

# Abflussvorhersage mittels „KI“: Regionalmodell für Luxemburg

Dirk Aigner, Eduardo Acuña Espinoza (HYDRON GmbH)  
Christophe Gilbertz (AGE, Luxemburg)

Internationaler LARSIM-Anwenderworkshop  
13./14. Mai 2025

## Inhalt:

- 1) Modellerstellung
- 2) Ergebnisse
- 3) Fazit & Ausblick

# Modellerstellung: Modellarchitektur

- Multi-Frequency-Long-Short-Term-Memory (MF-LSTM)  
→ siehe Vortrag von Eduardo Acuna Espinoza

Hydrol. Earth Syst. Sci., 29, 1749–1758, 2025  
https://doi.org/10.5194/hess-29-1749-2025  
© Author(s) 2025. This work is distributed under  
the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Hydrology and  
Earth System  
Sciences

Open Access  
EGU

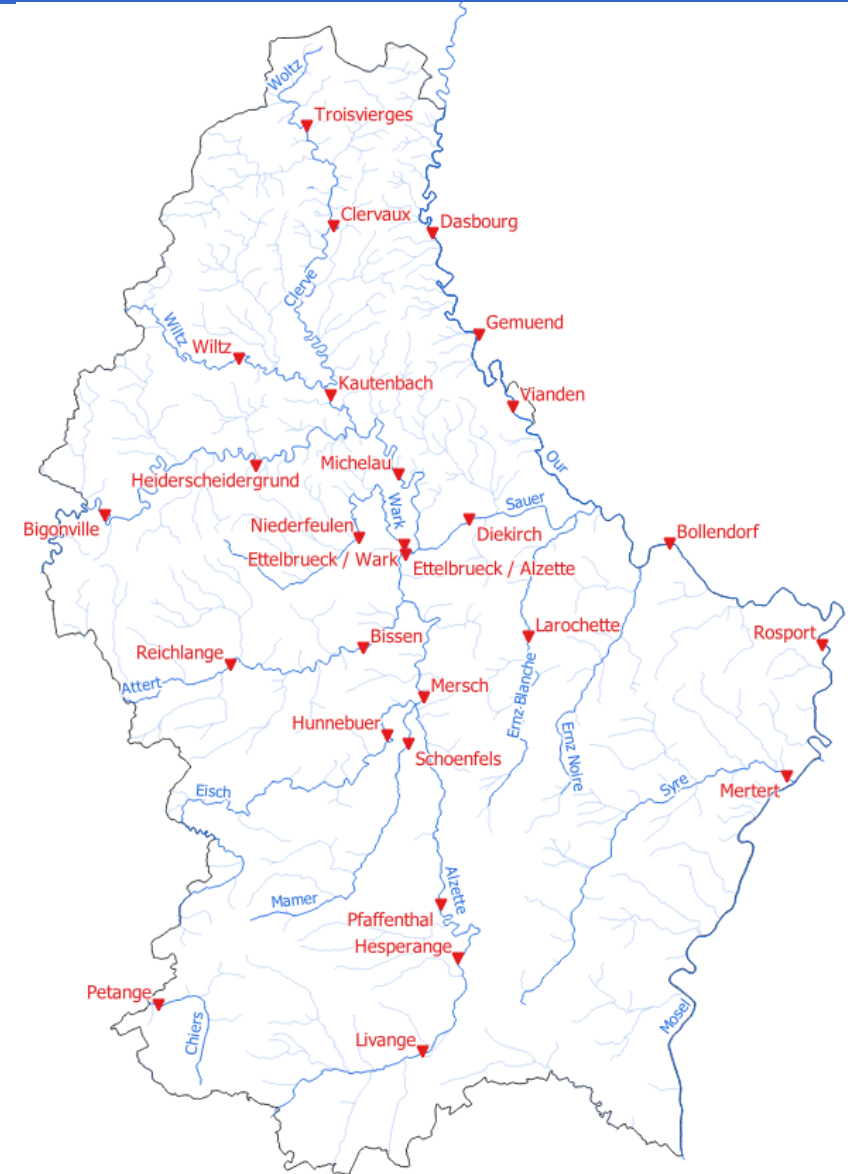
**Technical note: An approach for handling multiple temporal frequencies with different input dimensions using a single LSTM cell**

Eduardo Acuña Espinoza<sup>1</sup>, Frederik Kratzert<sup>2</sup>, Daniel Klotz<sup>2,3</sup>, Martin Gauch<sup>4</sup>, Manuel Álvarez Chaves<sup>5</sup>, Ralf Loritz<sup>1</sup>, and Uwe Ehret<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Water and Environment, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany  
<sup>2</sup>Google Research, Vienna, Austria  
<sup>3</sup>Machine Learning in Earth Science, Interdisciplinary Transformation University Austria, Linz, Austria  
<sup>4</sup>Google Research, Zurich, Switzerland  
<sup>5</sup>Stuttgart Center for Simulation Science, Statistical Model-Data Integration, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany

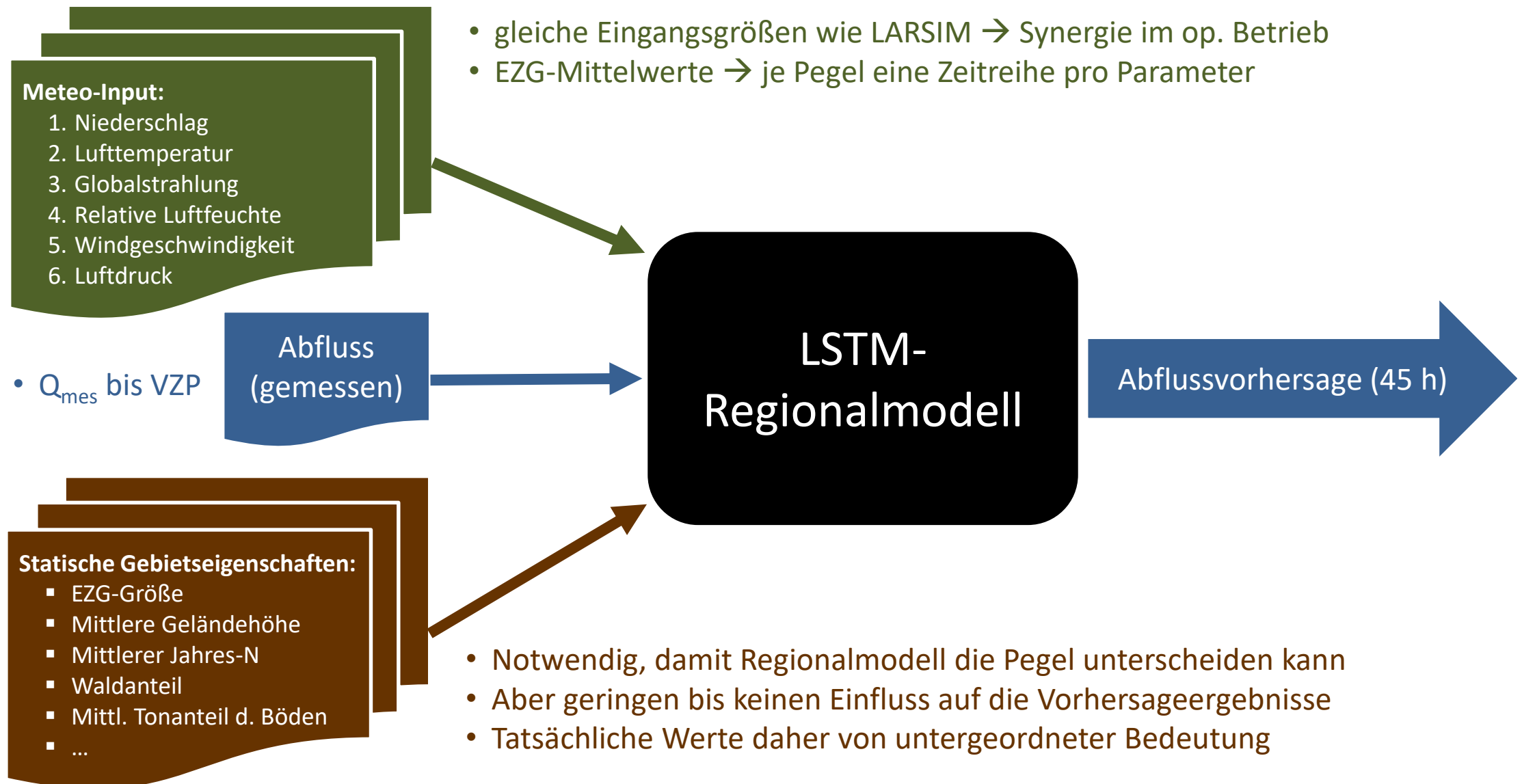
Correspondence: Eduardo Acuña Espinoza (eduardo.espinoza@kit.edu)

Received: 28 October 2024 – Discussion started: 12 December 2024  
Revised: 3 February 2025 – Accepted: 4 February 2025 – Published: 26 March 2025



- Pegelbezogenes Regionalmodell zur Abflussvorhersage  
→ ein Modell für 27 Pegel in Luxemburg

