



VERIFIKATION VON HOCHWASSERVORHERSAGEN MIT PROFOUND

Michael Kraft, Norbert Demuth

Workshop für LARSIM-Anwenderinnen und Anwender
am 13.-14.05.2025 in Augsburg



Gliederung

1. Einleitung
2. LARSIM-Vorhersagetests
3. ProFoUnD-Analysen
4. Fazit und Ausblick



1. Einleitung

- In Rheinland-Pfalz wurden die beiden Wasserhaushaltsmodelle RLP und Mosel vor Kurzem nachkalibriert, nun sollen Vorhersagetests / ProFoUnD-Analysen durchgeführt werden
- Ziele:
 - Analyse der Vorhersagequalität
 - Ermittlung von Perzentilen für die hydrologische Unsicherheit
 - Integration der hydrologischen Unsicherheit in die Vorhersagebänder der Ensemble-Vorhersagen
 - Neuberechnung der Schwellenwerte für die regionsbezogene Hochwasservorhersage



2. LARSIM-Vorhersagetests

- Berechnung der LARSIM-Vorhersagen in zwei Schritten:
 - Tägliche Läufe für VZP 07 Uhr, dabei Erzeugung einer neuen Zustandsdatei
 - Stündliche, ereignisbezogene Rechenläufe wenn Schwellenwert $3 \cdot MQ$ überschritten wird
- Berechnung der Vorhersagen mit meteorologischen Messdaten
- Vorhersagezeitraum: 96 Stunden
- Berechnungszeiträume:
 - WHM RLP: Januar 1993 bis Juni 2024
 - WHM Mosel: Januar 1997 bis Juni 2024
- Anzahl Rechenläufe:
 - WHM RLP: ~76.500 (davon ~11.500 Läufe für VZP 07 Uhr)
 - WHM Mosel: ~89.000 (davon ~10.000 Läufe für VZP 07 Uhr)

2. LARSIM-Vorhersagetests

- Nutzung von Standardparametern in der pegel.stm:

NQ-Bereich	MQ-Bereich	HQ-Bereich
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Weitergabe gemessene Pegeldaten	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Weitergabe gemessene Pegeldaten	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Weitergabe gemessene Pegeldaten
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> WHM-Nachführung	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> WHM-Nachführung	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> WHM-Nachführung
<hr/>		
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Vorhersage-Korrektur	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Vorhersage-Korrektur	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Vorhersage-Korrektur
1 <input type="text" value="4"/> Anzahl der Stunden zur Bildung der Mittelwerte	1 <input type="text" value="4"/> Anzahl der Stunden zur Bildung der Mittelwerte	1 <input type="text" value="4"/> Anzahl der Stunden zur Bildung der Mittelwerte
0 <input type="text" value="4"/> Übergangsbereich zwischen Messung und verschobener Vorhersage in Stunden	0 <input type="text" value="4"/> Übergangsbereich zwischen Messung und verschobener Vorhersage in Stunden	0 <input type="text" value="4"/> Übergangsbereich zwischen Messung und verschobener Vorhersage in Stunden
<hr/>		
Schwellenwerte		
<input type="text" value="2.7"/> Übergang vom NQ- in den MQ-Bereich m ³ /s 2.7	<input type="text" value="4"/> Anschluss der Vorhersage an die Messung bei Fehlwerten (Maximale Anzahl Fehlwerte) 1	Lineare Reduktion der Vorhersage-Korrektur:
<input type="text" value="14.1"/> Übergang vom MQ- in den HQ-Bereich m ³ /s 14.1	<input type="text" value="0"/> Timelag: Zeitliche Verschiebung der simulierten Ganglinie in Stunden 0	- <input type="text" value="-"/> Start (Stunden nach dem VZP)
		- <input type="text" value="-"/> Anzahl der Stunden für den Übergang auf die nicht verschobene Vorhersage

- Neben der Ausgabe der simulierten und vorhergesagten Abflüsse auch Ausgabe der relativen Bodenfeuchte und des Schneewasseräquivalents sowie Tape11 und LOG-Datei
- Ausgabe des Abflusses zusätzlich für jedes TGB, daher wurde die Option AUSGABE QGTS ALLE TGB neu eingeführt



3. ProFoUnD-Analysen

- Die Ergebnisse der LARSIM-Berechnungen sollen mit dem Programm ProFoUnD (Programm to assess the Forecast Uncertainty of Discharge) ausgewertet werden:
 - Zunächst Auswertung über den Gesamtzeitraum
 - Identifizierung von Ausreißern (z.B. über Auswertung von Scatterplots), diese Ereignisse sollen von weiteren Auswertungen ausgenommen werden (Ursachenforschung für die betreffenden Ereignisse nötig)
 - Erneute Auswertung ohne Ausreißer
 - Betrachtung von Einzelereignissen

