
 - $W_{(aktuell, AZR)}$ im vertrauenswürdigen WQ-Bereich liegt
 - Abweichung Q_{sim} und Q_{mes} $> \text{MaxAbw.}$ (z.B. 5% im AZR)



Modellnachführung Wasserdargebot/Speicher

Hochwasser:

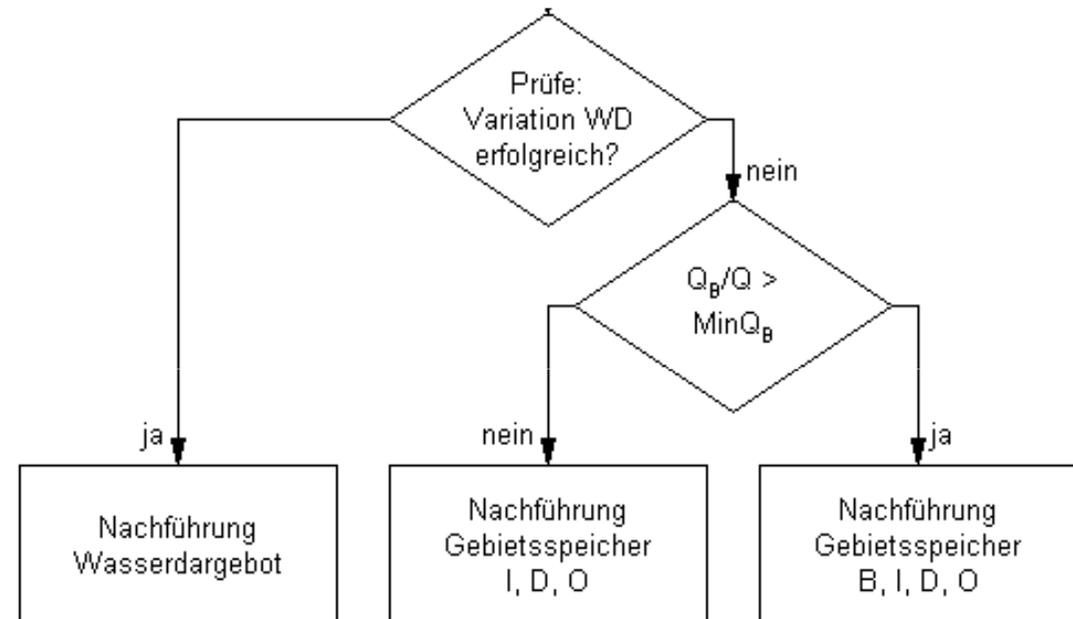
- **Auswertezeitraum: 6h**
- **Check: gute Übereinstimmung durch WD-Faktor erzielbar?**
 - **ja: Optimierung WD-Faktor**
 - **nein: Nachführung der Speicherfüllungen von V_I , V_D , V_O in der Zustandsdatei**



Modellnachführung Wasserdargebot/Speicher

Niedrig- und Mittelwasser:

- **Auswertezeitraum: 48h**
- **Check: gute Übereinstimmung durch WD-Faktor erzielbar?**
- **Check des Anteils des Basisabflusses Q_B :**
 - $Q_B > 90\%$: Nachführung der Speicherfüllungen von V_B , V_I , V_D und V_O
 - $Q_B < 90\%$: Nachführung der Speicherfüllungen von V_I , V_D und V_O



Modellnachführung Wasserdargebot/Speicher

Grenzen der Nachführungsfaktoren:

- **Maximale Faktoren durch Benutzer definierbar**
- **Nachführung Wasserdargebot: 0,5 bis 1,5**
- **Nachführung Speicher (V_I , V_D und V_O): 0,2 bis 5,0**

Modellnachführung Wasseräquivalente

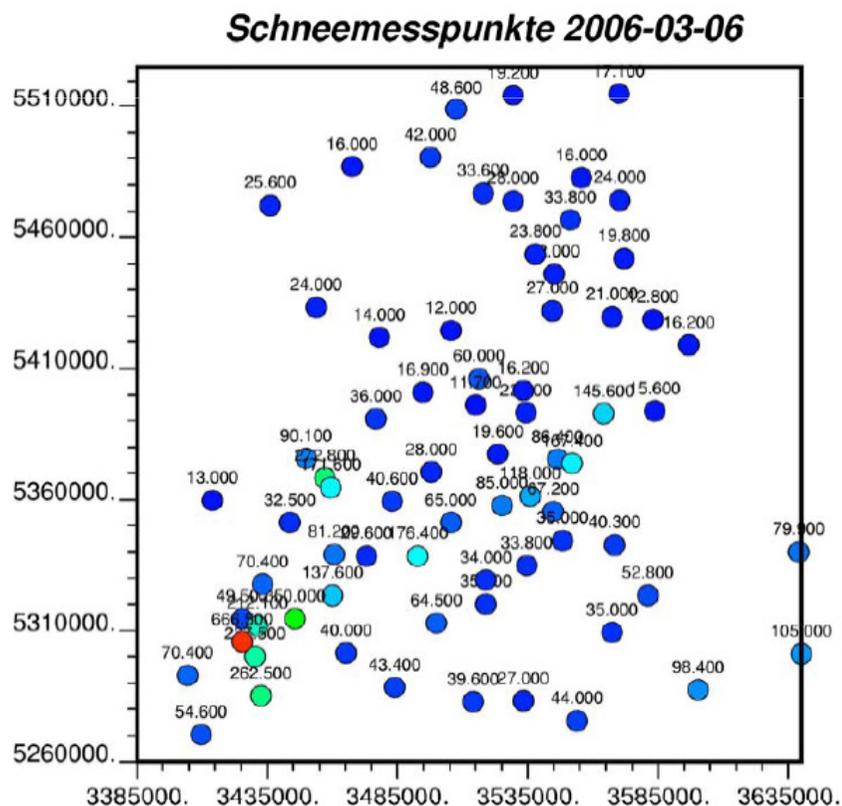
Nachführung der Schnee-Wasseräquivalente in der Zustandsdatei:

- **Abweichungen zwischen simulierten und wirklichen Schnee-Wasseräquivalenten**
- **Bei Bedarf Nachführung der Schnee-Wasseräquivalente mit externen Programme möglich**

