

Abschlussbericht

(fachlicher Sachbericht gemäß den allgemeinen
Nebenbestimmungen)



HoWa-innovativ: Hochwasserfrühwarnung für kleine
Einzugsgebiete mit innovativen Methoden der
Niederschlagsmessung und -vorhersage

FKZ: 13N14824

Teilvorhaben: Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung

Autoren: Andy Philipp und Achim Six

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhalt

1	Kurzbericht (Teil I)	3
1.1	Aufgabenstellung.....	3
1.2	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
1.3	Stand der Wissenschaft vor Projektbeginn	4
1.4	Wesentliche Ergebnisse, Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen.....	4
2	Eingehende Darstellung (Teil II)	6
2.1	Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse	6
2.1.1	Niederschlagsbasierte Abflussvorhersagen und Warnungen (AP 4).....	6
2.1.2	Schulungs- und Trainingskonzept (AP 5)	14
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	25
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	25
2.4	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse	25
2.5	Bekanntgewordene Fortschritte bei anderen Stellen während des Vorhabens.....	27
	Abbildungsverzeichnis.....	28
	Tabellenverzeichnis.....	28
	Referenzen/Literatur	29

1 Kurzbericht (Teil I)

1.1 Aufgabenstellung

Zielsetzung des **Gesamtvorhabens** „HoWa-innovativ“ war eine räumlich präzise Vorhersage von Hochwasser unter Nutzung innovativer Niederschlagsmess- und Vorhersageverfahren. Ziel des hierin beschriebenen **Teilvorhabens** war die Konzeption und testweise Umsetzung einer nutzerorientierten Hochwasserfrühwarnung für die (Anwender-)Praxis (Anwender: Landeshochwasserzentrum Sachsen – LHWZ; Nutzer: Akteure des Hochwassermanagements „vor Ort“, bspw. Wasserwehren, Kat.-Schutz-Behörden, etc). Dabei wurde mit Blick auf Testgebiete (mit kleinen, schnell reagierenden Gewässereinzugsgebieten) in drei sächsischen Pilotregionen (Vogtland, Osterzgebirge, Oberlausitz) folgendes geleistet:

- Räumlich präzise Hochwasser(früh)warnungen auf Basis von Beobachtungen und Vorhersagen wurden erstellt;
- Informationen über potentielle Risiken wurden in die Warnung integriert (auch über Wahrscheinlichkeiten/Unsicherheiten);
- Eindeutige und zuverlässige Warnprodukte wurden hinreichend früh sowie in geeigneter Form aufbereitet für Entscheidungsträger und potentiell Betroffene bereitgestellt

Dabei wurden folgende Innovationen realisiert:

- Einbeziehung von verbesserten Niederschlagsmessungen durch Kombination von Radar- und Richtfunkdaten (CML-Daten – Commercial Microwave Link) für die Hochwasservorhersage (aus Teilvorhaben Uni Augsburg);
- Einbeziehung von räumlich hoch differenzierten Niederschlags-Abfluss-Modellierungen zur hydrologischen Vorhersage in kleinen Einzugsgebieten (aus Teilvorhaben TU Dresden), auch abseits bestehender Messstellen („virtuelle Pegel“);
- Nutzerorientierte Konzeption und Umsetzung von probabilistischen Frühwarnprodukten für kleine, schnell reagierende Einzugsgebiete;
- Vorhabensbegleitende Schulung und Training der Nutzer

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Neben der Rolle als Verbundpartner für das Teilvorhaben „Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung“ agierte das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen mit seinem Landeshochwasserzentrum als Verbundkoordinator. Das Teilvorhaben und die für seine erfolgreiche Bearbeitung nötigen Aktivitäten waren in zwei Haupt-Arbeitspaketen mit insgesamt neun Unter-Arbeitspaketen geplant. Dabei wurden Arbeiten mit einem Äquivalent von insgesamt 36 Projektmonaten erbracht (exkl. kostenneutrale Verlängerung). Darüber hinaus wurden Aktivitäten zur Sondierung in den Testregionen sowie zur Vorbereitung und Durchführung der Nutzerworkshops erbracht. Insgesamt wurden für die drei Testregionen jeweils drei Workshop-Serien konzipiert, geplant und durchgeführt. Durch die Corona-Pandemie mussten jeweils die zweite und dritte Workshop-Serie in ein Online-Format umgestaltet und durchgeführt werden. Weiterhin erfolgte die Teilnahme an wissenschaftlichen Konferenzen und Fachveranstaltungen. Vor allem durch die

pandemiebedingten Mehraufwände bzw. Änderungen im Projektplan wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt und bewilligt, sodass sich die tatsächliche Projektlaufzeit von 08/2018 bis 07/2021 (kostenneutral verlängert bis 10/2021) erstreckte.

1.3 Stand der Wissenschaft vor Projektbeginn

Da grundsätzlich an jedem Ort Deutschlands eine Gefahr durch Starkregen existiert, ist – im Gegensatz zu Flusshochwassern – das von Sturzfluten ausgehende Risiko notorisch unterschätzt. Solche Sturzflutereignisse sind zuvorderst niederschlagsgetrieben und nicht unbedingt gewässergebunden. Daher ist in diesen Fällen eine auf Pegelbeobachtungen basierende Hochwasserwarnung – wie bislang z.B. in Sachsen praktiziert – nicht beliebig nützlich. Es ist vielmehr sinnvoll, bestehende pegelbasierte Hochwasserwarnsysteme zu ergänzen, um zusätzlich vor kleinräumigen, durch Starkregen ausgelösten Hochwasserereignissen warnen zu können. Da die Zeit zwischen Niederschlag und schadbringendem Abfluss zu kurz für eine beobachtungs-basierte Warnung wäre, müssen Niederschlagsvorhersagen einbezogen werden; so gelangt man zu einer *Frühwarnung* vor Hochwasser. Bisher existiert für Sachsen lediglich eine räumlich generalisierte Hochwasserfrühwarnung (siehe www.hochwasserzentrum.sachsen.de/fruehwarnung), welche mit einem einfachen statistischen Verfahren erreicht wird. Stand der Wissenschaft und Technik ist hingegen, mittels konzeptuell-mechanistischen Modellen für beliebige Punkte im Raum (Gewässerquerschnitte; bspw. an Pegeln) den Abflussverlauf zu simulieren, sowie – unter Nutzung von Wettervorhersagen – auch vorherzusagen. Um mit Unsicherheiten vor allem in der Wettervorhersage umzugehen, werden dafür probabilistische Methoden angewandt, welche nicht eine, sondern eine Vielzahl möglicher zukünftiger Realisierungen (inkl. ihrer Wahrscheinlichkeit) liefern. Das Teilvorhaben kombiniert diesen State-of-the-Art mit zusätzlichen, neuartigen Antriebsdaten (Richtfunkdaten i.S. eines „Opportunistic Sensing“) sowie einer nutzerorientierten Aufbereitung der Simulations- und Vorhersageergebnisse. Die Nutzer bzw. die Zielgruppe der Ergebnisse (nutzerorientierte Frühwarnung + Schulungen und Trainings) sind in erster Linie die Akteure des Hochwasserrisikomanagements auf kommunaler und Landkreisebene. Die Ergebnisse des Teilvorhabens (Trainings/Schulungen) unterstützen weiterhin die Notfallplanung, -vorsorge und -übung, um bei einer Warnung ein zielgerichtetes und effektives Handeln der Bewarnten sicherzustellen. Die Ergebnisse sind damit auch für andere Gebiete Sachsens oder aber in andere Bundesländern übertragbar.