# Modellerstellung: Eingangsdaten



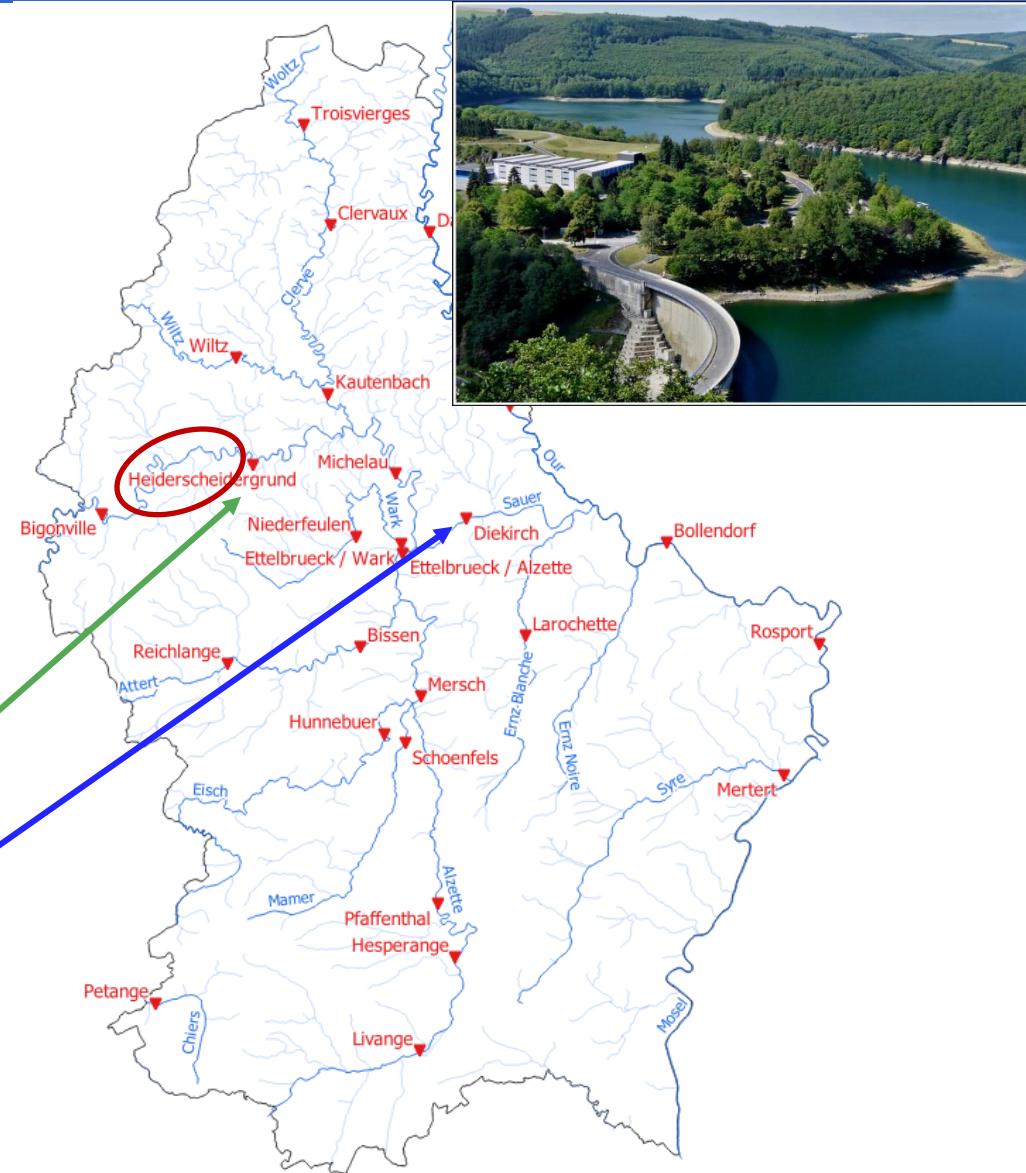
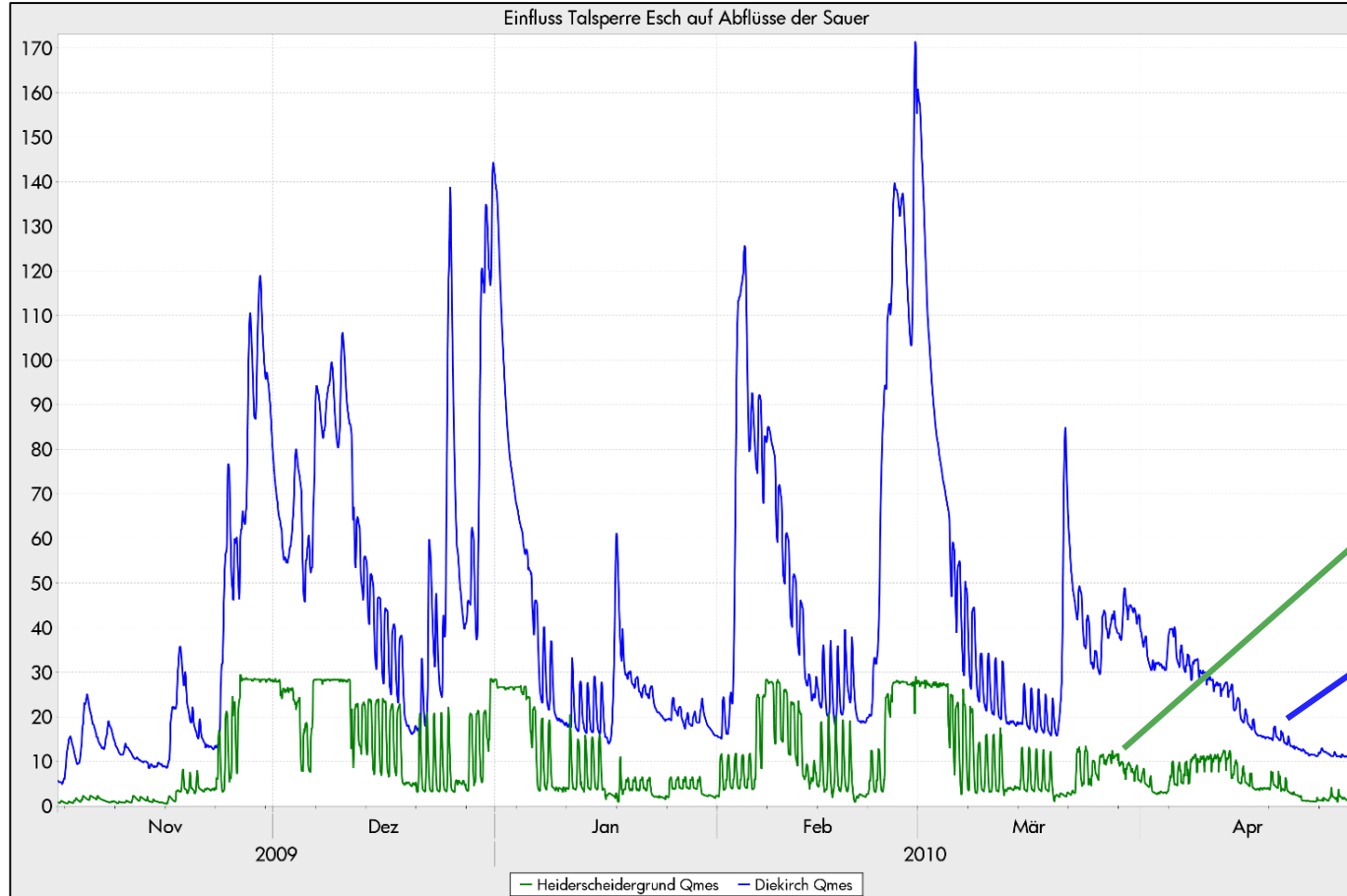
# Modellerstellung: Problematik Talsperre Esch

## Talsperre Esch im Oberlauf der Sauer



# Modellerstellung: Problematik Talsperre Esch

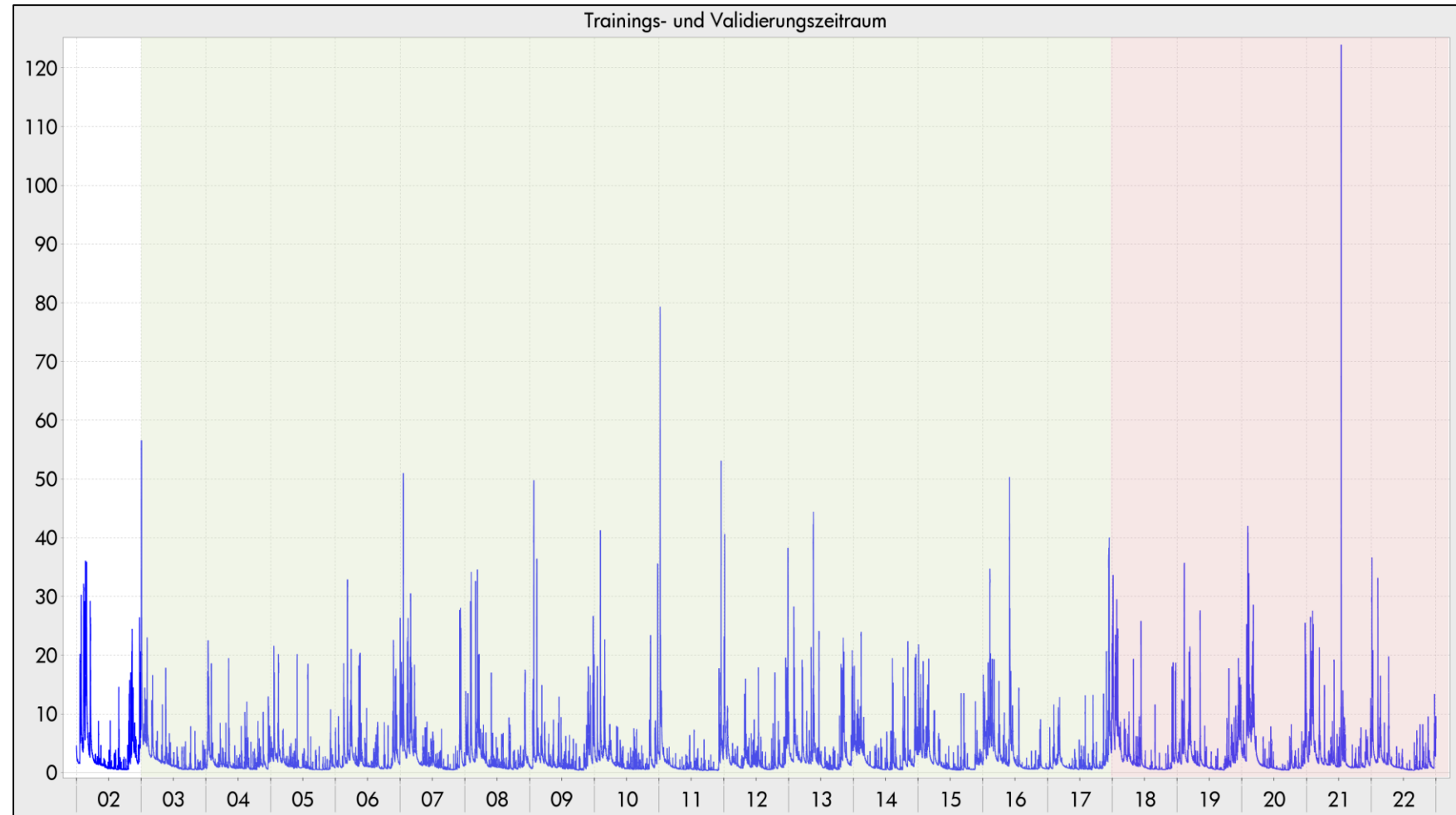
- Talsperre hat starken Einfluss auf Abfluss der Sauer