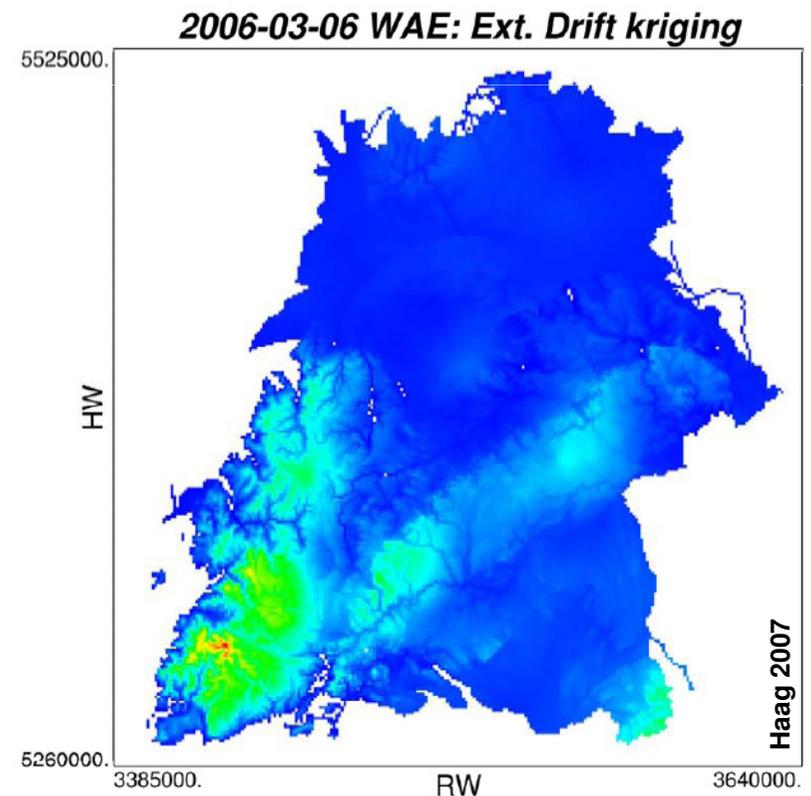
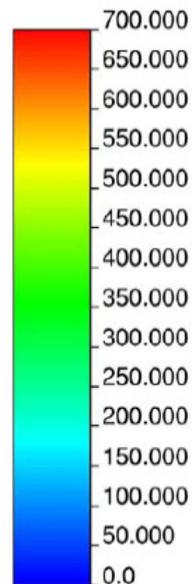
Modellnachführung Wasseräquivalente

Nachführung der Schnee-Wasseräquivalente in der Zustandsdatei:

- Grundlagen der Nachführung:
 - Punkt-Messungen Schnee-Wasseräquivalente und Schnee-Höhen



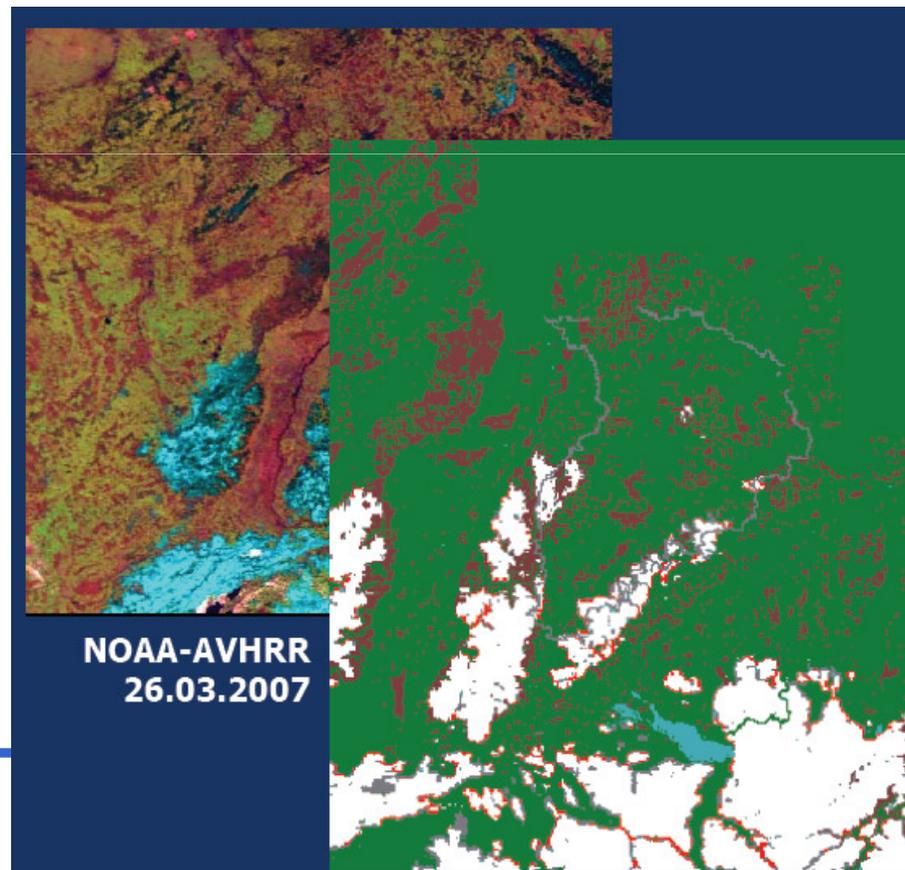
WÄ [mm]



Modellnachführung Wasseräquivalente

Nachführung der Schnee-Wasseräquivalente in der Zustandsdatei:

- Grundlagen der Nachführung:
 - Punkt-Messungen Schnee-Wasseräquivalente und Schnee-Höhen
 - Schneegrenze aus Fernerkundungsdaten