1.4 Wesentliche Ergebnisse, Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Innerhalb des geförderten Teilvorhabens „Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung“ wurden die folgenden Hauptergebnisse erzielt:

- Technische Ergebnisse
 - Demonstrationsweise Einbindung von neuartigen Niederschlagsfeldern aus Dämpfungsinformationen von Richtfunkstrecken (von Teilvorhaben Uni Augsburg) in das Hochwasservorhersagesystem des LHWZ;
 - Retrospektive Verifikations-Analyse und Darstellung des Mehrwertes der verbesserten Niederschlagsmessungen (aus Teilvorhaben Uni Augsburg) beim operationellen Frühwarnverfahren des LHWZ;

- Entwicklung, Erstellung sowie iterative Verbesserung Demonstrator Hochwasserfrühwarnung für kleine Einzugsgebiete (Demonstrator Frühwarnsystem; siehe <http://howa-innovativ.hydro.tu-dresden.de/WebDemoLive/>)
- Wissenschaftliche Ergebnisse
 - Konzeption anwender-/nutzerorientierter probabilistischer Hochwasserfrühwarnprodukte durch kommunikationsbasiertes Vorgehen: inkludiert die Erhebung von Praxisanforderungen und Nutzererwartungen;
 - Schulung und Training von Nutzern von probabilistischen Hochwasserfrühwarnprodukten (Konzeption und Durchführung von zahlreichen Nutzerworkshops);
 - Nachweis Praxistauglichkeit des Demonstrators für Hochwasserfrühwarnung für kleine Einzugsgebiete (Demonstrator war/ist „live“ für die Nutzer verfügbar)

2 Eingehende Darstellung (Teil II)

2.1 Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse

Der Arbeitsplan des Gesamtvorhabens war in fünf Arbeitspakete (AP) gegliedert (siehe Abbildung 1). Dabei war das Teilvorhaben „Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung“ an den Arbeitspaketen 4 und 5 (jeweils federführend) beteiligt.

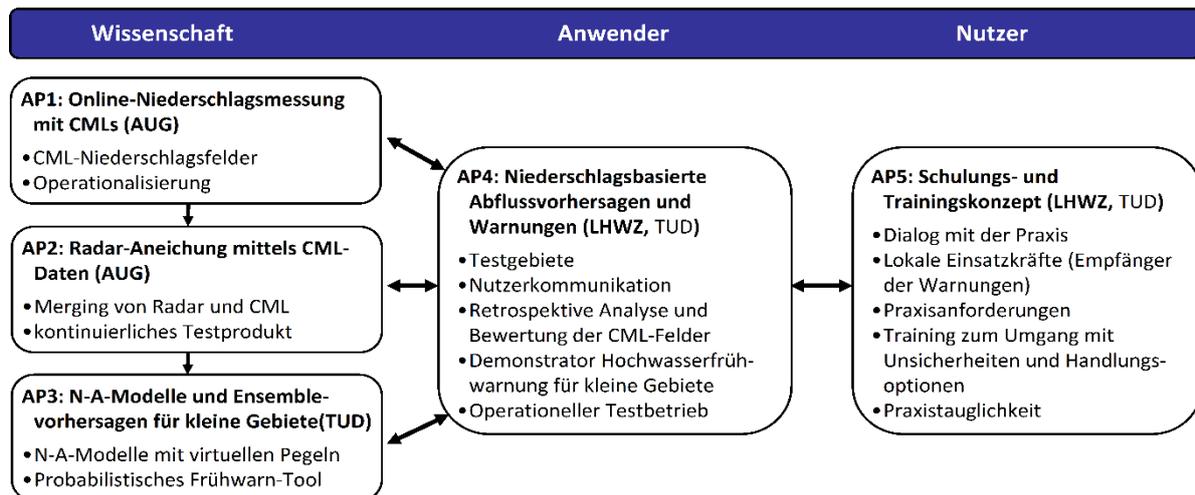


Abbildung 1: Übersicht Arbeitspakete Gesamtvorhaben

Beide Arbeitspakete (Niederschlagsbasierte Abflussvorhersagen und Warnungen sowie Schulungs- und Trainingskonzept) wurden durch das Landeshochwasserzentrum Sachsen (LHWZ) mit einem Personaleinsatz von jeweils 18 Personenmonaten über die gesamte Projektlaufzeit bearbeitet (exklusive kostenneutrale Verlängerung). Der Beitrag des Projektpartners LHWZ inkl. der Zusammenarbeit mit dem Verbundpartner TU Dresden wird im Folgenden vertieft dargestellt.

2.1.1 Niederschlagsbasierte Abflussvorhersagen und Warnungen (AP 4)

Hauptziel des Arbeitspaketes 4 war die Überprüfung der Eignung aus den APs 1 und 2 hervorgegangenen CML-Niederschlagsfeldern für die Hochwasservorhersage. Zudem wurde der Demonstrator eines Hochwasserfrühwarnsystems für kleine Einzugsgebiete erarbeitet.