3. ProFoUnD-Analysen

- 11 Vorhersagetiefen: 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 72, 96 h
- Auswertung nach neuem IKSMS-Verfahren
 - 2 Schwellenwerte (MQ und HQ₂), 3 Richtungen → theoretisch 10 hydrologische Fälle (inkl. Fall 0), hier aber auf 7 Fälle (plus Fall 0) zusammengefasst:

Richtung der Vorhersage	Bereich des VHS-Werts		
	≤ MQ	≤ HQ ₂	> HQ ₂
Richtung 1: überwiegend steigende Vorhersage	1	2	3
Richtung 2: Vorhersage mit steigendem und fallendem Anteil	1	4	5
Richtung 3: Fallende Vorhersage	1	6	7

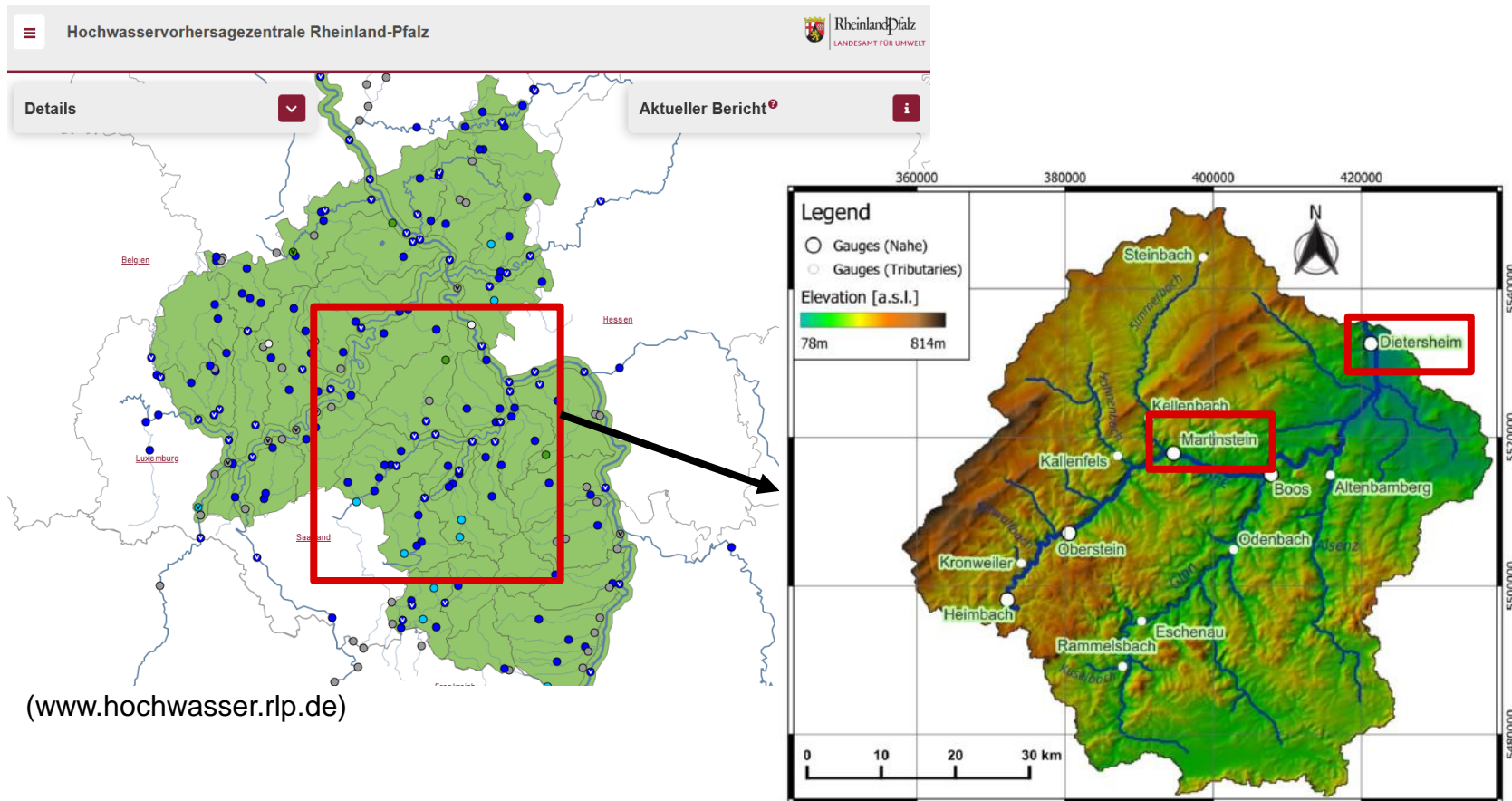


3. ProFoUnD-Analysen

- Berechnung kategorischer Gütemaße (Kontingenztafel):