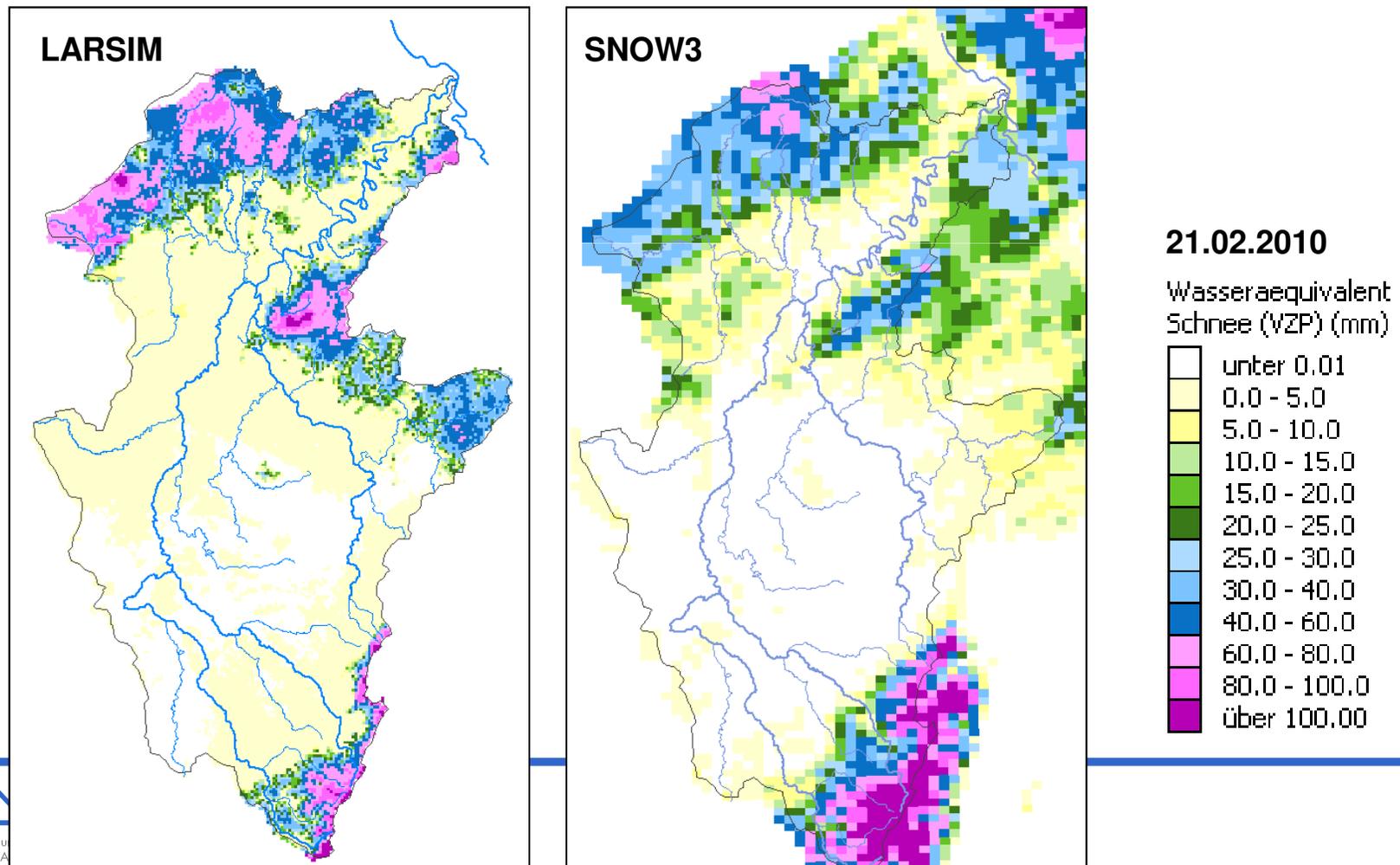


Appel & Bach 2009

Modellnachführung Wasseräquivalente

Nachführung der Schnee-Wasseräquivalente in der Zustandsdatei:

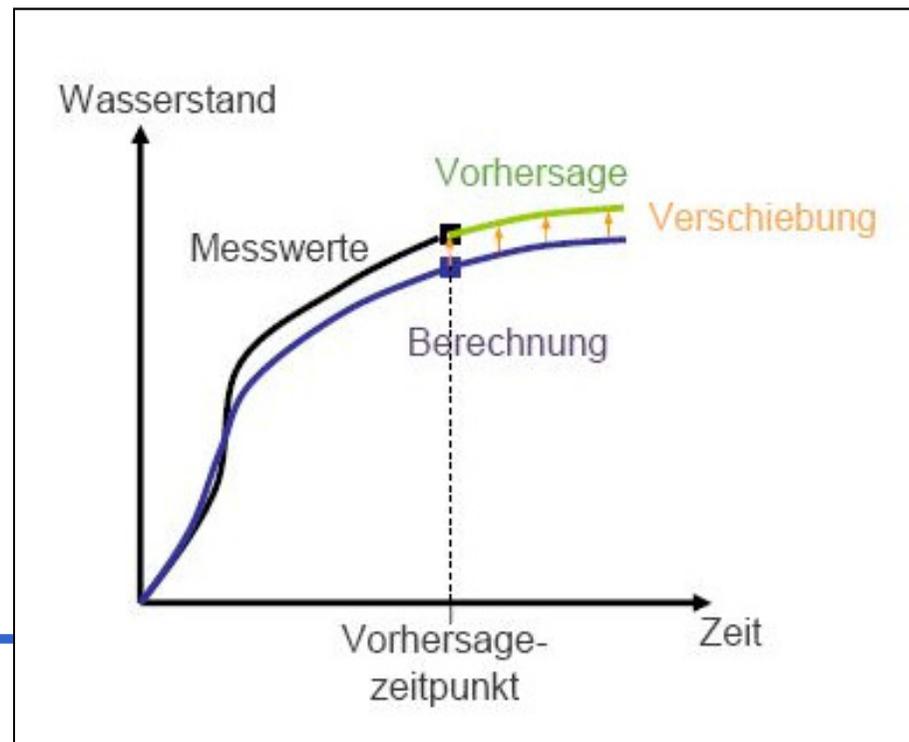
- Grundlagen der Nachführung:
 - Daten des SNOW3-Modells



Modellnachführung ARIMA-Korrektur

ARIMA-Korrektur an den Pegeln

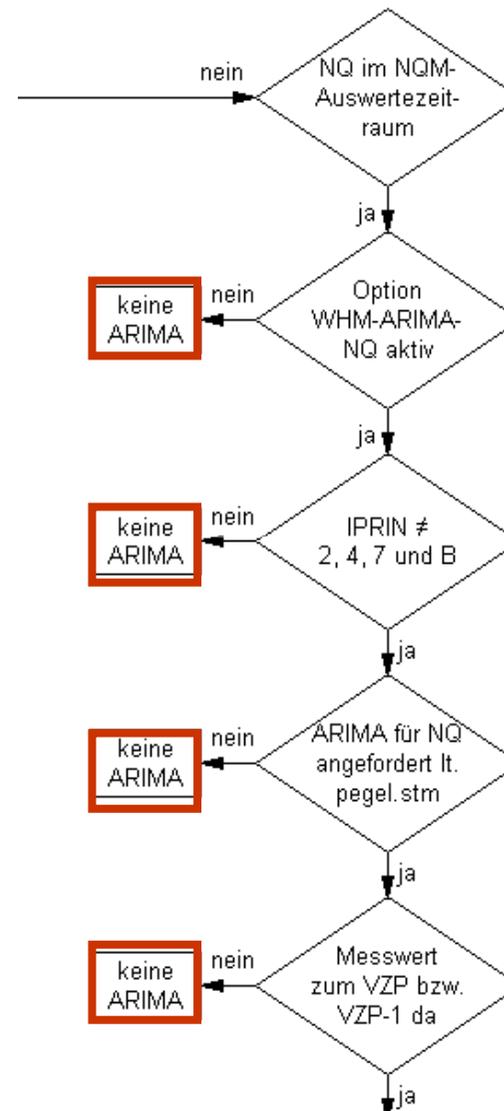
- Der simulierte Abfluss unterscheidet sich im Allgemeinen vom gemessenen Abfluss zum Vorhersagezeitpunkt (VZP)
- Anpassung des vorhergesagten Abflusses an den letzten Messwert: Korrektur aller vorhergesagten Werte um die Differenz zwischen dem Simulationswert zum VZP und dem letzten zum VZP gemessenen Wert (ARIMA-Korrektur 0-1-0 (Auto Regressive - Integrated - Moving Average))



