

Längerfristige Wasserstands- und Abflussvorhersagen

Dr.-Ing. Bastian Klein, Dennis Meißner, Barbara Frielingsdorf
Referat M2 - Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Stakeholder-Konferenz des BMVI
26. September 2019 in Berlin

BfG - Bereich „Vorhersage – Abfluss, Wasserstand, Eis“

Operationelle Dienste

- verkehrsbezogene Vorhersagen
- Eisvorhersage Kanäle
- Datenaufbereitung / -bereitstellung für Vorhersagen der WSV
- HW-Frühwarnung für HMZ Rhein

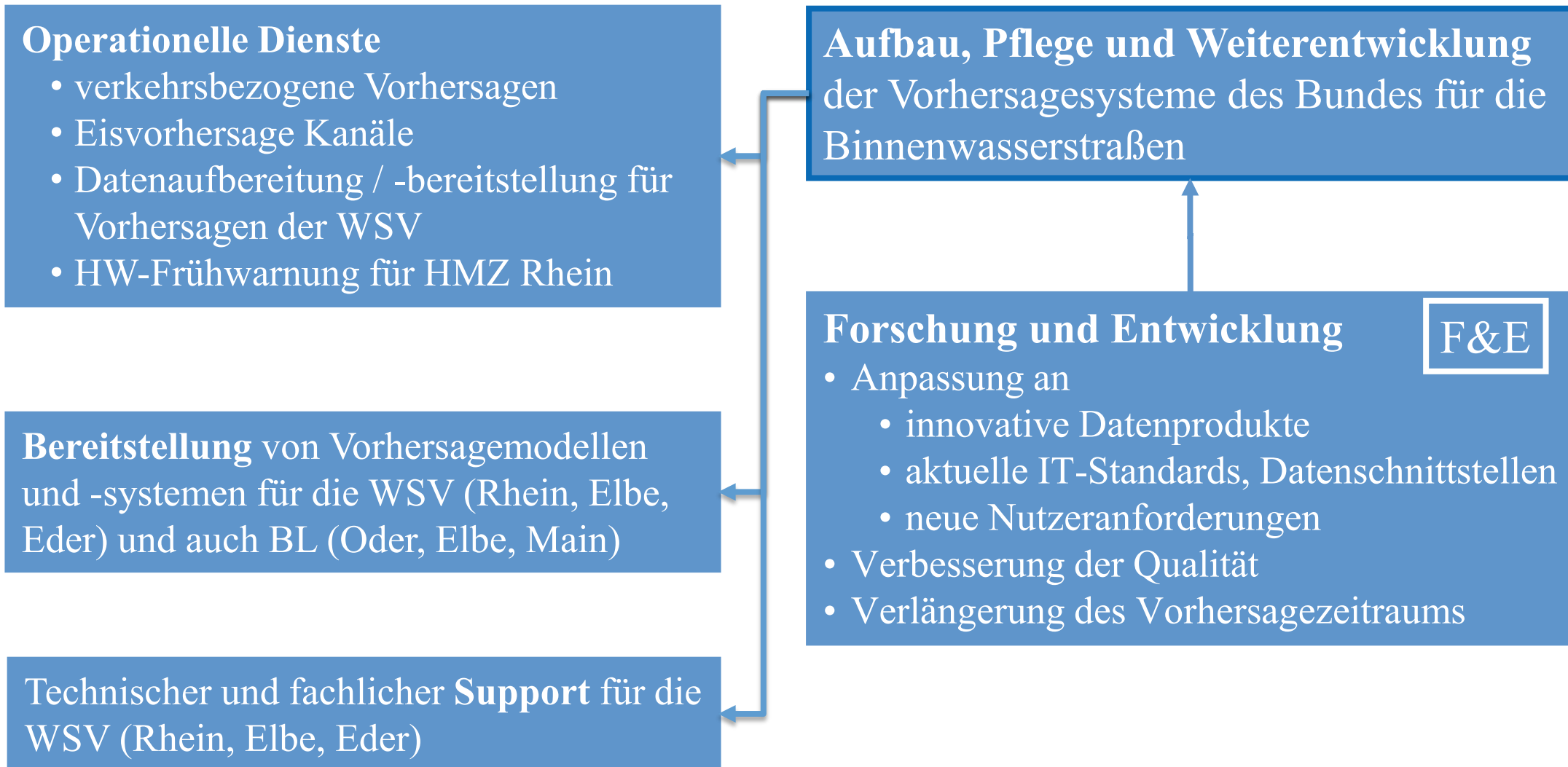
Aufbau, Pflege und Weiterentwicklung der Vorhersagesysteme des Bundes für die Binnenwasserstraßen

Bereitstellung von Vorhersagemodellen und -systemen für die WSV (Rhein, Elbe, Eder) und auch BL (Oder, Elbe, Main)

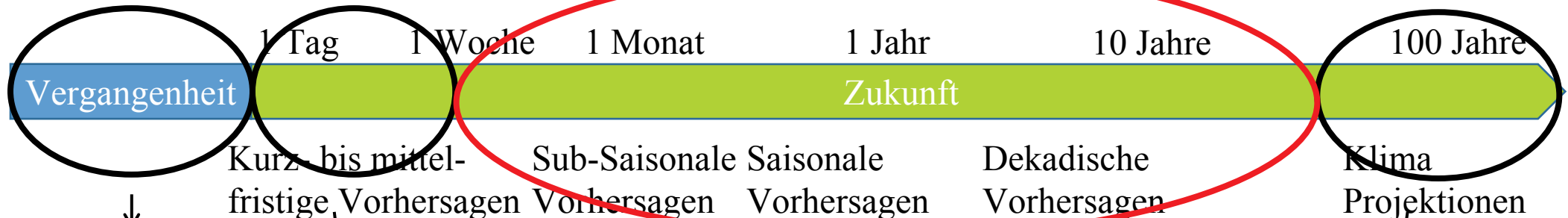
Technischer und fachlicher **Support** für die WSV (Rhein, Elbe, Eder)



BfG - Bereich „Vorhersage – Abfluss, Wasserstand, Eis“



Vorhersagehorizonte Status Quo

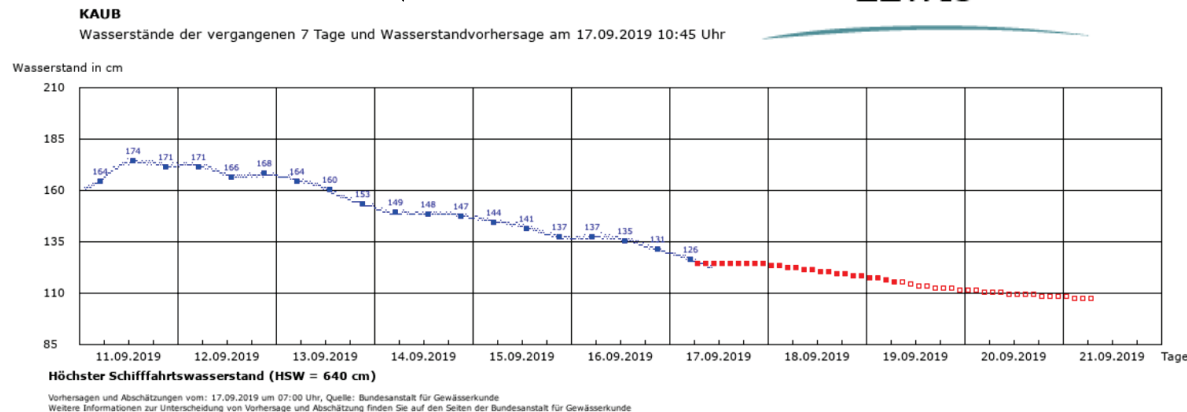


Vorhersage-Lücke

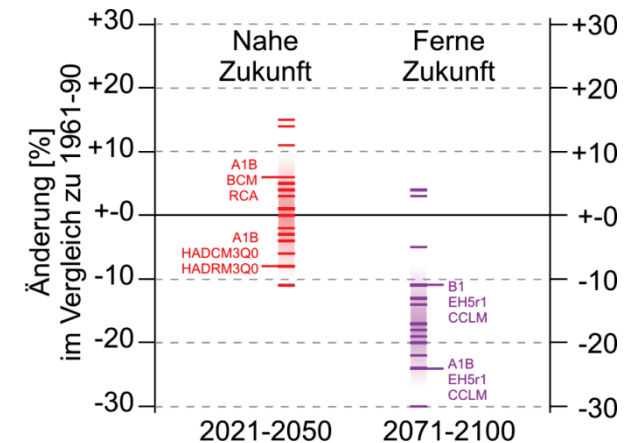
Wöchentliche NW-Berichte bei NW
Detaillierte NW-Analysen