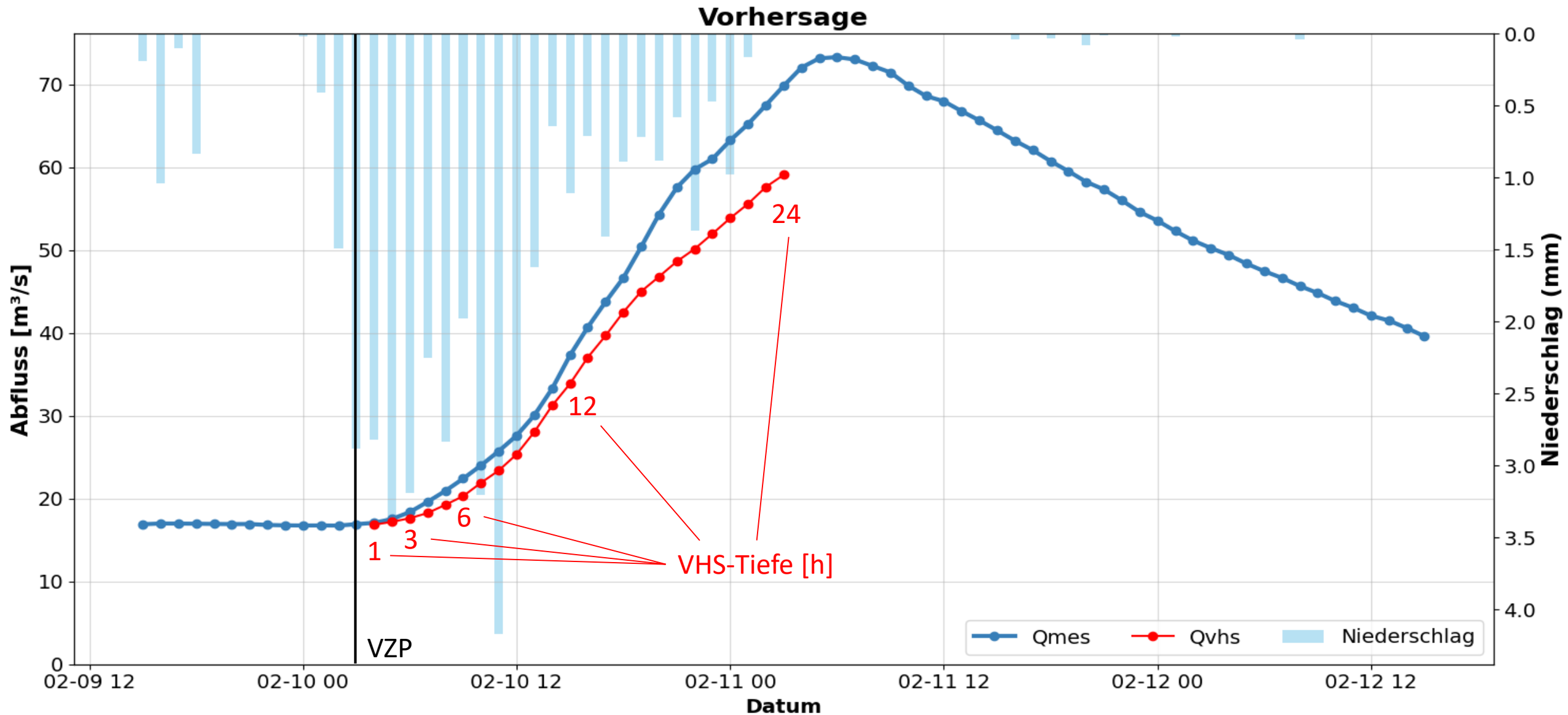


# Modellerstellung: Modeltraining

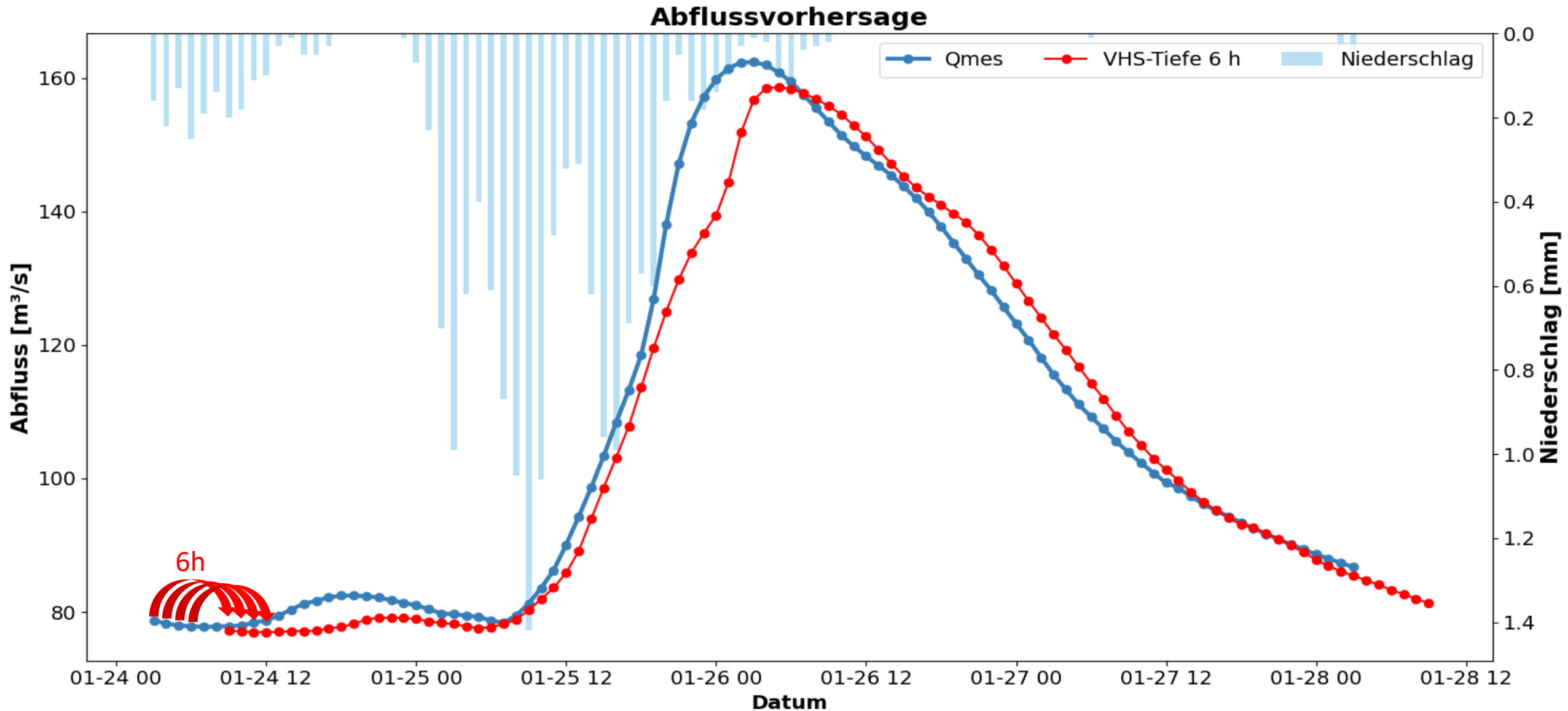
- Trainingszeitraum 15 Jahre (2003-2017)
- Validierungszeitraum 5 Jahre (2018-2022)  
→ inkl. Juli-HW 21
- „Pseudo-Vorhersagen“ mit gemessener Meteorologie, stündliche VHS für die jeweils nächsten 45 h
- Auswertung anhand zusammengesetzter Ganglinien für VHS-Tiefen



# Auswertung der Vorhersagen



# Auswertung zusammengesetzter VHS-Tiefen



# Ergebnisse: Überblick

ID	Pegel	Gewässer	NSE		Anmerkung
			ohne Qmes		
1	Bigonville	Sauer	0.93		
2	Bissen	Attart	0.87		
3	Bollendorf	Sauer	0.90		
4	Clervaux	Clerve	0.85		
5	Dasbourg	Our	0.89		
6	Diekirch	Sauer	0.93		
7	Ettelbrueck	Alzette	0.90		
8	Ettelbrueck	Wark			keine Daten im Validierungszeitraum
9	Gemuend	Our	0.85		
10	Heiderscheidergrund	Sauer	0.79		sehr stark beeinflusst von Talsperre Esch
11	Hesperange	Alzette	0.91		
12	Hunnebuer	Eisch	0.91		
13	Kautenbach	Wiltz	0.90		
14	Larochette	Ernz blanche	0.76		nur zwei Trainingsjahre
15	Livange	Alzette	0.89		
16	Mersch	Alzette	0.92		
17	Mertert	Syre	0.89		
18	Michelau	Sauer	0.90		stark beeinflusst von Talsperre Esch
19	Niederfeulen	Wark	0.88		
20	Petange	Chiers	0.84		keine Trainingsdaten
21	Pfaffenthal	Alzette	0.91		
22	Reichlange	Attart	0.88		
23	Rosport	Sauer	0.88		
24	Schoenfels	Mamer	0.86		
25	Troisvierges	Woltz	0.86		
26	Vianden	Our	0.84		
27	Wiltz	Wiltz	0.90		
Median (alle Pegel)			0.89		
Median (ohne Heiderscheidergrund & Michelau)			0.89		

## (A) Modell ohne $Q_{mes}$ als Input:

- NSE (Median) bereits sehr gut (0,89)
- Teilweise auch sehr gute Ergebnisse für Pegel, mit denen nicht trainiert wurde

# Ergebnisse: Überblick

ID	Pegel	Gewässer	NSE		Anmerkung
			ohne Qmes	mit Qmes*	
1	Bigonville	Sauer	0.93	0.99	
2	Bissen	Attart	0.87	0.95	
3	Bollendorf	Sauer	0.90	0.97	
4	Clervaux	Clerve	0.85	0.98	
5	Dasbourg	Our	0.89	0.95	
6	Diekirch	Sauer	0.93	0.97	
7	Ettelbrueck	Alzette	0.90	0.97	
8	Ettelbrueck	Wark			keine Daten im Validierungszeitraum
9	Gemuend	Our	0.85	0.93	
10	Heiderscheidergrund	Sauer	0.79	0.84	sehr stark beeinflusst von Talsperre Esch
11	Hesperange	Alzette	0.91	0.93	
12	Hunnebuer	Eisch	0.91	0.94	
13	Kautenbach	Wiltz	0.90	0.98	
14	Larochette	Ernz blanche	0.76	0.75	nur zwei Trainingsjahre
15	Livange	Alzette	0.89	0.92	
16	Mersch	Alzette	0.92	0.96	
17	Mertert	Syre	0.89	0.88	
18	Michelau	Sauer	0.90	0.95	stark beeinflusst von Talsperre Esch
19	Niederfeulen	Wark	0.88	0.95	
20	Petange	Chiers	0.84	0.58	keine Trainingsdaten
21	Pfaffenthal	Alzette	0.91	0.93	
22	Reichlange	Attart	0.88	0.94	
23	Rosport	Sauer	0.88	0.95	
24	Schoenfels	Mamer	0.86	0.88	
25	Troisvierges	Woltz	0.86	0.96	
26	Vianden	Our	0.84	0.92	
27	Wiltz	Wiltz	0.90	0.97	
Median (alle Pegel)			0.89	0.95	
Median (ohne Heiderscheidergrund & Michelau)			0.89	0.95	

## (A) Modell ohne $Q_{mes}$ als Input:

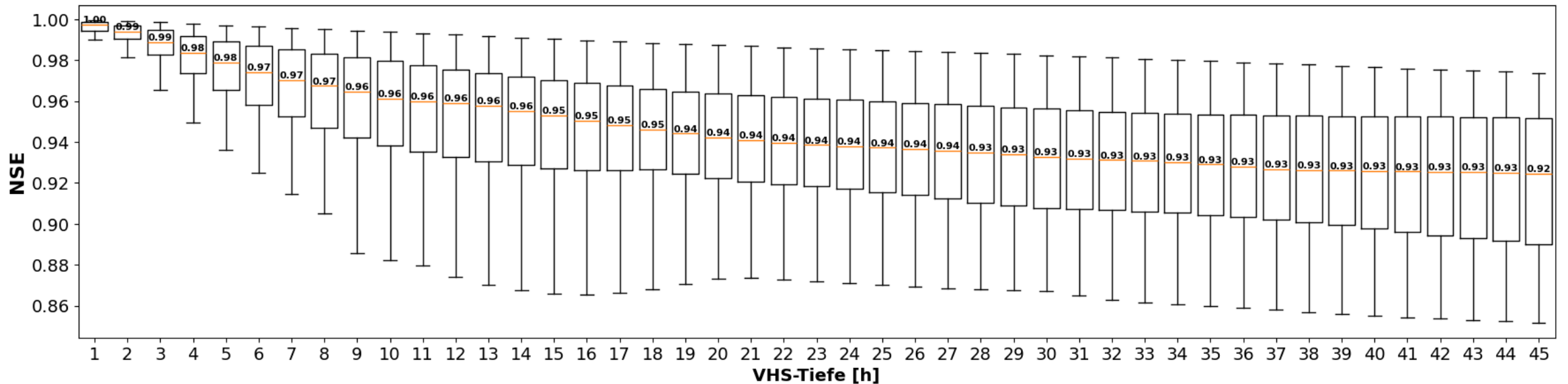
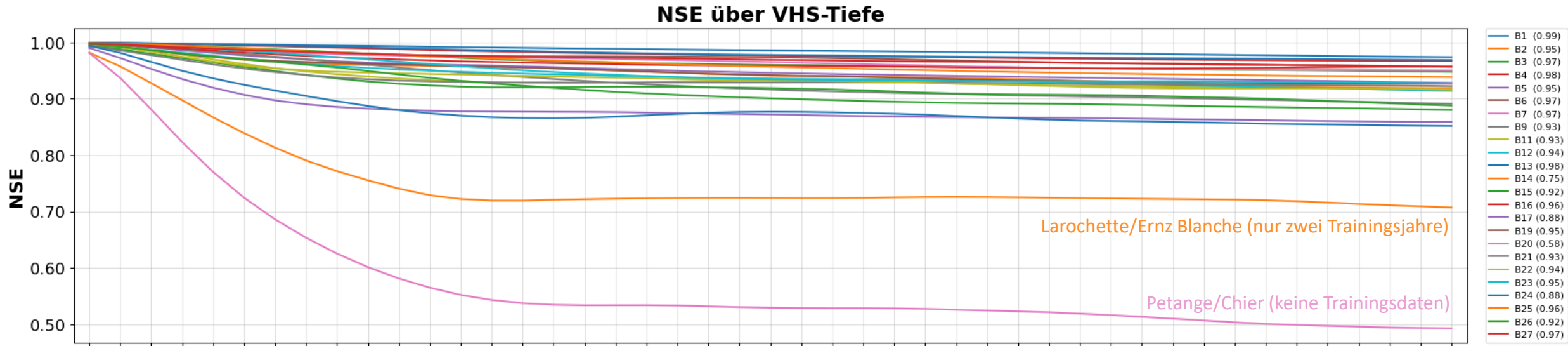
- NSE (Median) bereits sehr gut (0,89)
- Teilweise auch sehr gute Ergebnisse für Pegel, mit denen nicht trainiert wurde