Modellnachführung ARIMA-Korrektur

Grundannahmen ARIMA-Korrektur:

- **ARIMA-Korrektur nur, wenn**
 - generell gewünscht
 - für den Pegel gewünscht
 - für den Abflussbereich gewünscht
 - Messwert zum VZP (bzw. VZP minus n Zeitschritte) vorhanden.
n ist pro Pegel definierbar.
- **automatisierte, abflussabhängige Auswahl der ARIMA-Korrektur**
- **Limitierung der ARIMA-Korrektur auf einen maximalen Wert möglich (pro Abflussbereich)**



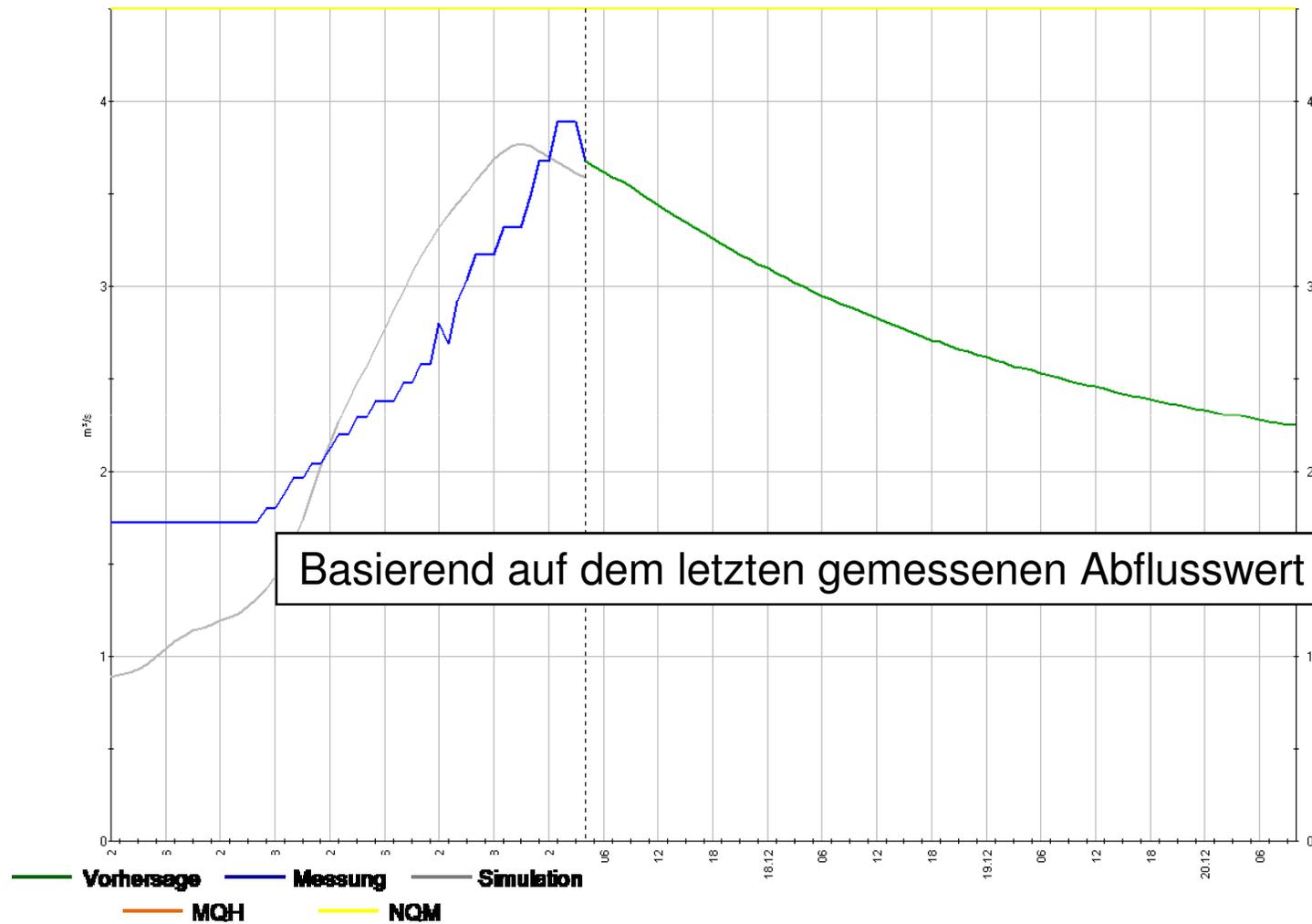
Modellnachführung ARIMA-Korrektur

Niedrigwasser: **Spezialfall stationär/instationär**

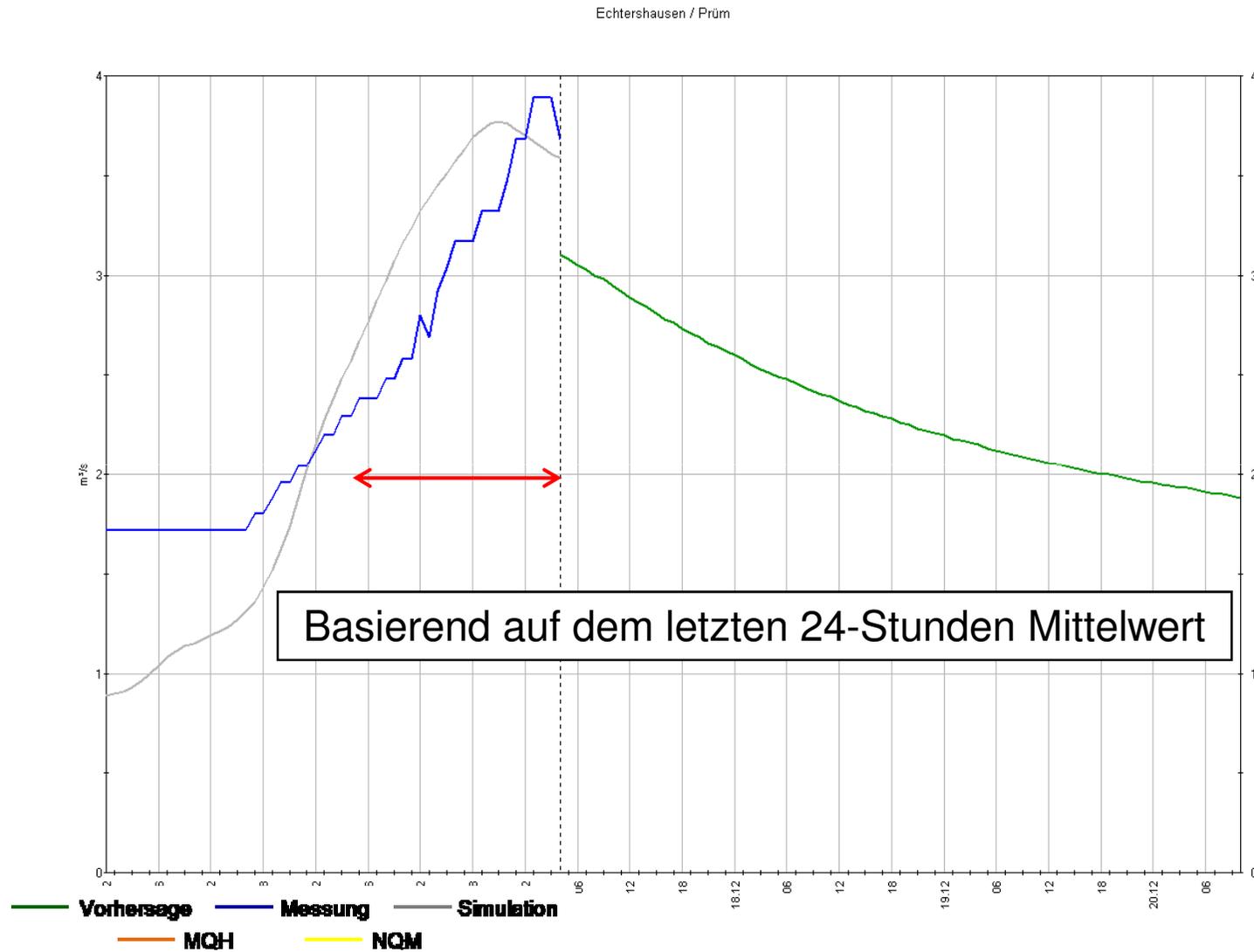
- Prüfung ob die Abflussverhältnisse vor dem Vorhersagezeitpunkt stationär oder instationär (z. Bsp. durch einen ansteigenden Abfluss zu Beginn des Niederschlagsereignisses) sind.
- Stationäre Abflussverhältnisse:
 - Mittelung des gemessenen Abflusses über 24 Stunden vor dem VZP
 - Verschiebung der Vorhersagewerte um die Differenz zwischen dem gemittelten Abfluss und dem simulierten Abflusswert zum VZP