Das Arbeitspaket 4 war in fünf Teil-Arbeitspakete untergliedert, an denen das LHWZ beteiligt war:

- Identifikation der Testgebiete (AP 4.1)
- Technisches Infrastruktur und Schnittstellen (AP 4.2)
- Retrospektive Analyse der Niederschlagsfelder (AP 4.3)
- Demonstrator Hochwasserfrühwarnung für kleine Einzugsgebiete (AP 4.4)
- Operationeller Testbetrieb (AP 4.5)

2.1.1.1 Identifikation der Testgebiete (AP 4.1)

Um eine intensive Betreuung durch die Projektpartner zu gewährleisten, wurden insgesamt drei Testgebiete innerhalb Sachsens gesucht, in denen die im Projektverlauf zu erstellenden Warnprodukte interaktiv mit den Nutzern konzipiert und erprobt werden können. Neben dem

Vorhandensein geeigneter CMLs („Richtfunkstrecken“) waren hierfür folgende Kriterien entscheidend:

- Kleine EZG (< 200 km²), die als Hochwasserentstehungsgebiete gelten und bei denen die Prozesse der Abflussbildung und -konzentration gegenüber dem Wellenablauf dominieren;
- Abdeckung unterschiedlicher, für Sachsen repräsentativer Naturräume;
- Gegliedertes Gelände sowie Lage im Fest- oder Lockergesteinsbereich;
- Betroffenheit durch HW-Ereignisse in jüngerer Vergangenheit

Es konnten die in Abbildung 2 dargestellten drei Testgebiete/Testregionen im Vogtland, Osterzgebirge sowie der Oberlausitz identifiziert werden.

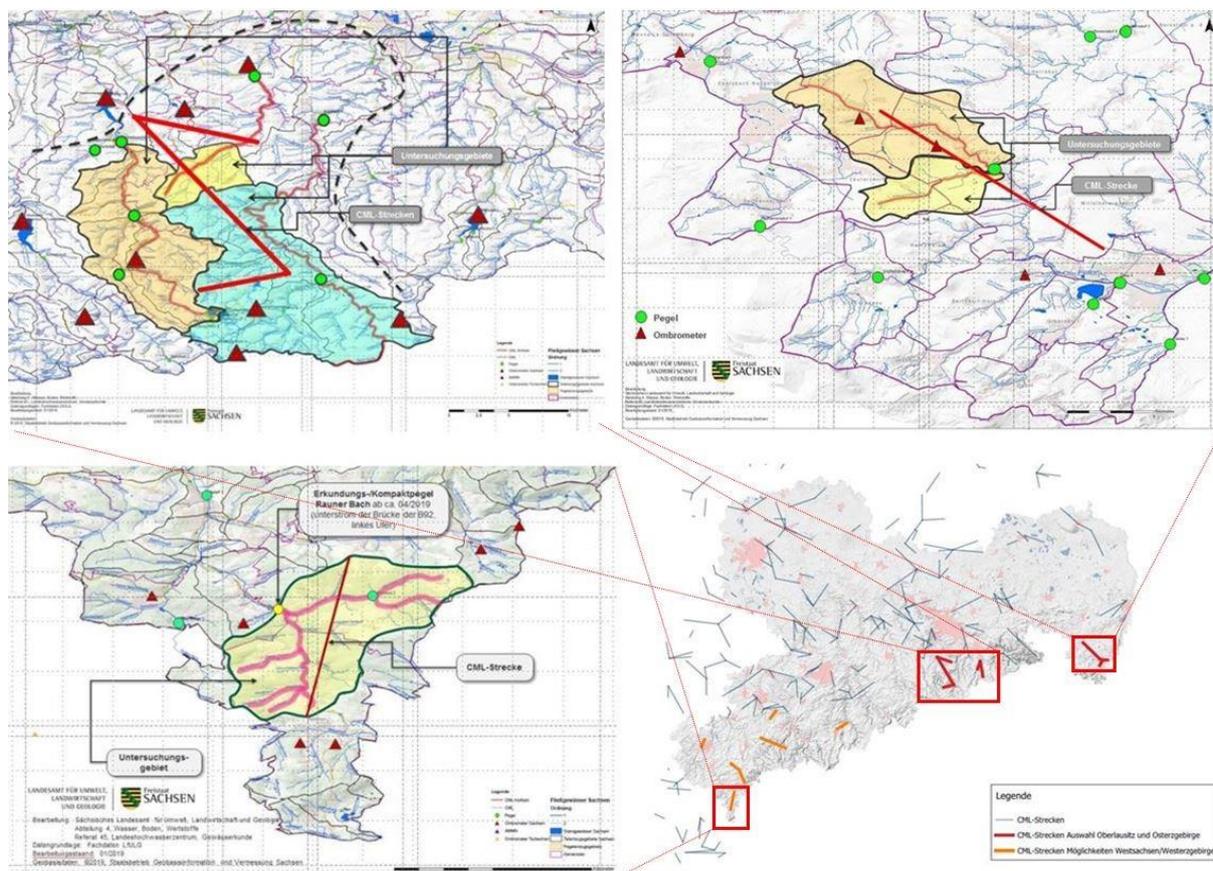


Abbildung 2: Übersicht der identifizierten Testgebiete in Sachsen

2.1.1.2 Technische Infrastruktur und Schnittstellen (AP 4.2)

Bezüglich der am LHWZ vorhandenen technischen Infrastruktur wurde eine Blaupause für die Typisierung/Beschaffenheit der durch den Verbundpartner AUG bereitgestellten Niederschlagsfelder erarbeitet, im Verbund abgestimmt sowie festgeschrieben. Es hat sich als zweckmäßig herausgestellt,

das proprietäre RADOLAN-Komposit-Format zu nutzen¹. Der entscheidende Vorteil bei dieser Entscheidung liegt daran, dass die neuartigen Niederschlagsdaten wie „gewöhnliche“ Radardaten beschaffen sind und so technisch von Folgeverfahren ohne größere Anpassungen zu verarbeiten sind. Interne Tests mit den so beschaffenen durch den Verbundpartner Uni Augsburg gelieferten Daten konnten diese Verarbeitbarkeit bestätigen.