ELWIS



Deterministische Wasserstandsvorhersage



Klimaprojektionen KLIWAS-Programm

Vorhersage Nutzeranforderungen

1 Tag 1 Woche 1 Monat 1 Jahr 10 Jahre 100 Jahre

Vergangenheit

Zukunft

Kurz- bis mittel- Sub-Saisonale Saisonale Dekadische Klima
fristige Vorhersagen Vorhersagen Vorhersagen Vorhersagen Projektionen

- Quantifizierung der Vorhersageunsicherheiten → Probabilistische Vorhersage
- Verlängerung Vorhersagehorizont zur optimierten Planung (Auswahl)
 - kompletter Transportumläufe
 - multi-modaler und synchro-modaler Transportabläufe
 - zeitliche Planung zur Vermeidung Niedrigwasserzuschläge bzw. Optimierung Transportvolumen
 - Lagerhaltung + Produktionsplanung
 - Transportkapazitäten / Schiffsgrößen
 - Sicherung Verfügbarkeit (Kohlevorräte) Reservekraftwerke für Netzsicherheit
 - Wasserstraßenmanagement (Messkampagnen, Sedimentmanagement)
- Regelmäßige Klima- und Wasserdienste für strategische Planungen

Handlungsoption Wasserstandsvorhersage

1 Tag 1 Woche 1 Monat 1 Jahr 10 Jahre 100 Jahre



Kurz- bis mittel- Sub-Saisonale Saisonale Dekadische Klima
 fristige Vorhersagen Vorhersagen Vorhersagen Vorhersagen Projektionen

**Masterplan
Binnenschifffahrt**

- Kurzfristige Maßnahmen:**
- Das **BMVI** wird die in ELWIS zur Verfügung stehenden elektronischen Wasserstraßenkarten erweitern.
 - Das **BMVI** prüft mit den zuständigen Behörden seines Geschäftsbereiches die Möglichkeit, längerfristige Prognosen (z. B. Wasserstandsprognosen) in ELWIS zur Verfügung zu stellen.
 - Das **BMVI** wird gemeinsam mit den zuständigen seines Geschäftsbereiches die Gewässerdaten im Informationssystem ELWIS optimieren.

- Handlungsfeld „Informationsbereitstellung“
(kurzfristig wirksam werdende Maßnahmen)*
- 1. Verbesserung der Wasserstandsvorhersage**
 - 2. Einrichtung des DAS-Basisdienstes Klima & Wasser**

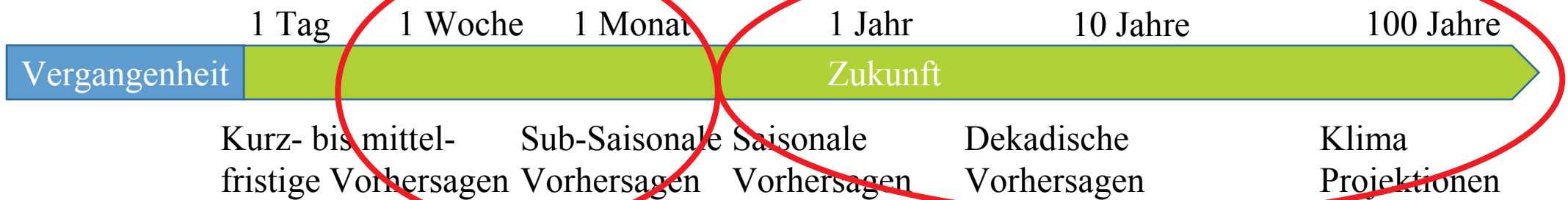


**Aktionsplan
„Niedrigwasser Rhein“**

- Informationsbereitstellung**
 1. Wasserstandsvorhersage verbessern
 2. DAS-Basisdienst Klima & Wasser
 3. Aktuelle Tiefeninformationen bereitstellen
- Transport & Logistik**
 4. Transportkonzepte anpassen & Technik optimieren
- Infrastruktur**
 5. „Abladeoptimierung am Mittel- & Niederrhein“ beschleunigen
 6. Schnellere Genehmigungen durch Maßnahmengesetz
- Langfristige Lösungsansätze**
 7. Wasserbau- & wasserwirtschaftliche Optionen prüfen
 8. Gesellschaftlicher Dialog

bmvi.de

Vorhersagehorizont **E. Nilson: DAS-Basisdienst „Klima und Wasser“**

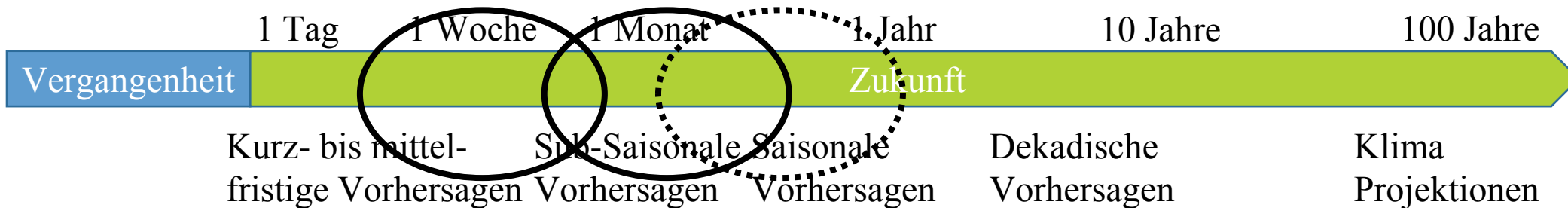


⇒ Entwicklung von prototypischen Vorhersageprodukten und Klima/Wasserdiensten im Rahmen von F+E-Projekten in enger Abstimmung mit den Wasserstraßen-Nutzern

Nutzerbeteiligung:

Seit Projektbeginn EU-Horizon2020 IMPREX stetig steigende Anzahl Nutzer aus Behörden, Unternehmen und Verbänden (aktuell 26 Nutzer)

Prä-Operationelle Vorhersageprodukte



Prä-operationelle Vorhersageprototypen

	10-/14-Tages-Vorhersage	6-Wochen-Vorhersage	Saisonale Vorhersage
Status	prä-operationell	prä-operationell	Entwicklung
Gewässer	Rhein	Rhein, Donau, Elbe	Rhein, Donau, Elbe
Pegel	<u>Rhein (7)</u> : Oestrich, Kaub, Koblenz, Köln, Düsseldorf, Duisburg-Ruhrort, Emmerich	<u>Rhein (4)</u> : Kaub, Mainz, Köln, Duisburg-Ruhrort <u>Donau (2)</u> : Pfelling, Hofkirchen <u>Elbe (2)</u> : Dresden, Neu Darchau	<u>Rhein (4)</u> : Kaub, Mainz, Köln, Duisburg-Ruhrort <u>Donau (2)</u> : Pfelling, Hofkirchen <u>Elbe (2)</u> : Dresden, Neu Darchau
Vorhersagezeitraum	10 / 14 Tage	6 Wochen	1 - 3 Monate (?)
Zeitliche Auflösung	Tagesmittelwerte	Wochenmittelwerte	Monatsmittelwerte
Vorhersageprodukt	Zeitreihe von Wahrscheinlichkeiten	Wahrscheinlichkeit der Abflusskategorie	Wahrscheinlichkeit der Abflusskategorie (?)
Veröffentlichungsfrequenz	arbeitstäglich	wöchentlich (Di Vormittag)	monatlich (am x. des Monats)
Veröffentlichungsplattform	FTP-Server BfG, E-Mail	FTP-Server BfG, E-Mail	FTP-Server BfG (?)