## (B) Modell mit $Q_{mes}$ als Input:

- Modellgüte steigt erwartungsgemäß weiter an  
NSE Median = 0,95 (Mittel für VHS-Tiefen 1-45)
- Funktioniert *teilweise* weniger gut, wenn keine oder nur wenige Trainingsdaten vorliegen

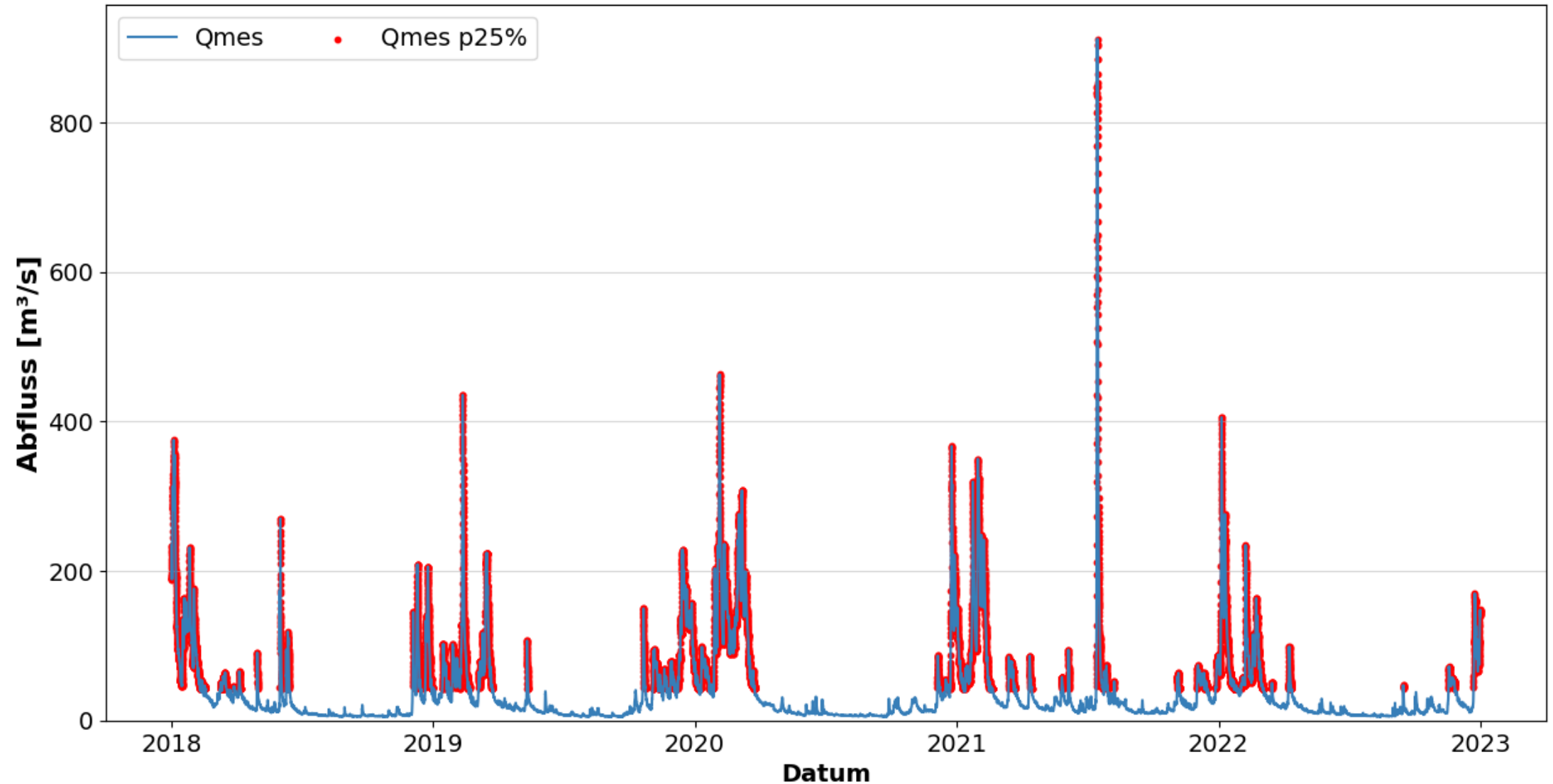
\* mittlere NSE über VHS-Tiefen 1-45

# Ergebnisse: NSE über VHS-Tiefe



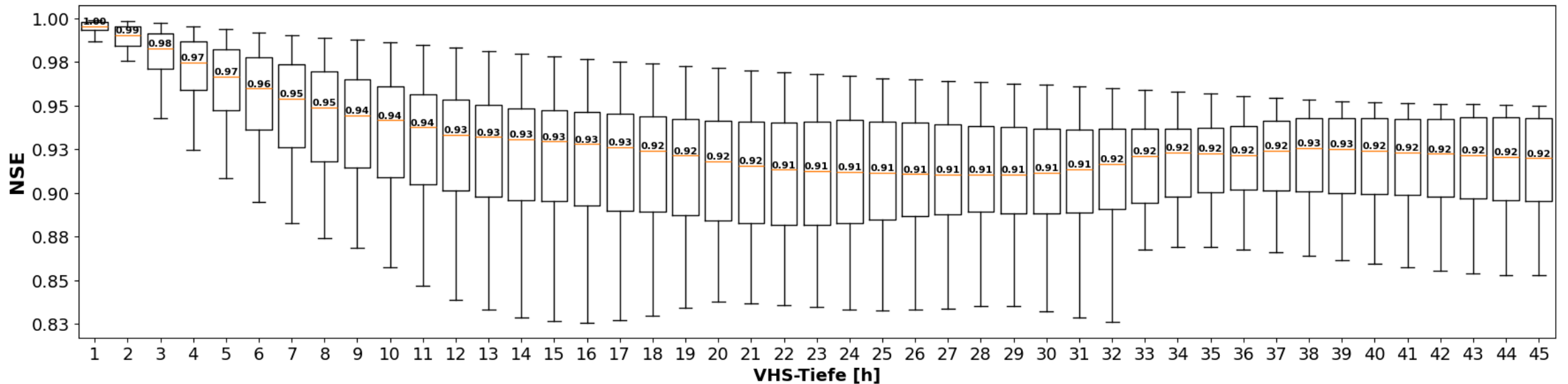
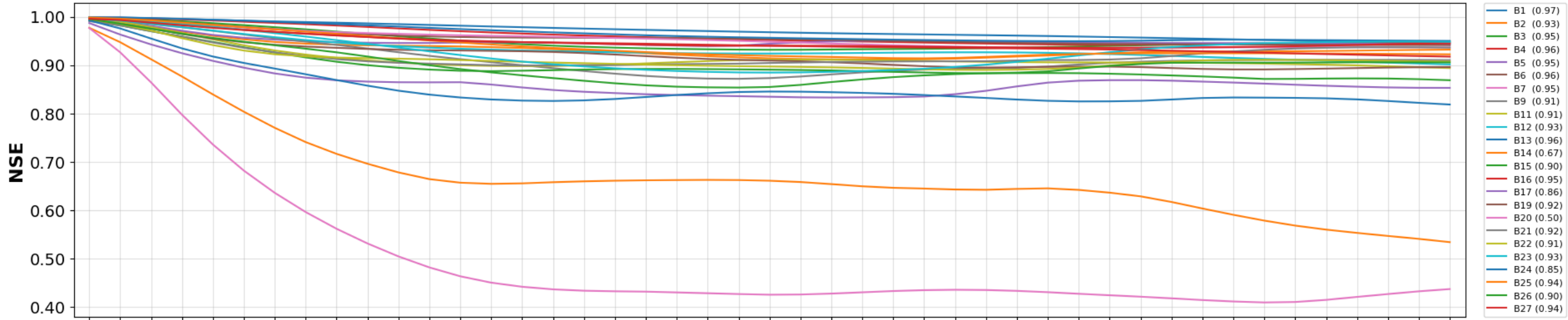
# Ergebnisse: Hohe Abflüsse