 - 4 Elemente: Hit, False alarm, Miss, Correct negative
 - mit strenger Definition für „hit“:
 - Allgemein: eine Überschreitung der Klassengrenze wurde vorhergesagt und gemessen
 - Zusätzlich: Vorhersage und Messwert liegen über dem definierten Schwellenwert UND Wert zum VZP liegt unter dem Schwellenwert
 - Vorgabe weiterer Schwellenwerte als MQ und HQ2 möglich, z.B. HQ10, HQ20...
 - Geplant: Auswertung für Zeiträume 1-24 und 25-48 h

3. ProFoUnD-Analysen

- Erste Auswertungen für zwei Pegel im Nahe-Einzugsgebiet

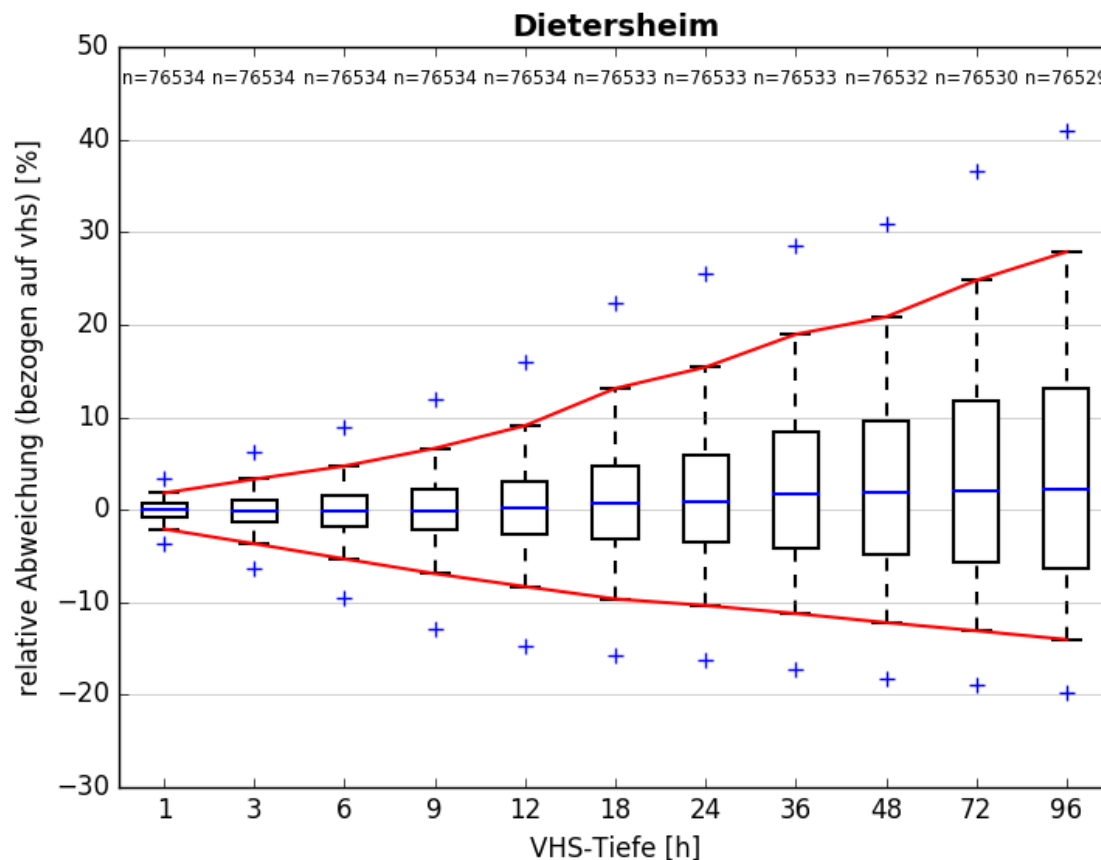


(www.hochwasser.rlp.de)

(Zulkarnaen, 2025)