Vorhersageprodukt (10-Tages-Vorhersage)

Probabilistische Vorhersage Kaub Darstellung 2

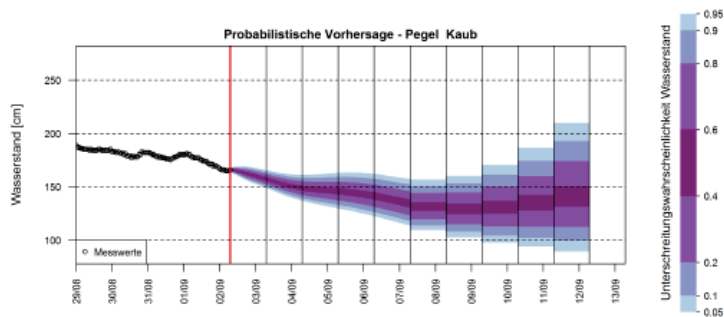
Vorhersage vom: 02.09.2019 07:00 MEZ

Zeitpunkt der Berichterstellung: 02.09.2019 09:50 MEZ
 ECMWF-ENS Vorhersage vom: 02.09.2019 01:00 MEZ
 ECMWF-HRES Vorhersage vom: 02.09.2019 01:00 MEZ
 COSMO-LEPS Vorhersage vom: 01.09.2019 13:00 MEZ



Prognostizierte Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeiten des Wasserstandes für die nächsten 10 Tage.

Die in der Grafik und in den Tabellen angegebenen Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten definierter Wasserstände basieren für den Vorhersagezeitraum 1 bis 5 Tage auf Momentanwerten des Wasserstandes, für den Vorhersagezeitraum Tag 6 bis Tag 10 auf Tagesmittelwerten (jeweils 07:00 bis 07:00 des Folgetages).



Unterschreitungswahrscheinlichkeiten definierter Wasserstände [%]

	03.09 07:00	04.09 07:00	05.09 07:00	06.09 07:00	07.09 07:00	Tagesmittel 07.09	Tagesmittel 08.09	Tagesmittel 09.09	Tagesmittel 10.09	Tagesmittel 11.09
GLW: 78 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
98 cm	0	0	0	0	0	1	2	5	7	9
118 cm	0	0	0	2	10	16	25	28	26	25
138 cm	0	6	22	39	61	67	69	63	54	47
158 cm	57	90	88	91	96	96	94	88	78	68

Überschreitungswahrscheinlichkeiten HSW_I und HSW_II [%]

	03.09 07:00	04.09 07:00	05.09 07:00	06.09 07:00	07.09 07:00	Tagesmittel 07.09	Tagesmittel 08.09	Tagesmittel 09.09	Tagesmittel 10.09	Tagesmittel 11.09
HSW I: 460 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HSW II: 640 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Allgemeine Hinweise

Die Abschätzungen der mittelfristigen Wasserstandsentwicklung werden auf der Basis operationell betriebener meteorologischer und hydrologischer Vorhersagemodelle sowie im Wesentlichen ungeprüften Messdaten automatisiert generiert und sind mit Unsicherheiten behaftet. Die Verlässlichkeit der probabilistischen 10-Tages-Vorhersage ist nicht mit der Genauigkeit der über den Elektronischen Wasserstraßen-Informationsservice (ELWIS, www.elwis.de) der WSV bereitgestellten Wasserstandsvorhersagen für die kommenden 4 Tage gleichzusetzen, da insbesondere die meteorologische Unsicherheit mit zunehmender Länge der Wasserstandsvorhersage deutlich anwächst.

Mittel- bis langfristige Abschätzung der Wasserstandsentwicklung sind bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde weiterhin Gegenstand laufender Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten.

Die probabilistische 10-Tages Vorhersage wurde im Rahmen des EU-Horizon 2020 Projektes IMPREX (grant agreement 641811, www.imprex.eu/) sowie des Forschungs- und Entwicklungsprojektes "Seamless Prediction", finanziert durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, entwickelt.

Haftungsausschluss

Es wird keine Haftung oder Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der zur Verfügung gestellten Abschätzungen des Wasserstands übernommen.

Verwertung, Weitergabe an Dritte

Eine Vermarktung der bereitgestellten Daten sowie die Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet

Erläuterungen zur probabilistischen 10-Tages-Vorhersage

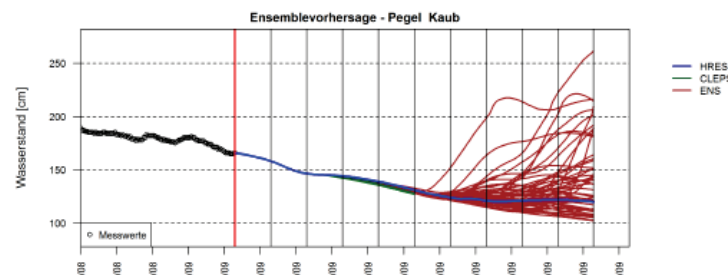
Die 10-Tages-Vorhersage basiert neben aktuellen Messwerten an 48 Pegeln im Rheineinzugsgebiet und über 900 Wetterstationen auf den meteorologischen Ensemble-Vorhersagen COSMO-LEPS (20 Einzelvorhersagen) von ARPA-SIM und ECMWF-ENS (51 Einzelvorhersagen) des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage EZMW. Hinzu kommt die deterministische HRES-Vorhersage des EZMW. Auf Grundlage dieser umfangreichen Echtzeitdaten werden mit hydrologischen, hydraulischen und statistischen Modellen der Bundesanstalt für Gewässerkunde täglich die Wasserstände nebst Eintrittswahrscheinlichkeiten an den abladerelevanten Rheinpegeln ermittelt.

Die Angabe einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 80%, z. B. für den GIW, bedeutet, dass dieser Wasserstand im statistischen Mittel in 8 von 10 Fällen auch tatsächlich unterschritten wird. Bei der in der Abbildung dargestellten Unsicherheitsverteilung ist zu beachten, dass im statistischen Mittel noch 5% aller Beobachtungen oberhalb und 5% unterhalb der dargestellten 5%-95% Quantile liegen.

In der obigen Grafik werden für den Vorhersagezeitraum 0 bis 5 Tage Momentanwerte des Wasserstands veröffentlicht. Auf Grund der großen Unsicherheiten mit zunehmender Vorhersagedauer werden ab einer Vorhersagedauer von 6 Tagen Tagesmittelwerte veröffentlicht (jeweils 07:00 des aktuellen Tags bis 07:00 des Folgetages).

In den obigen Tabellen werden jeweils die Unter- bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeiten definierter Wasserstände angegeben. Diese basieren für den Vorhersagezeitraum 1 bis 5 Tage auf Momentanwerten des Wasserstandes, für den Vorhersagezeitraum Tag 6 bis Tag 10 auf Tagesmittelwerten (jeweils 07:00 bis 07:00 des Folgetages).

Nachfolgende Grafik stellt die der probabilistischen Vorhersage zu Grunde liegenden 72 Einzelvorhersagen des Wasserstands (basierend auf den 20 Mitgliedern des COSMO-LEPS Ensembles (CLEPS), den 51 Mitgliedern des ECMWF Ensembles (ENS) und der deterministischen Vorhersage HRES des ECMWF) dar. Mit der statistischen Methode Ensemble Model Output Statistics (EMOS) wird letztlich die probabilistische Vorhersage ermittelt.