## Höchste 25% der Abflüsse



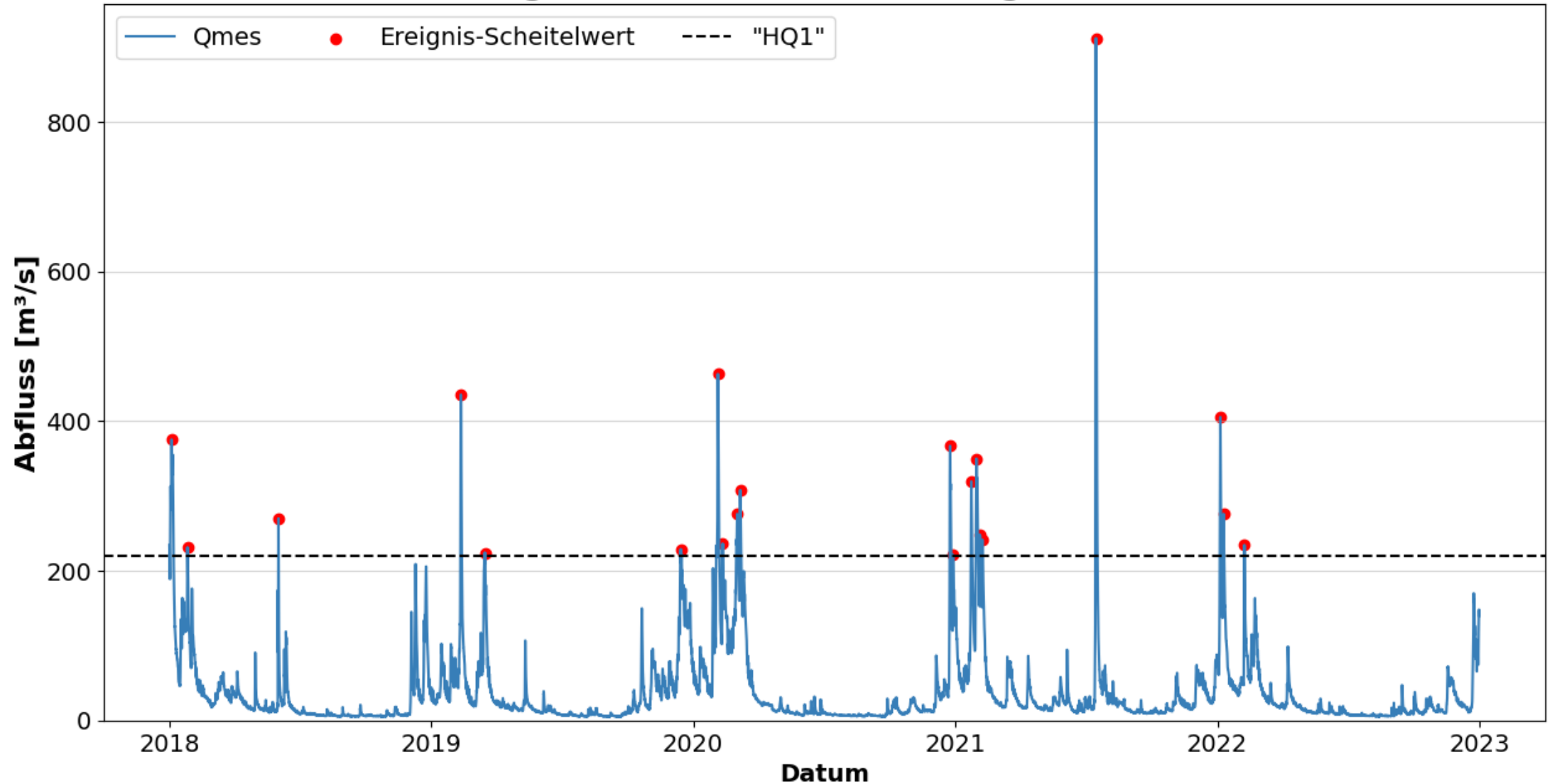
# Ergebnisse: Hohe Abflüsse

## NSE über VHS-Tiefe für höchste 25% der Abflüsse



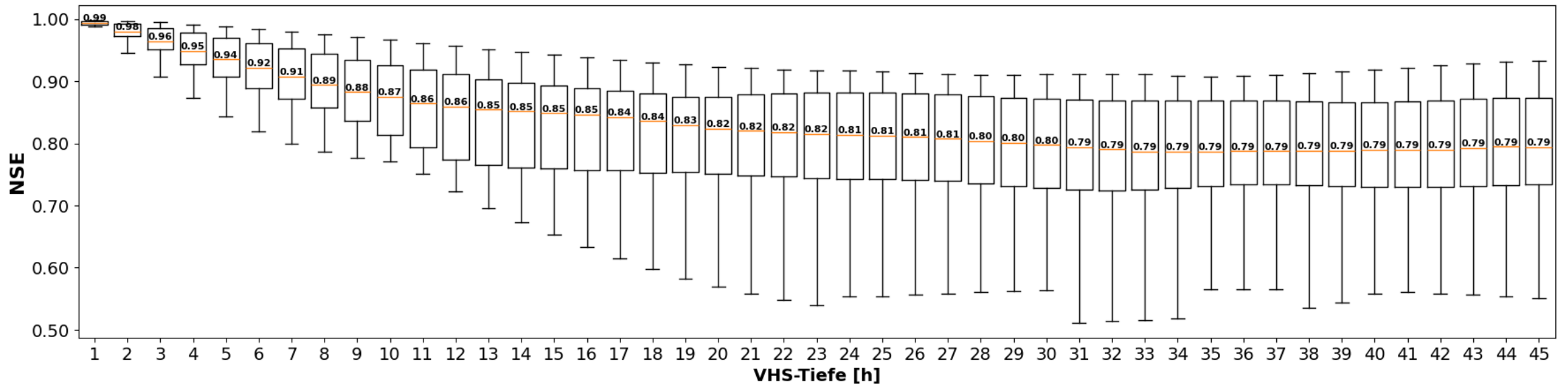
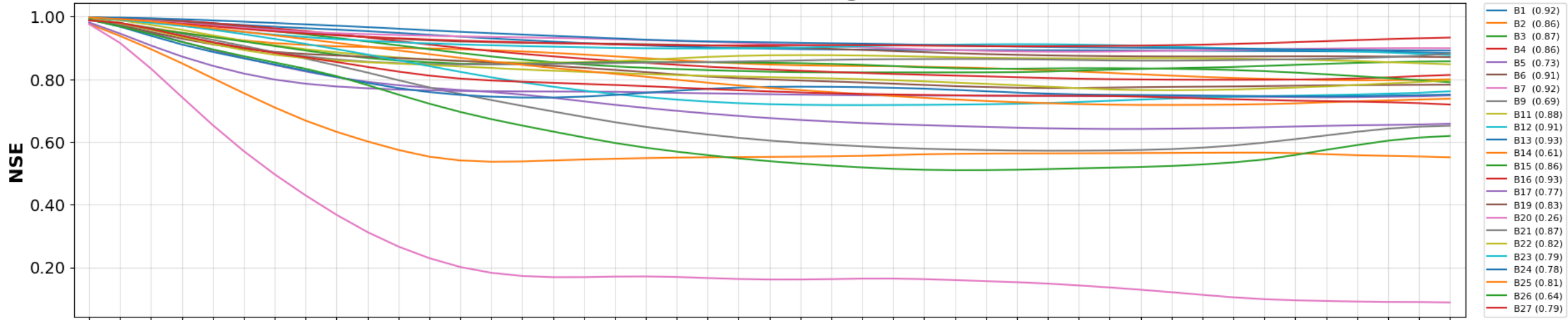
# Ergebnisse: Höchste Ereignisse

Ergebnisse >"HQ1" (Anzahl Ereignisse: 20)

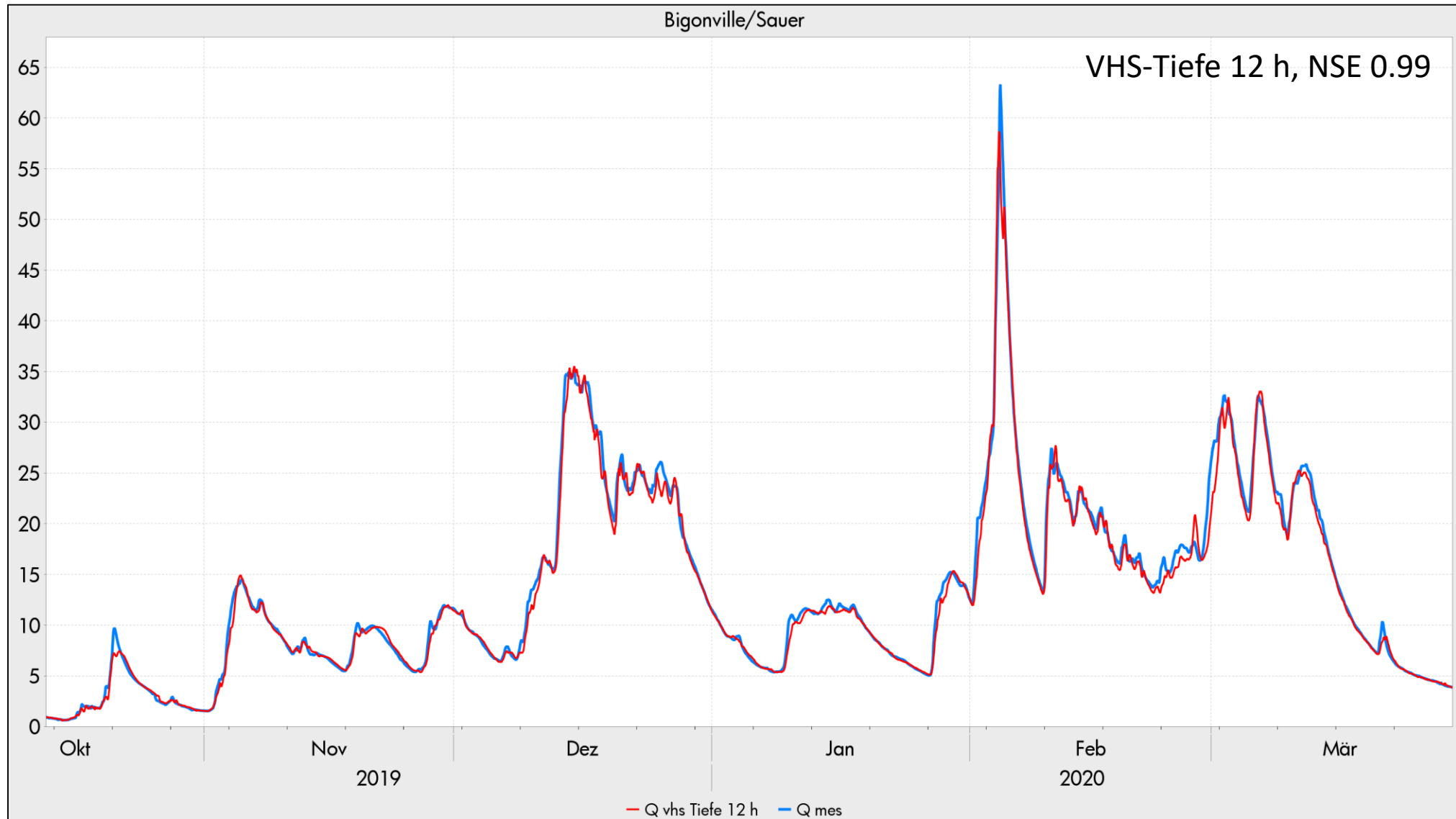


# Ergebnisse: Höchste Ereignisse

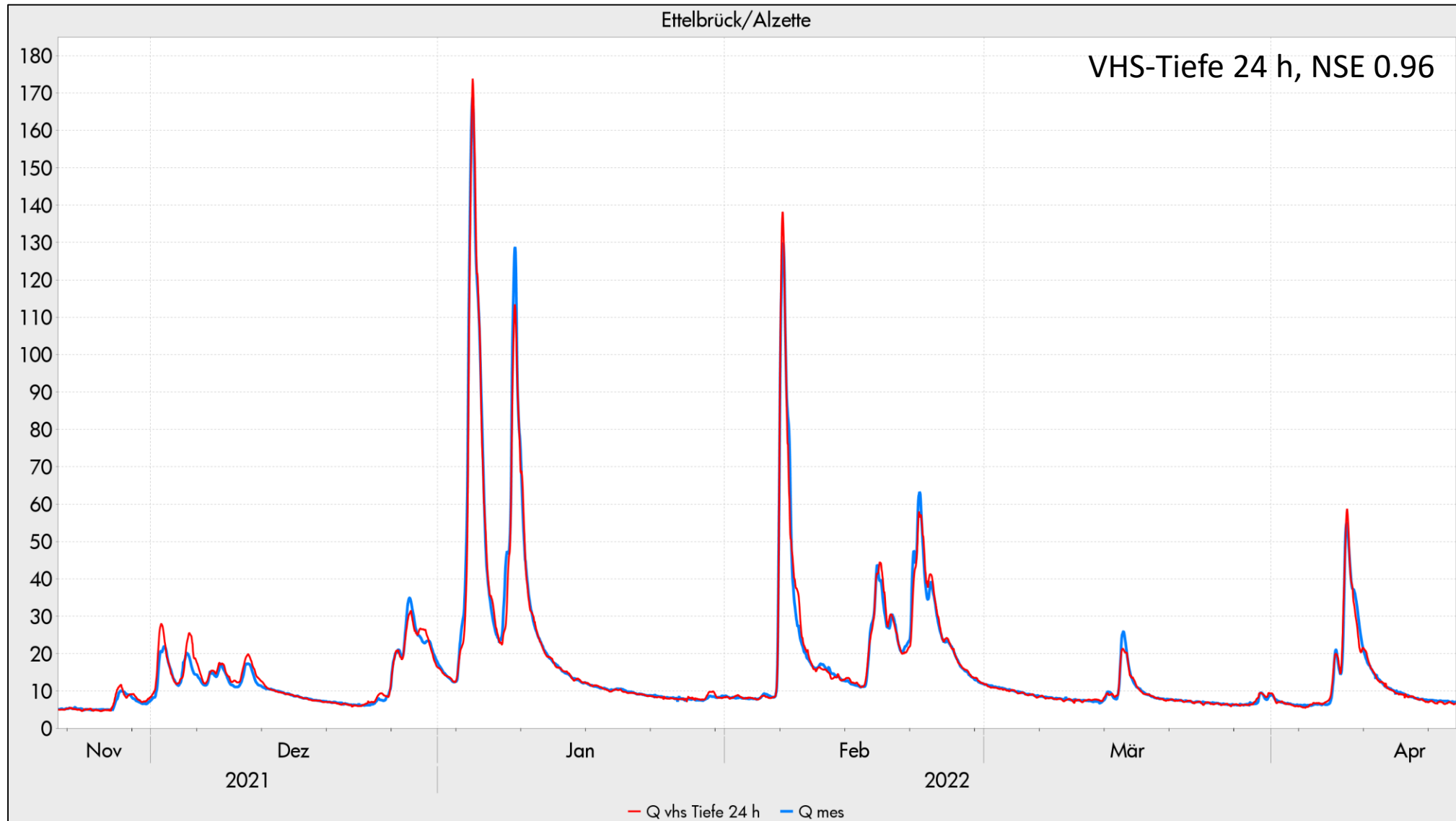
## NSE über VHS-Tiefe für Ereignisse >"HQ1"