2.1.1.3 Retrospektive Analyse der Niederschlagsfelder (AP 4.3)

Um eine vergleichende Bewertung der CML-Daten mit den RADOLAN-Daten durchführen zu können, wurde ein sog. „Hindcast“ durchgeführt. Beim Hindcast („Nachhersage“) wird im Gegensatz zu der Vorhersage, bei der auch Niederschlagsvorhersagen (Quantitative Precipitation Forecast; QPF) das Hochwasserfrühwarnsystem (HWFWS) antreiben, ein in der Vergangenheit liegender Simulationszeitraum ausschließlich mit – nunmehr bekannten – Niederschlagsschätzungen (Quantitative Precipitation Estimation; QPE) angetrieben. Als Ergebnis des Hindcasts erhält man für jeden Tag eine maximale Warnstufe pro Warngebiet. Die so berechneten Warnstufen werden zeitschrittweise mit einer Referenz verglichen, wobei als Referenz die tatsächlich beobachtete Ausprägung der Ereignisse in den einzelnen Warngebieten auf täglicher Basis dienen. Zum Vergleich von Beobachtung und Vorhersage (also dem Hindcast) wird eine sog. dichotome Bewertung eingesetzt, die nur zwei mögliche Ausgänge kennt: Treffer oder kein Treffer. Darauf basierend lässt sich der Vergleich anhand einer Kontingenztabelle vier möglichen Fällen zuordnen: Ein durch den Hindcast vorhergesagtes Ereignis kann tatsächlich eingetreten (True Positive; TP) oder nicht eingetreten (False Positive; FP) sein. Analog kann bei einer Vorhersage „kein Ereignis tritt ein“ das Ereignis tatsächlich nicht eingetreten (True Negative; TN) oder eingetreten sein (False Negative; FN).

Die folgende Abbildung 3 stellt die Methodik der angewendeten Verifikations-Analyse dar:

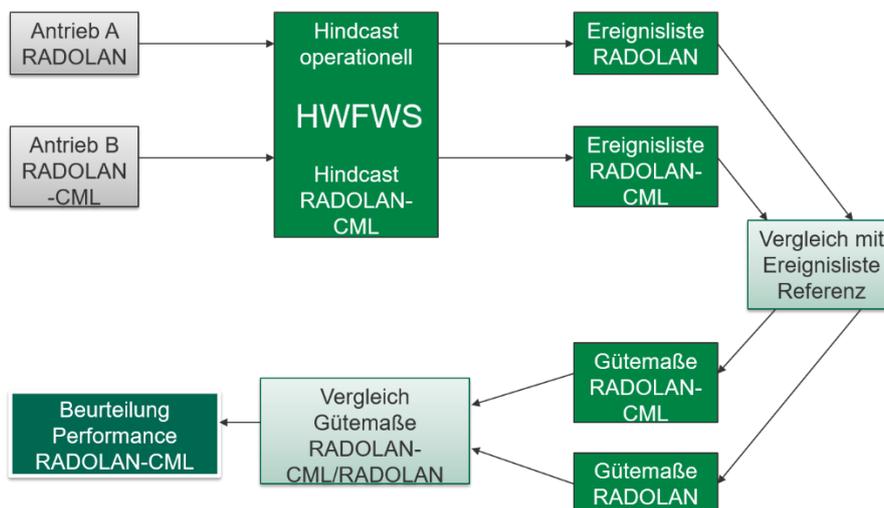


Abbildung 3: Überblick der für die Verifikations-Analyse angewandte Methodik

¹ Beschreibung siehe:

https://www.dwd.de/DE/leistungen/radolan/radolan_info/radolan_radvor_op_komposit_format_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=16

Anhand dieser vier Fälle lassen sich nun verschiedene Metriken für die Bewertung der Güte des Hindcasts erstellen, die jeweils für den Hindcast mit RADOLAN und mit CML-Antrieb verglichen werden können, von denen an dieser Stelle allerdings lediglich zwei kurz beschrieben werden sollen:

So gibt bspw. die True Positive Rate (TPR; Trefferrate) den Anteil an eingetretenen Ereignissen an, die durch das HWFWWS richtig vorhergesagt wurden, die False Positive Rate (FPR) hingegen den Anteil von Fällen, in denen ein Ereignis vorhergesagt wurde, aber nicht eingetreten ist. Die FPR kann demnach auch als Falschalarmrate bezeichnet werden. Weitere Gütemaße, die berechnet wurden, sind die False Negative Rate (FNR), die Area Under Curve (AUC) und der Critical Success Index (CSI).

Kurz zu den Ergebnissen: Die retrospektive Analyse für die CML-Niederschlagsfelder wurde für einen Zeitraum von 01.05.2018 bis 31.10.2018 durchgeführt, was unter anderem darin begründet ist, dass der Fokus der Analyse auf Perioden ohne Niederschlag mit fester Phase² liegen soll. In Abbildung 4 sind beispielhaft für das Warngbiet „Weiße Elster Bergland“ die beobachteten Warnstufen sowie die durch den Hindcast mit CML- bzw. RADOLAN-Antrieb ermittelten Warnstufen dargestellt.

Tabelle 1 zeigt die Anzahl der vier möglichen, anhand der Kontingenztabelle eingeteilten Fälle (TP, FP, TN, FN) des Vergleichs Hindcast vs. Beobachtung – jeweils für den Hindcast mit CML – und mit RADOLAN-Antrieb – aufsummiert über alle Zeitschritte (Tage) und alle Warngbiete. Daraus wird deutlich, dass ein Großteil der Vergleiche den trivialen Fall „True Negative“ ergeben, also „es wurde kein Ereignis vorhergesagt und es ist auch kein Ereignis beobachtet worden“. Die Anzahl nicht-trivialer Fälle ist zu klein, um eine statistisch belastbare Aussage bzgl. des Vergleichs CML/RADOLAN ableiten zu können. Dennoch legen die Zahlen nahe, dass der Hindcast mit CML-Antrieb generell robust und plausibel ist, da die Anzahl der vier Fälle für die Hindcasts beider Antriebe sich in ähnlichen Größenordnungen bewegt. Die höhere Anzahl an „False Positive“-Fällen beim CML-Antrieb deutet darauf hin, dass die CML-Daten teilweise fälschlicherweise einen Niederschlag anzeigen, bzw. diesen überschätzen.

² Zeitbereiche mit potentiell fester Niederschlagsphase (insbesondere Winterhalbjahr) wurden ausgeschlossen, da unter diesen Bedingungen eine Niederschlagsschätzung auf Basis der CML-Daten nicht möglich ist.