Kontakt

Bei Fragen und Anmerkungen stehen Ihnen folgende Mitarbeiter der BfG zur Verfügung:

Dr. Bastian Klein
klein@bafg.de
 +49-(0)261 / 1306-5256

Dennis Meißner
meissner@bafg.de
 +49-(0)261 / 1306-5183

Vorhersageprodukt (10-Tages-Vorhersage)

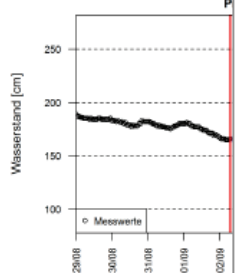
Probabilistische Vorhersage

Vorhersage vom: 02.09.2019

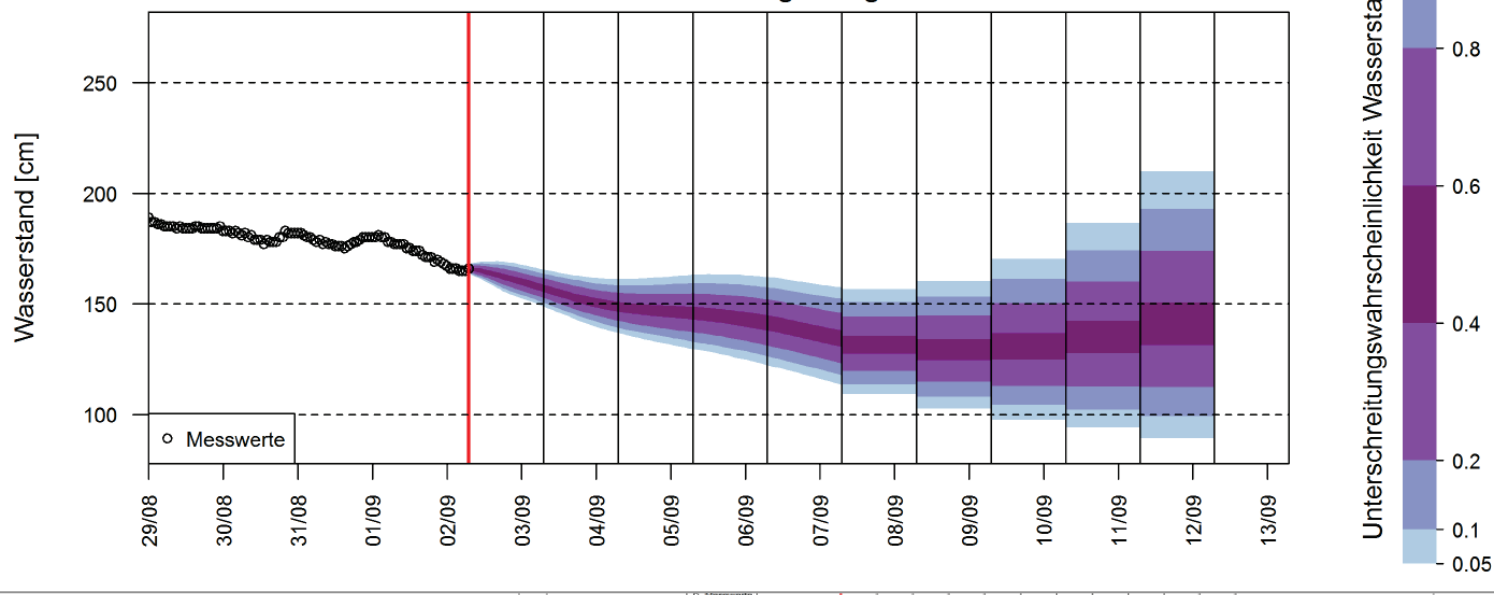
Zeitpunkt der Berichterstellung: 02.09.2019 0
 ECMWF-ENS Vorhersage vom: 02.09.2019 0
 ECMWF-HRES Vorhersage vom: 02.09.2019 0
 COSMO-LEPS Vorhersage vom: 01.09.2019 0

Prognostizierte Unter- und Überschreitungswahrscheinlichkeiten

Die in der Grafik und in den Tabellen dargestellten Wasserstände basieren für den Vorhersagezeitraum Tag 6 bis Tag 10 auf den Vorhersagezeitraum Tag 6 bis Tag 10



Probabilistische Vorhersage - Pegel Kaub



Unterschreitungswahrscheinlichkeiten

	03.09 07:00	04.09 07:00	05.09 07:00
GLW: 78 cm	0	0	0
98 cm	0	0	0
118 cm	0	0	0
138 cm	0	6	22
158 cm	57	90	88

Überschreitungswahrscheinlichkeiten

	03.09 07:00	04.09 07:00	05.09 07:00
HSW I: 460 cm	0	0	0
HSW II: 640 cm	0	0	0

Allgemeine Hinweise
 Die Abschätzungen der mittelfristigen meteorologischer und hydrologischer Vorhersagen sind mit Unsicherheiten behaftet und sind mit Unsicherheiten bei der Genauigkeit der über den Elektronischen bereitgestellten Wasserstandsvorhersagen behaftet. Die Unsicherheit mit zunehmender Länge der Vorhersagezeitraum. Die Mittel- bis langfristige Abschätzung der Wasserstände basieren auf den Gegenstand laufender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Die probabilistische 10-Tages Vorhersage basieren auf den Daten des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (www.imprex.eu/).

Haftungsausschluss
 Es wird keine Haftung oder Gewähr für die bereitgestellten Abschätzungen des Wasserstandes übernommen.

Verwertung, Weitergabe an Dritte
 Eine Vermarktung der bereitgestellten Daten ist nicht zulässig.

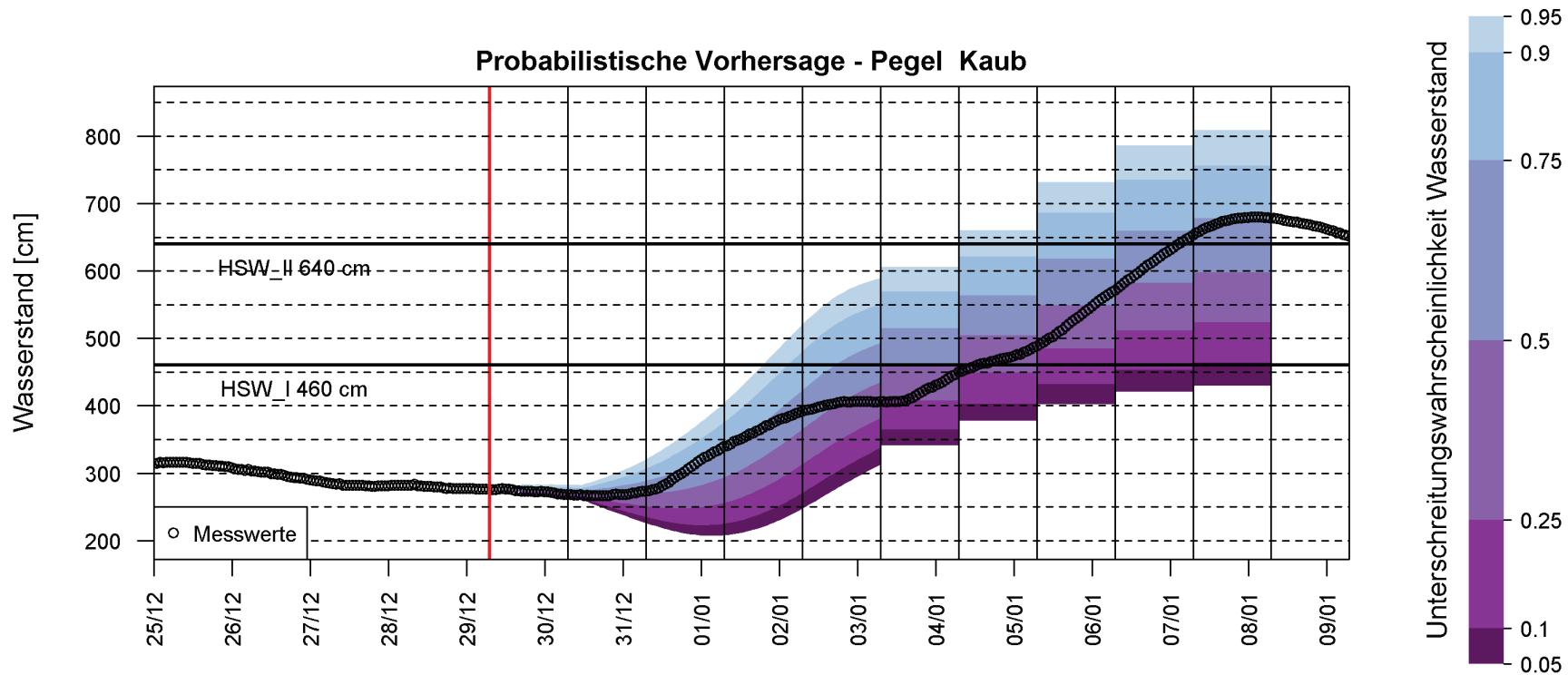
Unterschreitungswahrscheinlichkeiten definierter Wasserstände [%]