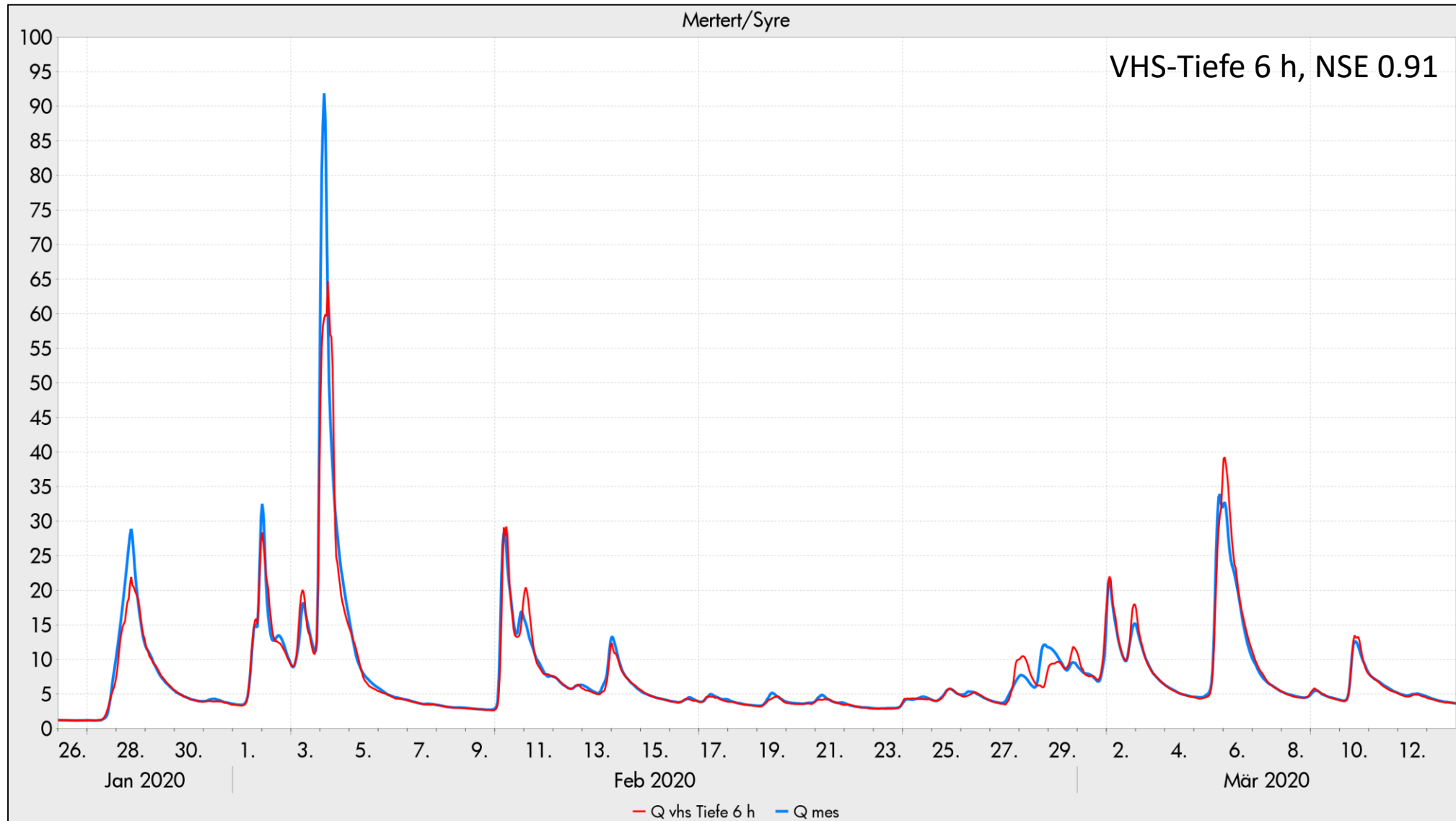
# Ergebnisse



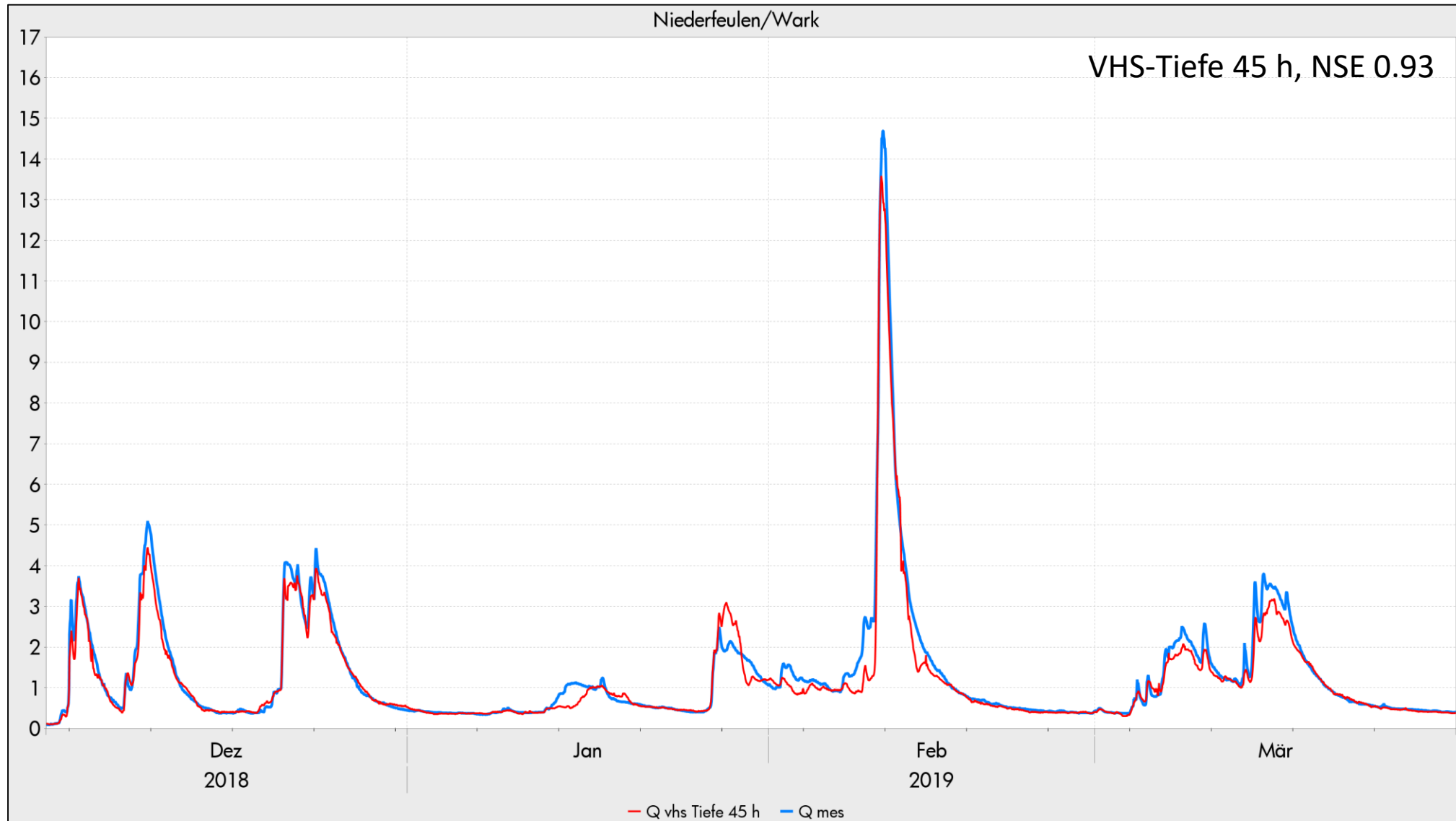
# Ergebnisse



# Ergebnisse

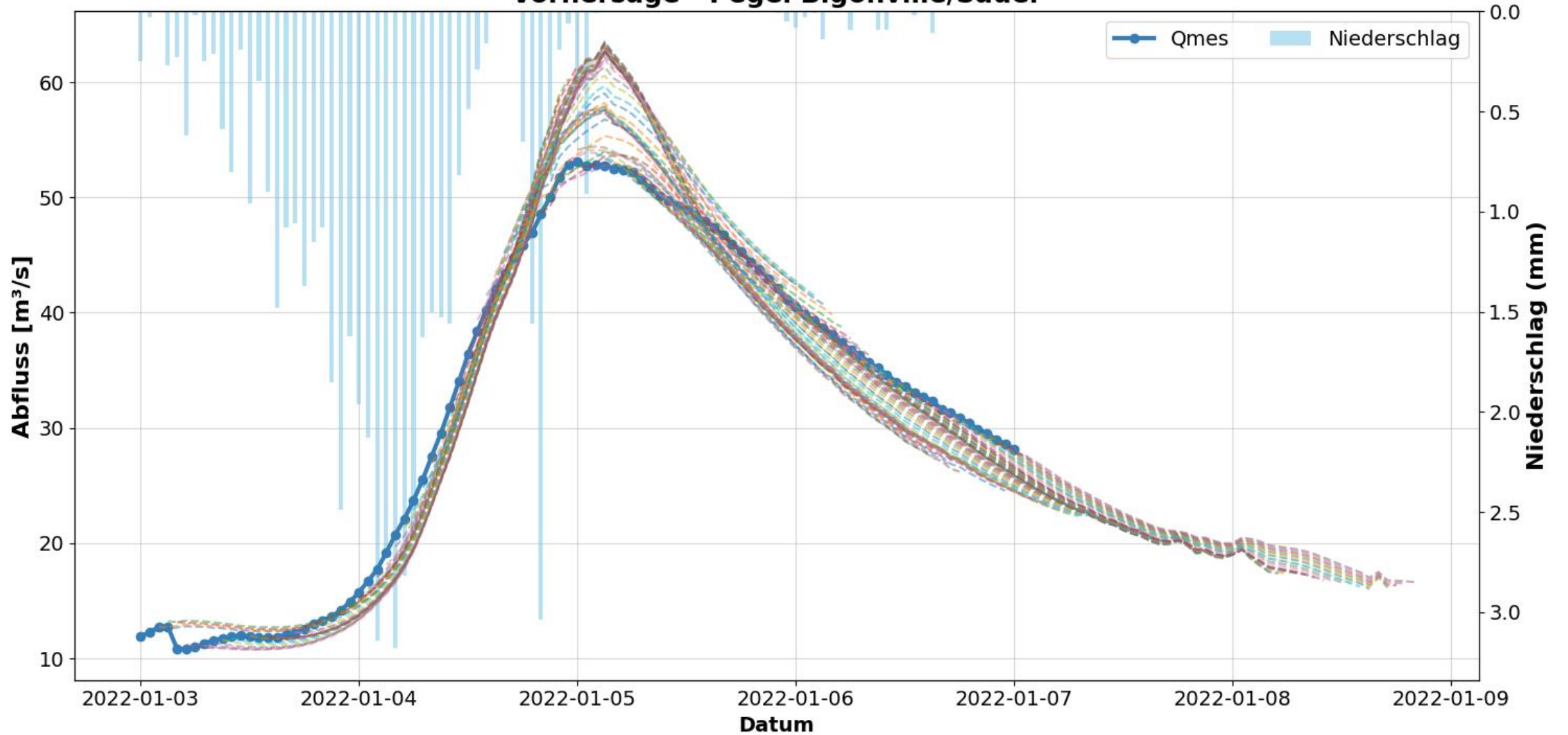


# Ergebnisse



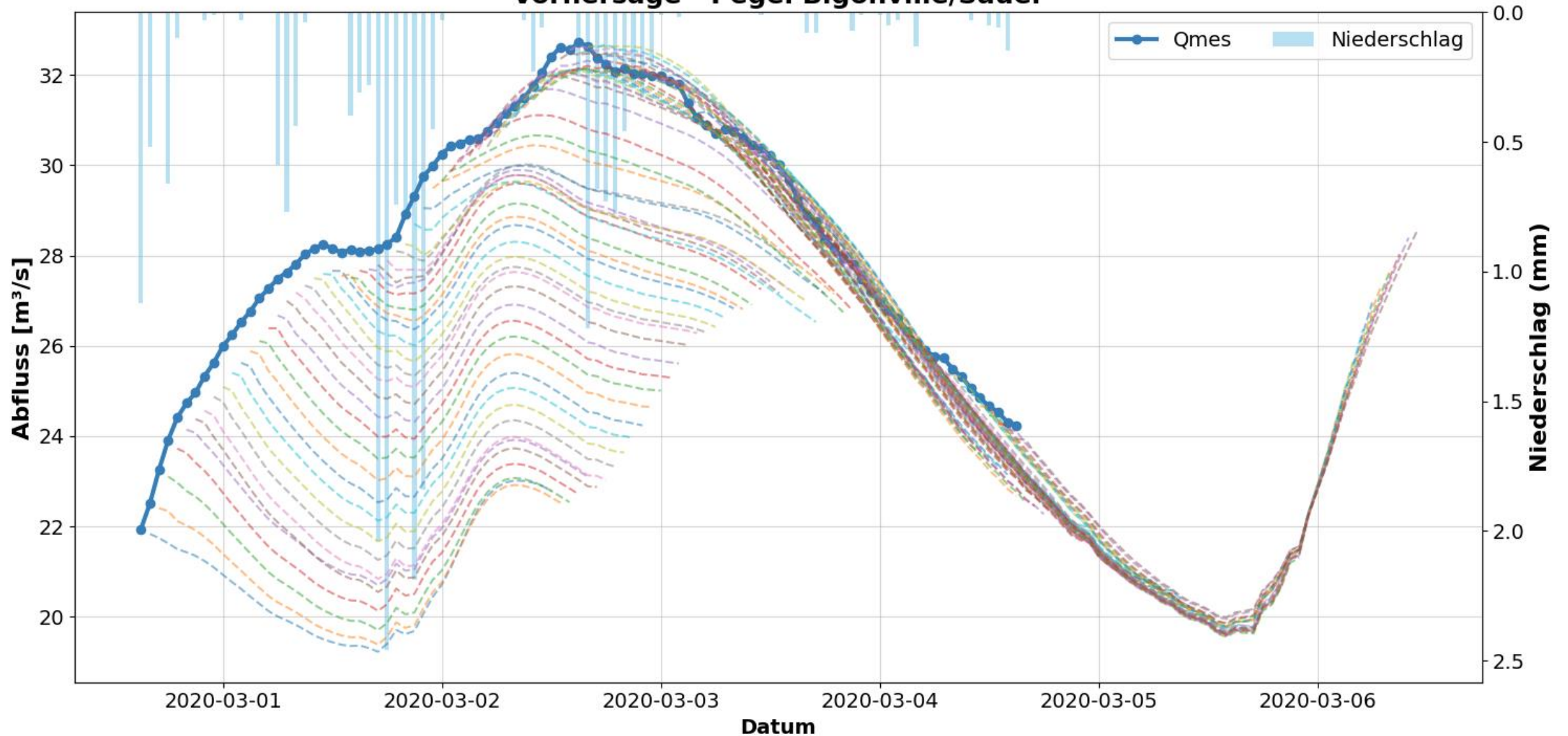
# Ergebnisse

## Vorhersage - Pegel Bigonville/Sauer

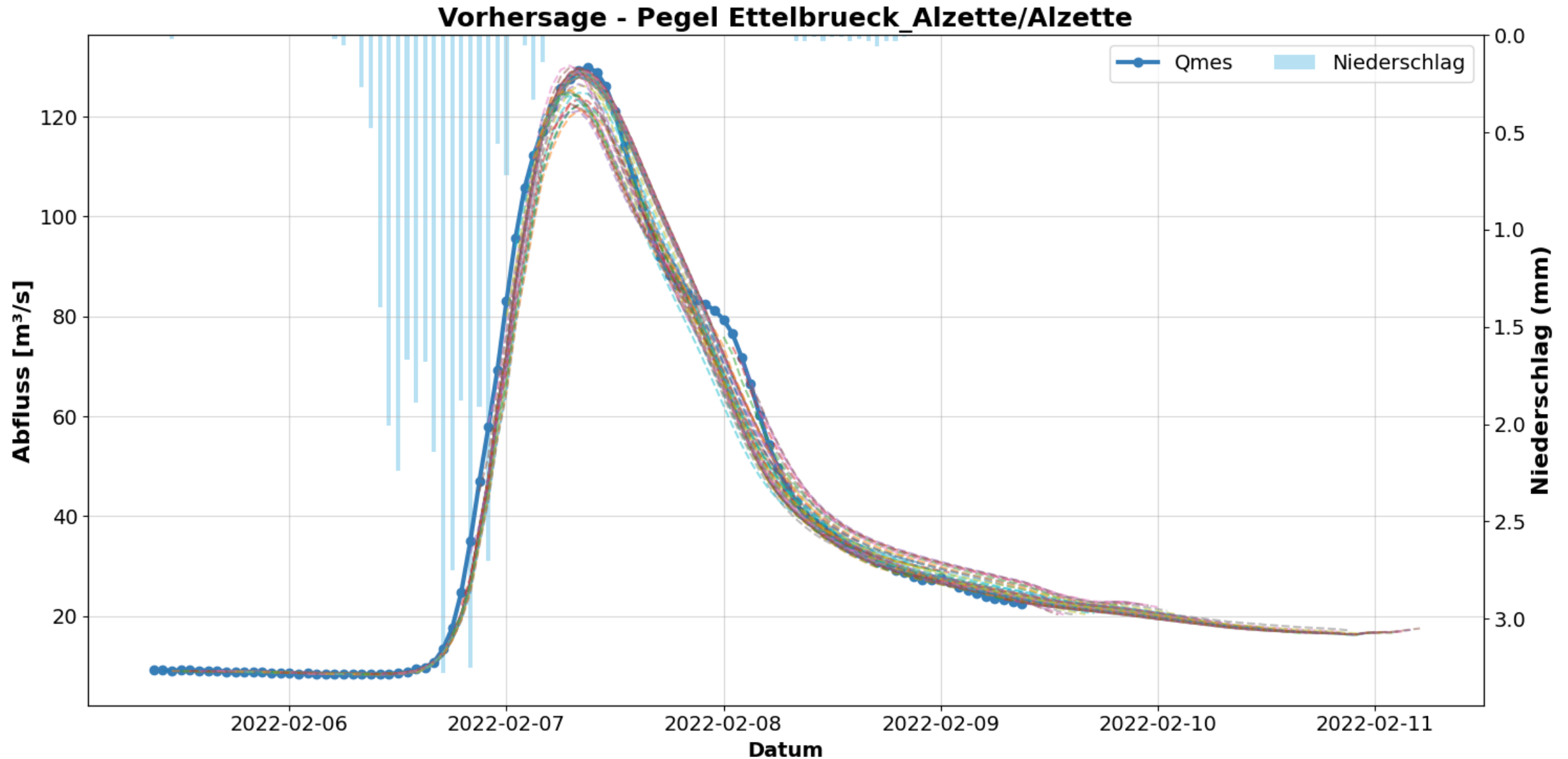


# Ergebnisse

## Vorhersage - Pegel Bigonville/Sauer

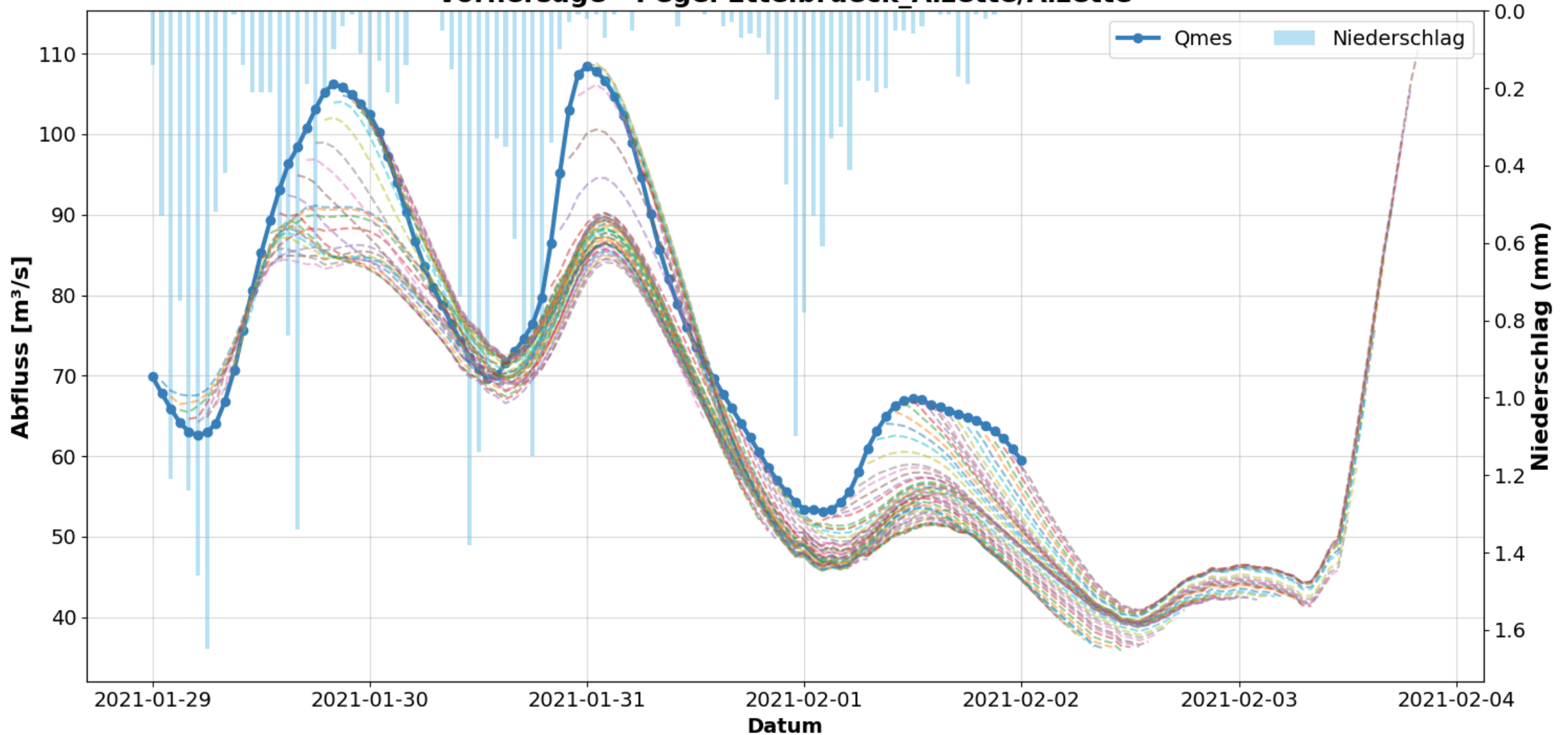


# Ergebnisse

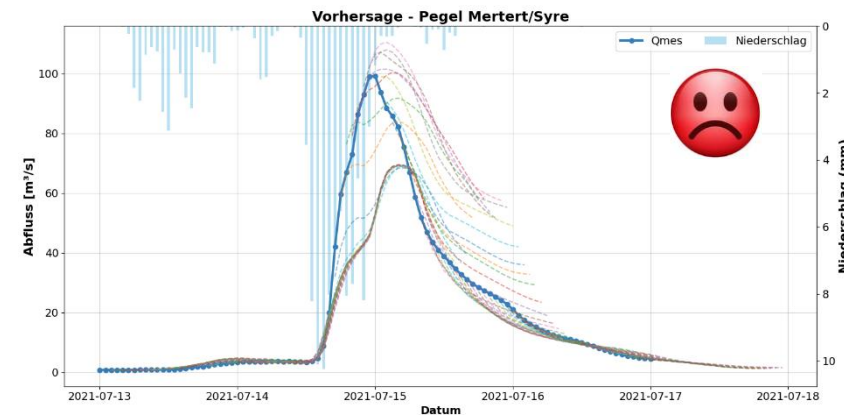
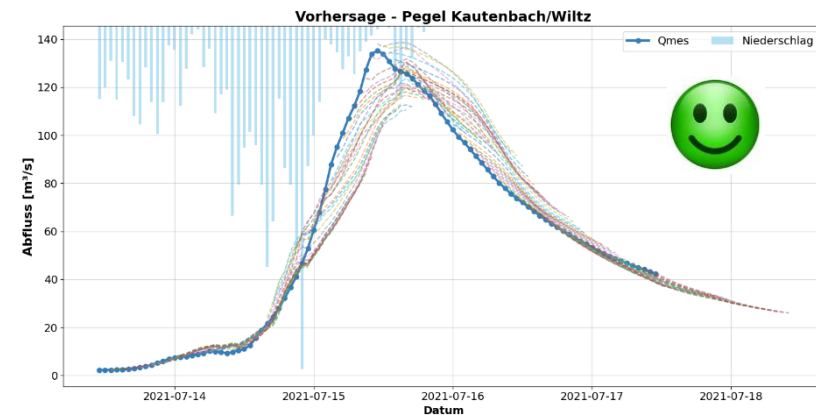