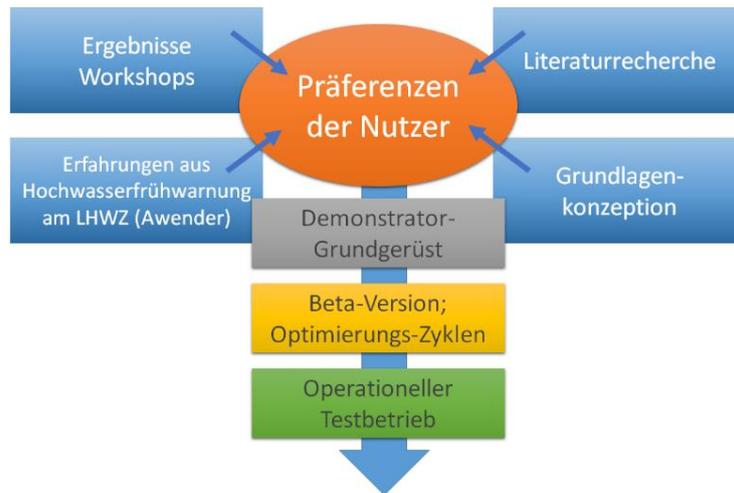


Abbildung 5: Vorgehensmodell zur Konzeption des Demonstrators Hochwasserfrühwarnung

Basierend auf den Erkenntnissen aus der ersten Workshopreihe (siehe ff. Abschnitt zum AP 5), intensiver Literaturrecherche sowie Erfahrungen aus dem Betrieb des Hochwasserfrühwarnsystems am LHWZ (z.B. Philipp, 2015) wurde eine erste, noch nicht operationelle Version des Demonstrators entwickelt. Hierbei wurde den Nutzern auf technischer, fachlicher und Layout-Ebene ein Gerüst vorgeschlagen. An verschiedenen Stellen konnten die Nutzer im Rahmen der zweiten Serie der Workshops (AP 5.3.; s.u.) entsprechend ihrer Präferenzen weitere Entscheidungen treffen, um eine optimale Anpassung des Demonstrators an die Anforderungen für die Arbeit im Einsatzfall zu gewährleisten. Basierend auf den Ergebnissen der zweiten Workshopreihe wurde eine erste Online-Version des Demonstrators erstellt. Während der operationellen Testphase wurde der Demonstrator dann von den Nutzern intensiv bzgl. der Handhabung und der Praxistauglichkeit beurteilt, Änderungen wurden in dieser Phase in Form von Updates eingespielt und diese in der dritten Workshopreihe diskutiert und abschließend bewertet.

Im Rahmen der beschriebenen Iterationen mussten eine Vielzahl von Aspekten und Parametern besprochen und geklärt werden. Diese sind beispielhaft durch die folgende Abbildung verdeutlicht werden.

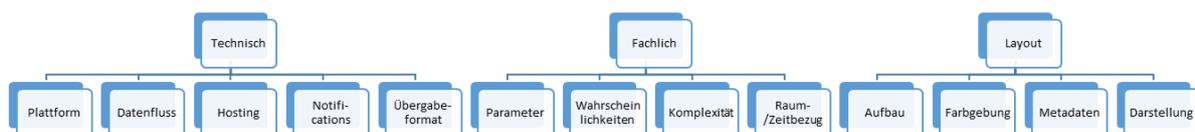


Abbildung 6: Übersicht zu den für den Aufbau und die Funktionsweise des Demonstrators relevanten Aspekten

Folgende Ergebnisse und Festlegungen wurden im Zuge dieser iterativen Vorgehensweise erhalten bzw. getroffen:

Die ursprünglich geplante Verteilung der Warnungen über das LHWZ-eigene IT-System HWIMS³ wurde eingehend geprüft, aber aus folgenden Gründen nicht weiter verfolgt: Da das HWIMS an die offizielle Hochwassernachrichten- und Alarmdienstverordnung gebunden ist, ergeben sich einige, insbesondere formal-administrative Einschränkungen, die für den Einsatz im Rahmen des Projektes ungünstig waren. Dies betrifft vor allem Vorgaben und feste Strukturen bezüglich der möglichen Nutzer sowie der Warnggebiete und fachlichen Abläufe (Rückmeldung aller Nutzer unbedingt erforderlich, sonst „Eskalation“; Warnung und Entwarnung erforderlich, etc). Außerdem wurde auch im Gespräch mit den Nutzern schnell klar, dass eine Verteilung von Warnungen per Email inklusive angehängter Karten oder Grafiken unübersichtlich und nicht praktikabel ist. Die Nutzer benötigen eine kartenbasierte Plattform, die permanent zugänglich ist und regelmäßig mit den aktuellsten Berechnungen des Frühwarnsystems geupdated wird. Von Nutzerseite aus wurde mehrheitlich angegeben, dass der initiale „Trigger“ für ein herannahendes Ereignis ohnehin über die Warnungen des DWD (z.B. WarnWetter-App) erfolgt.

Im fachlichen Bereich stellte sich zunächst die Frage, welche Informationen bei der Darstellung von probabilistischen Hochwasservorhersagen von den Nutzern benötigt werden. Pappenberger et al. (2013) empfehlen neben der Angabe von Durchfluss, Vorwarnzeiten, Unsicherheiten, Warnlevels und Metadaten zum jeweiligen Standort, auch die Bereitstellung von vergangenen Modellläufen bzw. Vorhersagen, um dem Nutzer eine Einschätzung der zeitlichen Entwicklung- und somit der Konsistenz der Vorhersagen zu ermöglichen. Außerdem sollten die „Worst-/Best-Case-Szenarien“ sowie ein Maß zur Abschätzung des Risikos (z.B. Kosten, Schäden, betroffene Bevölkerung) in die Darstellungen integriert werden. Diese Punkte decken sich weitgehend mit den von den Nutzern genannten Anforderungen, wobei insbesondere die vorangegangenen Vorhersagen eher für die Akteure mit akademischem Hintergrund von Interesse waren. Zusätzlich war es den in den Workshops befragten Nutzern wichtig, auch den zu erwartenden Niederschlag inklusive dessen Eintrittswahrscheinlichkeit explizit als Parameter dargestellt zu bekommen.