3. ProFoUnD-Analysen – erste Ergebnisse

- Pegel Dietersheim / Nahe, EZG: ca. 4.039 km²



Schwellenwert	Abfluss [m ³ /s]
MQ	28,1
HQ2	363



3. ProFoUnD-Analysen – erste Ergebnisse

VHS-Tiefe = 1 h
Schwellenwert = 363.00 m³/s

	Messung >= Schwelle	Messung < Schwelle
VHS >= Schwelle	Hit 23	False Alarm 6
VHS < Schwelle	Miss 3	Correct Negative 76502

Dietersheim

VHS-Tiefe = 6 h
Schwellenwert = 363.00 m³/s

	Messung >= Schwelle	Messung < Schwelle
VHS >= Schwelle	Hit 137	False Alarm 2
VHS < Schwelle	Miss 15	Correct Negative 76380

Dietersheim

VHS-Tiefe = 24 h
Schwellenwert = 363.00 m³/s

	Messung >= Schwelle	Messung < Schwelle
VHS >= Schwelle	Hit 324	False Alarm 49
VHS < Schwelle	Miss 75	Correct Negative 76085

Dietersheim

VHS-Tiefe = 48 h
Schwellenwert = 363.00 m³/s

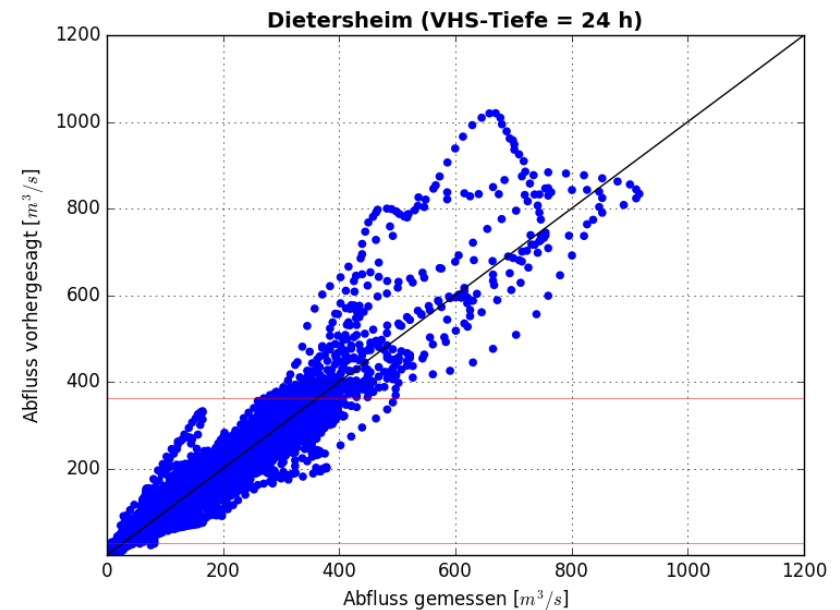
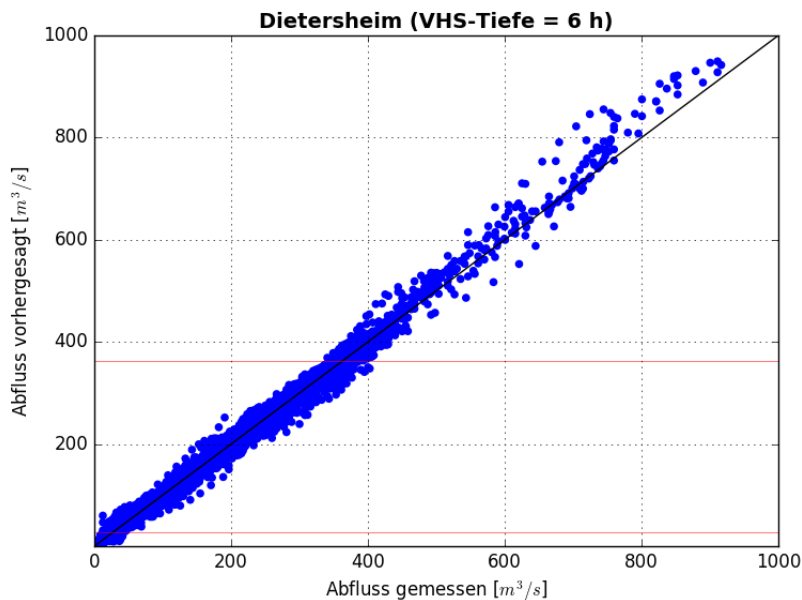
	Messung >= Schwelle	Messung < Schwelle
VHS >= Schwelle	Hit 358	False Alarm 86
VHS < Schwelle	Miss 109	Correct Negative 75979