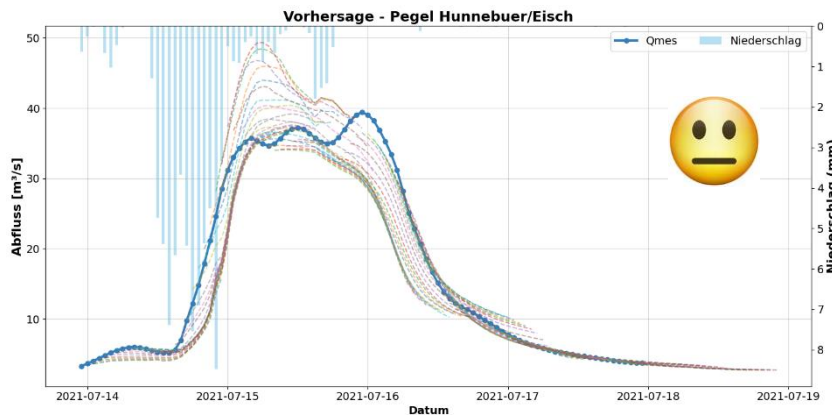
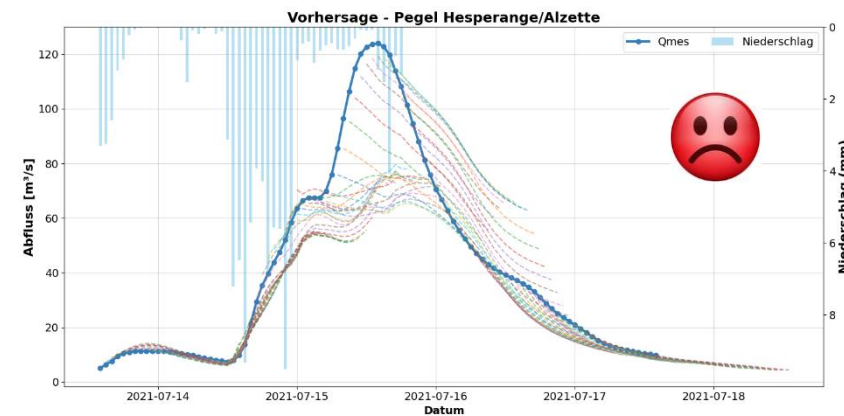
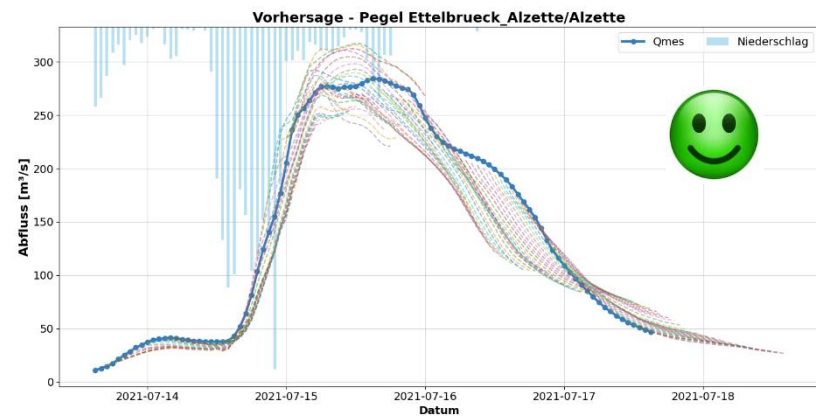
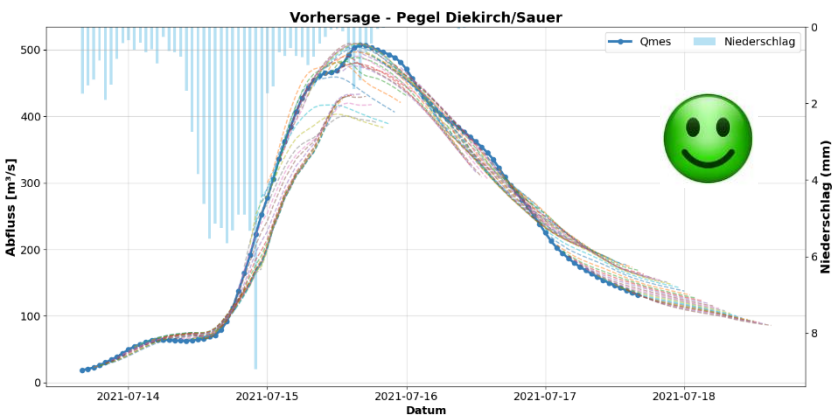
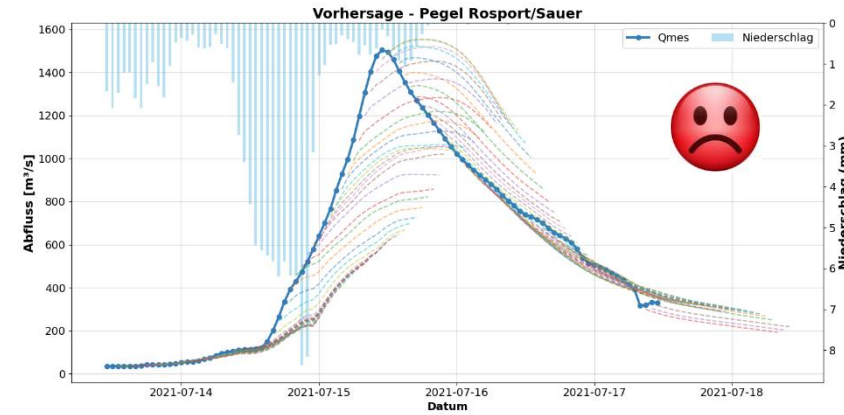
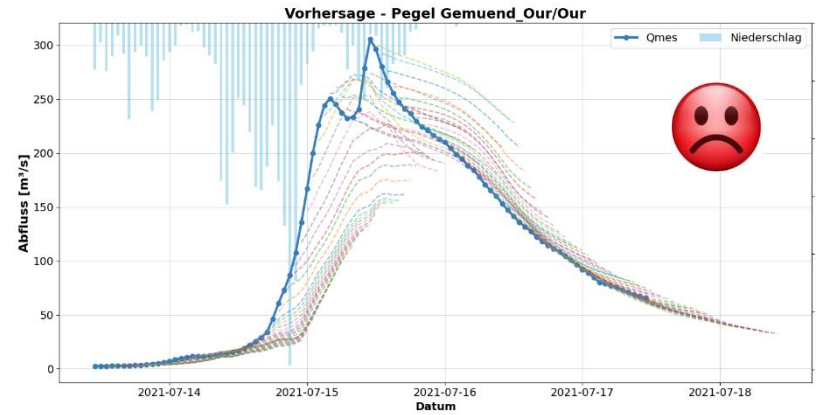
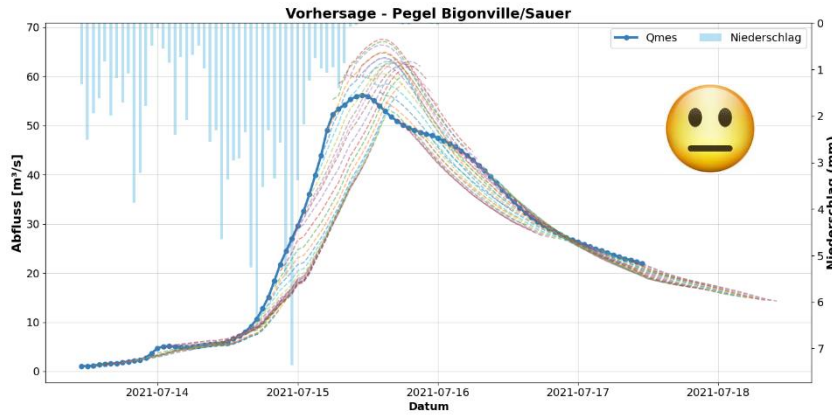


# Ergebnisse

## Vorhersage - Pegel Ettelbrueck\_Alzette/Alzette



# Ergebnisse: Juli-Hochwasser 2021



## FAZIT:

- Sehr hohe NSE (Median 0,95) → Modell kann Abflüsse mit gemessener Meteorologie gut simulieren
- Verwendung von  $Q_{mes}$  als Input steigert die Modellgüte → bereitet allerdings teilweise Probleme bei Übertragung des Modells auf Pegel, die nicht Teil des Trainingsdatensatzes waren
- Modell simuliert den quasi-natürlichen Abfluss → starke anthropogene Einflüsse (Talsperre) können nicht simuliert werden
- Trotz Regionalmodell-Ansatz eingeschränkte Extrapolationsfähigkeit (Juli-HW 2021)

## AUSBLICK:

- Zusätzliches Trainings mit CAMELS-Datensatz zur Verbesserung der Extrapolationsfähigkeit
- Überführung in operationellen Betrieb → Modellperformance mit tatsächlichen VHS?