

Kapitel 1: Modellnachführung und Beeinflussung der operationell vorhergesagten Abfluss- ganglinien in LARSIM

1.1 Nachführung des Wasserdargebots und der Gebietsspeicher im Wasserhaushaltsmodell LARSIM

Dr.-Ing. Kai Gerlinger

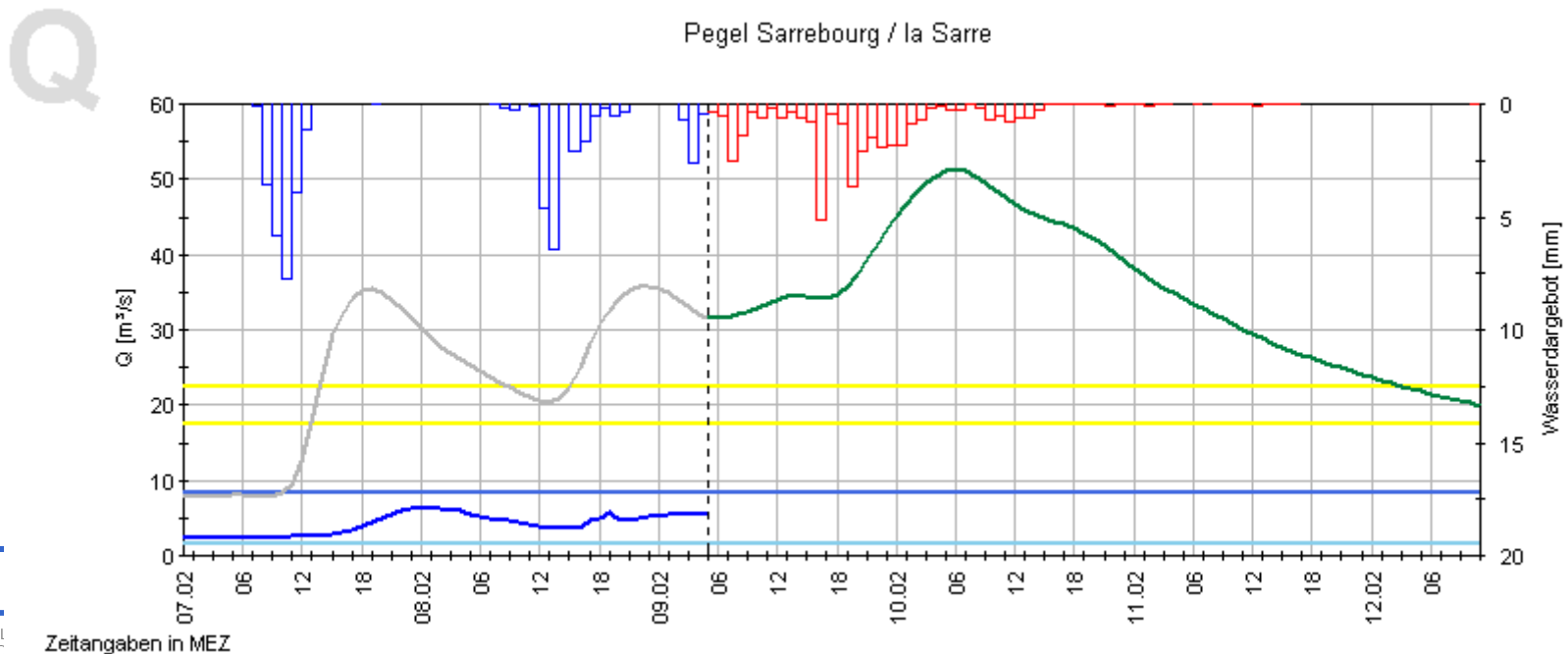
HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft

März 2017

Grundlagen der Modellnachführung

Bei der operationellen Berechnung können Abweichungen zwischen gemessenen und simulierten Abflüssen aufgrund verschiedener Ursachen auftreten. Ursachen sind u.a.:

- unzureichende Stationsdichte des Meteo-Messnetzes
- nicht repräsentative Erfassung der Meteorologie oder
- Ungenauigkeiten der WQ-Beziehungen an den Pegeln



Grundlagen der Modellnachführung

Bei der operationellen Berechnung können Abweichungen zwischen gemessenen und simulierten Abflüssen aufgrund verschiedener Ursachen auftreten. Ursachen sind u.a.:

- unzureichende Stationsdichte des Meteo-Messnetzes
- nicht repräsentative Erfassung der Meteorologie oder
- Ungenauigkeiten der WQ-Beziehungen an den Pegeln

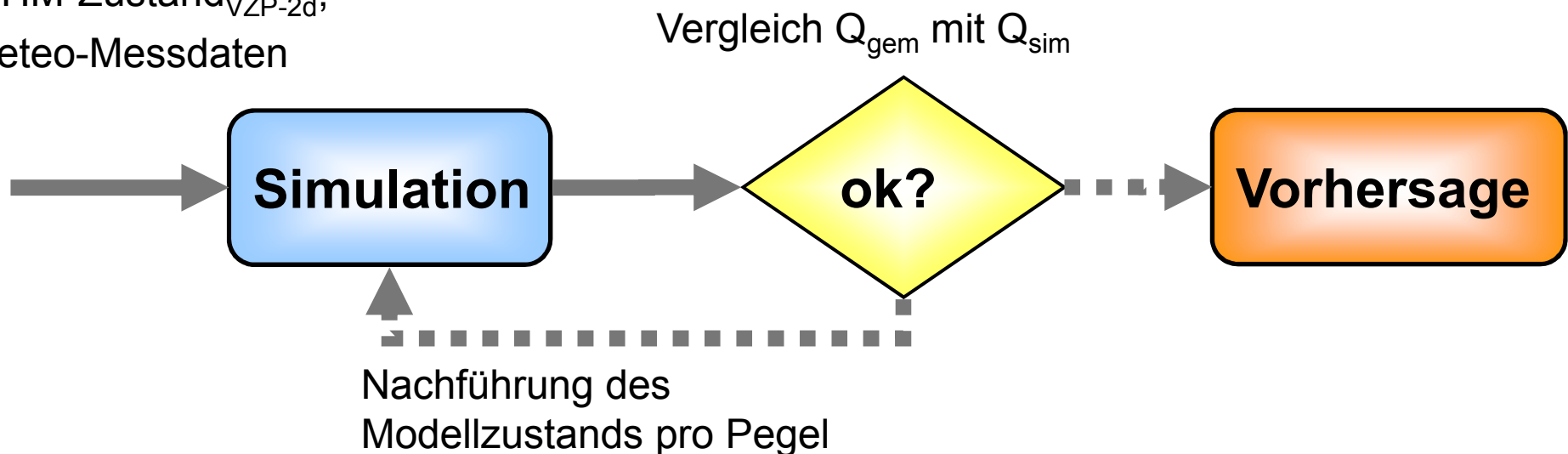


Grundlagen der Modellnachführung

Bei der operationellen Berechnung können Abweichungen zwischen gemessenen und simulierten Abflüssen aufgrund verschiedener Ursachen auftreten. Ursachen sind u.a.:

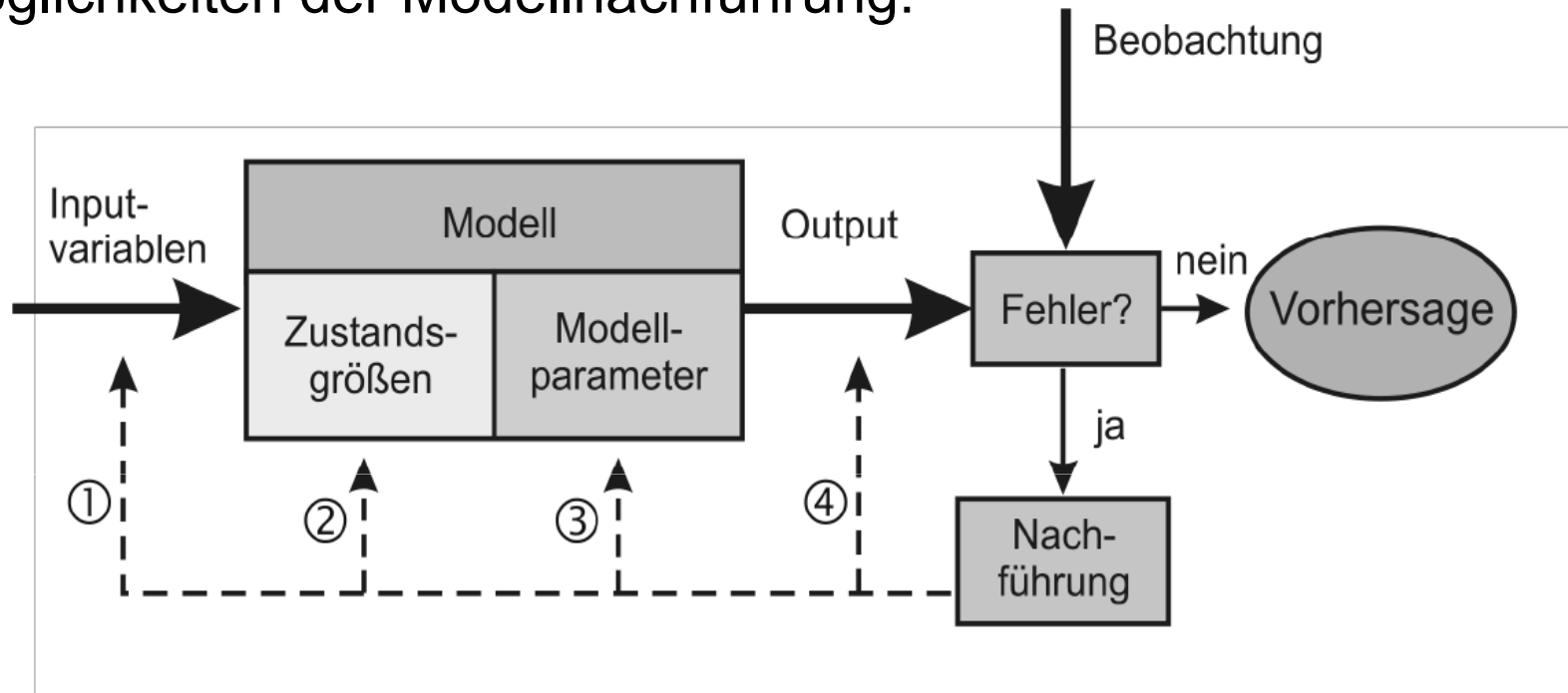
- unzureichende Stationsdichte des Meteo-Messnetzes
- nicht repräsentative Erfassung der Meteorologie oder
- Ungenauigkeiten der WQ-Beziehungen an den Pegeln

WHM-Zustand_{VZP-2d},
Meteo-Messdaten



Grundlagen der Modellnachführung

Möglichkeiten der Modellnachführung:



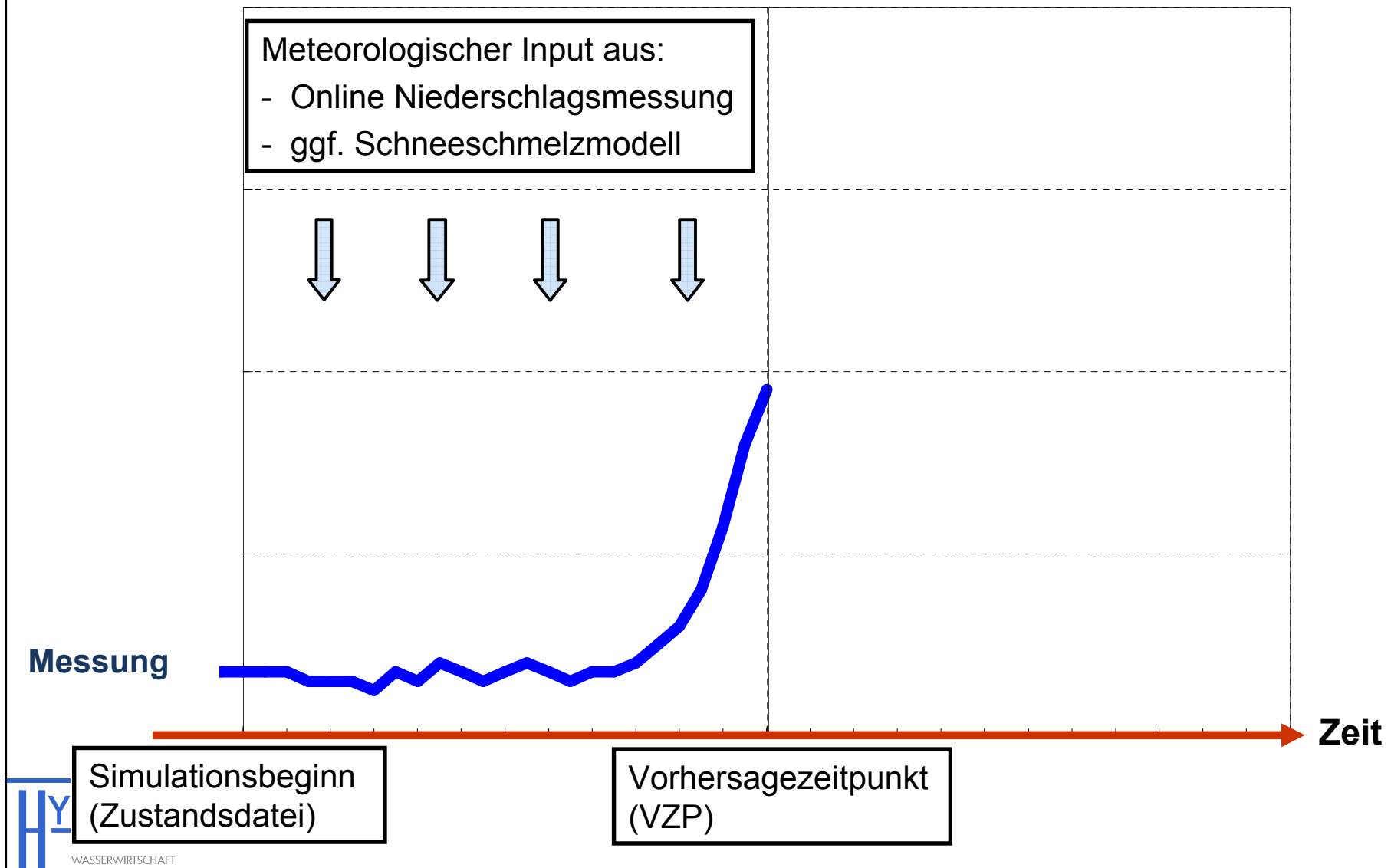
Komma et al. 2009

- 1 : Korrektur der Eingangsdaten (LARSIM: Wasserdargebot)**
- 2 : Korrektur des Systemzustands (LARSIM: Gebietsspeicher)**
- 3 : Korrektur der Parameter**
- 4 : Korrektur der Ergebnisse (LARSIM: ARIMA-Korrektur)**

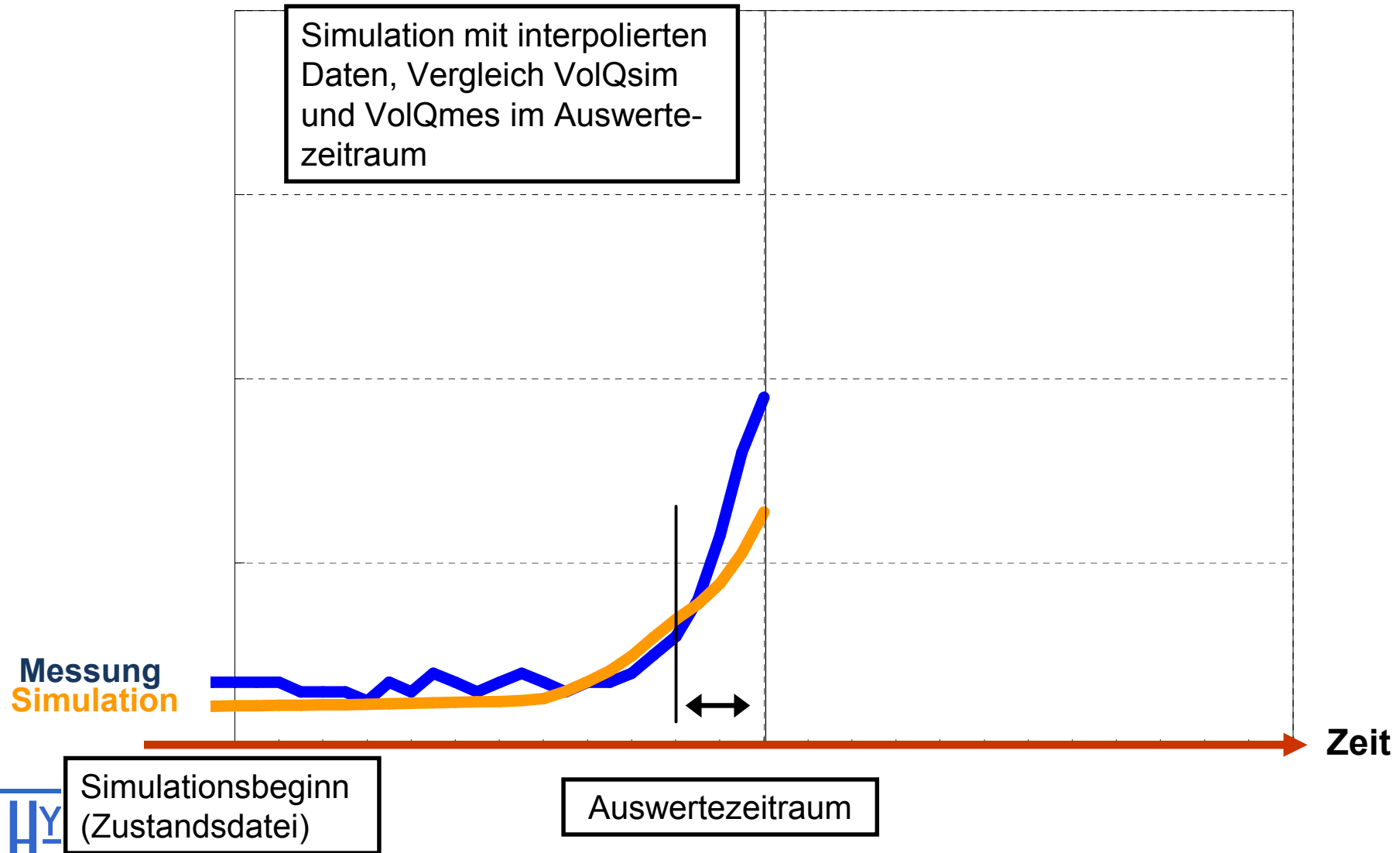
Modellnachführung des Wassergebots

- Um das Modell nachzuführen optimiert LARSIM unter anderem das Wasserdargebot (Korrektur der Eingangsdaten).
- Ziel ist eine möglichst hohe Übereinstimmung der gemessenen und simulierten Abflussvolumen im Auswertezeitraum.