- Dadurch werden kurzzeitige Abflussschwankungen (z.B. Staustufeneinfluss) nicht berücksichtigt und somit die Niedrigwasservorhersage verbessert.
- Auch im Mittel- und Hochwasserfall kann pegelspezifisch festgelegt werden, dass die ARIMA-Korrektur nicht auf den letzten Messwert, sondern auf einen Mittelwert aus einer frei festlegbaren Anzahl von Stunden ermittelt wird.

Modellnachführung ARIMA-Korrektur

Echtershausen / Prüm



Modellnachführung ARIMA-Korrektur

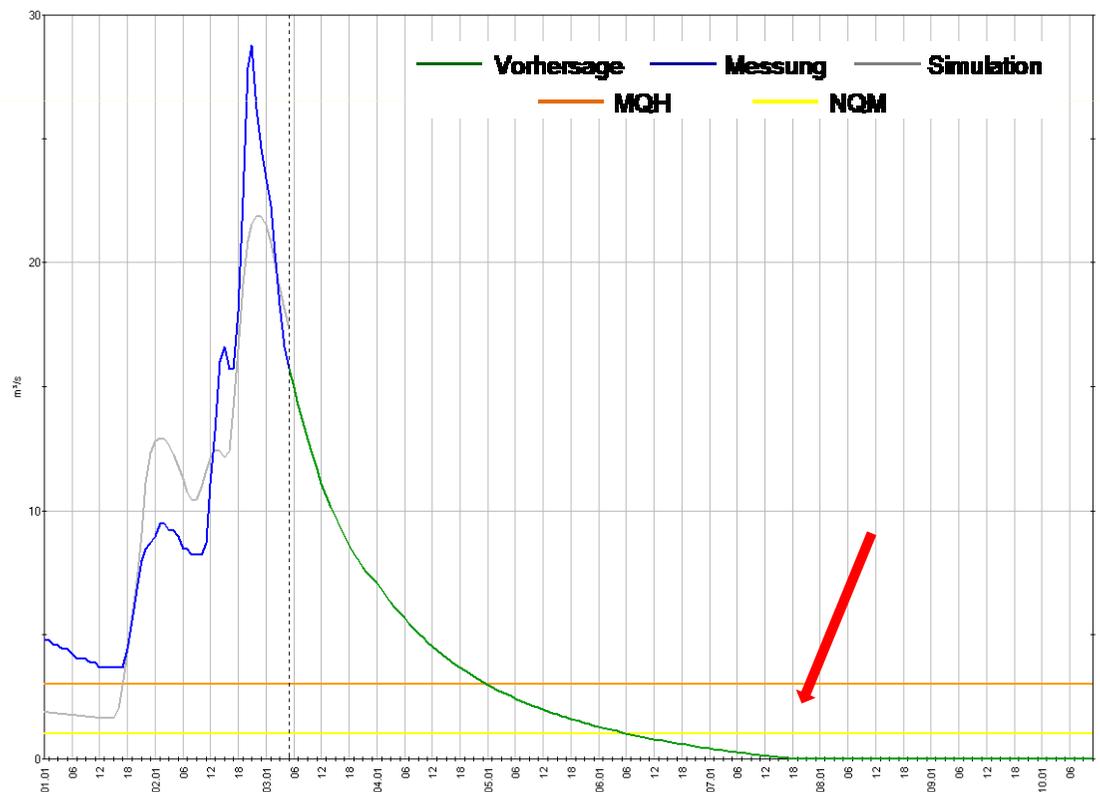


Modellnachführung ARIMA-Korrektur

Absolute/relative ARIMA-Korrektur

- **Problem: ARIMA-Korrektur beruht auf Wert zum VZP und verliert mit zunehmender Vorhersagedauer an Gültigkeit**
- **ARIMA-Korrekturen, bei denen die Abflusskurven um einen konstanten Wert für den Vorhersagezeitraum verschoben werden, können zu unrealistischen Abflusswerten führen, vor allem bei langfristigen Vorhersagen.**