Beim Layout wurde bezüglich der Farbgebung darauf geachtet, dass – soweit möglich – den Nutzern bekannte/geläufige Farbskalen verwendet wurden. Die Darstellung der erwarteten Niederschlagsmengen wird daher an die beim DWD beispielsweise für Radardaten verwendete Farbskala angelehnt. Bei den auf den Abflussvorhersagen basierenden Warnstufen, wurde das vom LHWZ zur regionalen Frühwarnung verwendete Farbschema übernommen. Für kontinuierliche Variablen, bei denen die Reihenfolge leicht zu interpretieren ist, wie z.B. den Wahrscheinlichkeiten, wird in der Literatur generell die Verwendung von sequentiellen Farbskalen (von hell nach dunkel einer Farbe) empfohlen (Fundel, 2019; Stauffer, 2015). Dies wurde bei der Darstellung des zeitlichen Verlaufs der zu erwartenden Niederschlagsmengen in Abhängigkeit von deren

³ HWIMS: Hochwasserinformations- und -managementsystem. Bildet alle Prozesse des amtlichen Hochwassernachrichten- und -Alarmdienstes in Sachsen ab; u.a. Datenhaltung, Ereignisfeststellung, SMS-Benachrichtigungen etc.

Eintrittswahrscheinlichkeit umgesetzt. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde die Anwendung zunächst wie folgt konzipiert und erstellt:

Technisch:

- Hosting über frei erreichbaren Server (konkret: WWW-Server der TU Dresden);
- Kartenbasierte Darstellung als Leaflet⁴-Anwendung (hereinzoombar);
- Automatische Aktualisierung der Inhalte bei jeder neuen Berechnung des Frühwarnsystems;
- Übergabeformate: Ergebnisgrafiken in Standardformaten; Meta- und Fachdaten als JSON bzw. GeoJSON

Fachlich:

- Darstellung von Abfluss UND Niederschlag (in separaten Fenstern);
- Darstellung von 3 Wahrscheinlichkeits-Szenarien („kommt auf jeden Fall“ – „möglich“ – „Worst Case“);
- Darstellung von einfach (Warnlevel; „farbige Punkte“) zu komplex (zeitlicher Verlauf, Detail-Diagramme etc.);
- Darstellung von Quantilen/Perzentilen;
- Darstellung des Niederschlags: Wahrscheinlichkeit des Überschreitens von Intensitäten vs. Intensitäten für bestimmte Wahrscheinlichkeiten;
- Rasterdarstellung UND gebietshafte Aggregation

Design:

- Erklärungen in Text und bei „Mouseover“;
- Farbgebung konsistent für: Warnstufen, Intensitäten, Wahrscheinlichkeiten;
- Design der Karten: Darstellung als (ein- und ausblendbare) Layer vs. statische Karten;
- Angabe von Metadaten (z.B. Vorhersagezeitpunkt, Gültigkeitszeitraum, usw.)

2.1.1.5 Operationeller Testbetrieb (AP 4.5)

Die aus dem Workshops (AP 5) einlaufenden Nutzerrückmeldungen wurden gesichtet, strukturiert und fachlich bewertet und eine gerichtete Anpassung von Warnprodukten vorgenommen. Auch während des operationellen Testbetriebes wurden basierend auf den Rückmeldungen der Nutzer Änderungen und Ergänzungen vorgenommen. Neben einigen kleineren Verbesserungen, die hauptsächlich das Layout betrafen, waren die wichtigsten Updates dabei Anpassungen des Gebietszuschnitts sowie eine Verkürzung des Aktualisierungsintervalls von drei auf eine Stunde. Der operationelle Testbetrieb des Demonstrators konnte bis zum heutigen Tage aufrechterhalten werden (auch nach Ende der Projektlaufzeit). Dazu wird ein Server an der TU Dresden genutzt. Die Warnprodukte werden nach wie vor durch das LHWZ überwacht und einer fortlaufenden Verifikation unterzogen. Je nach Untersuchungsgebiet weist das Verfahren dabei Trefferraten von über 80% und Falschalarmraten von unter 5% (tägliche Bewertung) auf. Als Besonderheit ist zu erwähnen, dass

⁴ Leaflet ist eine Java-Script-Bibliothek zum Erstellen von Kartenanwendungen; siehe: <https://leafletjs.com/>

bereits prozessierte Ergebnisse nicht verworfen werden, sondern auch nachträglich noch erreichbar sind:

„Live-Version“⁵: <http://howa-innovativ.hydro.tu-dresden.de/WebDemoLive/>

Beispiel für „altes“ Ereignis: http://howa-innovativ.hydro.tu-dresden.de/WebDemoLive/2021071712/HoWa_Demonstrator.html

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einige Screenshots aus dem Demonstrator:

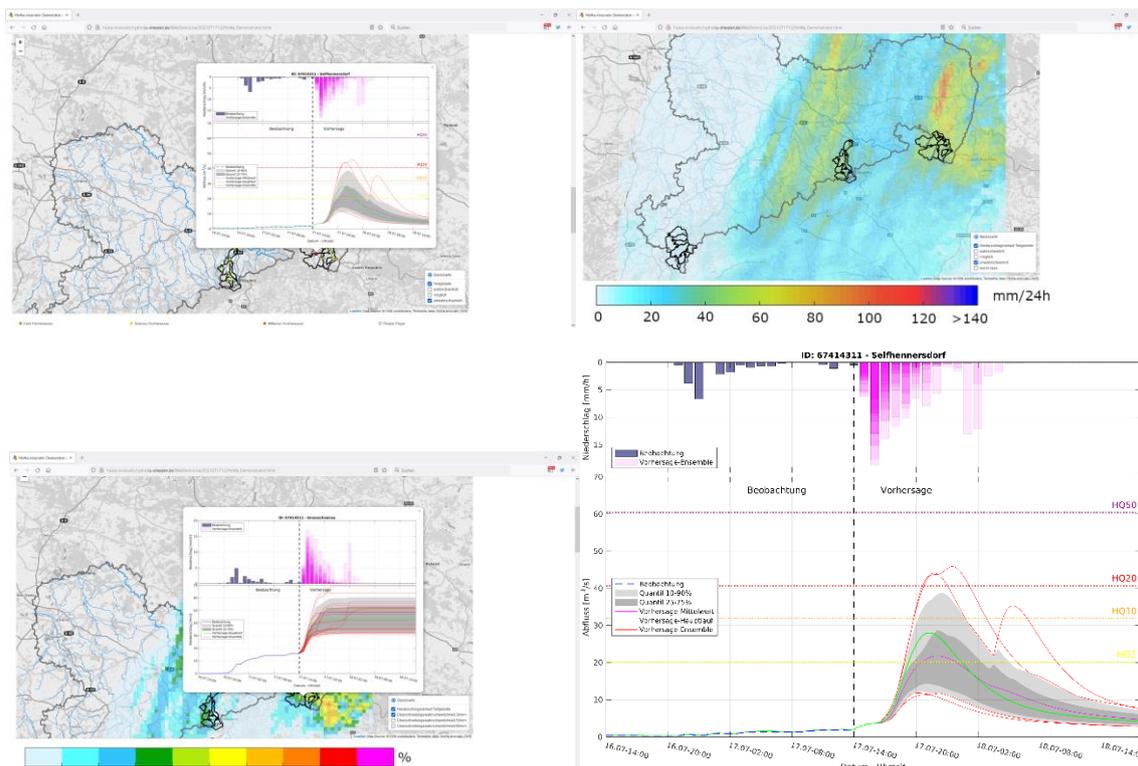


Abbildung 7: Beispiel-Abbildungen aus dem operationellen Einsatzdemonstrator Hochwasserfrühwarnung

2.1.2 Schulungs- und Trainingskonzept (AP 5)

Zentrales Element des Schulungs- und Trainingskonzeptes ist eine Serie von drei Workshops, die in jeder der drei Testregionen durchgeführt wurden. Dabei wurden zwei Hauptziele verfolgt, die eng miteinander verzahnt sind. Erstens sollen die Nutzer in der Anwendung probabilistischer Warnungen geschult und trainiert werden. Das Training basiert insbesondere auf der Anwendung des Demonstrators für ein nutzerorientiertes, probabilistisches Frühwarnsystem (siehe Abschnitt 2.1.1.4). Die wechselseitige Entwicklung des Demonstrators entlang der bei den

⁵ Es werden nur neue Berechnungen initiiert, wenn in der Niederschlagsvorhersage signifikante Signale vorliegen; sonst wird eine Meldung sinngemäß „keine Gefährdung“ ausgegeben.

Workshops erheben Anforderungen und Präferenzen der Nutzer ist der zweite inhaltliche Fokus. Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen dieses Vorgehensmodell.



Abbildung 8: Zur Rolle der Workshops für das Produktdesign, das Demonstrator-Design sowie für Schulung und Training



Abbildung 9: Hauptaspekte der konzipierten und durchgeführten Workshops

Die Kernziele der einzelnen Workshops sind im Folgenden kurz aufgelistet, eine detailliertere Darstellung erfolgt in den jeweils folgenden Unterabschnitten:

- Ziele Workshopreihe 1
 - Wissensbasis probabilistische Warnungen legen und Akzeptanz vergrößern
 - Detaillierte Einblicke in Nutzerverhalten erlangen
 - Verwendete Informationsquellen
 - Maßnahmen und Vorwarnzeiten
 - Erhebung von Anforderungen an zu entwickelndes Frühwarnsystem
- Ziele Workshopreihe 2
 - Präzisierung der fachlichen und inhaltlichen Präferenzen
 - Training und Erarbeitung von nutzergerechten Interpretationshilfen zum Umgang mit dem Frühwarn-Tool

- Ziele Workshopreihe 3
 - Bewertung der Praxistauglichkeit
 - Training der Nutzer (anhand realer Ereignisse im Demonstrator)
 - Erhebung von Nutzerrückmeldungen bezüglich Einsatzmöglichkeiten, Handhabbarkeit und Mehrwert des Frühwarn-Demonstrators



Abbildung 10: Impression vom HoWa-Workshop (Phase 1) am 25.09.2019 in Glashütte (Foto: Jens Grundmann)

Didaktisch wurden dabei folgende Methoden eingesetzt, um die Inhalte zu vermitteln:

- Vorträge
- Interaktives Spiel (Serious Game)
- Quantitative Erhebung (Fragebogen)
- Qualitative Erhebung
- Beispiele aus der Praxis
- Offene Diskussion
- Evaluationsbögen
- Online-Umfragen

Alle relevanten Werkzeuge, Unterlagen, Befunde etc. wurden in einem Workshopkonzept festgehalten, welches während der Bearbeitung des Arbeitspaketes fortgeschrieben und konsolidiert wurde.

2.1.2.1 Nutzeraktivierung (AP 5.1)

Das Ziel des Teil-APs war die Auswahl von Nutzern von Hochwasserfrühwarnungen in den Testgebieten. Nach Recherche der Organisationsstrukturen der Hochwasser-/Gefahrenabwehr in den Testgebieten, stellte sich heraus, dass für das Einbeziehen aller relevanten lokalen Akteure, sowohl die Kreis- als auch die kommunale Ebene angesprochen werden muss. Hierfür wurden

Sachbericht zum Verwendungsnachweis: HoWa-innovativ – Hochwasserfrühwarnung für kleine Einzugsgebiete mit innovativen Methoden der Niederschlagsmessung und -vorhersage – Teilvorhaben: Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung

Ansprechpartner mit umfangreicher Kenntnis der Organisation, Abläufe und Personalien der Hochwasser-/Gefahrenabwehr identifiziert. Zusammen mit diesen Ansprechpartnern konnten verschiedene Aspekte (z.B. exakte räumliche Festlegung der Untersuchungsgebiete; Teilnehmer, Ort und Datum der Workshops; etc.) der jeweiligen Testgebiete in jeweils einem ersten Anbahnungstreffen besprochen werden.

Als potentielle Ansprechpartner wurden auf Kreisebene z.B. die Leiter oder Mitarbeiter der in den jeweiligen Landratsämtern ansässigen unteren Wasser- sowie Katastrophenschutzbehörden als relevant identifiziert. Weiterhin sollte jeweils der Kreisbrandmeister einbezogen werden, da er in direktem Kontakt zu lokalen Einsatzleitungen steht.

Auf kommunaler Ebene weisen die Strukturen der Gefahrenabwehr teilweise leichte Unterschiede zwischen den Testgebieten, aber auch teilweise innerhalb der Testgebiete, auf. So waren mithin relevante Ansprechpartner z.B. die Bauhof- sowie Ordnungsamtsleiter der Stadt- bzw. Gemeindeverwaltungen. Besonders hervorzuheben ist die Wichtigkeit der Beteiligung der jeweiligen Einsatzleiter der kommunalen Wasser-⁶/Feuer-/Orts- bzw. Gefahrenabwehr.