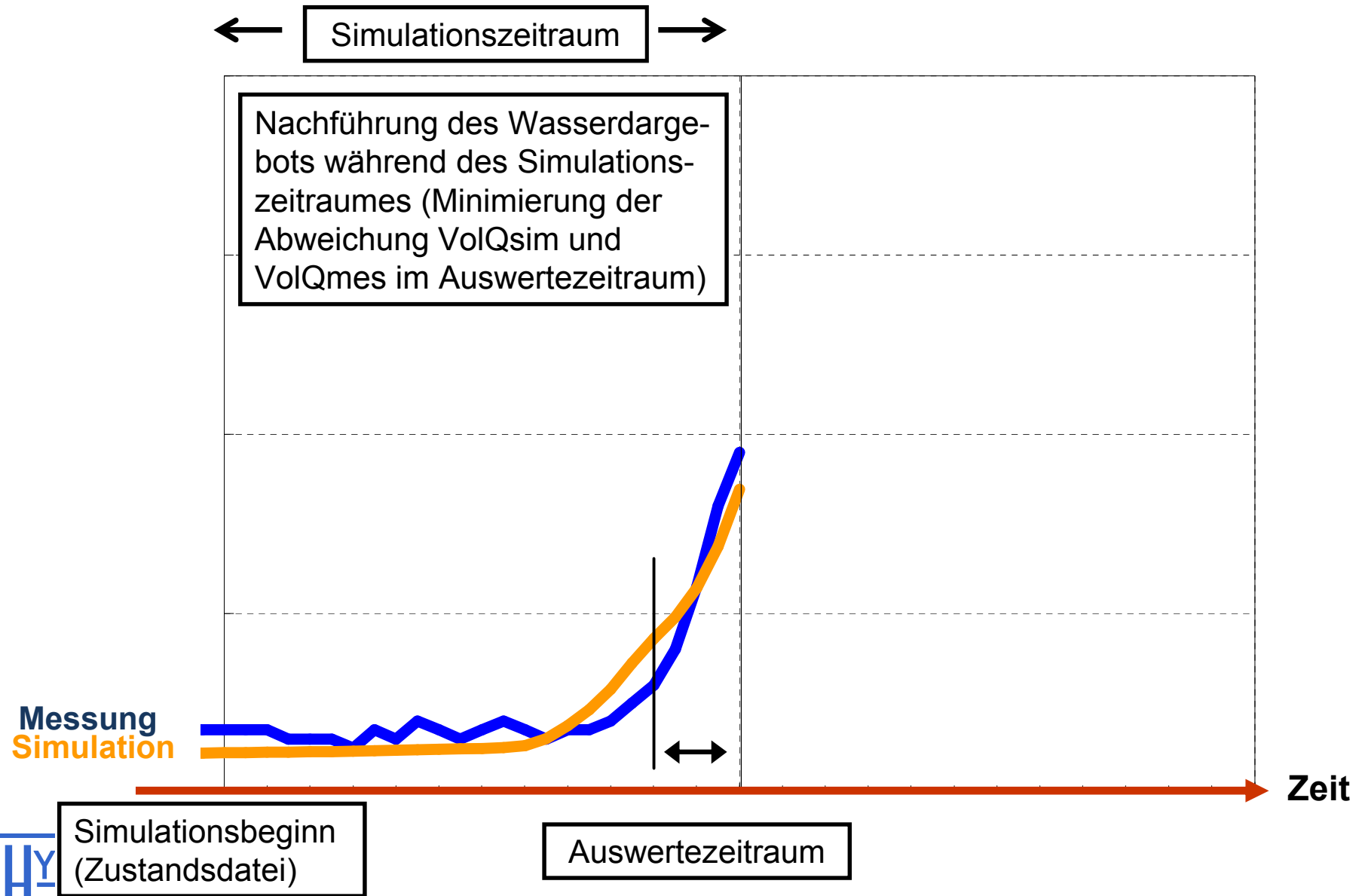
Modellnachführung des Wassergebots



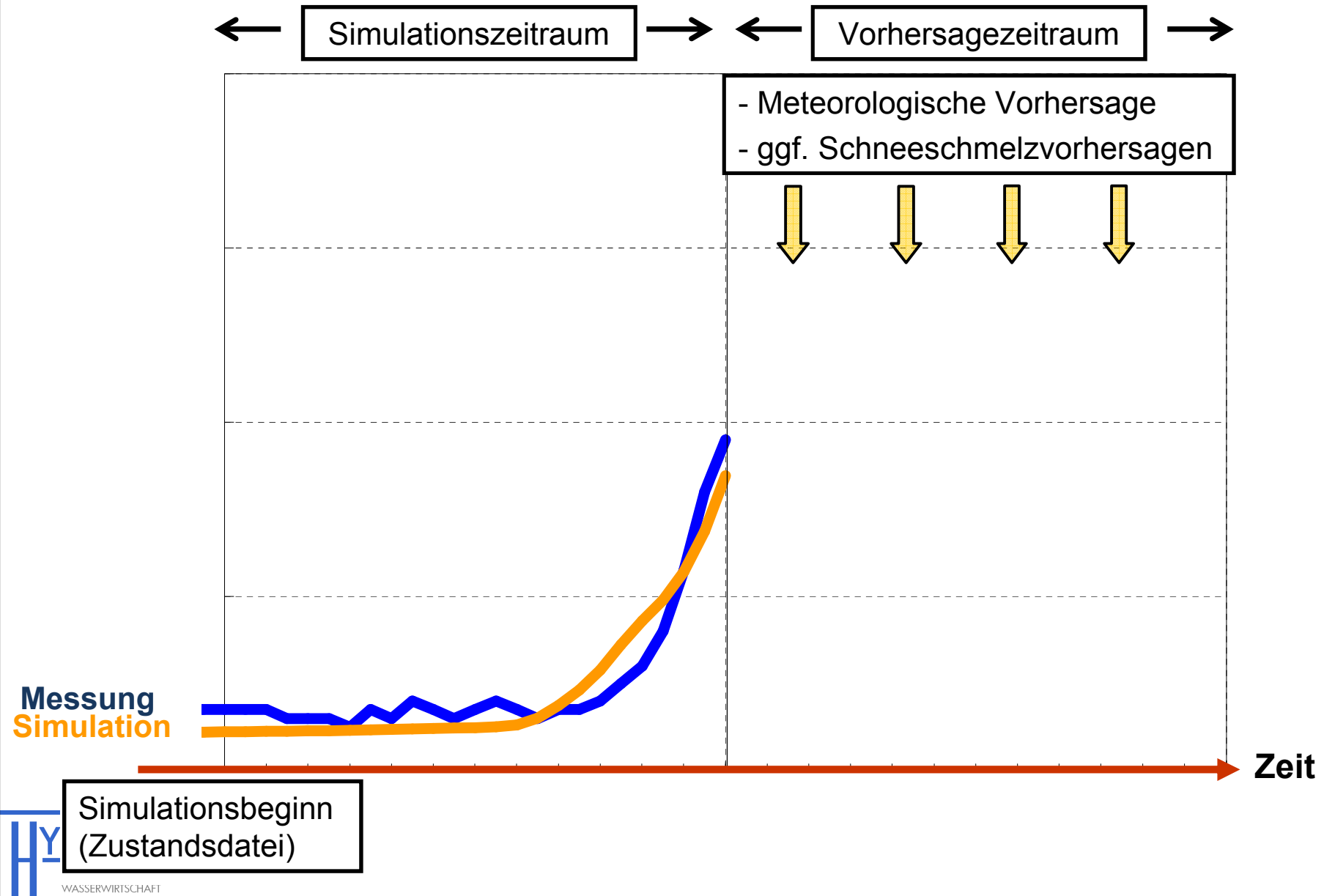
Modellnachführung des Wassergebots



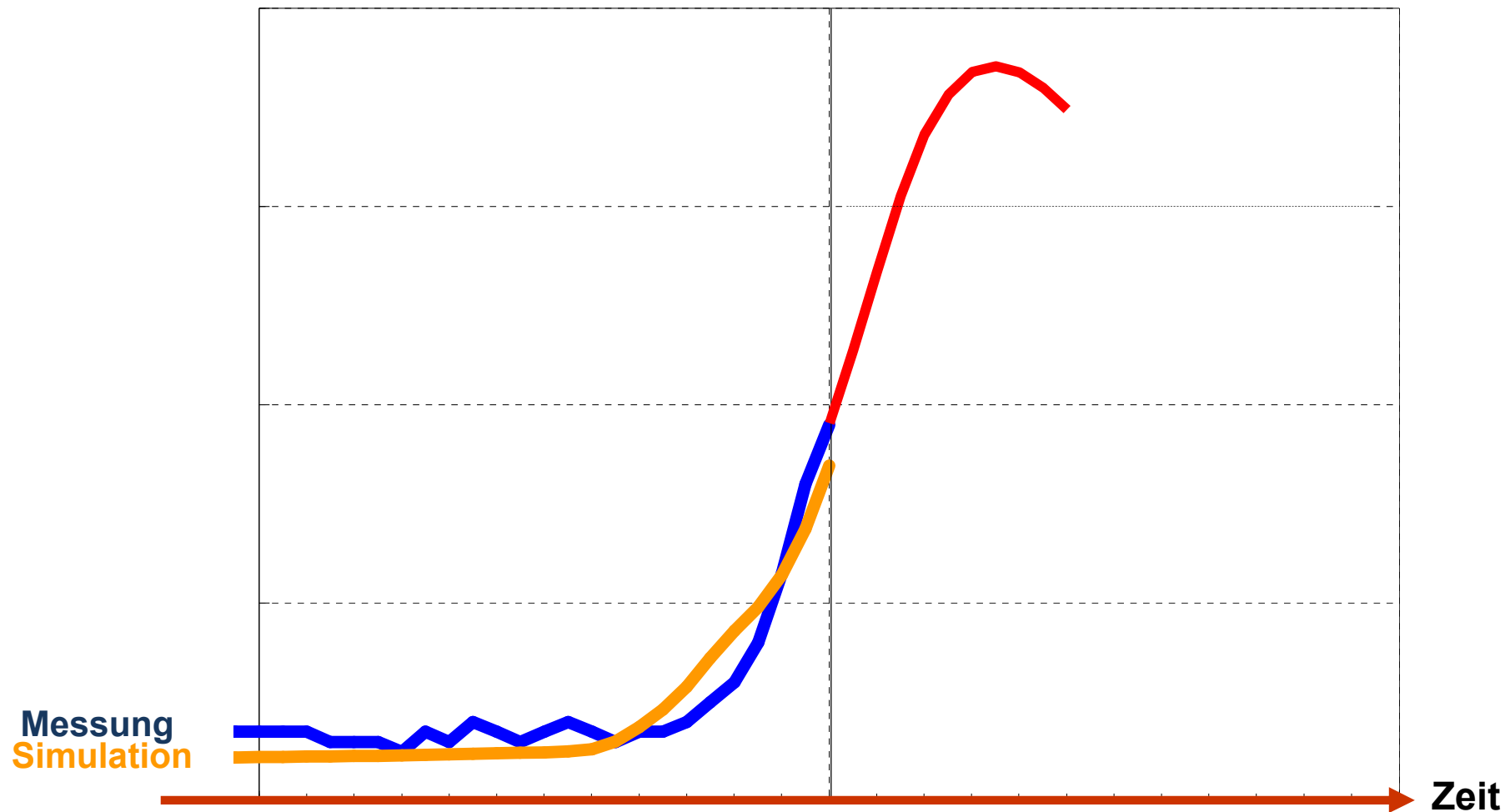
Modellnachführung des Wassergebots



Modellnachführung des Wassergebots

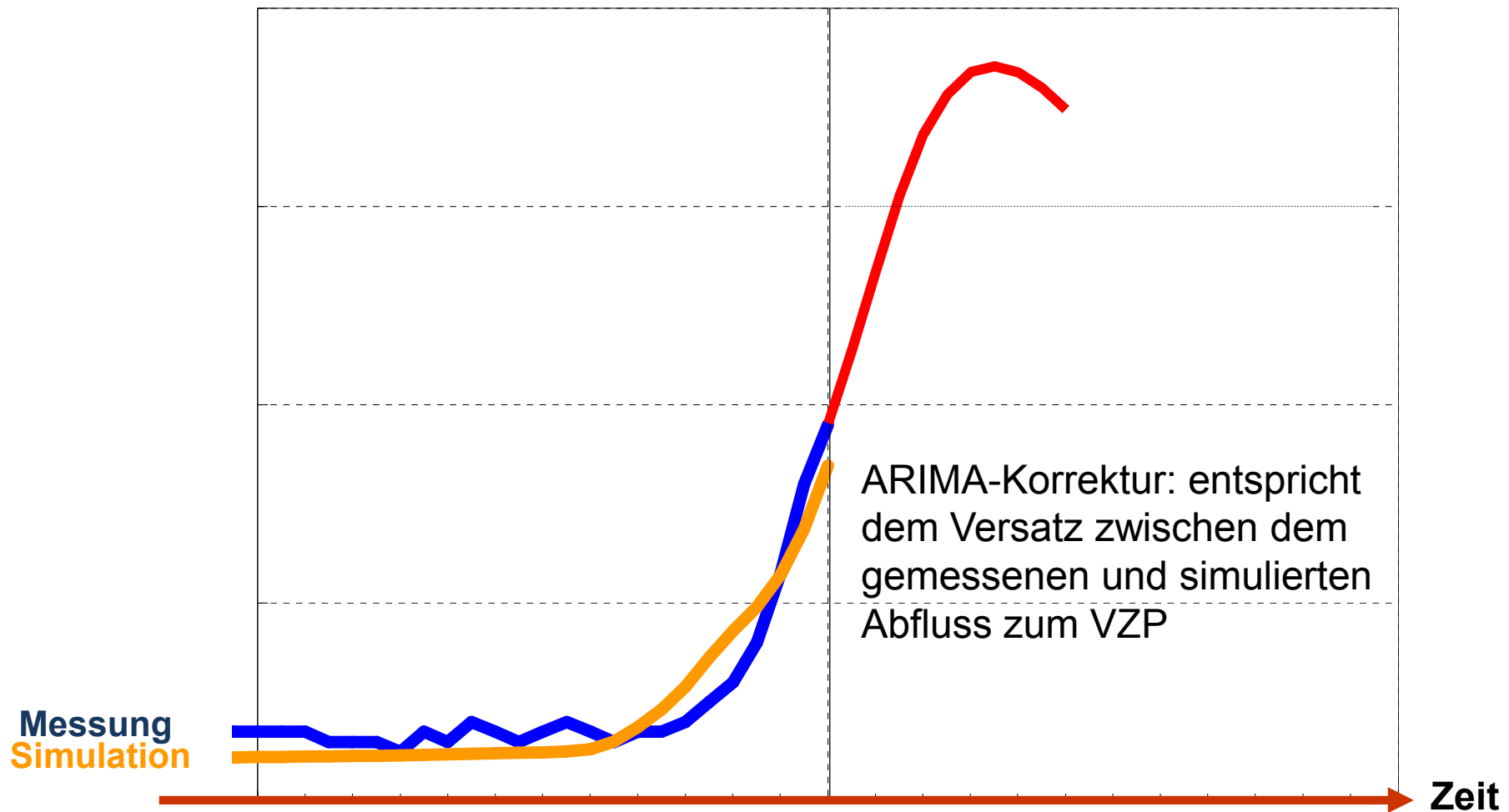


Modellnachführung des Wassergebots



Simulationsbeginn
(Zustandsdatei)

Modellnachführung des Wassergebots



Simulationsbeginn
(Zustandsdatei)

Pegelspezifische Modellnachführung

Pegelspezifische Bestimmung, ob der Pegel für die Modellnachführung genutzt wird:

- Wird der Pegel genutzt, entscheidet das Modell, zu welchem Abflussspektrum (Hoch-, Mittel- oder Niedrigwasser) der aktuell gemessene Abfluss gehört.
- Ist eine Optimierung des Pegels erwünscht, wird eine Modellnachführung mittels gemessener Abflüsse durchgeführt.
- Die Datei <pegel.stm> enthält die nötigen Informationen, um zu entscheiden, ob eine Optimierung durchgeführt wird.

Die Nutzung dieser Informationen kann bei einem Pegel z.B. zu einer Situation führen, bei der keine Optimierung anhand der gemessenen Abfluss im Niedrigwasserbereich durchgeführt wird, während im Hochwasserbereich optimiert wird.

Pegelspezifische Modellnachführung

Festlegung der Schwellenwerte NQ zu MQ (NQM) und MQ zu HQ (MQH): Frei wählbar.

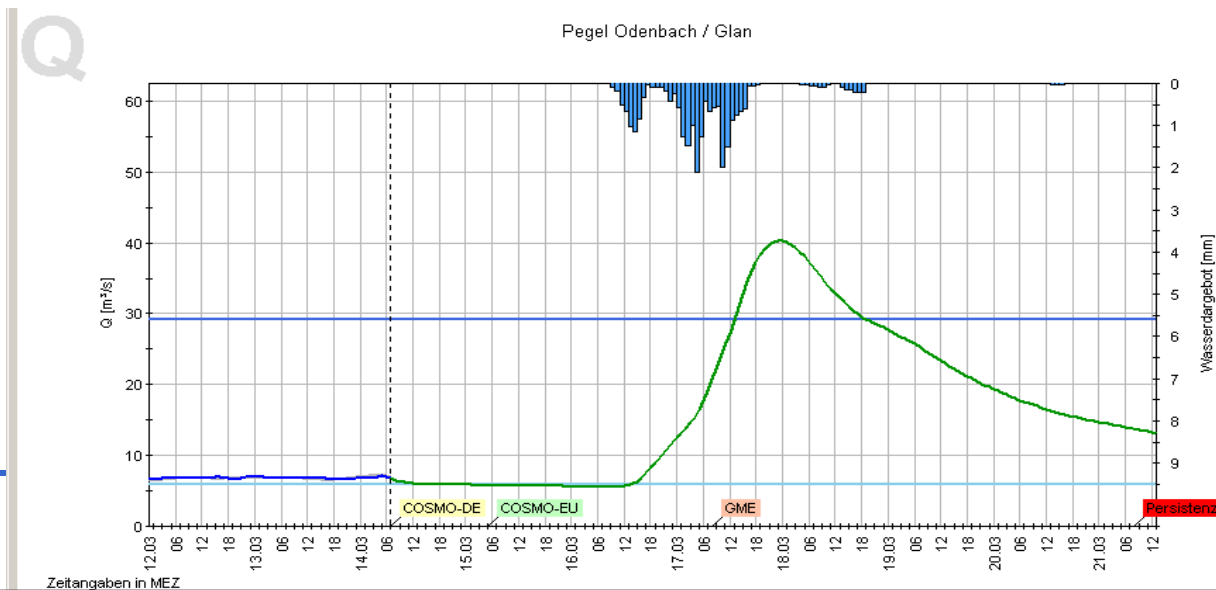
Grundeinstellung: $NQM = MNQ + 0,5 \cdot (MQ - MNQ)$

$MQH = 3 \cdot MQ$

HQ: Mindestens ein Abflusswert im HQ-Auswertezeitraum (6h) liegt oberhalb des Schwellenwertes MQH

MQ: kein Abflusswert im HQ-Auswertezeitraum (6h) liegt oberhalb des MQH und der mittlere gemessene Abfluss im NQM-Auswertezeitraum (48h) liegt oberhalb NQM.

NQ: kein Abflusswert im HQ-Auswertezeitraum (6h) liegt oberhalb des MQH und der mittlere gemessene Abfluss im NQM-Auswertezeitraum (48h) liegt unterhalb NQM.



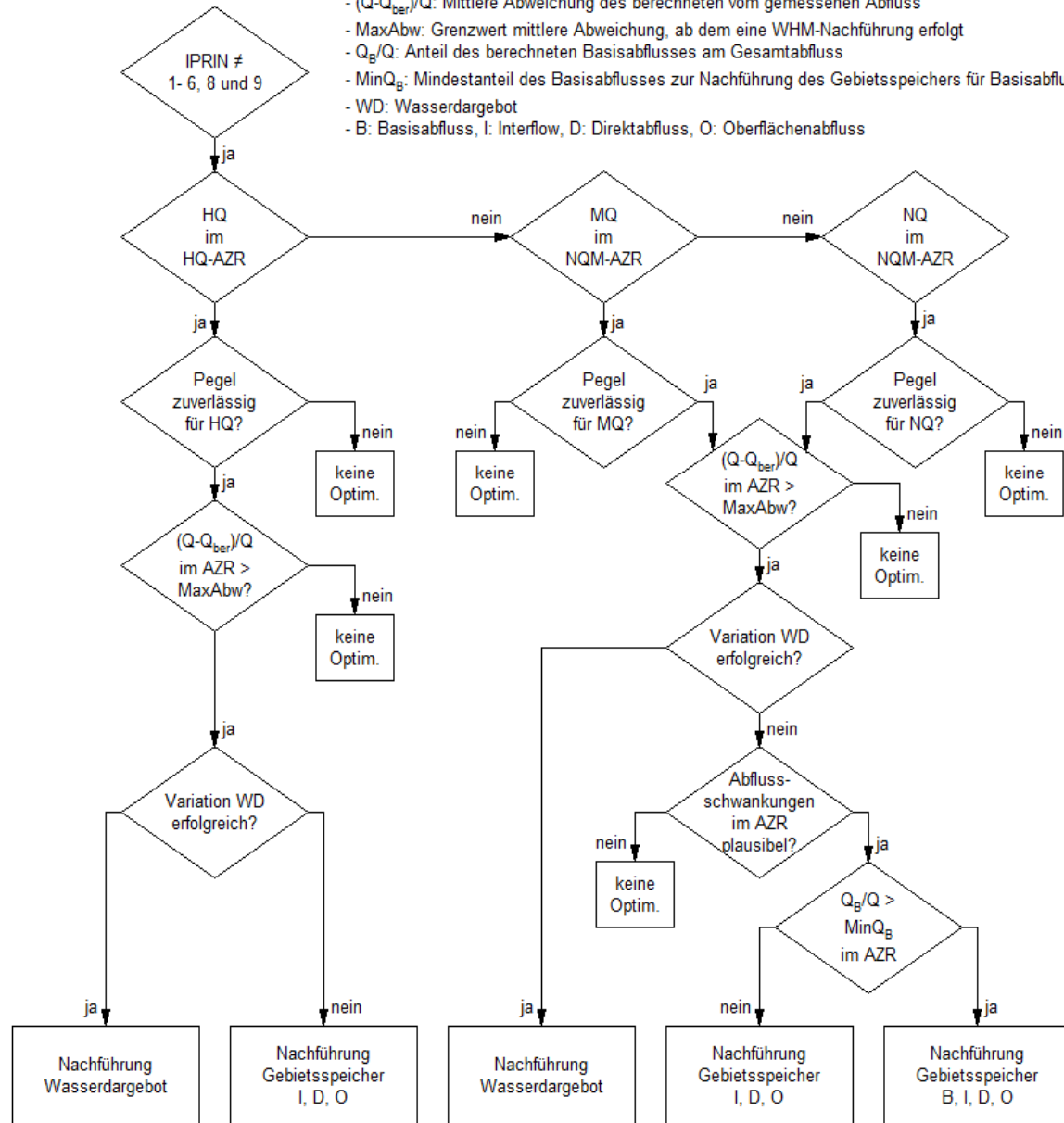
Entscheidungsbaum bei der operationellen Modellnachführung