	03.09 07:00	04.09 07:00	05.09 07:00	06.09 07:00	07.09 07:00	Tagesmittel 07.09	Tagesmittel 08.09	Tagesmittel 09.09	Tagesmittel 10.09	Tagesmittel 11.09
GLW: 78 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
98 cm	0	0	0	0	0	1	2	5	7	9
118 cm	0	0	0	2	10	16	25	28	26	25
138 cm	0	6	22	39	61	67	69	63	54	47
158 cm	57	90	88	91	96	96	94	88	78	68

Überschreitungswahrscheinlichkeiten HSW_I und HSW_II [%]

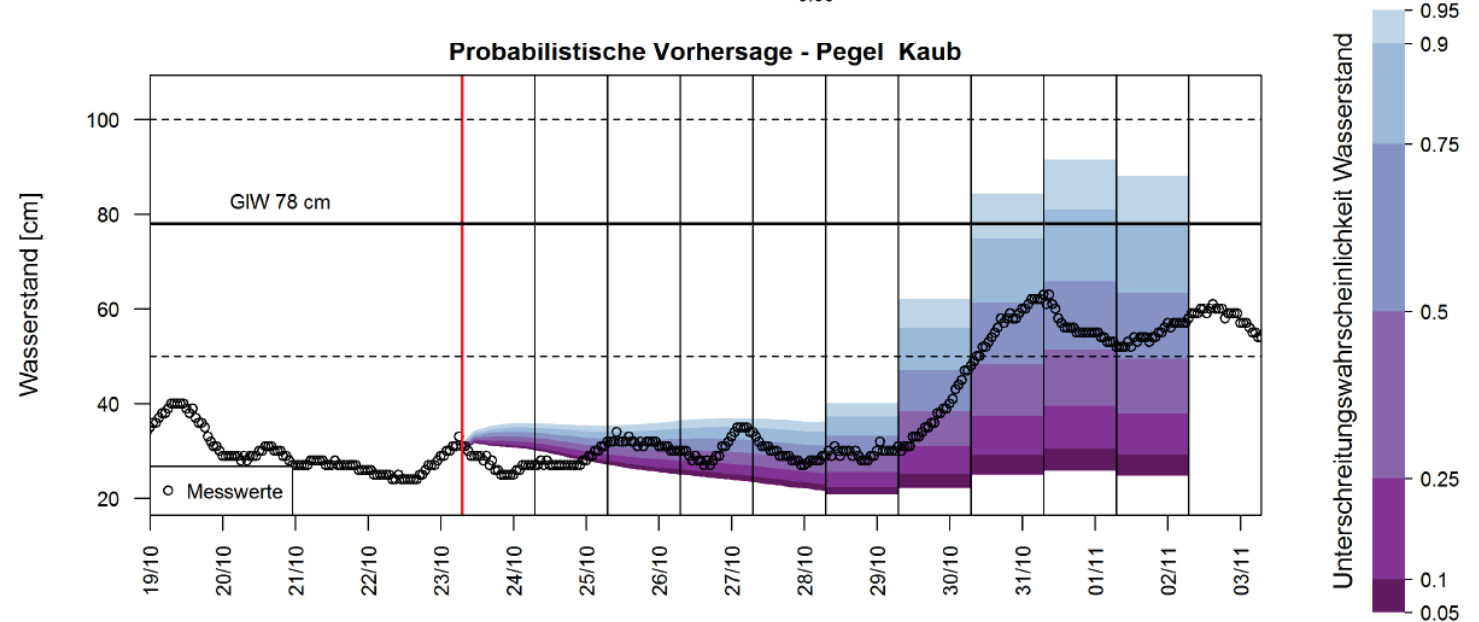
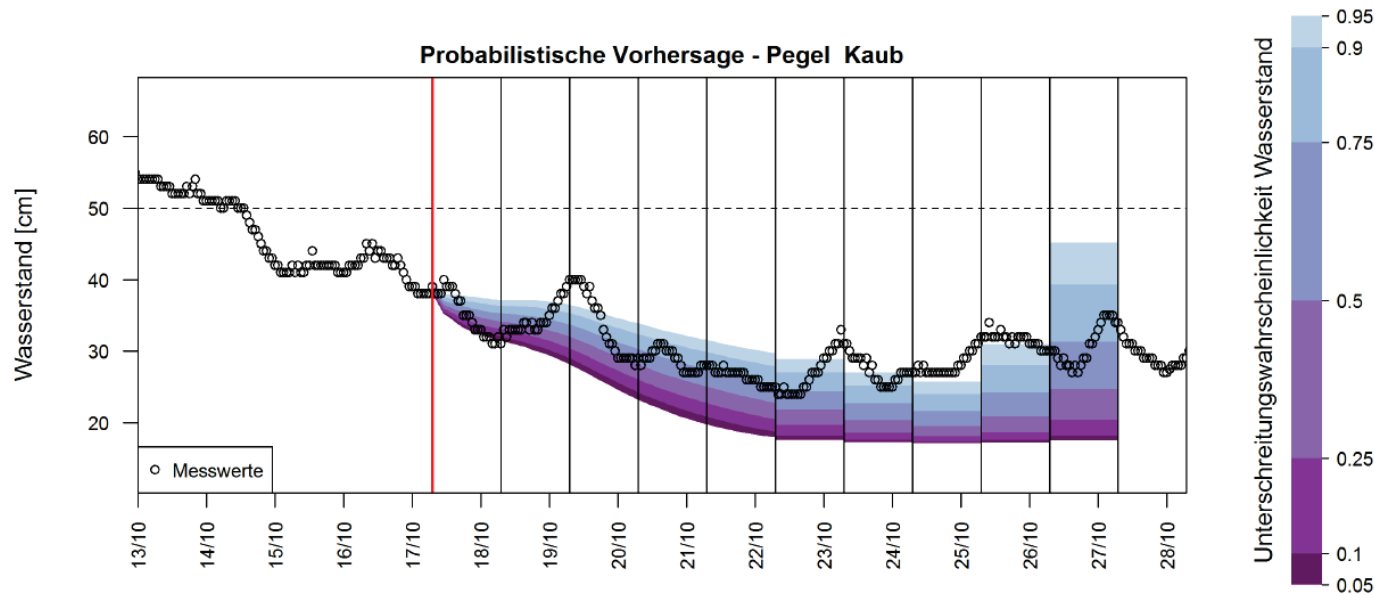
	03.09 07:00	04.09 07:00	05.09 07:00	06.09 07:00	07.09 07:00	Tagesmittel 07.09	Tagesmittel 08.09	Tagesmittel 09.09	Tagesmittel 10.09	Tagesmittel 11.09
HSW I: 460 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HSW II: 640 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vorhersageprodukt (10-Tages-Vorhersage)



Beispiel Hochwasser Januar 2018

Vorhersageprodukt (10-Tages-Vorhersage)