Dietersheim

VHS-Tiefe	Threat-Score
1 h	0,719
6 h	0,89
24 h	0,723
48 h	0,647

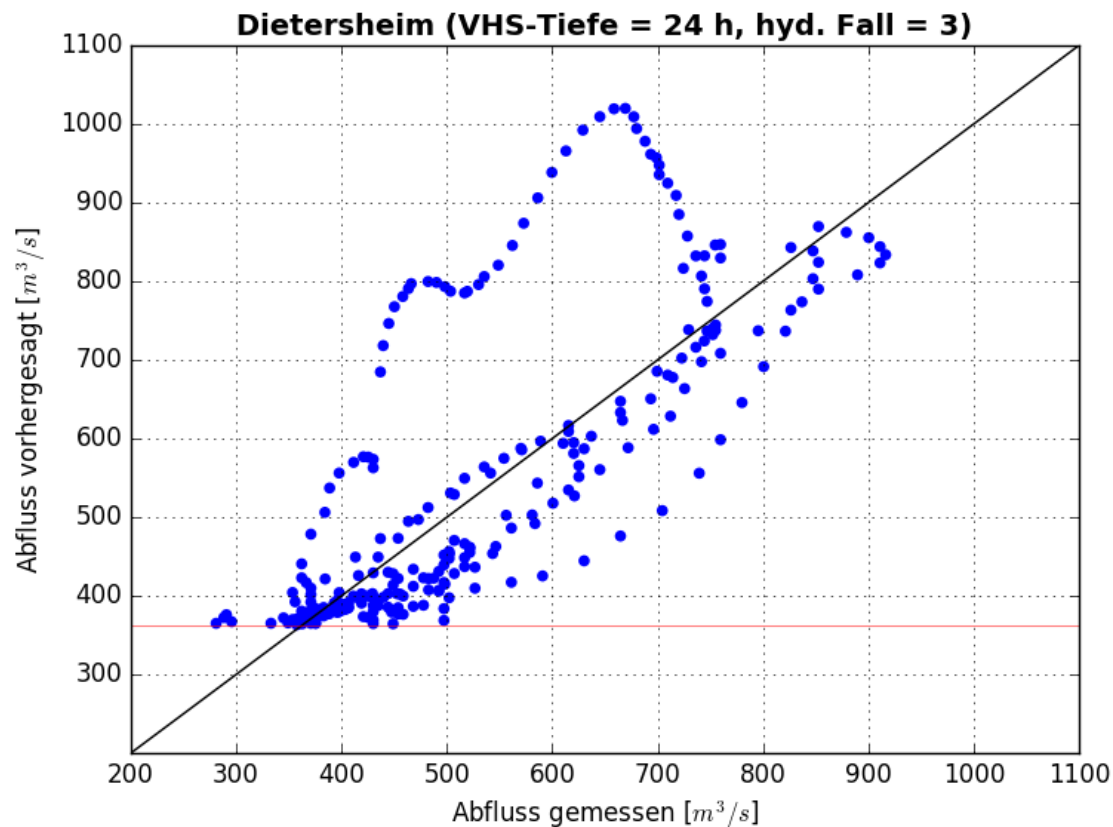
3. ProFoUnD-Analysen – erste Ergebnisse

- Pegel Dietersheim / Nahe, Scatterplots mit den Vorhersagetiefen 6 und 24 Stunden