WHM-Nachführung

bei Vereinbarung der Optionen WHM-HQ-NACHFUEHRUNG, WHM-MQ-NACHFUEHRUNG und WHM-NQ-NACHFUEHRUNG

Definitionen:

- HQ-AZR: Auswertezeitraum für Hochwasser (i.d.R. 6 h)
- NQM-AZR: Auswertezeitraum für Niedrig- und Mittelwasser (i.d.R. 48 h)
- AZR: HQ-AZR, NQM-AZR oder modellgebiets- bzw. pegelspezifischer Auswertezeitraum
- $(Q-Q_{ber})/Q$: Mittlere Abweichung des berechneten vom gemessenen Abfluss
- MaxAbw: Grenzwert mittlere Abweichung, ab dem eine WHM-Nachführung erfolgt
- Q_B/Q : Anteil des berechneten Basisabflusses am Gesamtabfluss
- $MinQ_B$: Mindestanteil des Basisabflusses zur Nachführung des Gebietsspeichers für Basisabfluss
- WD: Wasserdargebot
- B: Basisabfluss, I: Interflow, D: Direktabfluss, O: Oberflächenabfluss



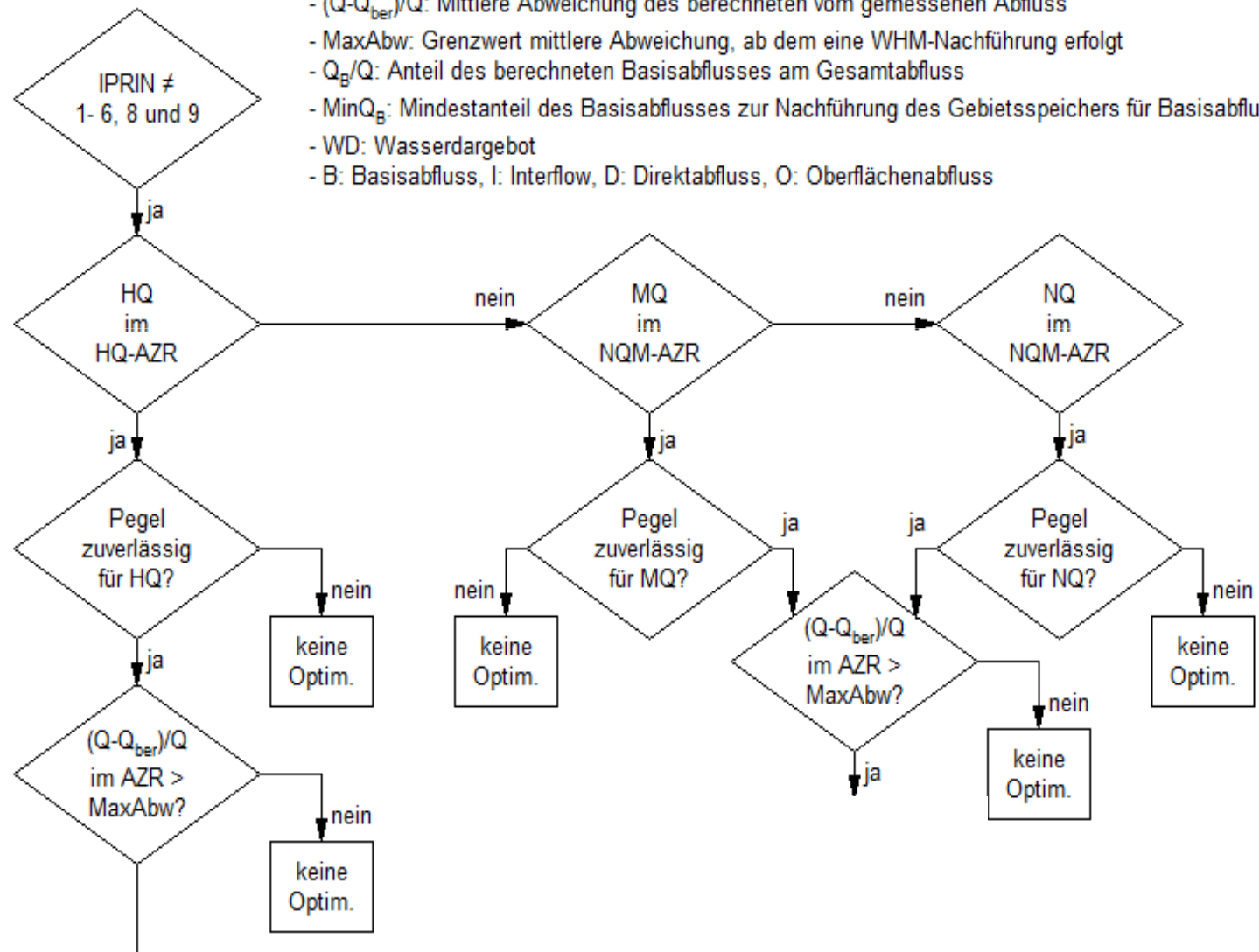
Fälle, in denen keine WHM-Nachführung stattfindet

WHM-Nachführung

bei Vereinbarung der Optionen WHM-HQ-NACHFUEHRUNG, WHM-MQ-NACHFUEHRUNG und WHM-NQ-NACHFUEHRUNG

Definitionen:

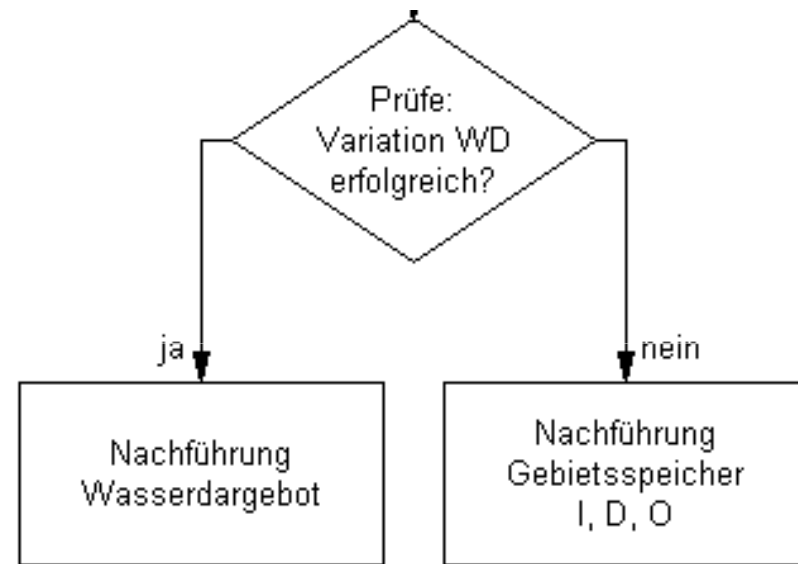
- HQ-AZR: Auswertezeitraum für Hochwasser (i.d.R. 6 h)
- NQM-AZR: Auswertezeitraum für Niedrig- und Mittelwasser (i.d.R. 48 h)
- AZR: HQ-AZR, NQM-AZR oder modellgebiets- bzw. pegelspezifischer Auswertezeitraum
- $(Q - Q_{ber})/Q$: Mittlere Abweichung des berechneten vom gemessenen Abfluss
- MaxAbw: Grenzwert mittlere Abweichung, ab dem eine WHM-Nachführung erfolgt
- Q_B/Q : Anteil des berechneten Basisabflusses am Gesamtabfluss
- $MinQ_B$: Mindestanteil des Basisabflusses zur Nachführung des Gebietsspeichers für Basisabfluss
- WD: Wasserdargebot
- B: Basisabfluss, I: Interflow, D: Direktabfluss, O: Oberflächenabfluss



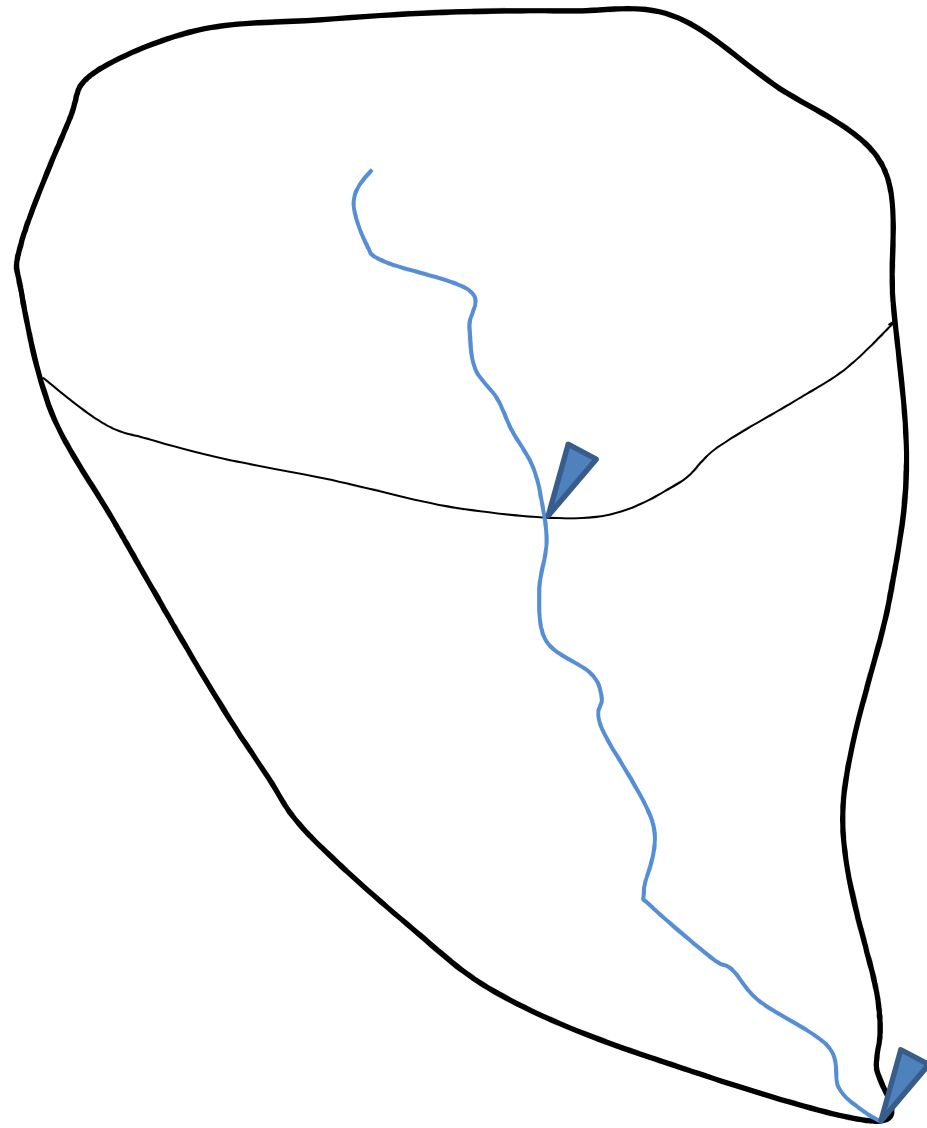
Prinzip der Modellnachführung

Hochwasser:

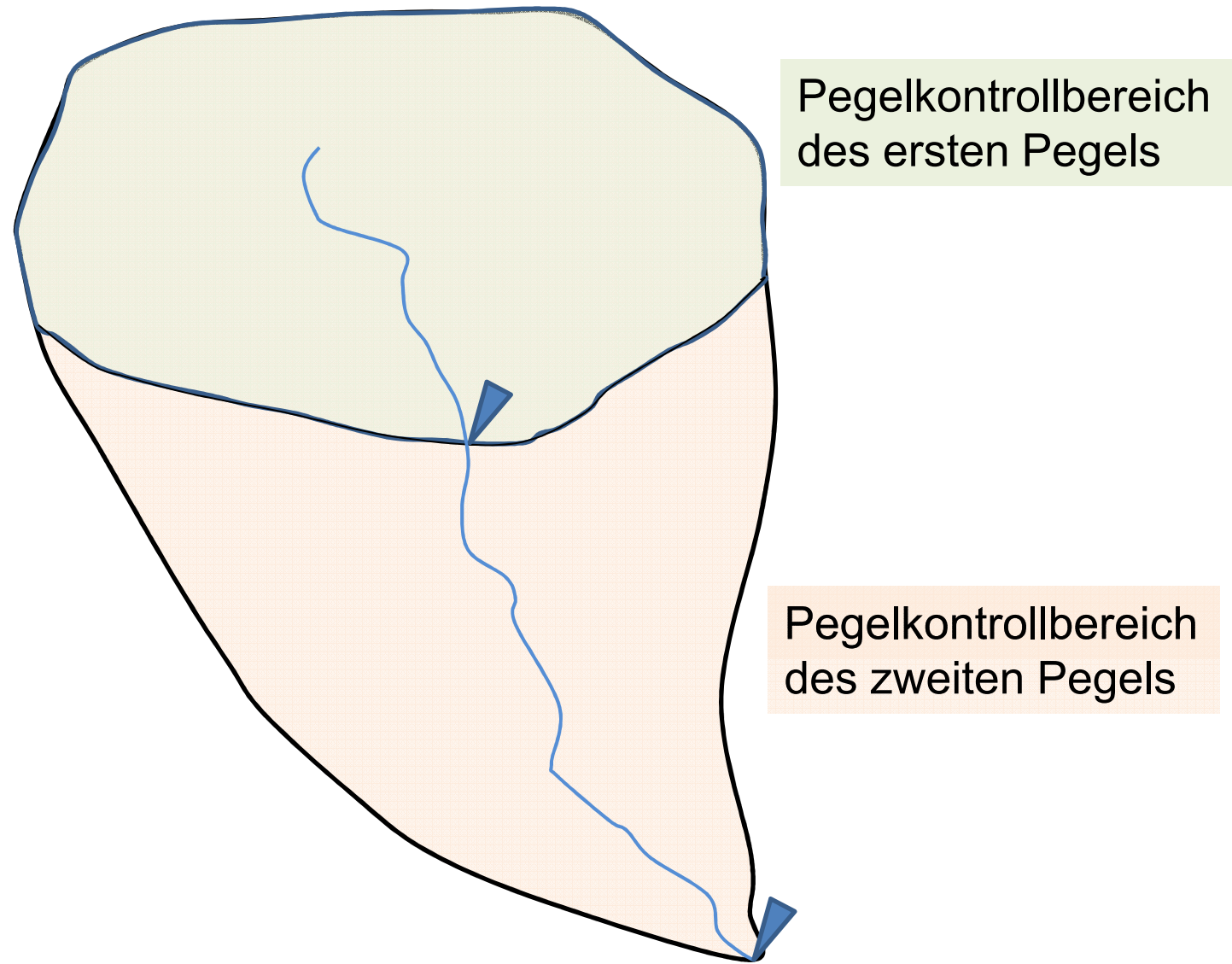
- Auswertezeitraum: 6h
- Check: gute Übereinstimmung durch Wasserdargebot-Faktor erzielbar (Test mit Faktor 10 und Faktor 0,001)?



Prinzip der Modellnachführung



Prinzip der Modellnachführung

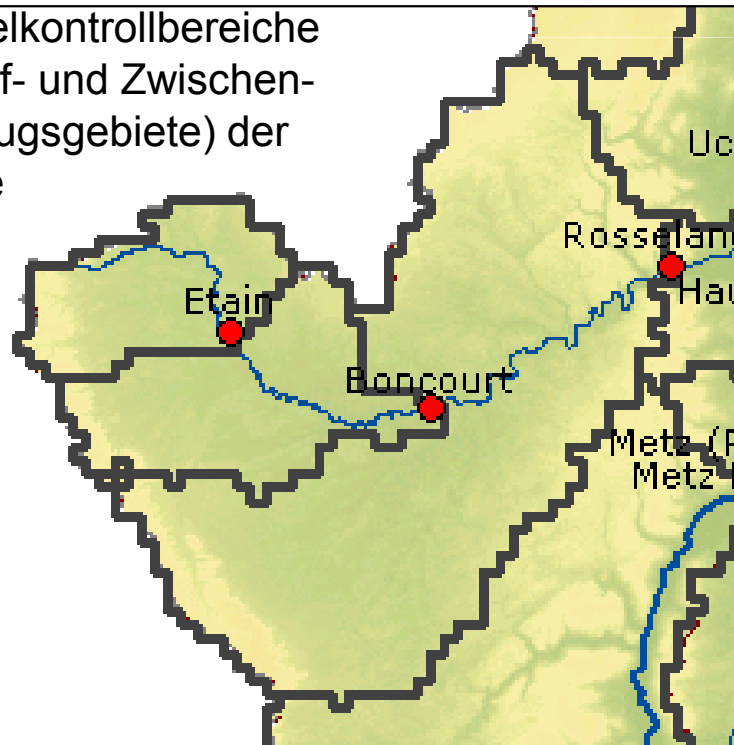


Prinzip der Modellierung

- Optimierung pro Pegelkontrollbereich

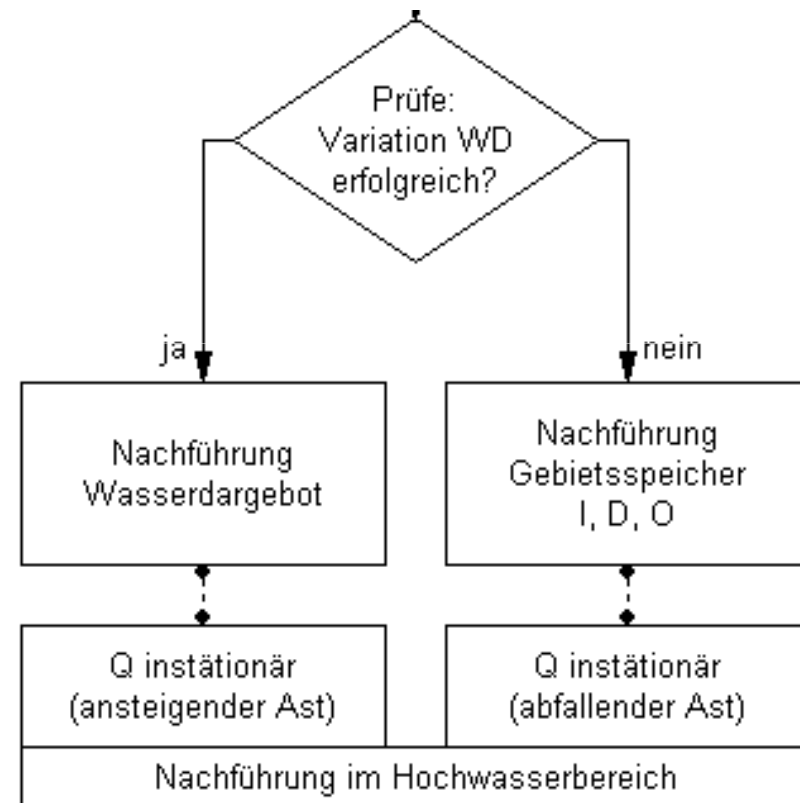
Pegelkontrollbereiche (Kopf- und Zwischen-Einzugsgebiete) der Mosel im WHM für das frz. Moselgebiet

Pegelkontrollbereiche (Kopf- und Zwischen-Einzugsgebiete) der Orne



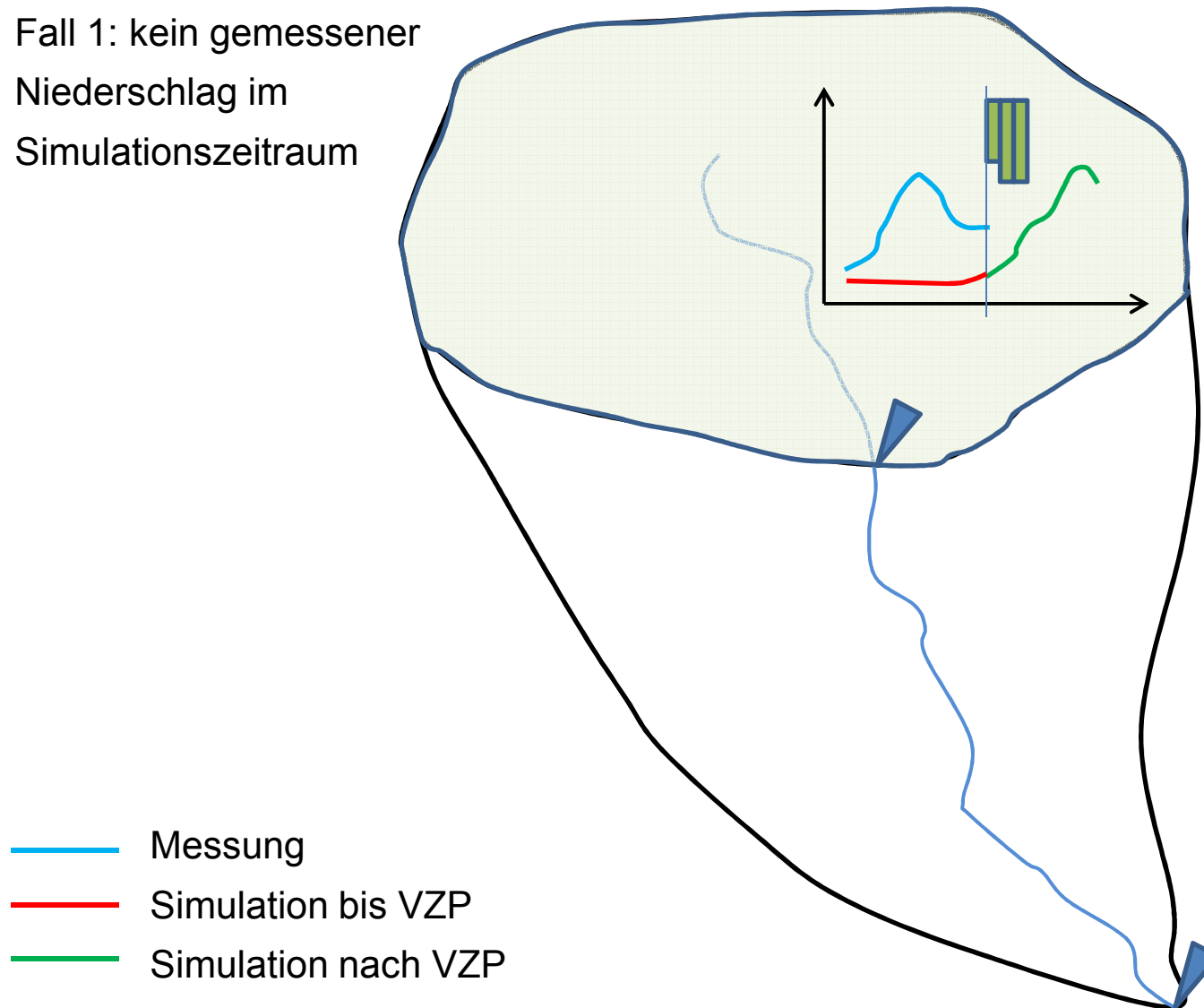
Prinzip der Modellnachführung

- Hochwasser:
 - Auswertezeitraum: 6h
 - Check: gute Übereinstimmung durch Wasserdargebot-Faktor erzielbar (Test mit Faktor 10 und Faktor 0,001)?