Prüm 2 / Prüm



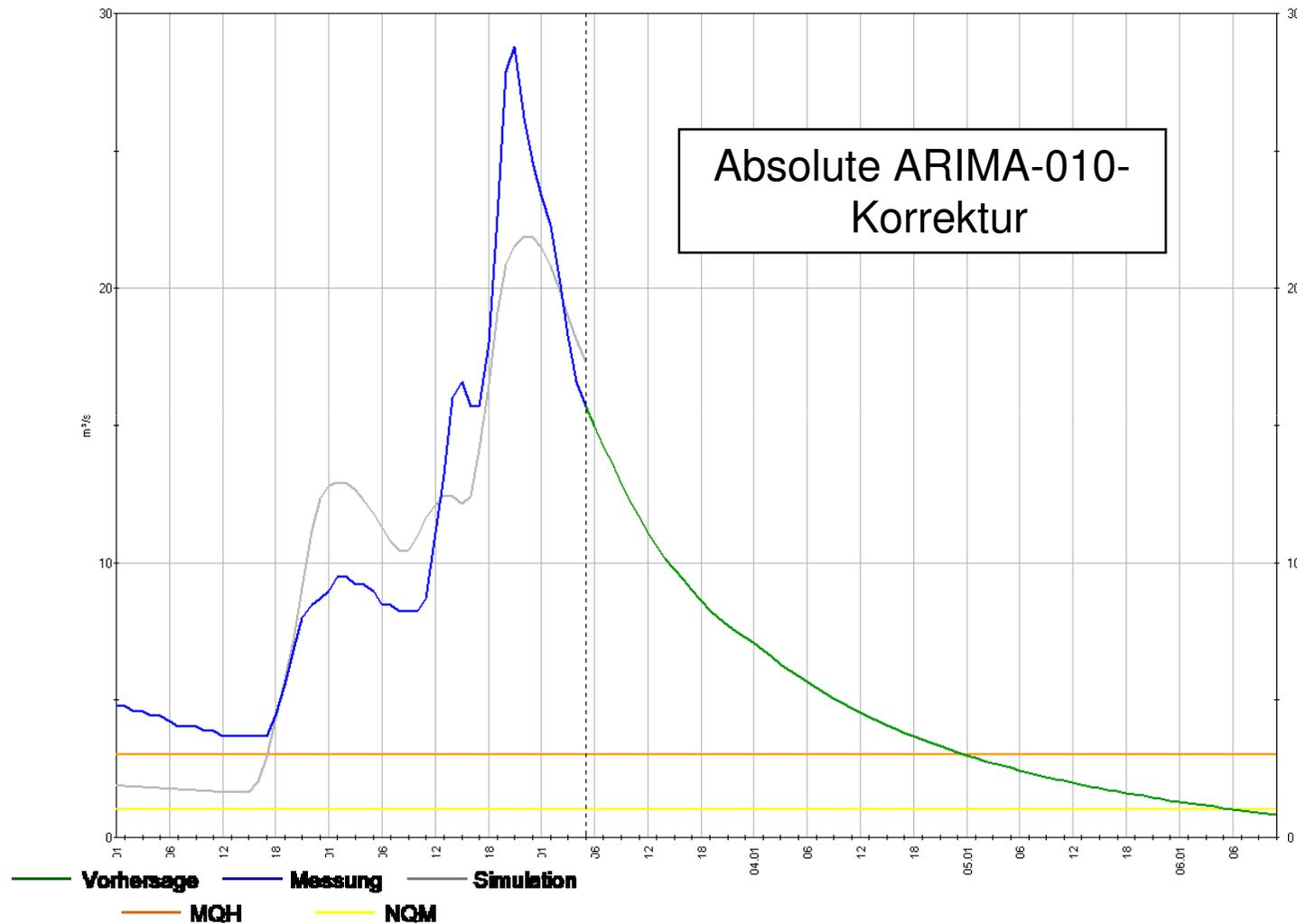
Modellnachführung ARIMA-Korrektur

Absolute/relative ARIMA-Korrektur

- Aufgrund dieses Effektes wird entweder eine absolute oder eine relative ARIMA-Korrektur in Abhängigkeiten des Abflusses durchgeführt
- **Absolute (oder additive) Korrektur:**
 - Der vorhergesagte Abfluss ist größer als der simulierte Abflusswert zum VZP: die Differenz $Q_{sim,vhs} - Q_{sim,vzp}$ ist positiv
 - Eine absolute Verschiebung des jeweils vorhergesagten Wertes um die Differenz zwischen Messung und Simulation wird vorgenommen
- **Relative (oder multiplikative) Korrektur :**
 - Der vorhergesagte Abfluss ist kleiner als der simulierte Abflusswert zum VZP: die Differenz $Q_{sim,vhs} - Q_{sim,vzp}$ ist negativ
 - Eine relative Korrektur wird angewendet
 - Verschiebungsvektor: Division der Differenz zwischen Messung und Simulationswert durch den Simulationswert zum VZP
 - Verschiebung des vorhergesagten Abflusswerts um den prozentualen Faktor