3. ProFoUnD-Analysen – erste Ergebnisse

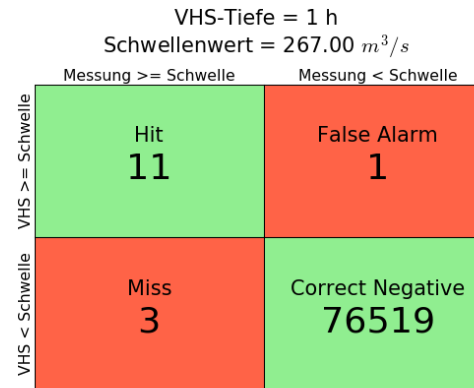
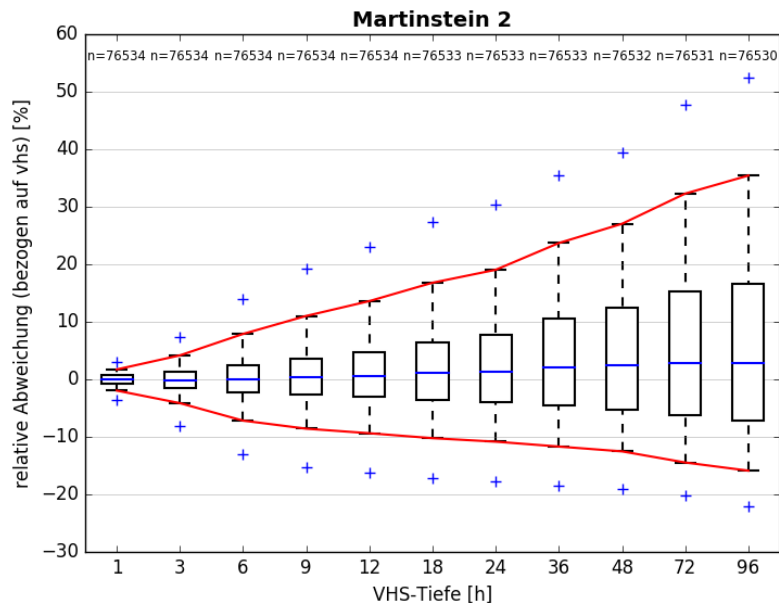
- Pegel Dietersheim / Nahe, Scatterplots Vorhersagetiefe 24 Stunden für den hydrologischen Fall 3 (> HQ₂, steigend)



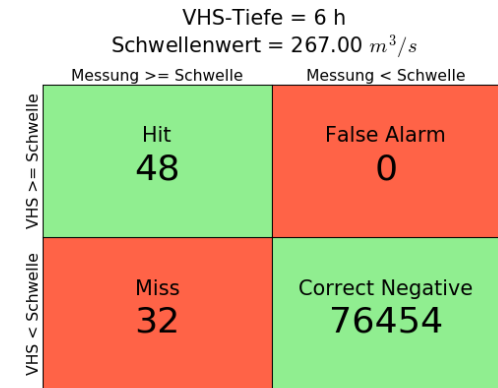
3. ProFoUnD-Analysen – erste Ergebnisse

- Pegel Martinstein 2 / Nahe, EZG: 1.468 km²

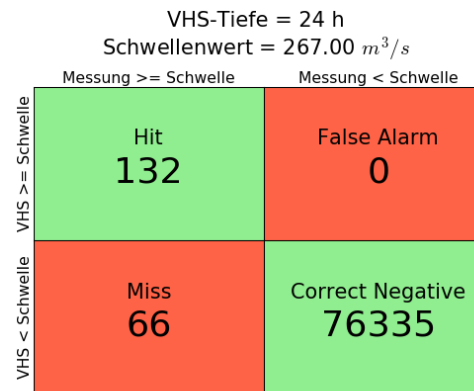
Schwellenwert	Abfluss [m ³ /s]
MQ	15,7
HQ2	267