Prinzip der Modellnachführung

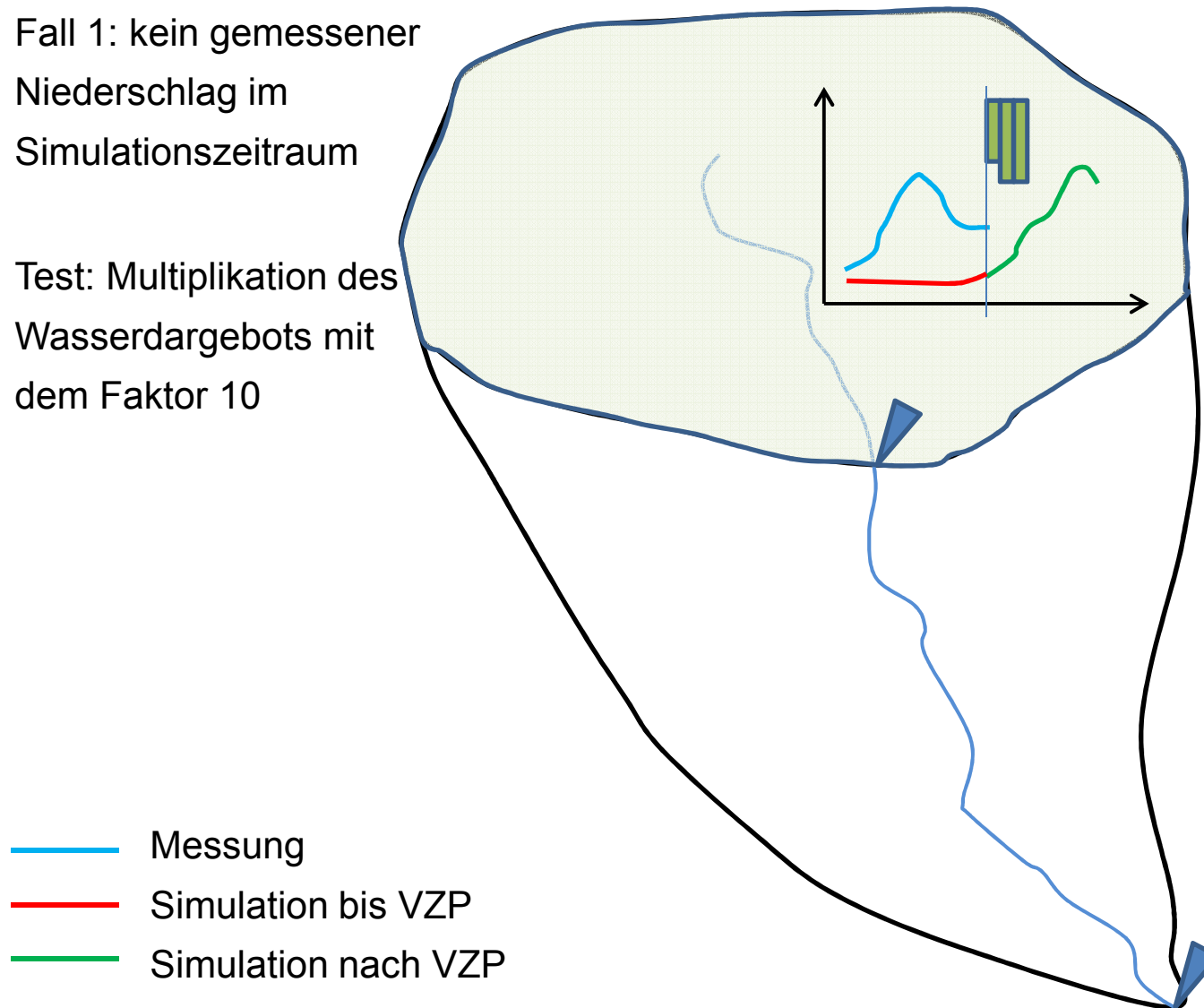
Fall 1: kein gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum



Prinzip der Modellnachführung

Fall 1: kein gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum

Test: Multiplikation des Wasserdargebots mit dem Faktor 10



Prinzip der Modellnachführung

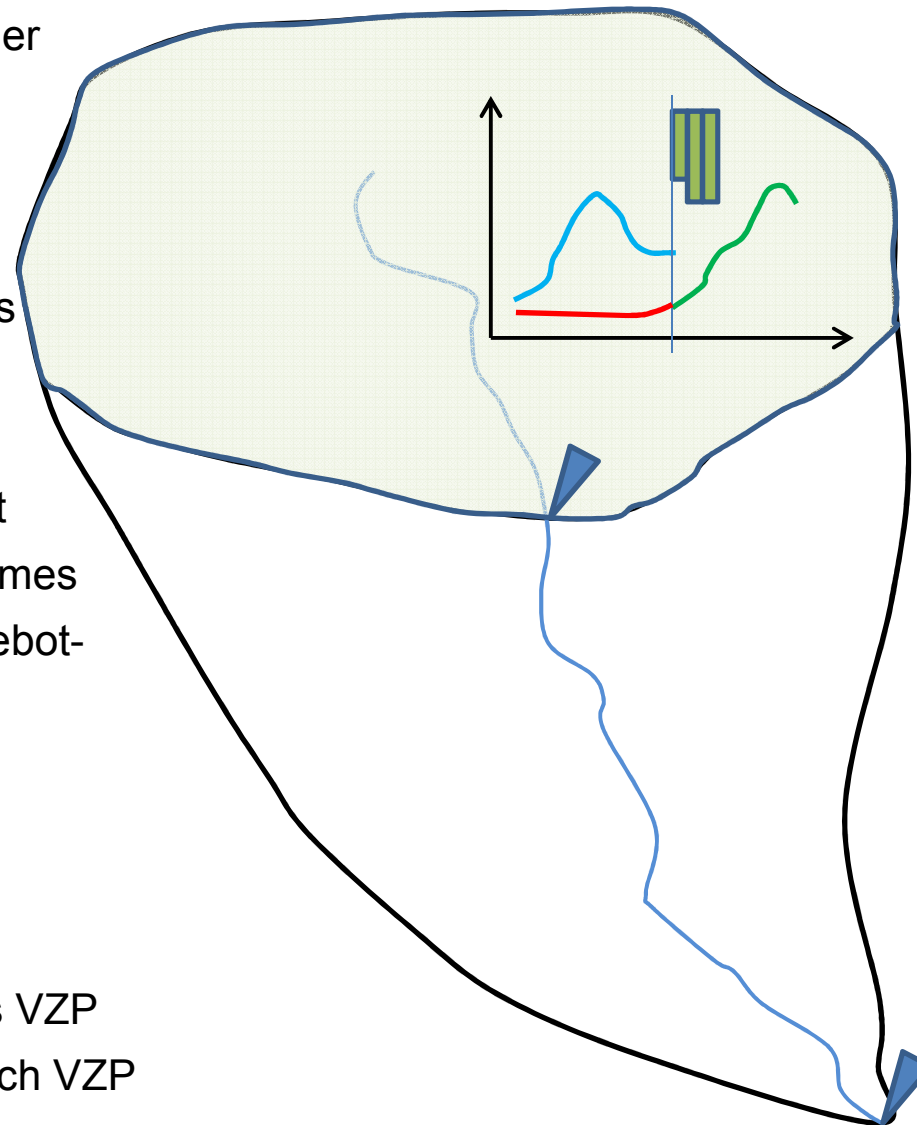
Fall 1: kein gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum

Test: Multiplikation des
Wasserdargebots mit
dem Faktor 10

-> Volumen Q_{sim} liegt

nicht über Volumen Q_{mes}

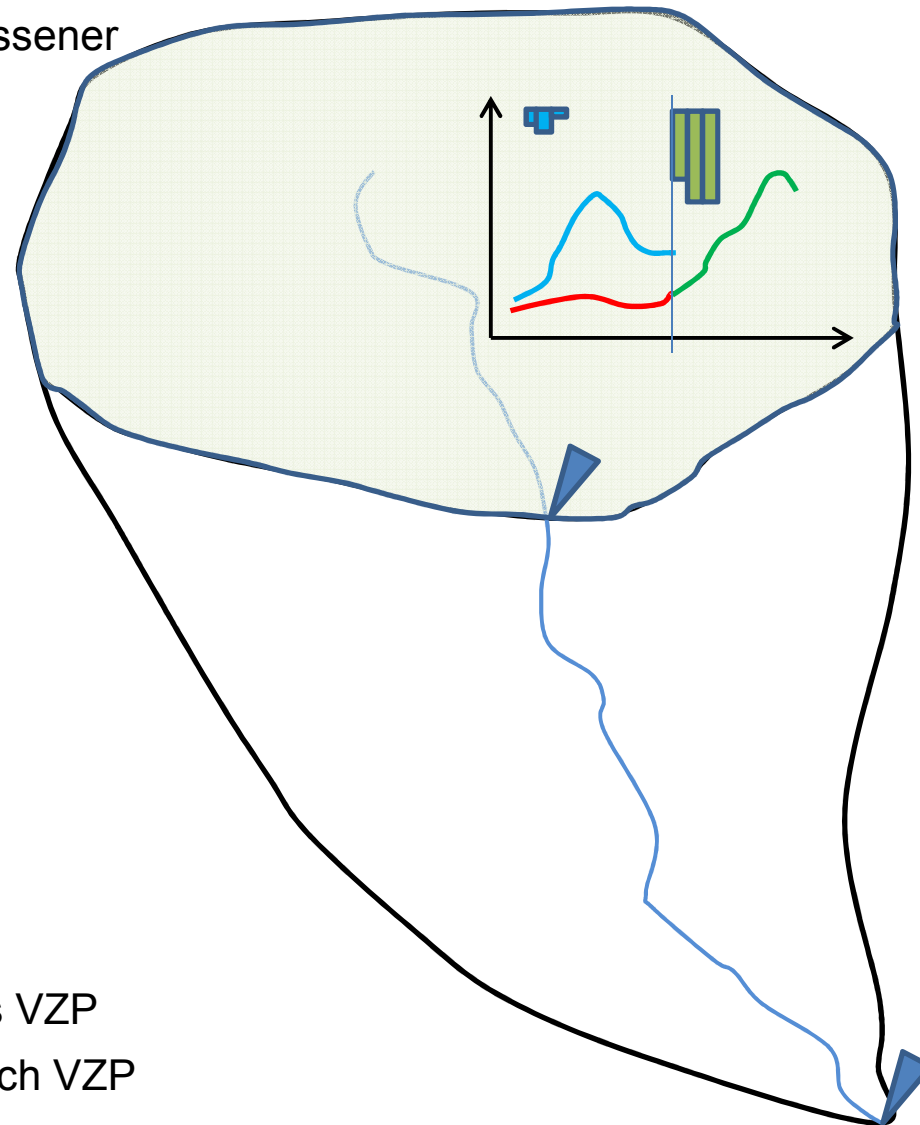
-> Keine Wasserdargebot-
Nachführung



— Messung
— Simulation bis VZP
— Simulation nach VZP

Prinzip der Modellnachführung

Fall 2: geringer gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum



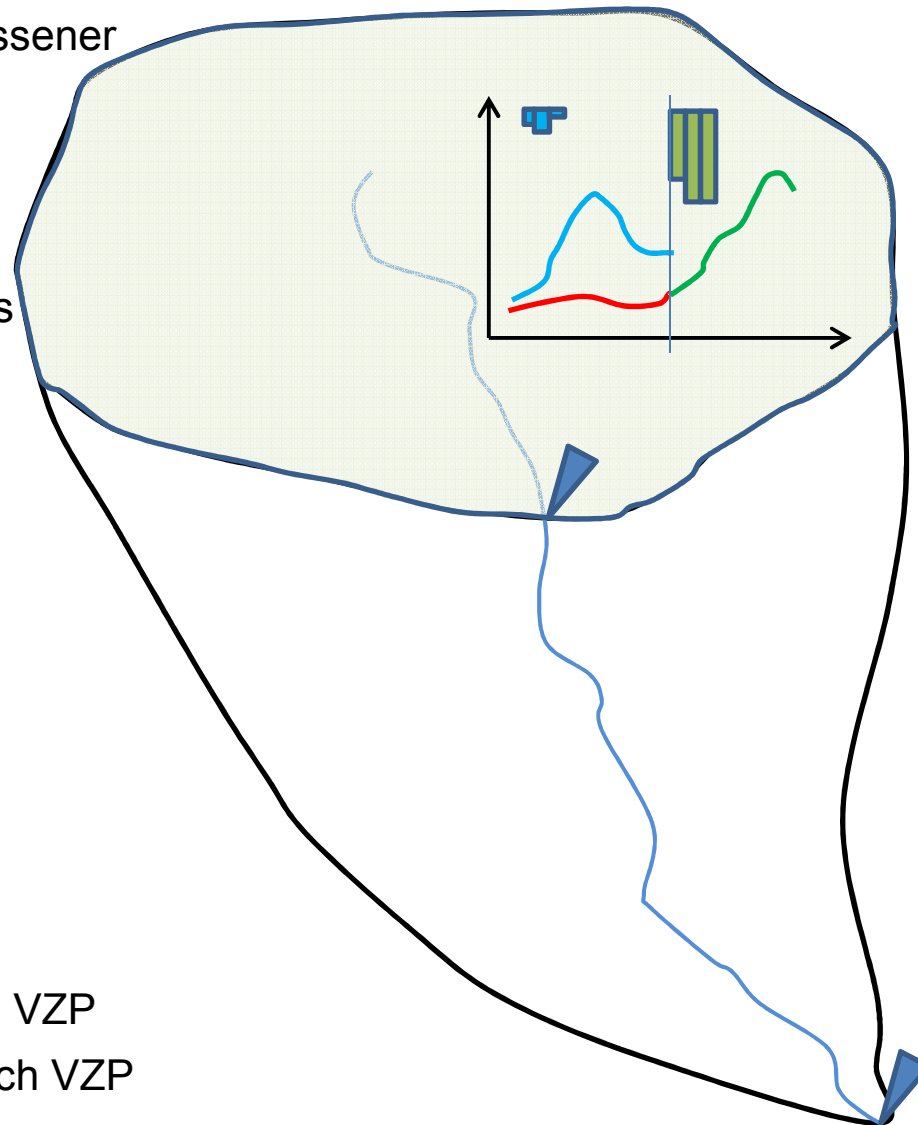
- Messung
- Simulation bis VZP
- Simulation nach VZP

Prinzip der Modellnachführung

Fall 2: geringer gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum

Test: Multiplikation des
Wasserdargebots mit
dem Faktor 10

— Messung
— Simulation bis VZP
— Simulation nach VZP

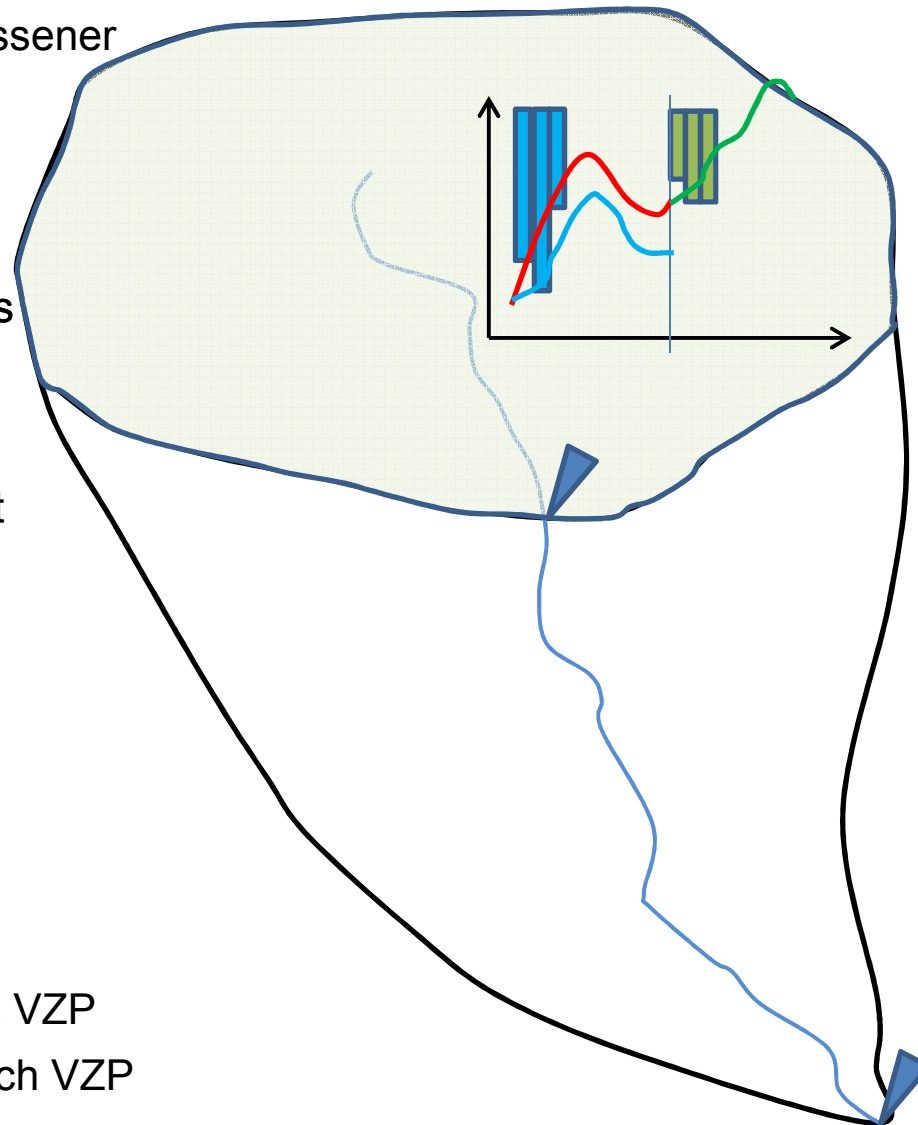


Prinzip der Modellnachführung

Fall 2: geringer gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum

Test: Multiplikation des
Wasserdargebots mit
dem Faktor 10
-> Volumen Q_{sim} liegt
über Volumen Q_{mes}