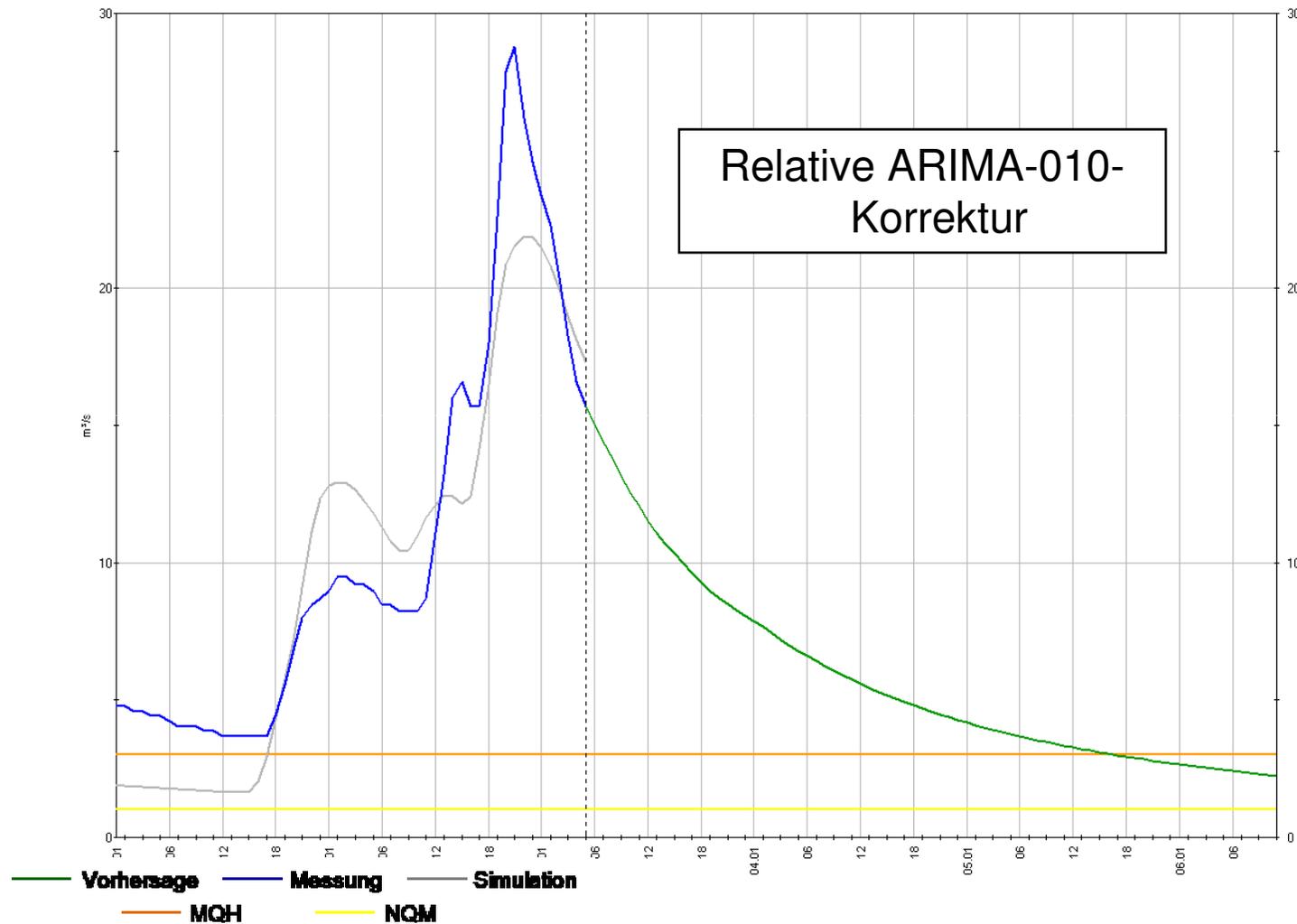
Modellnachführung ARIMA-Korrektur

Prüm 2 / Prüm



Modellnachführung ARIMA-Korrektur

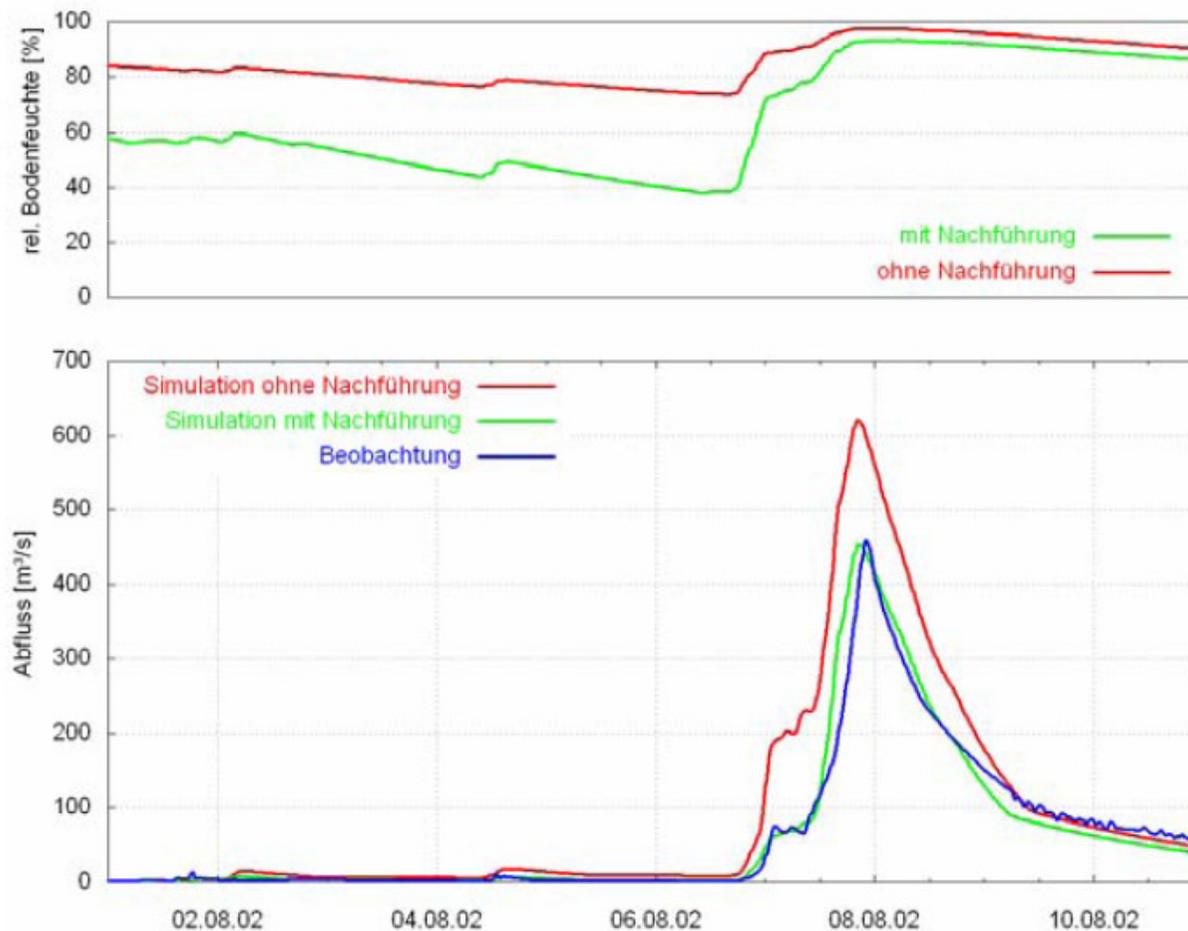
Prüm 2 / Prüm



Modellnachführung

Weitere Beispiele von Modellnachführungen

- Modell KAMPUS (vgl. zu HBV-Modell) für die Kamp ($A_{EZG} = 1.500 \text{ km}^2$):
 - Nachführung der Bodenfeuchte (über Niederschlags- und Verdunstungsanpassung) mit Ensemble-Kalman-Filter