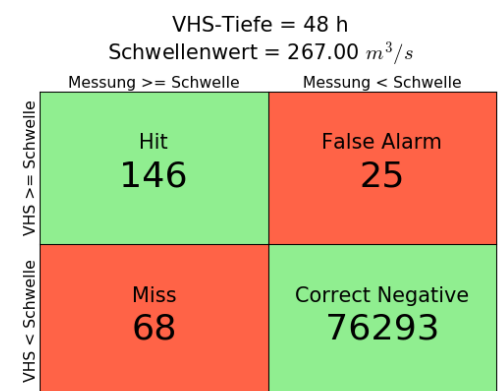
Martinstein 2



Martinstein 2

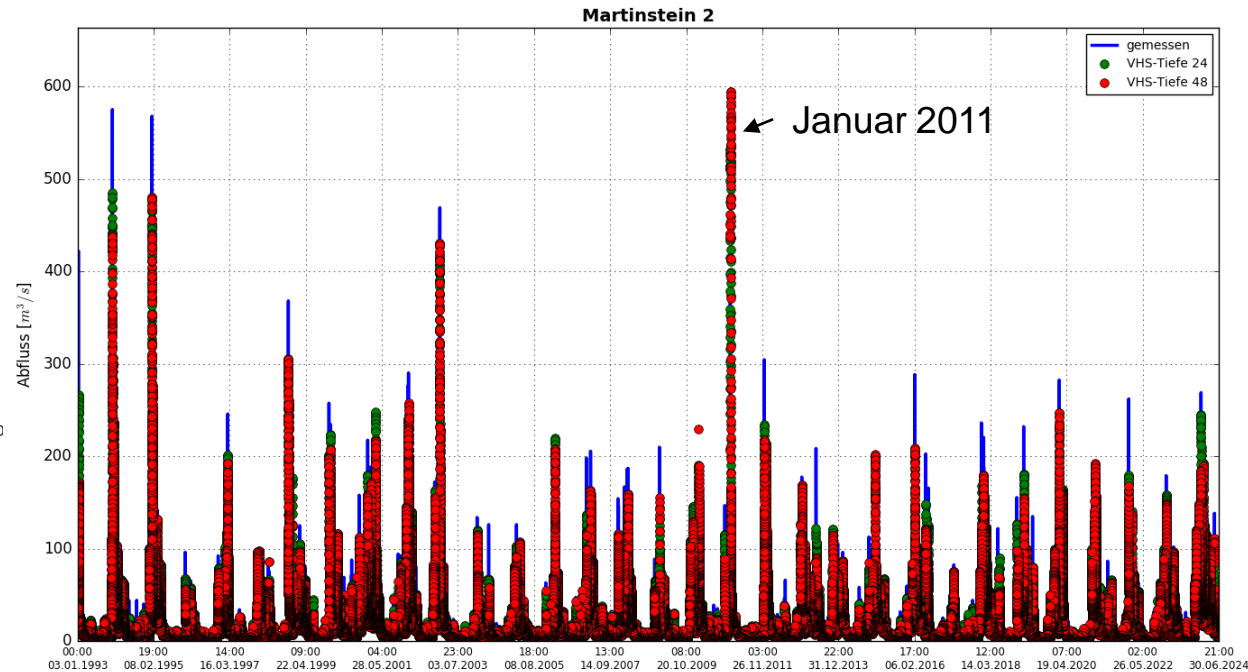
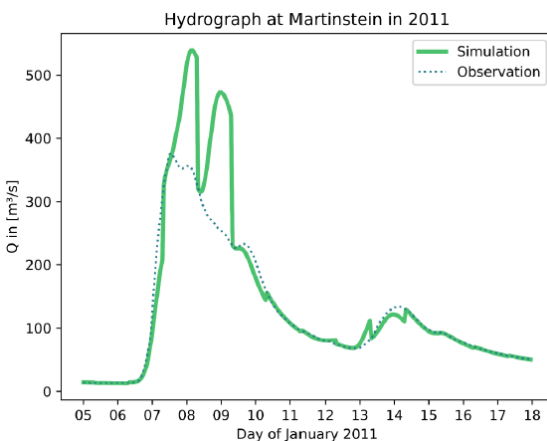
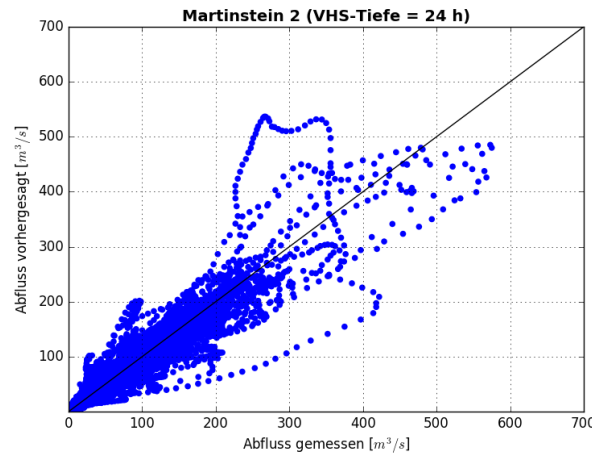


Martinstein 2



Martinstein 2

3. ProFoUnD-Analysen – erste Ergebnisse



NSE-Werte pro Pegel und Jahr

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dietersheim	0,98	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,99
Boos	0,96	0,97	0,97	0,99	0,99	0,97	0,97	0,91	0,98	0,98	0,99
Martinstein	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	0,97	0,88	0,97	0,97	0,99

(Zulkarnaen, 2025)

(Auswertung: Zulkarnaen, 2025)