Beispiele extremes Niedrigwasser Herbst 2018

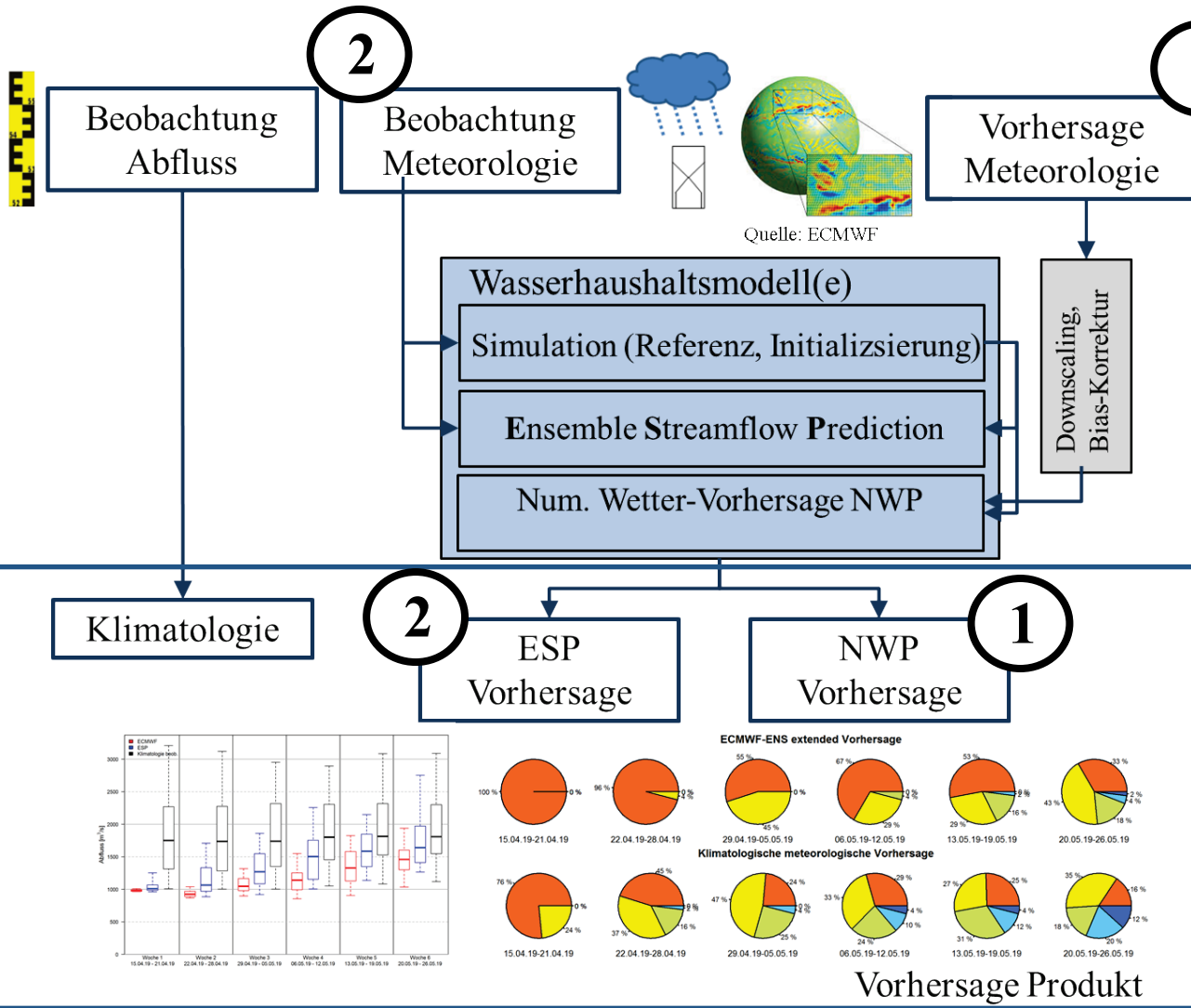
Prä-Operationelle Vorhersageprodukte



Prä-operationelle Vorhersageprototypen

	10-/14-Tages-Vorhersage	6-Wochen-Vorhersage	Saisonale Vorhersage
Status	prä-operationell	prä-operationell	Entwicklung
Gewässer	Rhein	Rhein, Donau, Elbe	Rhein, Donau, Elbe
Pegel	<u>Rhein (7)</u> : Oestrich, Kaub, Koblenz, Köln, Düsseldorf, Duisburg-Ruhrort, Emmerich	<u>Rhein (4)</u> : Kaub, Mainz, Köln, Duisburg-Ruhrort <u>Donau (2)</u> : Pfelling, Hofkirchen <u>Elbe (2)</u> : Dresden, Neu Darchau	<u>Rhein (4)</u> : Kaub, Mainz, Köln, Duisburg-Ruhrort <u>Donau (2)</u> : Pfelling, Hofkirchen <u>Elbe (2)</u> : Dresden, Neu Darchau
Vorhersagezeitraum	10 / 14 Tage	6 Wochen	1 - 3 Monate (?)
Zeitliche Auflösung	Tagesmittelwerte	Wochenmittelwerte	Monatsmittelwerte
Vorhersageprodukt	Zeitreihe von Wahrscheinlichkeiten	Wahrscheinlichkeit der Abflusskategorie	Wahrscheinlichkeit der Abflusskategorie (?)
Veröffentlichungsfrequenz	arbeitstäglich	wöchentlich (Di Vormittag)	monatlich (am x. des Monats)
Veröffentlichungsplattform	FTP-Server BfG, E-Mail	FTP-Server BfG, E-Mail	FTP-Server BfG (?)

Methode



Zwei unterschiedliche meteorologische Antriebsdaten

- (1) Wettervorhersage (meteorologische Vorhersage des ECMWF), berücksichtigt die aktuellen meteorologischen Verhältnisse
- (2) Klimatologie („ESP“) (beobachtetes Wettergeschehen der Vergangenheit), repräsentiert durchschnittliche meteorologische Verhältnisse

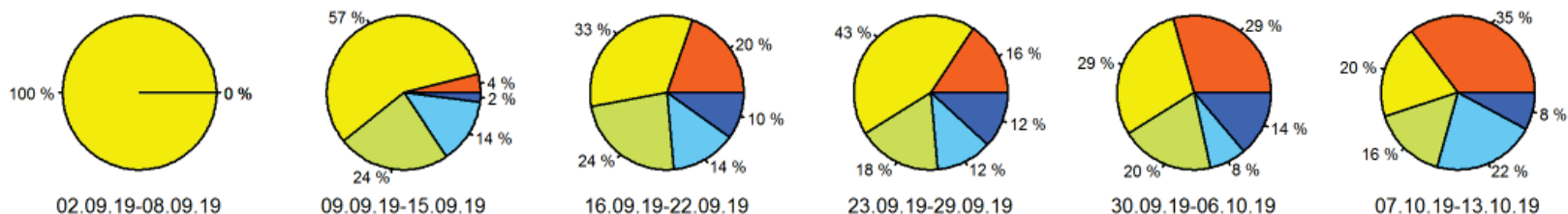
Vorhersageprodukt

Hydrologische 6-Wochen-Vorhersage Kaub

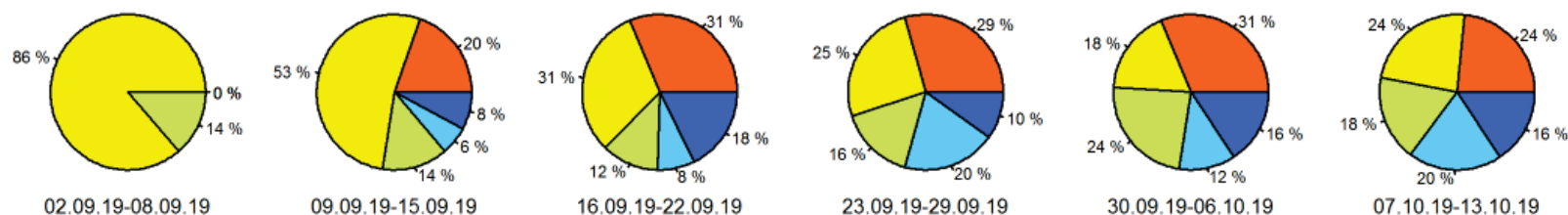
Vorhersage vom: 02.09.2019



ECMWF-ENS extended Vorhersage



Klimatologische meteorologische Vorhersage



Grenzen der Wasserstandsklassen

	02.09 - 08.09	09.09 - 15.09	16.09 - 22.09	23.09 - 29.09	30.09 - 06.10	07.10 - 13.10
niedrig	< 142 cm	< 126 cm	< 117 cm	< 111 cm	< 108 cm	< 103 cm
etwas niedriger	< 170 cm	< 169 cm	< 158 cm	< 149 cm	< 144 cm	< 139 cm
mittel	< 205 cm	< 195 cm	< 190 cm	< 182 cm	< 179 cm	< 178 cm
etwas höher	< 244 cm	< 243 cm	< 227 cm	< 228 cm	< 215 cm	< 216 cm
hoch	> 244 cm	> 243 cm	> 227 cm	> 228 cm	> 215 cm	> 216 cm