Blöschl et al. 2006

Modellnachführung

Weitere Beispiele von Modellnachführungen

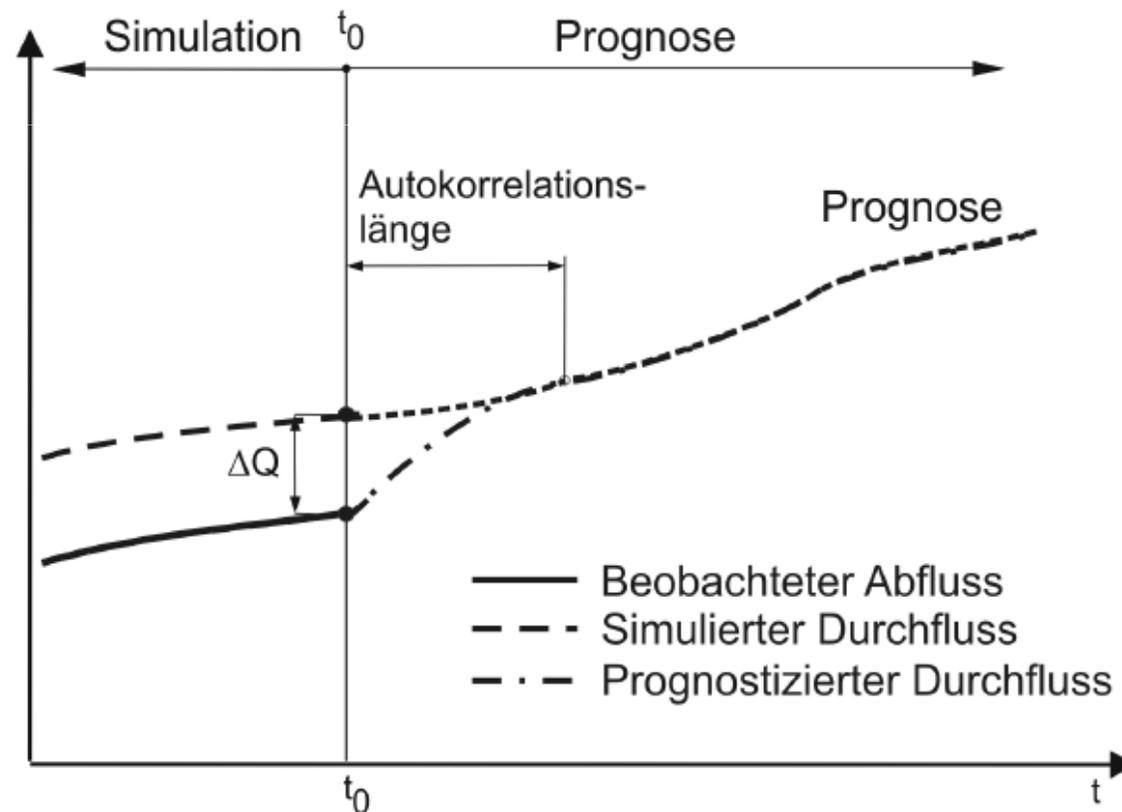
- **Modell KAMPUS (vgl. zu HBV-Modell) für die Kamp ($A_{EZG} = 1.500 \text{ km}^2$):**
- **Nachführung der Bodenfeuchte (über Niederschlags- und Verdunstungsanpassung) mit Ensemble-Kalman-Filter**

Problem Ensemble-Kalman-Filter: zahlreiche interne Simulationen notwendig, die sich durch kleine Differenzen im Niederschlags-Input unterscheiden

Modellnachführung

Weitere Beispiele von Modellnachführungen

- **Modell KAMPUS (vgl. zu HBV-Modell) für die Kamp ($A_{EZG} = 1.500 \text{ km}^2$):**
- **Additives statistisches Fehlermodell (AR 1 Modell) in Abhängigkeit von hydrologischer Situation (rasche Q-Komponenten: Fehler nur wenige Stunden korreliert; langsame Q-Komponenten: längere Autokorrelationslänge)**



Drabek 2006

Zusammenfassung

- **Automatisierte, abflussabhängige Modellnachführung:**
 - Nachführung des Wasserdargebots
 - Nachführung der Speicher
 - ARIMA-Korrektur (relativ <-> absolut)
- **Bei Bedarf durchführbare Modellnachführung:**
 - Nachführung der Schnee-Wasseräquivalente
- **Diskussion:**
 - Bisherige Erfahrungen mit LARSIM-Modellnachführung Wasserdargebot/Speicher
 - Bisherige Erfahrungen mit LARSIM-Modellnachführung ARIMA-Korrektur
 - Entwicklung und Tests weiterer Verfahren notwendig?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Modellnachführung ARIMA-Korrektur

- **ARIMA-Korrektur an den Pegeln**

- ARIMA-Korrektur 0-1-0 (**A**uto **R**egressive - **I**ntegrated - **M**oving **A**verage)
- Nun gibt es sogenannte ARIMA Modelle von Box und Jenkins. Diese Modelle gehören zu den autoprojektiven Extrapolationsmethoden.
- AR(1) bedeutet hier ein autoregressiver Prozess erster Ordnung. Autoregressiv bedeutet, dass die Zeitreihe nur aufgrund der in der Zeitreihe selbst vorhandenen Information erklärt wird. (Im Gegensatz zu einer bspw. Regression, in der z.B. der Anteil fettleibiger Kinder durch die Anzahl der FastFood Läden in Deutschland erklärt wird).
- Eine wichtige Annahme, um dies durchzuführen, ist Stationarität der Zeitreihe gewährleisten zu können, um die zeitinvarianten Zusammenhangsstrukturen erkennen zu können und die Zeitreihe dann eben aus sich selbst heraus erklären zu können. Z.B. Jeden Dezember steigt die Zeitreihe an...etc.