— Messung
— Simulation bis VZP
— Simulation nach VZP



Prinzip der Modellnachführung

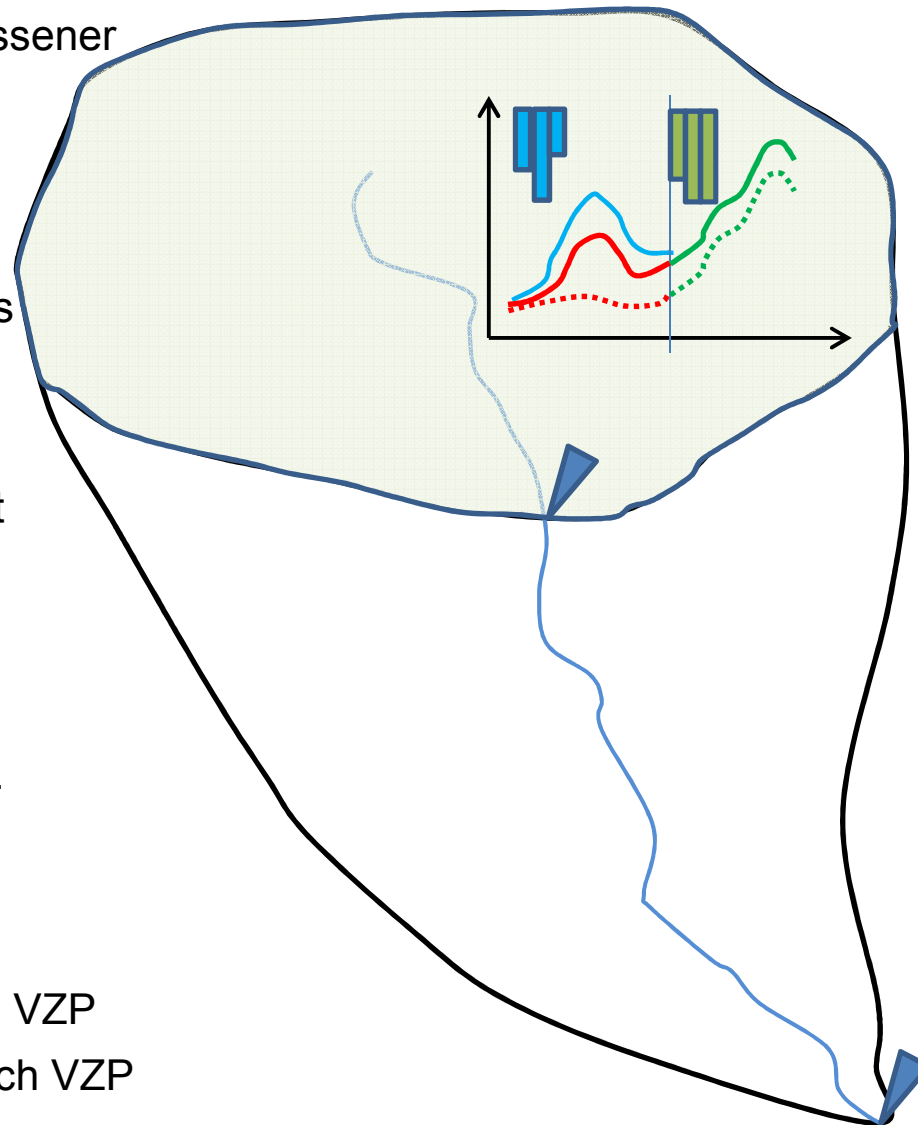
Fall 2: geringer gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum

Test: Multiplikation des
Wasserdargebots mit
dem Faktor 10

-> Volumen Q_{sim} liegt
über Volumen Q_{mes}

-> Wasserdargebot-
Nachführung durch
Multiplikation mit max.
Faktor 1,5

— Messung
— Simulation bis VZP
— Simulation nach VZP

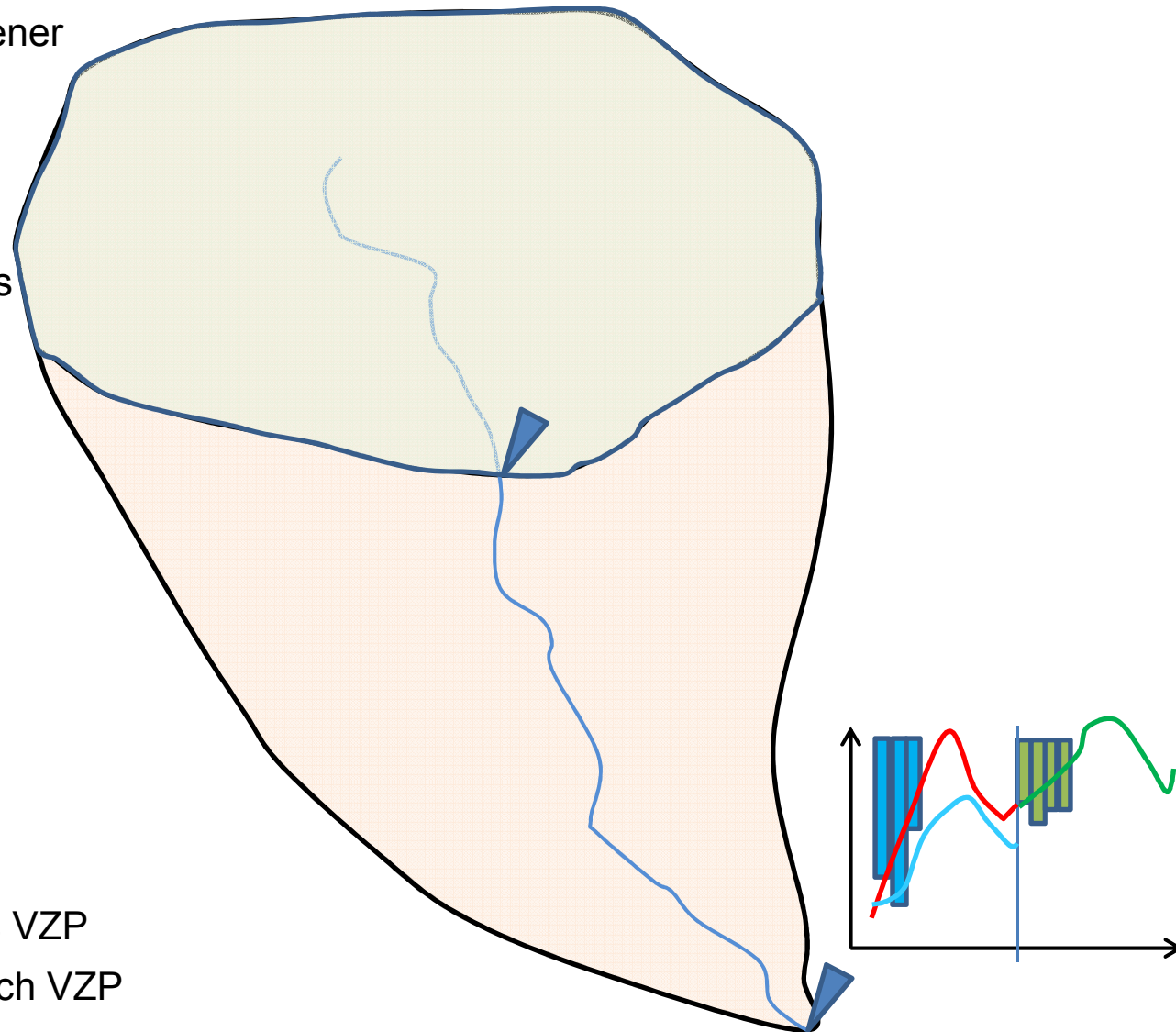


Prinzip der Modellnachführung

Fall 3: hoher gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum

Test: Multiplikation des
Wasserdargebots mit
dem Faktor 0,001

— Messung
— Simulation bis VZP
— Simulation nach VZP



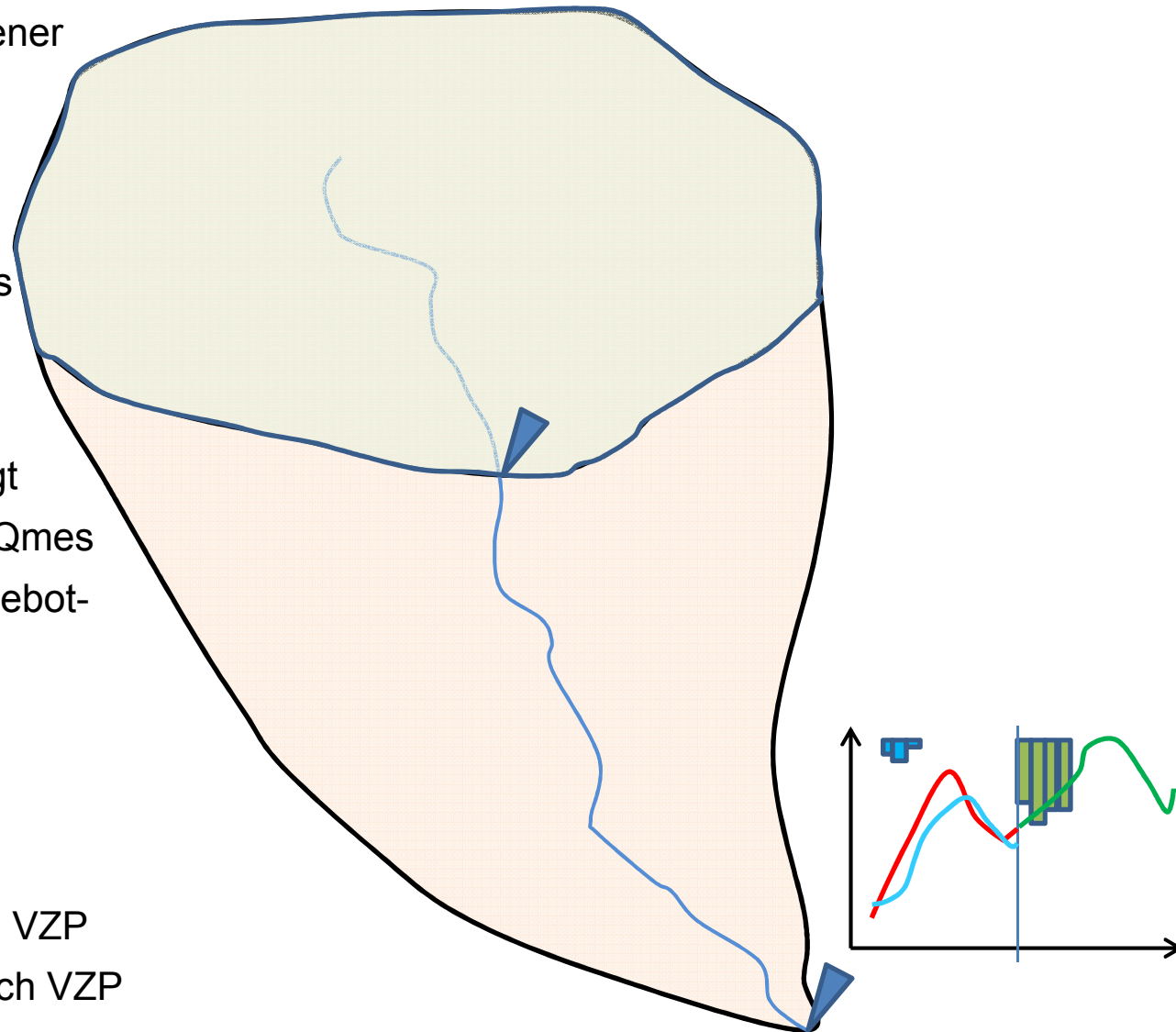
Prinzip der Modellnachführung

Fall 3: hoher gemessener
Niederschlag im
Simulationszeitraum

Test: Multiplikation des
Wasserdargebots mit
dem Faktor 0,001

-> Volumen Q_{sim} liegt
nicht unter Volumen Q_{mes}
-> Keine Wasserdargebot-
Nachführung

— Messung
— Simulation bis VZP
— Simulation nach VZP

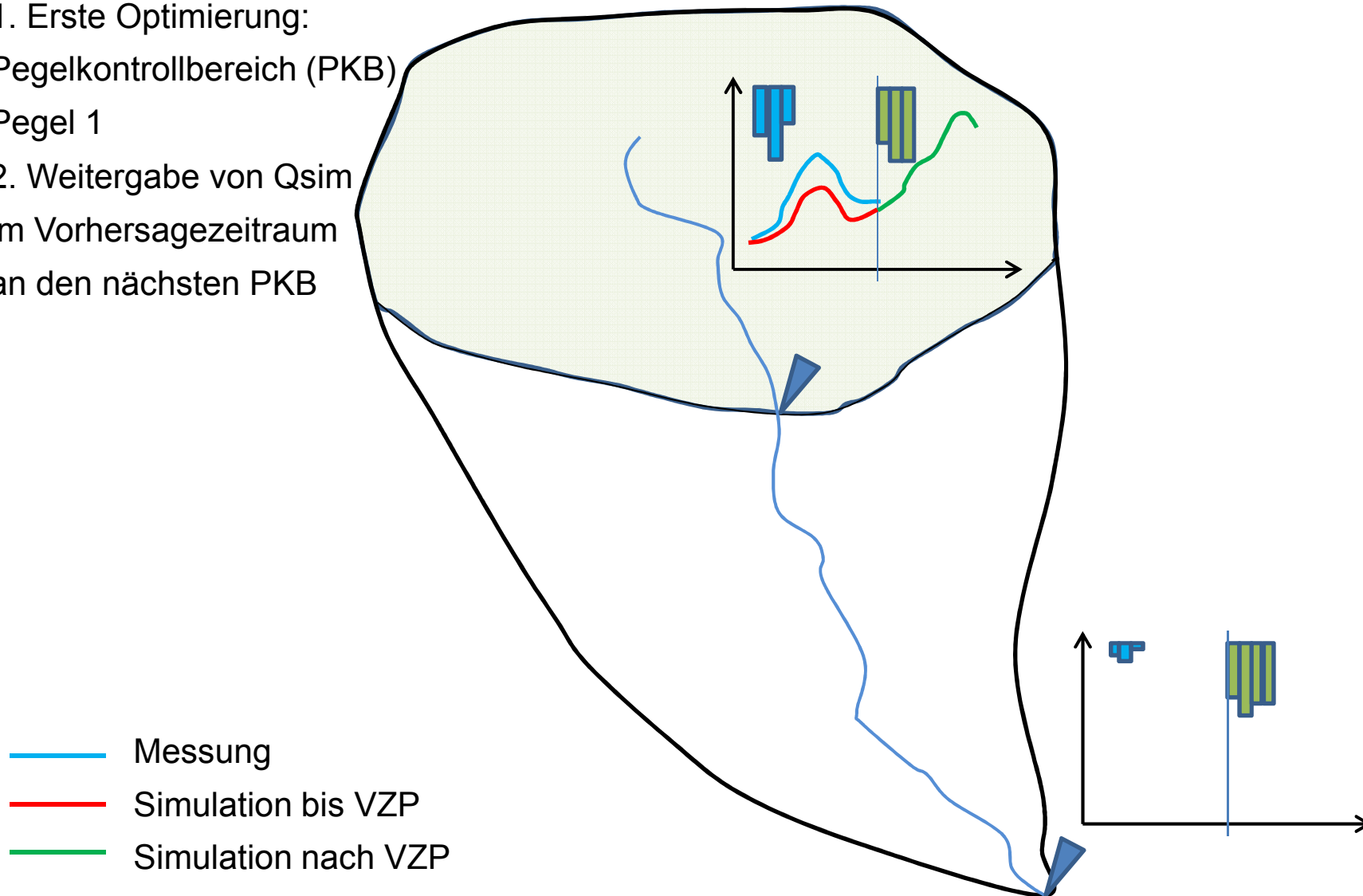


Prinzip der Modellnachführung

1. Erste Optimierung:
Pegelkontrollbereich (PKB)

Pegel 1

2. Weitergabe von Q_{sim}
im Vorhersagezeitraum
an den nächsten PKB



— Messung
— Simulation bis VZP
— Simulation nach VZP

Prinzip der Modellnachführung

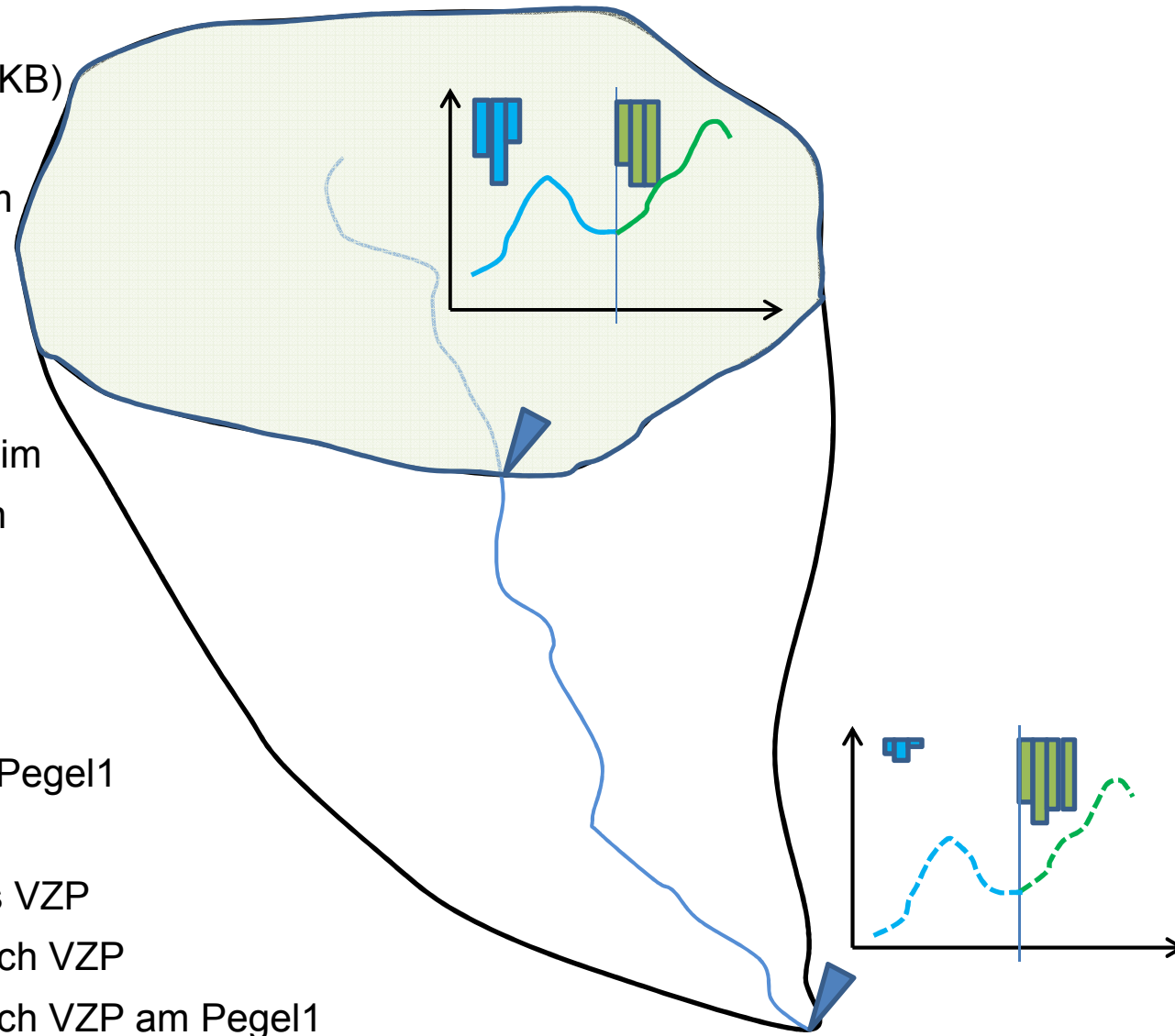
1. Erste Optimierung:
Pegelkontrollbereich (PKB)

Pegel 1

2. Weitergabe von Q_{sim}
im Vorhersagezeitraum
an den nächsten PKB

3. Entscheidung:
Weitergabe von Q_{mes} im
Simulationszeitraum an
den nächsten PKB?

- Messung am Pegel1
- Messung
- Simulation bis VZP
- Simulation nach VZP
- - - - - Simulation nach VZP am Pegel1



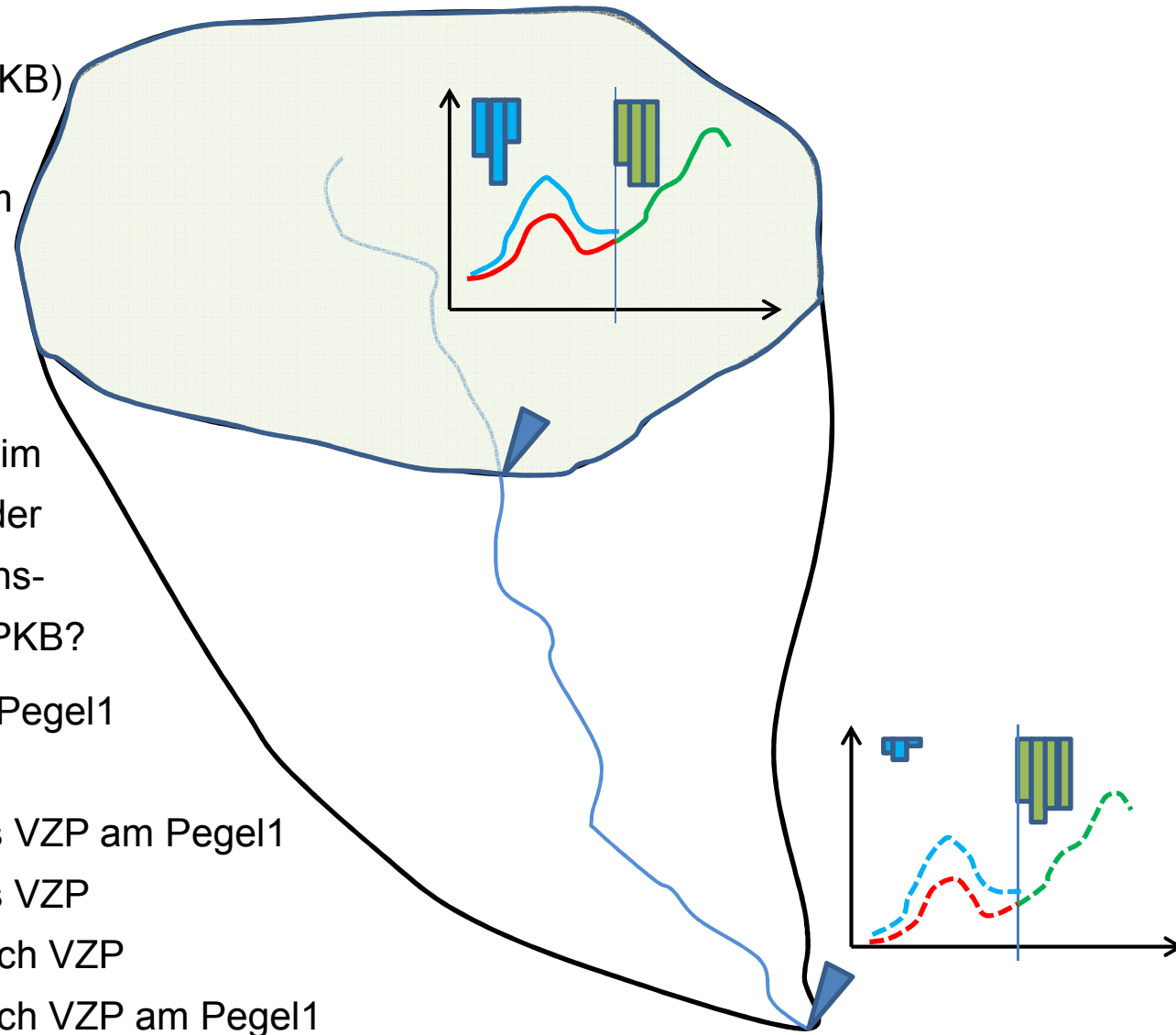
Prinzip der Modellnachführung

1. Erste Optimierung:
Pegelkontrollbereich (PKB)
Pegel 1

2. Weitergabe von Q_{sim}
im Vorhersagezeitraum
an den nächsten PKB

3. Entscheidung:
Weitergabe von Q_{mes} im
Simulationszeitraum oder
von Q_{sim} im Simulations-
zeitraum an nächsten PKB?