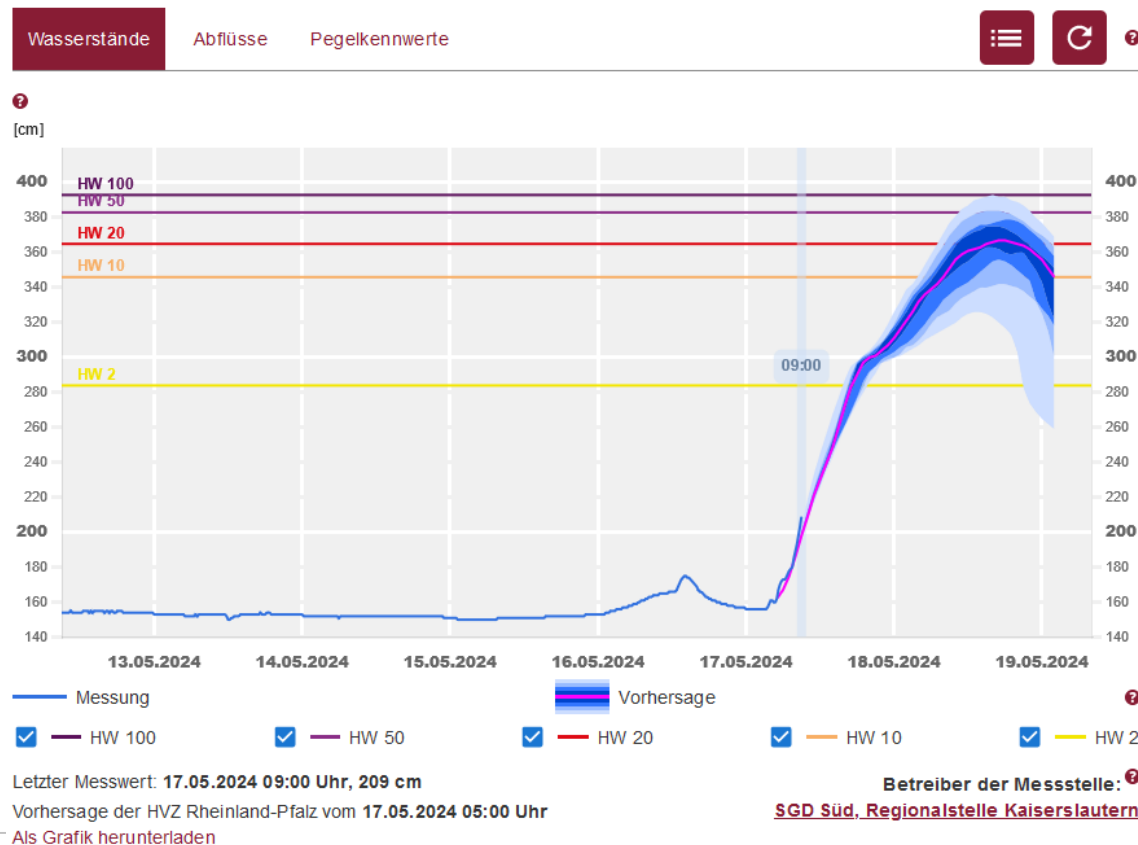


4. Fazit und Ausblick

- Die ersten Ergebnisse zeigen, dass eine Identifizierung von Ausreißern für jeden Pegel nötig ist, damit diese nicht in die Berechnung der Perzentile für die Vorhersageunsicherheit eingehen
 - Hierzu ist noch die Festlegung von Kriterien nötig
 - Analyse der LOG-Dateien hilfreich
- Detaillierte Betrachtung von Einzelereignissen nötig
 - Was sind die Ursachen für die schlechte Simulationsqualität für ein Hochwasserereignis bei einem Pegel?

4. Fazit und Ausblick

- Die mit ProFoUnD ermittelte Modellunsicherheit (Perzentile) soll mit in die Berechnung der Gesamtunsicherheit der Vorhersagen einfließen (aktuell: nur meteorologische Unsicherheit)





VIELEN DANK FÜR DIE
AUFMERKSAMKEIT!

Zusatzmaterial

- Einteilung der Richtungen nach neuem IKSMS-Verfahren (siehe ProFoUnD-Dokumentation):

Richtung 1: $Q_{akt} \geq Q_1$ UND $Q_{akt} \geq Q_{perz}$ \Rightarrow Überwiegend steigende Vorhersage

Richtung 2: $[Q_{akt} \geq Q_1$ UND $Q_{akt} < Q_{perz}]$ ODER $[Q_{akt} < Q_1$ UND $Q_{akt} > Q_{med}]$
 \Rightarrow VHS mit steigendem und fallendem Anteil

Richtung 3: $Q_{akt} < Q_1$ UND $Q_{akt} \leq Q_{med}$ \Rightarrow Fallende Vorhersage

mit:

Q_{akt} [m³/s] Wert der Vorhersage zum aktuell untersuchten Zeitpunkt.

Q_{perz} [m³/s] Perzentil aus den Werten der Vorhersage bis zum aktuell untersuchten Zeitpunkt.

Q_{med} [m³/s] Median aus den Werten der Vorhersage bis zum aktuell untersuchten Zeitpunkt.

Q_1 [m³/s] Erster Vorhersagewert der untersuchten Vorhersage.