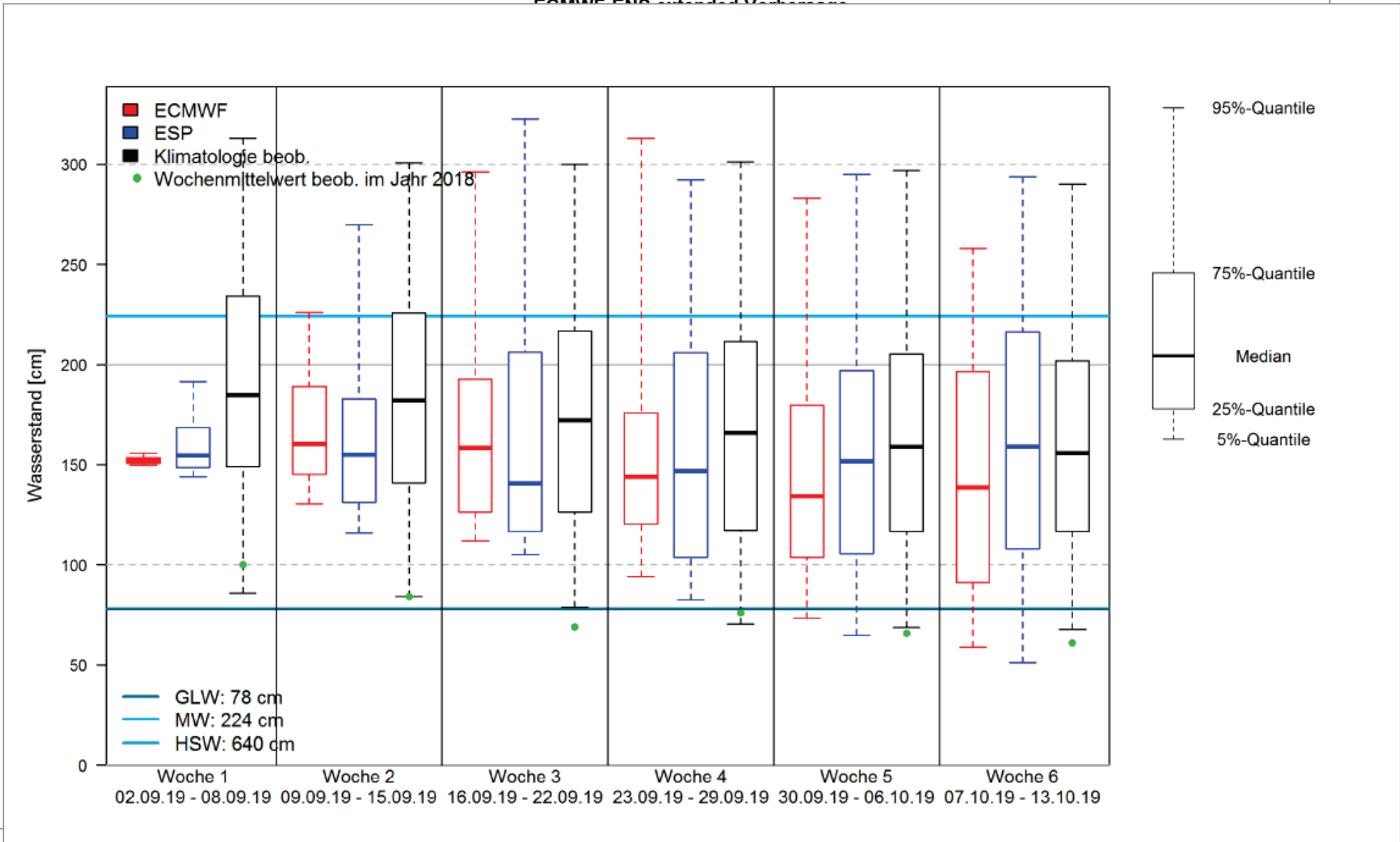
Wasserstands-Quintile („Fünfklassen-Vorhersage“)

Basierend auf den Messdaten (Wochenmittel) des Referenzzeitraums 1964-2014 wurden für jede Woche des Jahres fünf gleich wahrscheinliche Klassen des Wasserstands (Quintile) ermittelt. In jeder Klasse liegen somit 20 % der historischen Daten der jeweiligen Woche. Die Grenzen der Klassen sind wochenweise in obiger Tabelle zu entnehmen.