- Messung am Pegel1
- Messung
- Simulation bis VZP am Pegel1
- Simulation bis VZP
- Simulation nach VZP
- Simulation nach VZP am Pegel1



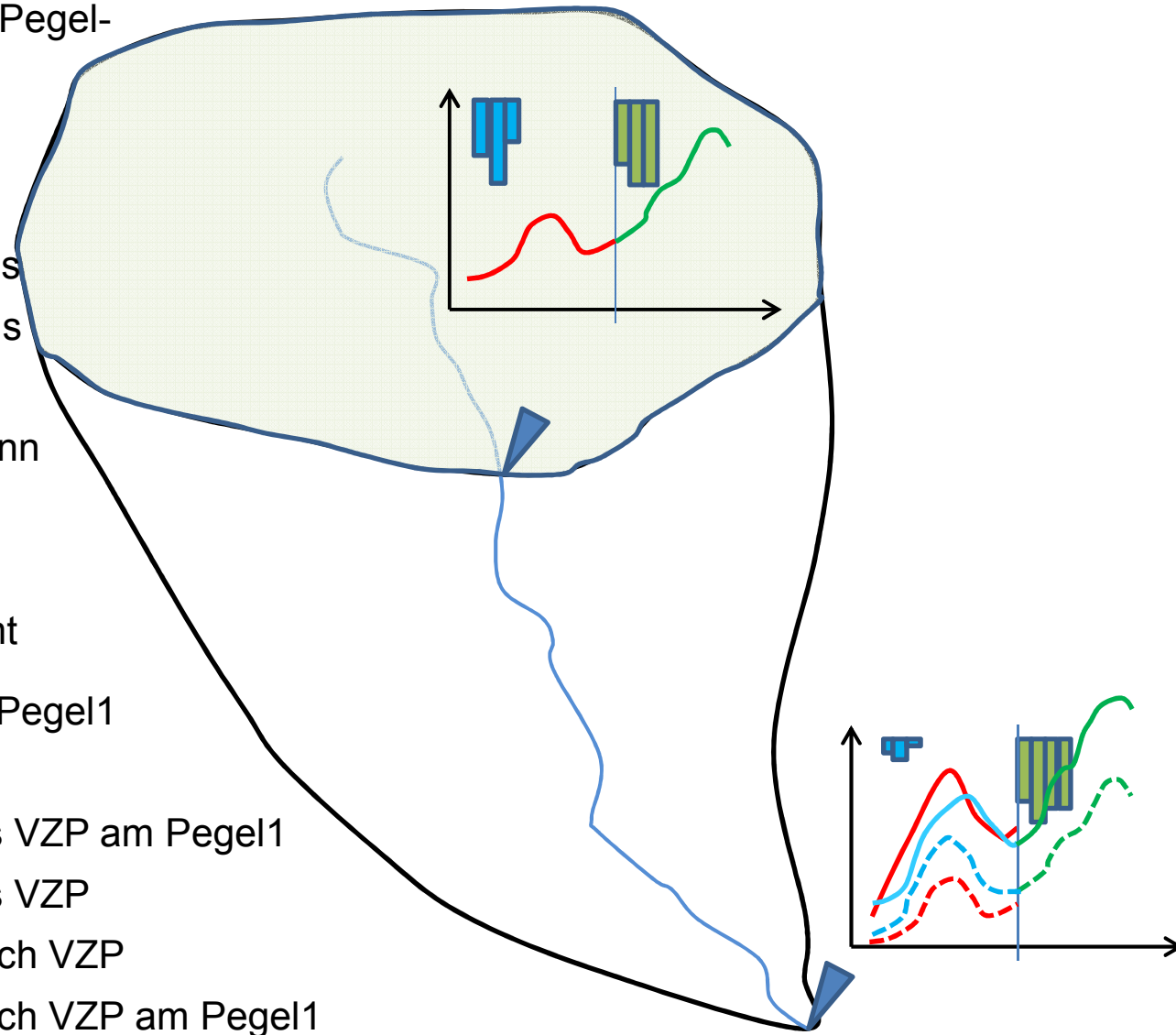
Prinzip der Modellnachführung

4. Zweite Optimierung: Pegelkontrollbereich Pegel 2

5. Wenn im PKB 2 Niederschlag fällt, wird der entstehende Abfluss zur Zuflussganglinie aus PKB 1 addiert

6. Q_{sim} am Pegel 2 kann nie kleiner sein als der Abfluss, der vom Oberliegerpegel stammt

- Messung am Pegel1
- Messung
- Simulation bis VZP am Pegel1
- Simulation bis VZP
- Simulation nach VZP
- Simulation nach VZP am Pegel1

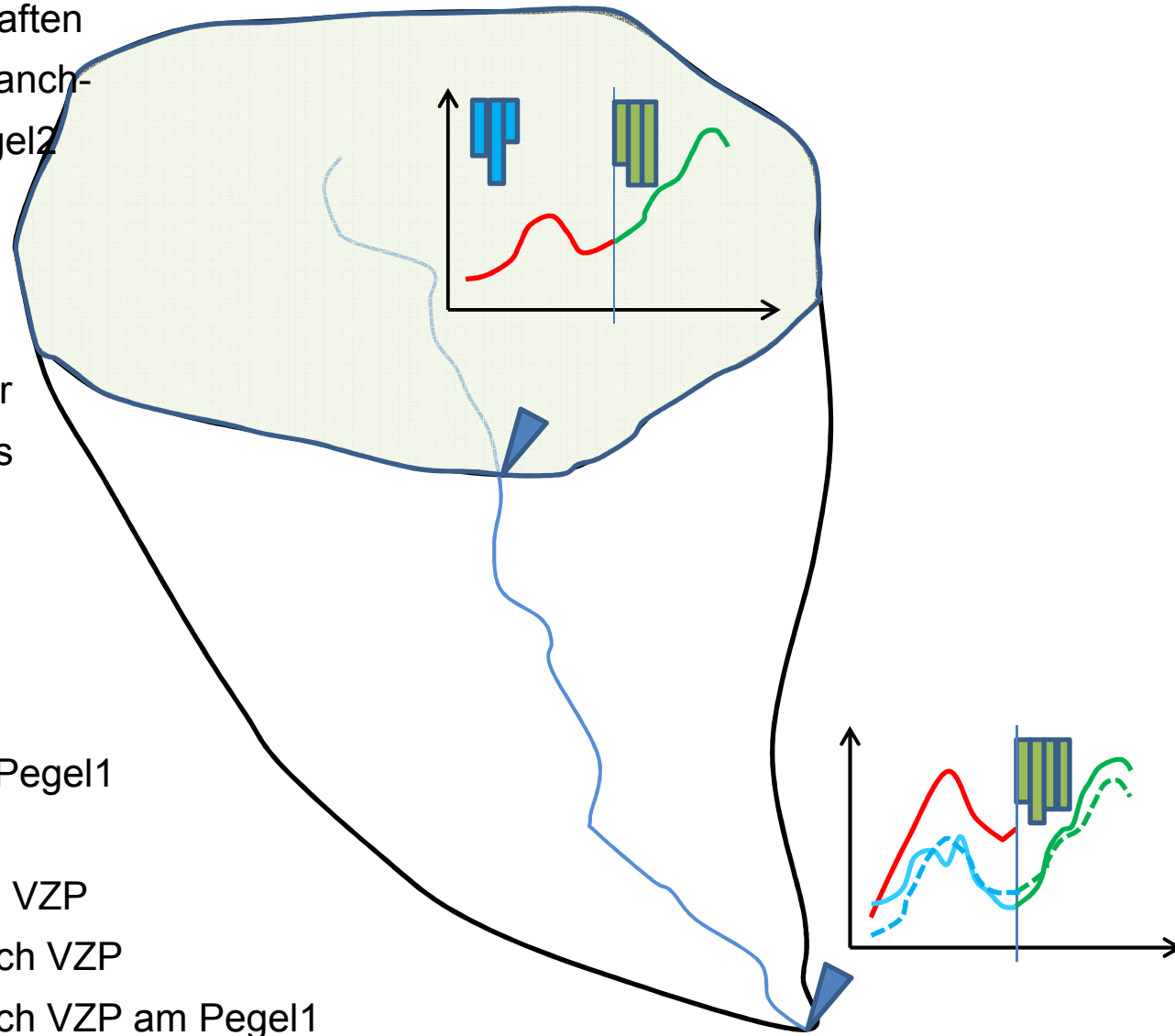


Prinzip der Modellnachführung

7. Aufgrund von fehlerhaften WQ-Beziehungen ist manchmal der Abfluss am Pegel2 höher als am Pegel1

8. Die Nachführung kommt dann auch mit Faktor 0,001 nicht unter das Volumen von Qmes
→ keine Wasserdargebotsnachführung

- Messung am Pegel1
- Messung
- Simulation bis VZP
- Simulation nach VZP
- Simulation nach VZP am Pegel1

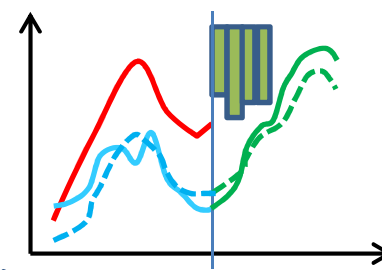
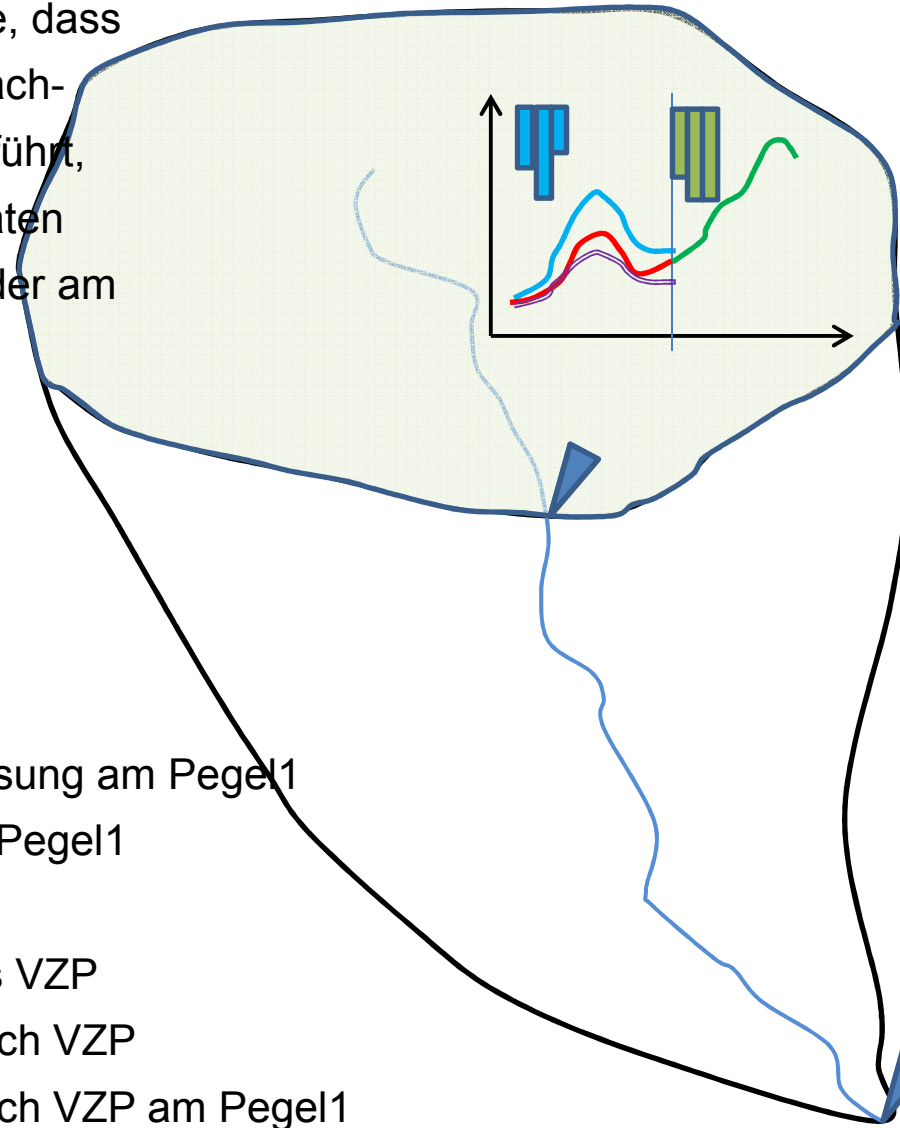


Prinzip der Modellnachführung

9. Vorsicht: die Ursache, dass die Wasserdargebotsnachführung nicht zum Ziel führt, können falsche Messdaten entweder am Pegel1 oder am Pegel2 sein

10. Bei einer Nicht-Durchführung der Wasserdargebotsnachführung bei einem Niederschlagsereignis unbedingt die gemessene Abflüsse der Pegel kontrollieren

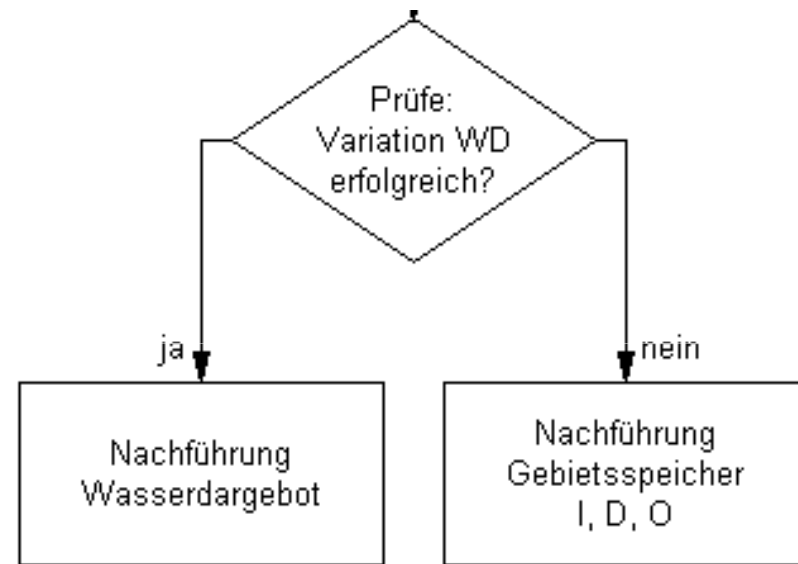
- Korrekte Messung am Pegel1
- - - Messung am Pegel1
- Messung
- Simulation bis VZP
- Simulation nach VZP
- - - Simulation nach VZP am Pegel1



Prinzip der Modellnachführung

Hochwasser:

- Auswertezeitraum: 6h
- Check: gute Übereinstimmung durch Wasserdargebot-Faktor erzielbar (Test mit Faktor 10 und Faktor 0,001)?
 - ja: Optimierung Wasserdargebot-Faktor (Faktor zwischen 0,5 und 1,5)
 - nein: Nachführung der Speicherfüllungen der Gebietsspeicher GS (Volumen Interflow V_I , Volumen Direktabfluss V_D , Volumen Oberflächenabfluss V_O) in der Zustandsdatei.



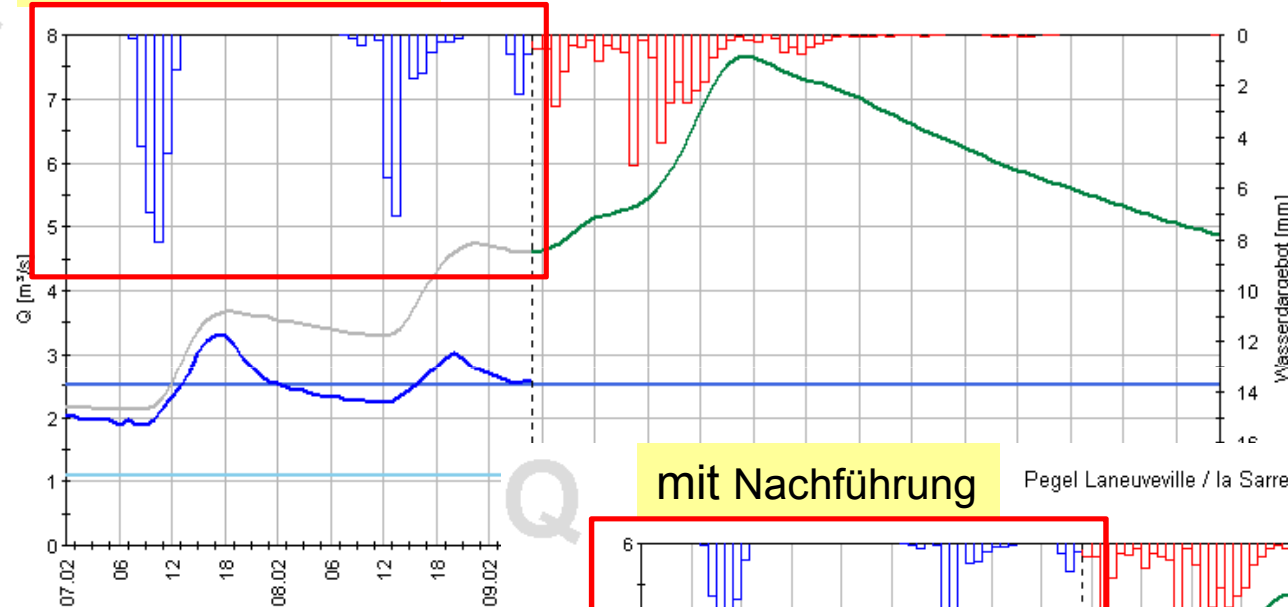
Prinzip der Modellnachführung

- Hochwasser – Nachführung Wasserdargebot

ohne Nachführung

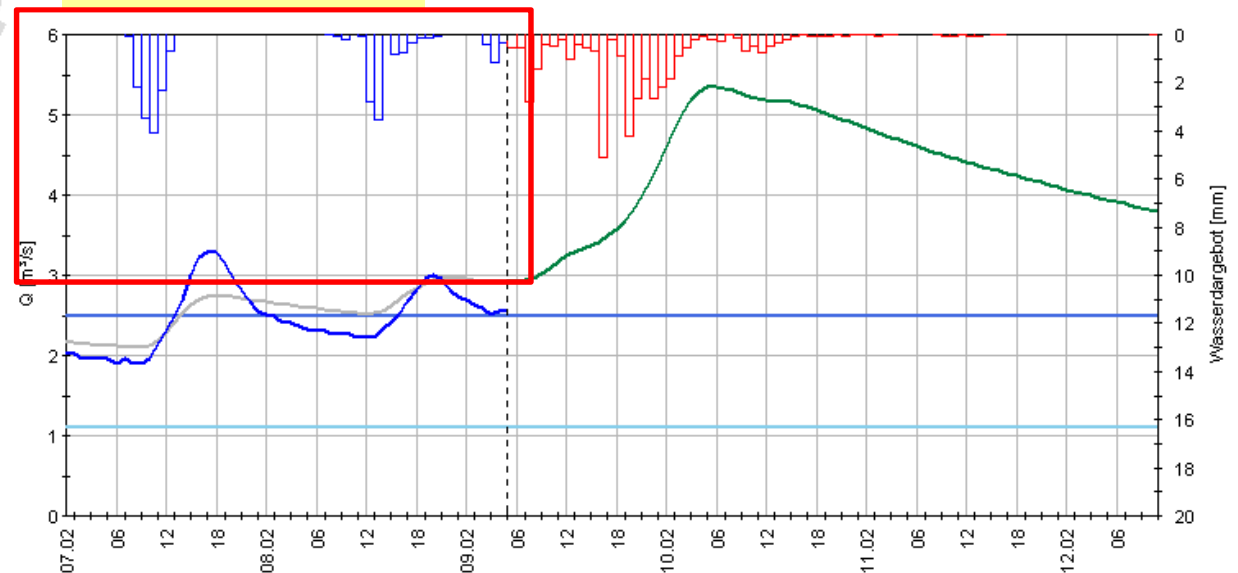
Pegel Laneuveville / la Sarre blanche

— Vorhersage — Messung — Simulation



mit Nachführung

Pegel Laneuveville / la Sarre blanche



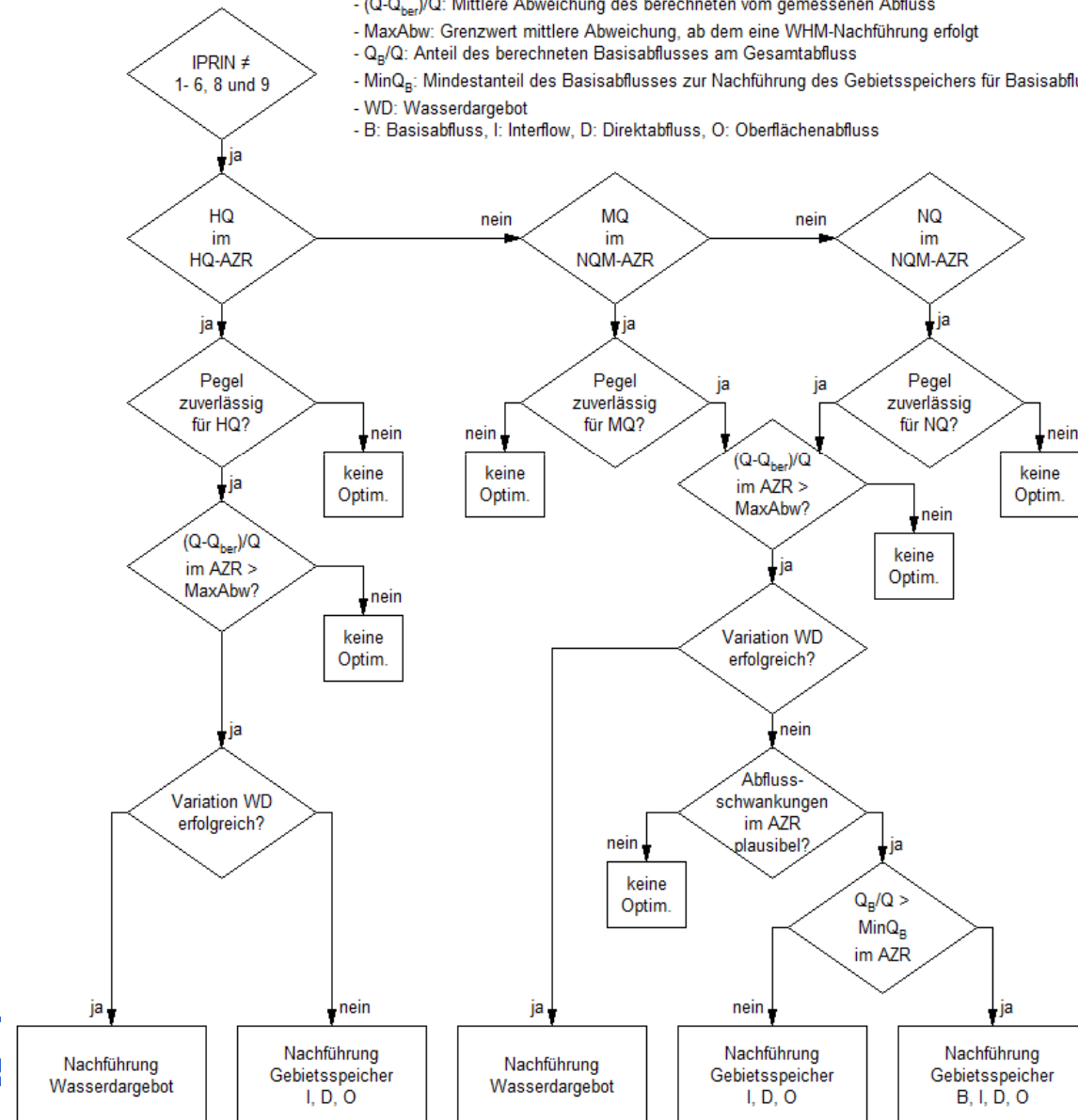
Entscheidungsbaum bei der operationellen Modellnachführung

WHM-Nachführung

bei Vereinbarung der Optionen WHM-HQ-NACHFUEHRUNG, WHM-MQ-NACHFUEHRUNG und WHM-NQ-NACHFUEHRUNG

Definitionen:

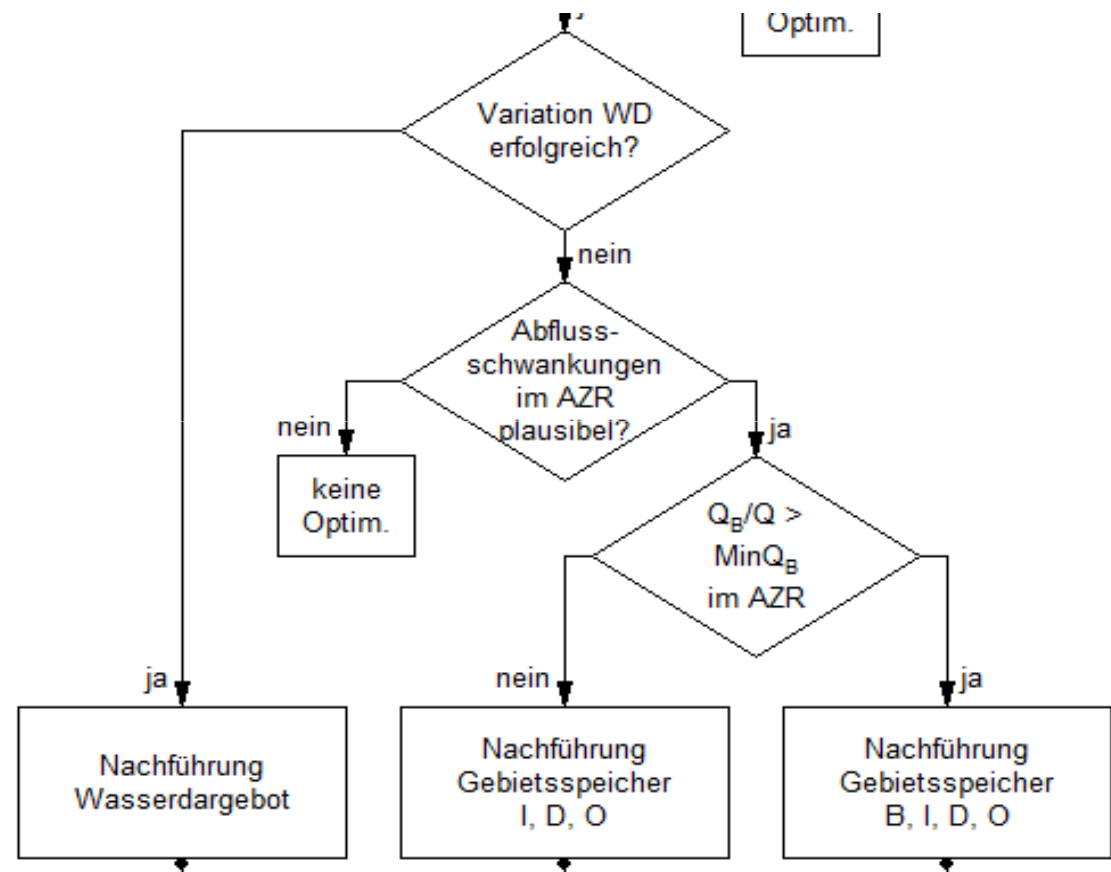
- HQ-AZR: Auswertezeitraum für Hochwasser (i.d.R. 6 h)
- NQM-AZR: Auswertezeitraum für Niedrig- und Mittelwasser (i.d.R. 48 h)
- AZR: HQ-AZR, NQM-AZR oder modellgebiets- bzw. pegelspezifischer Auswertezeitraum
- $(Q - Q_{ber})/Q$: Mittlere Abweichung des berechneten vom gemessenen Abfluss
- MaxAbw: Grenzwert mittlere Abweichung, ab dem eine WHM-Nachführung erfolgt
- Q_B/Q : Anteil des berechneten Basisabflusses am Gesamtabfluss
- $MinQ_B$: Mindestanteil des Basisabflusses zur Nachführung des Gebietsspeichers für Basisabfluss
- WD: Wasserdargebot
- B: Basisabfluss, I: Interflow, D: Direktabfluss, O: Oberflächenabfluss



Prinzip der Modellnachführung

Niedrig- und Mittelwasser:

- Auswertezeitraum: 48h
- Check: Änderung des Wasserdargebots erfolgreich (Test mit Faktor 10 und Faktor 0,001)?
 - ja: Optimierung Wasserdargebot-Faktor (Faktor zwischen 0,5 und 1,5)
 - nein: Check der Abflussschwankungen

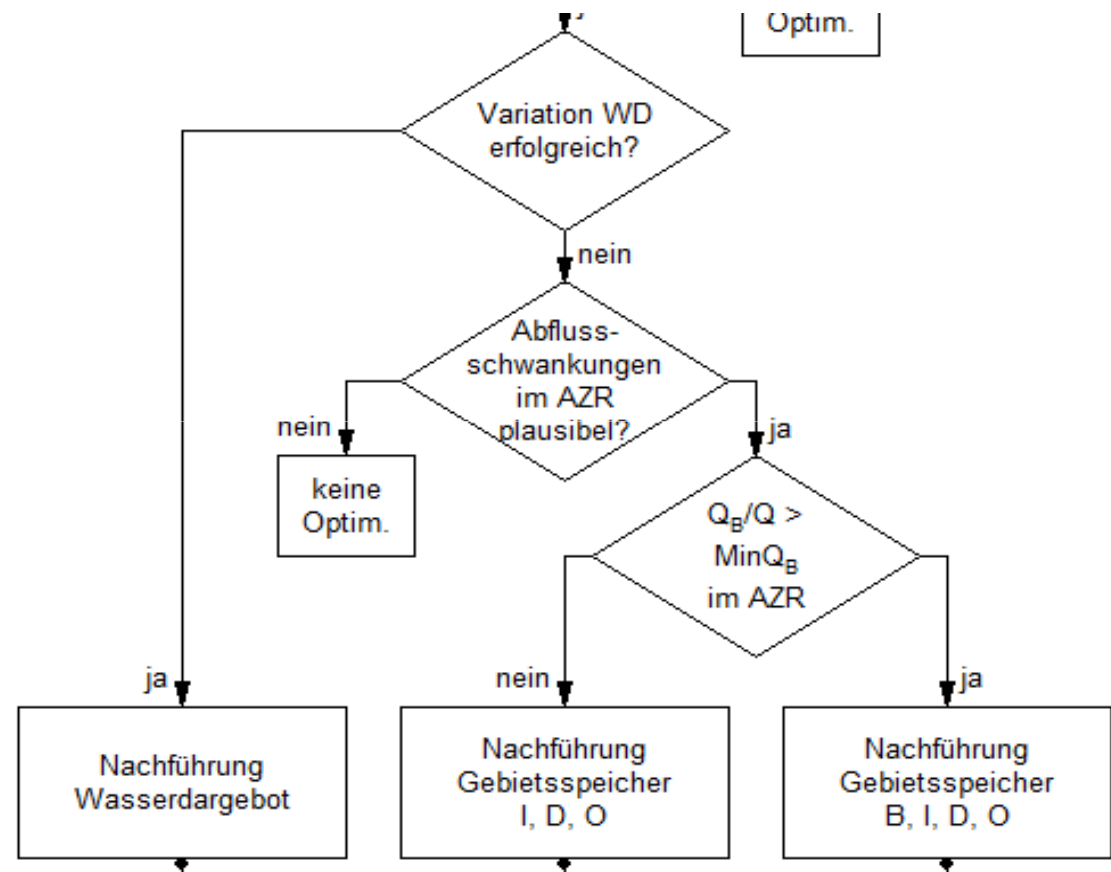


Prinzip der Modellnachführung

Niedrig- und Mittelwasser:

- Check der Abflussschwankungen: ist die Variabilität des gemessenen Abflusses plausibel bzw. durch natürliche hydrologische Prozesse erklärbar?

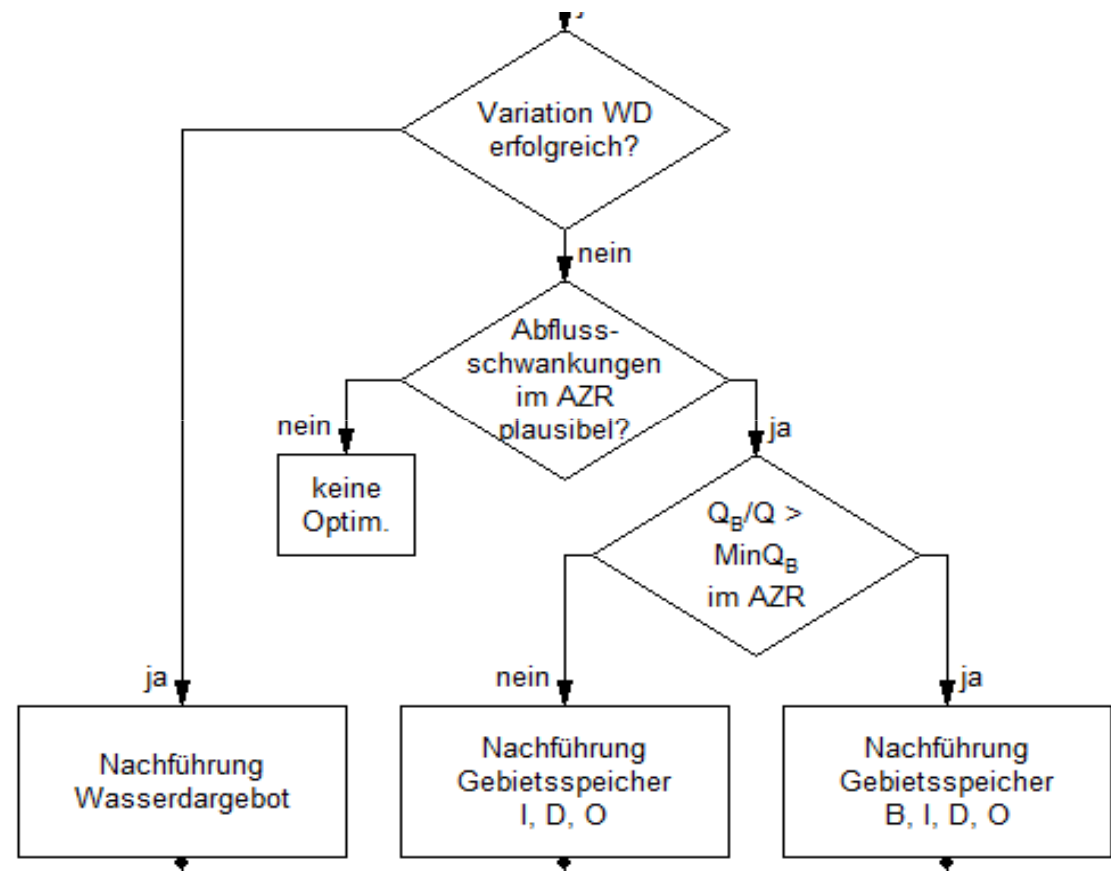
Wenn unplausible messtechnisch bedingte oder steuerungsbedingte Schwankungen in der Abflussmessung auftreten, so erfolgt keine Modellnachführung.



Prinzip der Modellnachführung

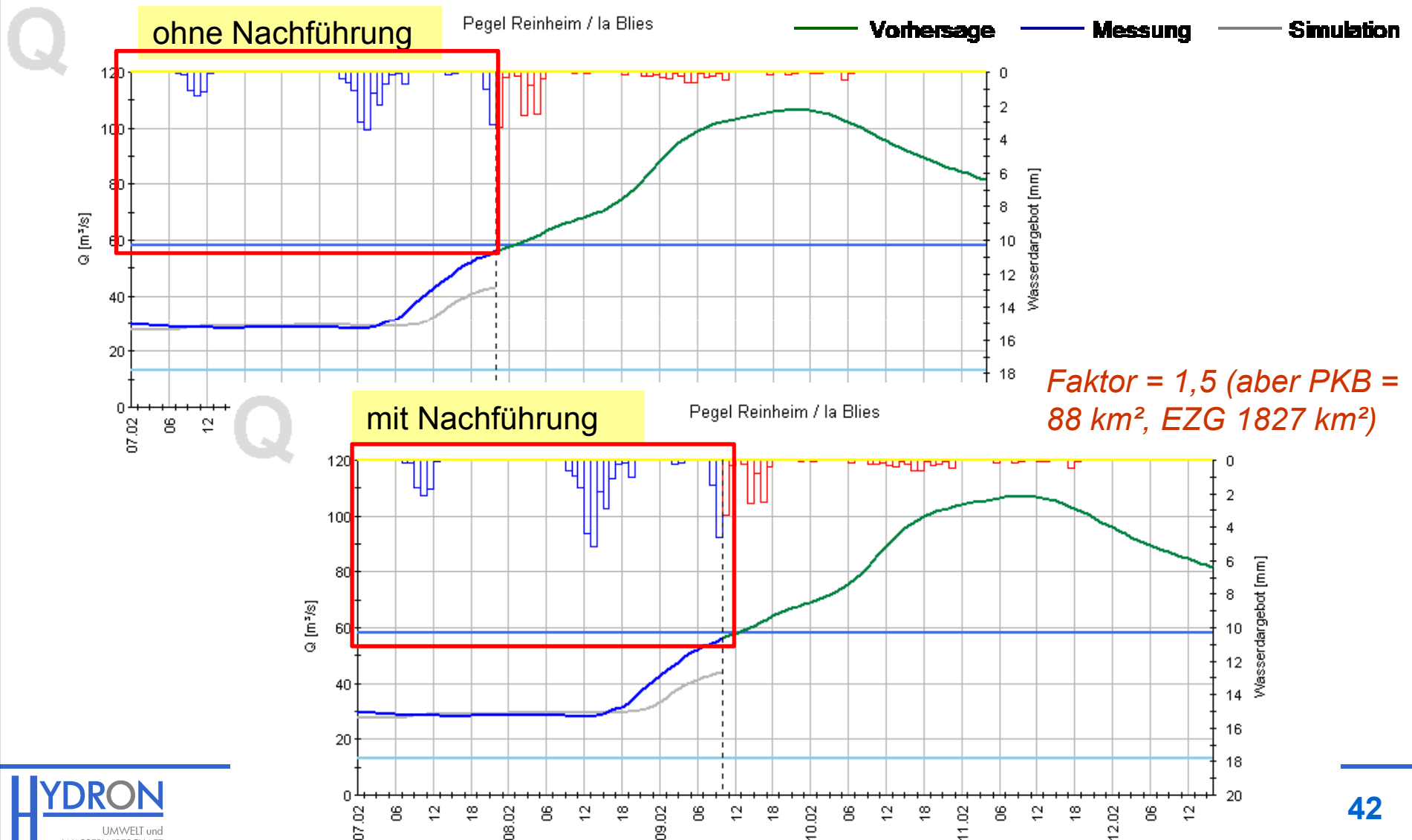
Niedrig- und Mittelwasser:

- Wenn Abflussschwankung plausibel: Ermittlung des Anteils des minimalen Basisabflusses am Gesamtabfluss
 - Basisabflussanteil > 90%: Nachführung der Speicherfüllungen aller Gebietsspeicher GSB (V_B , V_I , V_D , V_O) in der Zustandsdatei (Faktor zwischen 0,5 und 2,0).
 - Basisabflussanteil < 90%: Nachführung der Speicherfüllungen der Gebietsspeicher GS ohne Basisabfluss (V_I , V_D und V_O) in der Zustandsdatei (Faktor zwischen 0,2 und 5,0).