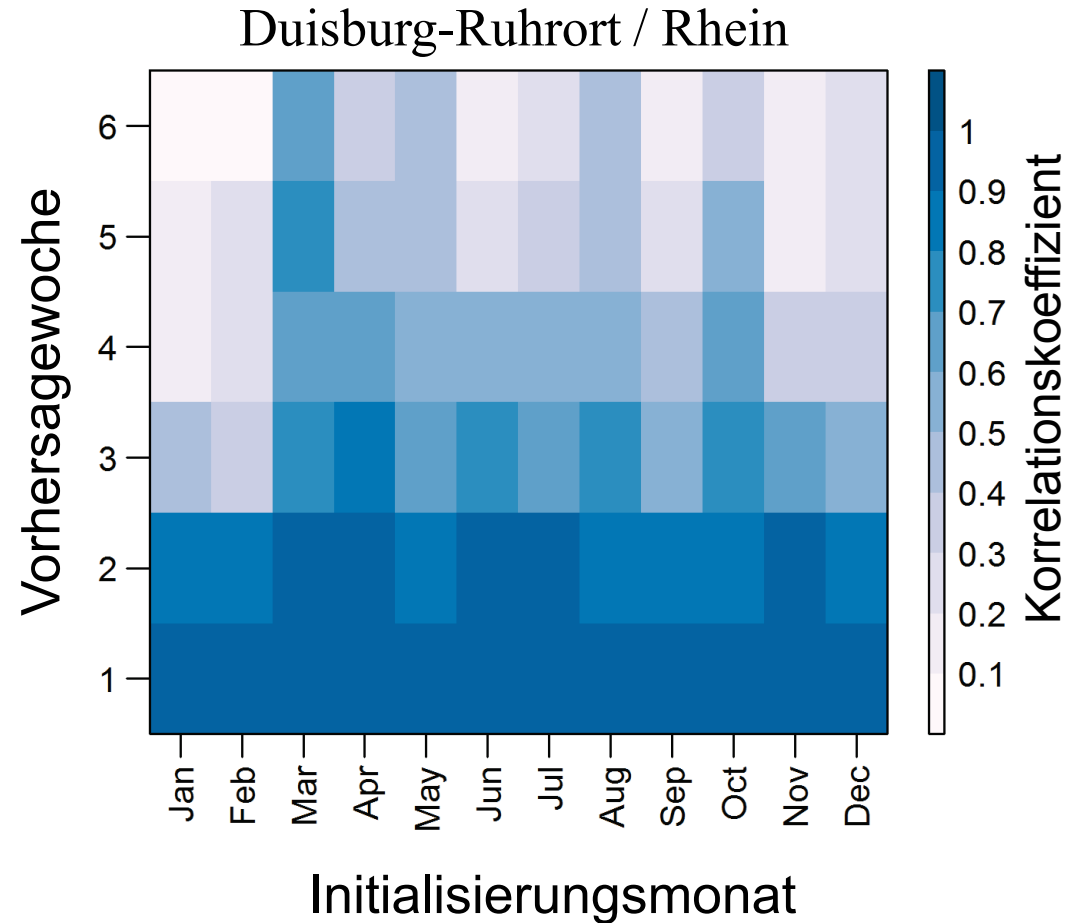
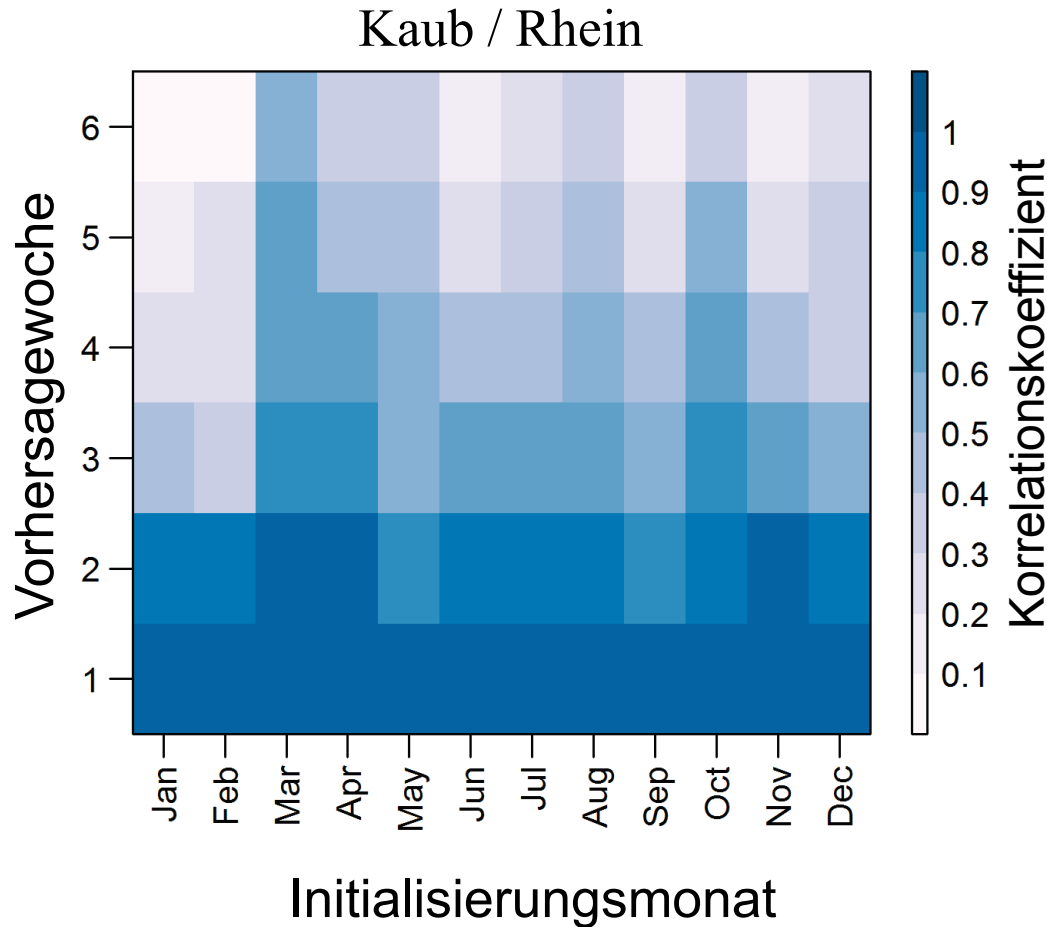
Vorhersageprodukt

Hydrologische 6-Wochen-Vorhersage Kaub

Vorhersage vom: 02.09.2019



Vorhersageverifikation

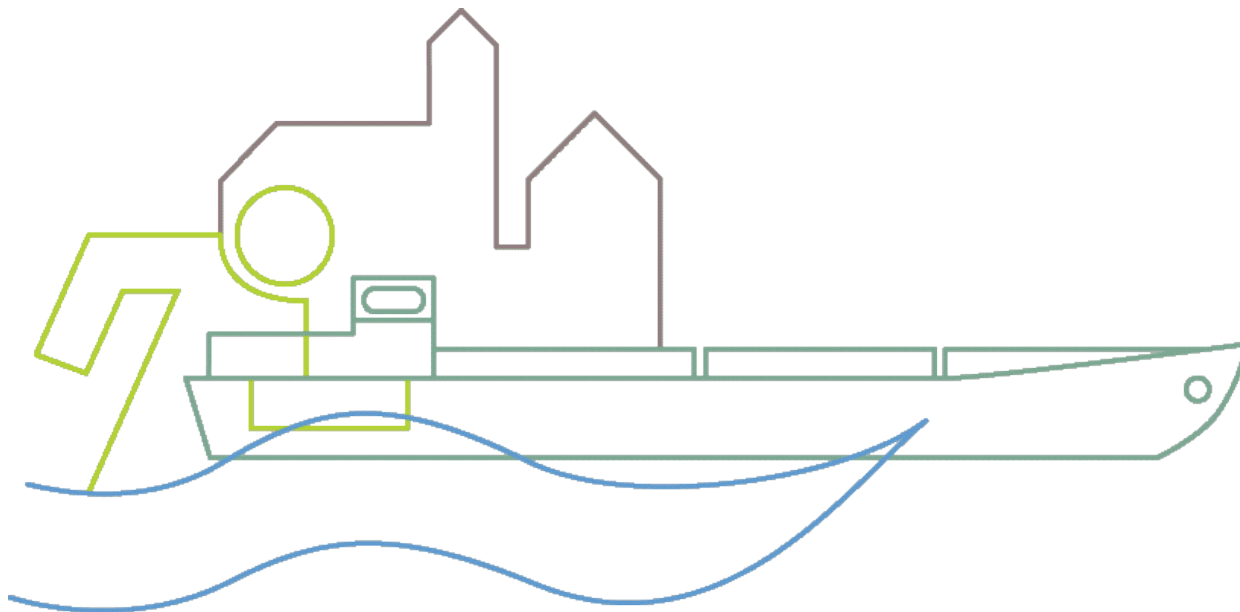


Meteorologischer Antrieb: Vorhersage des ECMWF (ENS Extended)

Re-Forecasts: 02. January 2000 – 09. March 2016 (1699 Vorhersagen)

- Überführung der einsatzbereiten prä-operationellen Prototypen in einen dauerhaften, qualitätsgesicherten Vorhersagedienst steht aus
- Im Rahmen des BMVI-finanzierten F+E-Vorhabens OptiVor* ist die prä-operationelle Bereitstellung längerfristiger prototypischer Vorhersageprodukte eingeplant (bis 2022).
- Verlängerung der 10-Tages-Vorhersage auf 14 Tage (Nutzerwunsch)
- Maßnahmen zur Verbesserung der Vorhersagegüte in den nächsten 3 Jahren
 - Erweiterung der meteorologischen Ensemblevorhersagen bei der 10/14 Tage Vorhersage zur Verbesserung der Abschätzung der meteorologischen Vorhersageunsicherheit
 - Verbesserung der hydraulischen und hydrologischen Modellkomponenten
 - Statistische Prä- und Post-Prozessierung basierend auf Re-Forecasts zur Verbesserung Vorhersagequalität bei der 6-Wochenvorhersage
 - Integration von Datenassimilationsmethoden
- Weiterentwicklung Vorhersageprodukte, Entwicklung interaktiver Vorhersageinformationsplattformen

* Echtzeit-Optimierung hydrologischer Vorhersagemodelle und vorhersagebasierter Entscheidungen für die Bundeswasserstraßen (Laufzeit 2020 – 2022)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Bastian Klein
Referat M2 - Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5256, Fax: 0261/130-5280
E-Mail: klein@bafg.de
www.bafg.de