Prinzip der Modellnachführung

- Niedrig- und Mittelwasser – Nachführung Wasserdargebot

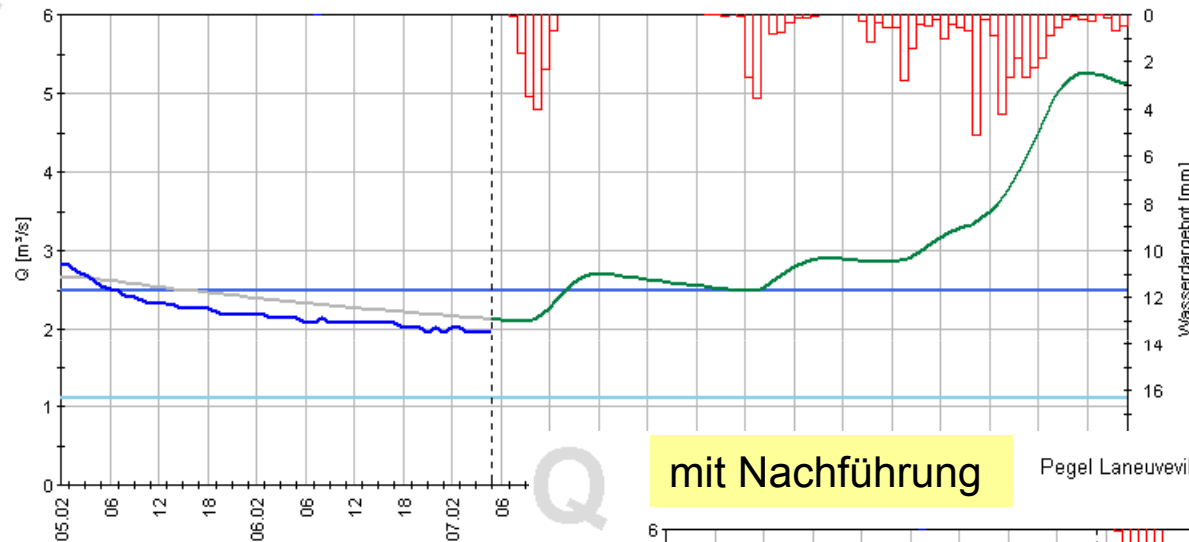


Prinzip der Modellnachführung

- Niedrig- und Mittelwasser – Nachführung Gebietsspeicher

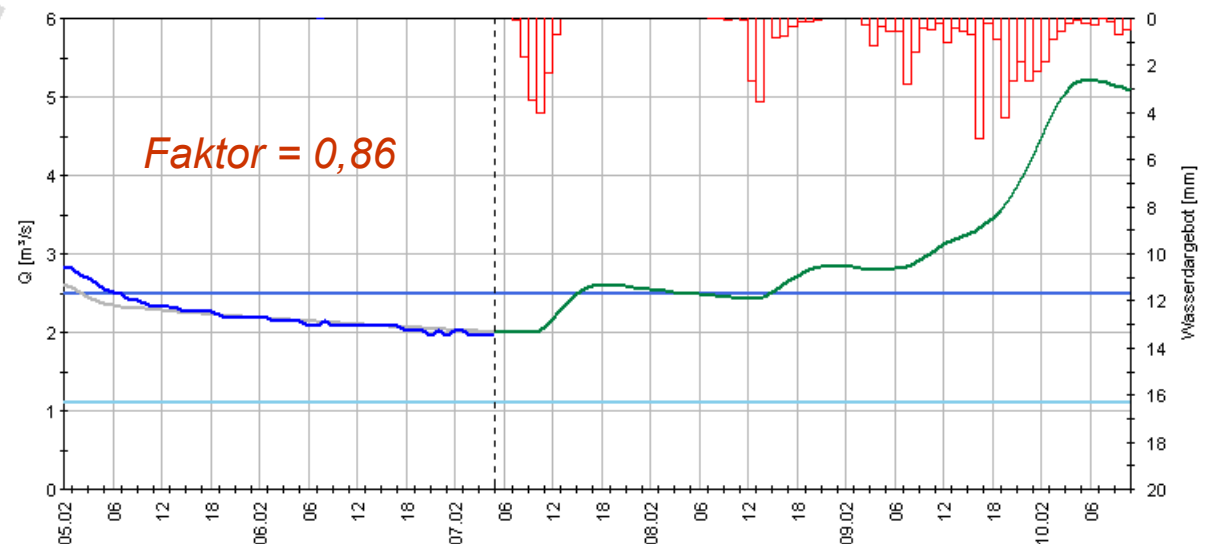
ohne Nachführung

Pegel Laneuveville / la Sarre blanche



mit Nachführung

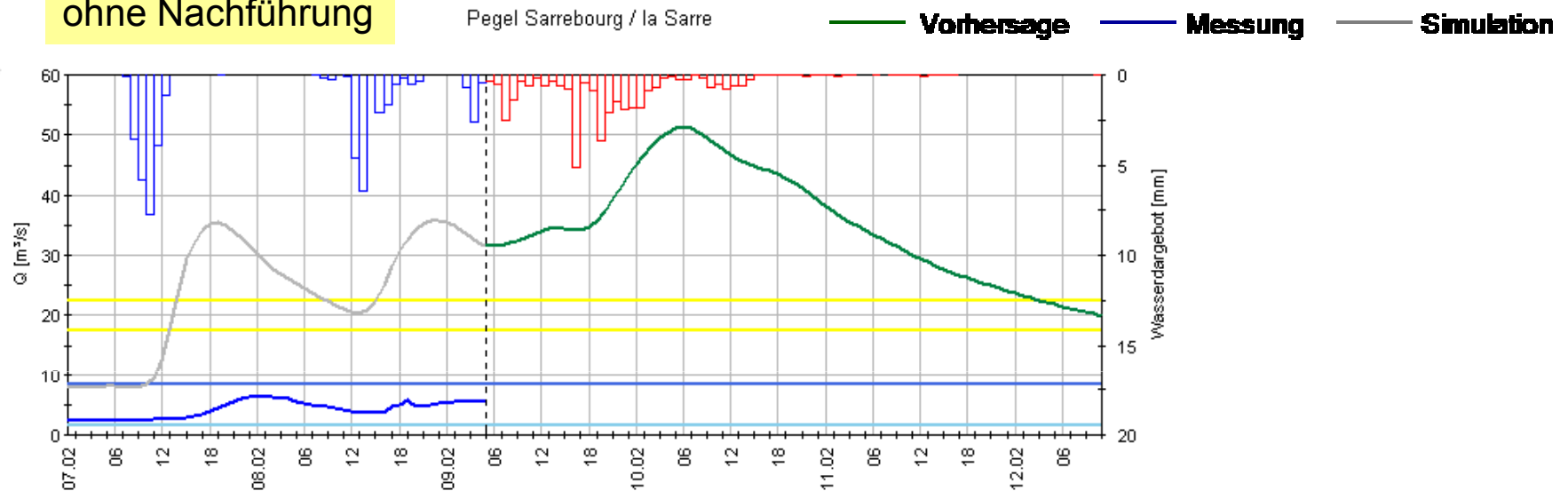
Pegel Laneuveville / la Sarre blanche



Prinzip der Modellnachführung

- Niedrig- und Mittelwasser – maximale Nachführung Gebietsspeicher

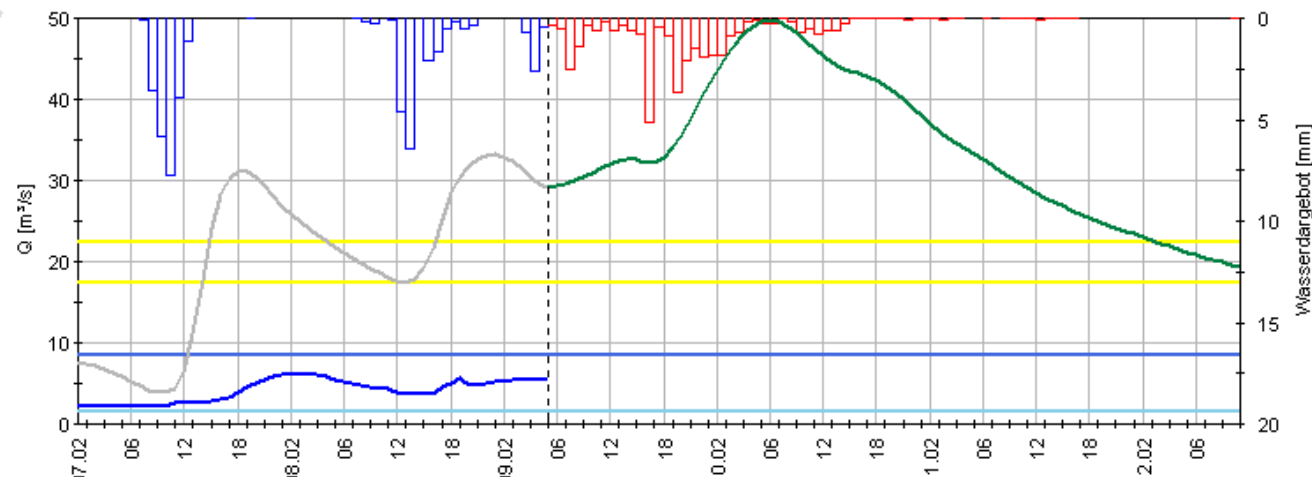
ohne Nachführung



mit Nachführung

Pegel Sarrebourg / la Sarre

Faktor = 0,20



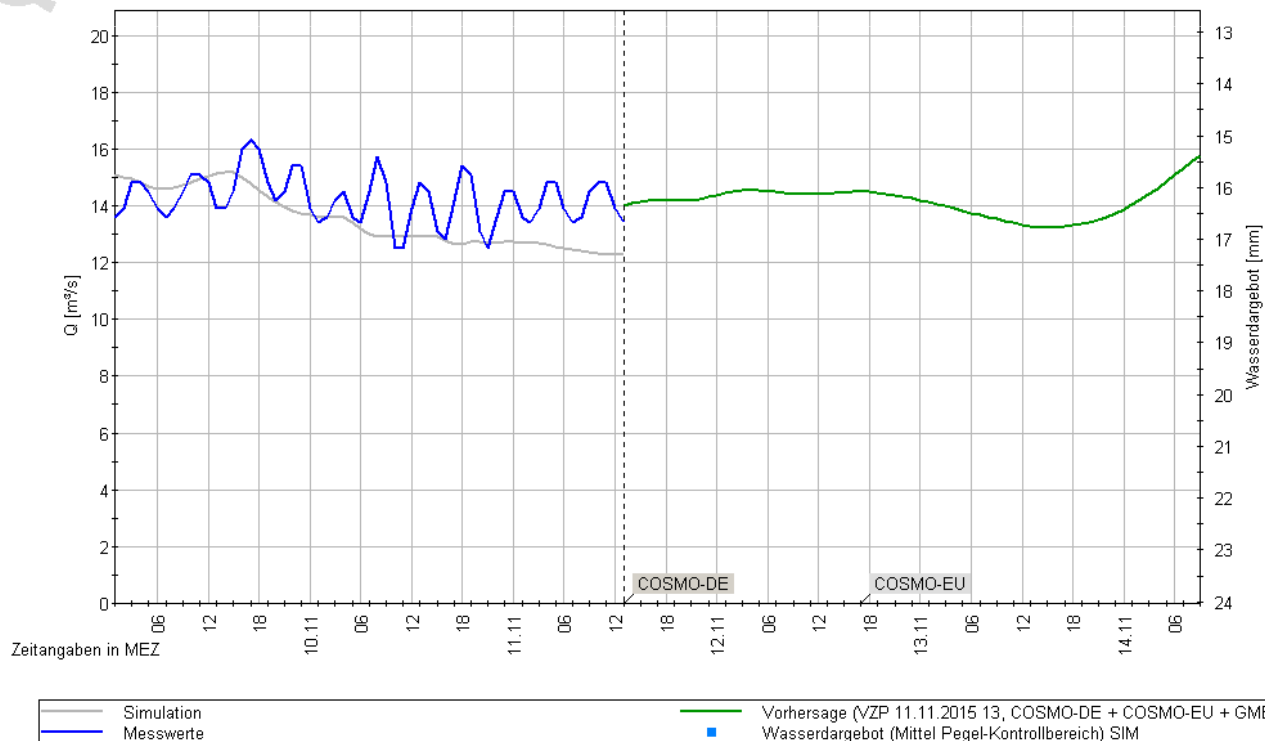
Unterbindung WHM-NQ/MQ Nachführung

Ziele der Überprüfung der Plausibilität der Abflussschwankung:

- Bei kurzfristigen „unnatürlichen“ Schwankungen des gem. Abflusses
→ Unterbindung der Nachführung
- Aber während realer (kleiner) Ereignisse im NQ- und MQ-Bereich
→ Nachführung

Q

Pegel Rosport / Sauer



Unterbindung WHM-NQ/MQ Nachführung

Aktuelle Vorgehensweise:

1. Unterbindung nur bei Nachführung der Gebietsspeicher.
2. Kriterien für Unterbindung der Nachführung der Gebietsspeicher bei NQ/MQ:
 - Bei realem Ereignis liegt „längerfristiger“ Trend vor („Auslaufen“ der Gebietsspeicher)
 - Lokale Sprünge sind durch Differenzen zwischen zwei aufeinander folgende Abflusswerte gekennzeichnet

Unterbindung WHM-NQ/MQ Nachführung

Aktuelle Vorgehensweise:

Kriterien für Unterbindung der Gebietsspeicher-Nachführung bei NQ/MQ:

Max. trendbereinigter Sprung: $MAX \left| \frac{Dif_i - Trend_i}{Q_{mit_i}} \right| \cdot 100 > SW_1$

ODER

Max. lokaler Sprung: $MAX \left| \frac{Dif_i}{Q_{min_i}} \right| \cdot 100 > SW_2$

➔ Unterbindung der Nachführung

Mit:

SW_1 :	[%]	Schwellenwert für das erste Kriterium (Vorschlag: 35 %)
SW_2 :	[%]	Schwellenwert für das zweite Kriterium (Vorschlag: 80 %)
Dif_i :	[m ³ /s]	$Q_i - Q_{i-1}$ für alle i Abflusswerte im NMQ-Auswertezeitraum
Q_{min_i} :	[m ³ /s]	Minimum der 2 zur Differenzbildung verwendeten Abflüsse Q_i und Q_{i-1}
$Trend_i$:	[m ³ /s/h]	Lokaler Trend des Abflusses im Zeitbereich (Kendall-Theil-Geraden aus je drei Werten vor und nach dem aktuellen Abflusswert)
Q_{mit_i} :	[m ³ /s]	Mittlerer Abfluss in dem Zeitbereich, über den der Trend berechnet wird

Vorgaben für die Modellnachführung

Durch den Benutzer veränderbare Angaben zur Modellnachführung im <tape10>:

HQ-AUSWERTEZEIT (H) : Auswertungszeitraum für Hochwasser

NQM-AUSWERTEZEIT (H) : Auswertungszeitraum für Niedrig- und Mittelwasser

MINDESTABW. NACH [%] : Mindestabweichung der simulierten von der gemessenen Ganglinie im Auswertezeitraum

WHM-NQ/MQ-NACH SW % : Maximale trendbereinigte sowie nicht trendbereinigte relative Differenz des gemessenen Abflusses im Auswertezeitraum als Hinweis für unplausible Abflussschwankungen

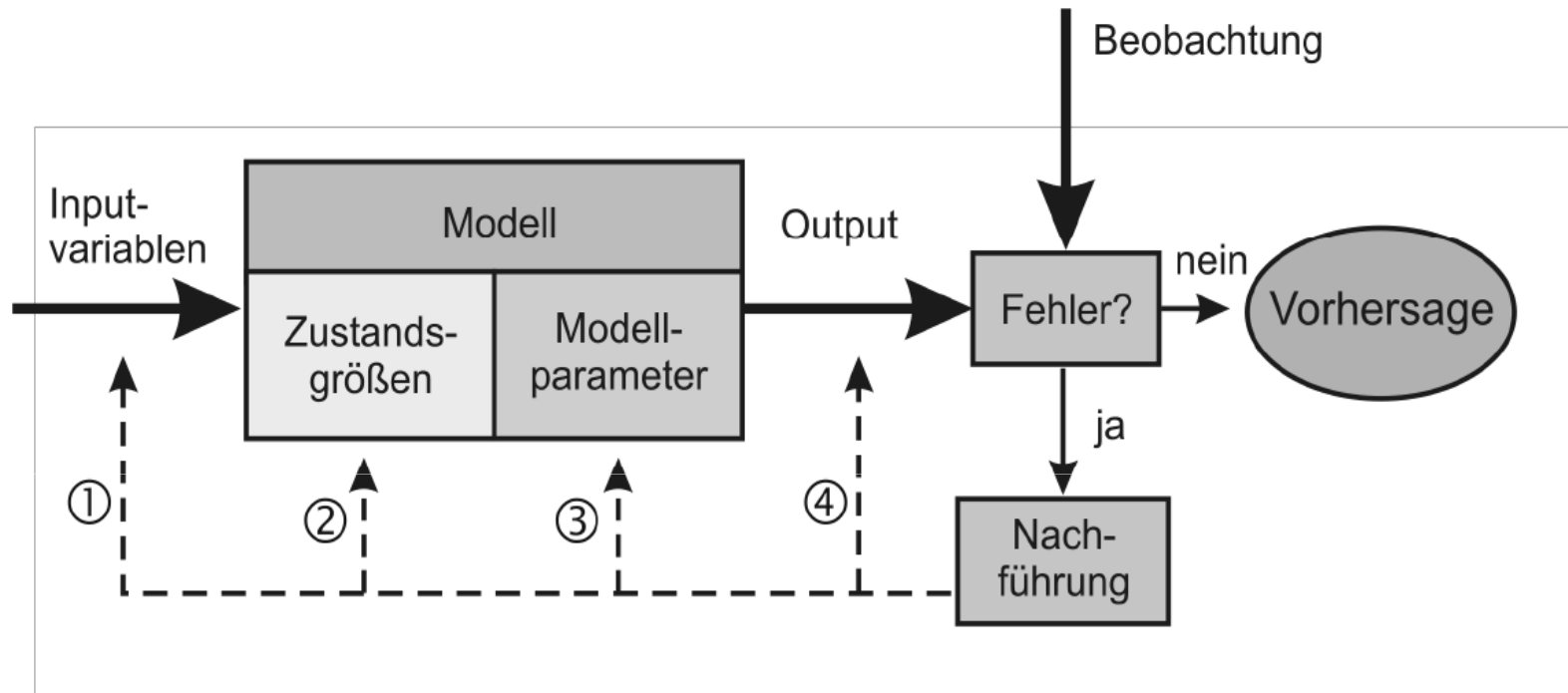
MINDESTANT. GW [%] : Mindestanteil des Basisabflusses am simulierten Gesamtabfluss im Auswertezeitraum als Kriterium für eine Nachführung des Gebietsspeichers für Basisabfluss

ZUL. FAKTOR WD-NACH : Minimaler und maximaler Faktor für die Nachführung des Wasserdargebots bzw. minimaler und maximaler Faktor für den Testlauf zur Beurteilung, ob eine Nachführung des Wasserdargebots zielführend ist

ZUL. FAKTOR GS-NACH : Minimaler und maximaler Faktor für die Nachführung der Gebietspeicher B/I/D(/O) sowie minimaler und maximaler Faktor für die Nachführung der Gebietspeicher I/D(/O)

HQ-AUSWERTEZEIT (H)	6				
NQM-AUSWERTEZEIT (H)	48				
MINDESTABW. NACH [%]	5				
WHM-NQ/MQ-NACH SW %	35	80			
MINDESTANT. GW [%]	90				
ZUL. FAKTOR WD-NACH	0.001	0.5	2.0	10.0	
ZUL. FAKTOR GS-NACH	0.2	0.5	2.0	5.0	

Zusammenfassung: Grundlagen der Modellnachführung



Komma et al. 2009

- 1 : Korrektur der Eingangsdaten (LARSIM: Wasserdargebot)**
- 2 : Korrektur des Systemzustands (LARSIM: Gebietsspeicher)**
- 3 : Korrektur der Parameter**
- 4 : Korrektur der Ergebnisse (LARSIM: ARIMA-Korrektur)**

Literatur

Komma J., Drabek U. & Blöschl G. (2009): Aktuelle Methoden der Hochwasservorhersagen. - Wiener Mitteilungen Band 216: Hochwässer: Bemessung, Risikoanalyse und Vorhersage, 181-212