Nachdem für jedes Testgebiet ca. fünf Ansprechpartner aus oben beschriebenem Personenkreis identifiziert wurden, wurden in telefonischem und schriftlichem Kontakt, Termine, Inhalte und Örtlichkeiten für erste Anbahnungstreffen in den Testgebieten vorbereitet, die im Februar 2019 stattfanden. Auf den Anbahnungstreffen wurde den Ansprechpartnern zunächst ein kurzer Überblick über das Projekt und die darin enthaltenen Arbeitspakete gegeben. Ziel der Anbahnungstreffen war es, mit den teilnehmenden Ansprechpartnern folgende Punkte zu abzuklären:

- Bestätigung bzw. Anpassungen des vorgeschlagenen Zielgebietes und darin liegender Gewässer von Interesse;
- Teilnehmerkreis für die Workshops;
- Ort und Termin der Workshops;
- Vorgehen zum Aktivieren aller potentiellen Teilnehmer der Workshops

Basierend auf den Recherchen zur Nutzeraktivierung sowie den Festlegungen und Absprachen mit den Ansprechpartnern in den Anbahnungstreffen, konnten aus den betroffenen Gemeinden die relevanten Akteure als Teilnehmer für die Workshops gewonnen werden. Bis auf eine Gemeinde war die Resonanz stets sehr positiv, es waren alle angesprochenen Akteure der Gemeinden bereit, sich an der Entwicklung des Demonstrators für das Frühwarnsystem zu beteiligen. Pro Workshop betrug die Teilnehmeranzahl zwischen 20 und 30 Personen.

2.1.2.2 Praxisanforderungen probabilistischer Warnungen – Workshop-Phase 1 (AP 5.2)

Nachdem die Teilnehmer für die Workshops identifiziert und gewonnen werden konnten („Aktivierung“), mussten frühzeitig die Räumlichkeiten und Termine für die jeweiligen Workshops organisiert werden. Für die Findung der geeigneten Räumlichkeiten wurden die in den Anbahnungstreffen gesammelten Vorschläge für ihre Tauglichkeit bewertet und in Absprache mit

⁶ In Sachsen muss jede Kommune, welche von einem signifikanten Hochwasserrisiko betroffen ist, eine Wasserwehr aufstellen.

den Ansprechpartnern festgelegt. Zur Festlegung eines optimalen Termins, wurde vom LHWZ pro Pilotregion ein Zeitfenster ausgewählt und per Terminumfrage an alle potentiellen Teilnehmer der am besten geeignete Termin bestimmt. Im Ergebnis wurden folgende Workshops („Phase 1“) abgehalten:

- Pilotregion **Vogtland**: 19.09.2019, 17:00 Uhr bis 20:00 Uhr, Gerätehaus der Freiwilligen Feuerwehr Adorf
- Pilotregion **Osterzgebirge**: 25.09.2019, 09:00 Uhr bis 12:00 Uhr, Arthur-Fiebig-Haus Glashütte
- Pilotregion **Ostsachsen**: 07.11.2019, 17:00 Uhr bis 20:00 Uhr, Gemeindeverwaltung Oderwitz

Der dritte Workshop in Oderwitz wurde mit einem gewissen zeitlichen Abstand zu den anderen beiden Workshops angesetzt, damit diese zunächst ausgewertet, Änderungen bzw. Optimierungen abgeleitet und entsprechend für den dritten Workshop der ersten Phase in Oderwitz implementiert werden können. Anhand von Vorträgen, Fragebögen, interaktiven Spielen, Interviews sowie Gesprächs- und Diskussionsrunden wurden folgende Ziele verfolgt:

- Das Legen einer gemeinsamen Wissensbasis im Bereich Hochwasservorhersage/-warnung;
- Einen Überblick über die Inhalte und Arbeitsschritte des Projektes HoWa-innovativ zu geben;
- Erklärungen und Informationen über probabilistische Warnungen zu geben;
- Erhebung des Nutzerverhaltens im Ereignisfall;
- Erhebung der Anforderungen an ein HWFWS;
- Erhebung der Anforderungen an die Darstellung probabilistischer Warnungen;
- Vertrauen schaffen;
- Dialog zwischen den einzelnen Verwaltungsebenen sowie den Einsatzleitungen der Feuerwehr/Wasserwehr fördern

Beispielhaft sollen tabellarisch kurz die folgenden Ergebnisse als Antworten auf den Fragebogen „Welche Maßnahmen gibt es und welche Vorwarnzeiten werden dafür benötigt?“ dargestellt werden:

Vogtland:

Maßnahmen	Vorwarnzeiten
Sandsäcke füllen und verteilen	1 h bis 3 h
Bevölkerung warnen	1 h bis 3 h (6 h)
Einsatzplanung	4 h
Evakuierung gefährdeter Gebiete	1,5+ h bis 2 h
Kräfte aktivieren (Wasserwehr, zusätzliche)	1 h bis 3 h
Bildung/Alarmierung/Info an Führungsstab	3 h bis 4 h

Osterzgebirge:

Maßnahmen	Vorwarnzeiten
Sandsäcke füllen	0,5 h bis 2 h
Mobile Schutzwand aufbauen	1 h

Bevölkerung informieren	0,5 h bis 1 h
Ortsfeste Befehlsstellen organisieren / aktivieren	0,5 bis 3 h
Einsatzkräfte (FW, THW, Bauhof) abfragen/aktivieren	1 h bis 2 h
Kontrolle Flussläufe (Durchlässe Reinigen, Pegelkontrolle aktivieren)	2 h bis 8 h
Warnung an Gemeinden/Dritte	1 h bis 2 h
Info an LRA Verwaltungsstab für Großlagen	1 h bis 2 h
Auslösen Warnapp BIWAPP	0,5 h
Vorentlastung Stauanlagen	48 h

Ostsachsen:

Maßnahmen	Vorwarnzeiten
Sandsäcke füllen und verteilen	0,5 h bis 2 h
Absicherung gefährdeter Gebäude	2 h bis 3 h
Bevölkerung informieren	1,5 bis 2,5 h
Ortsfeste Befehlsstellen organisieren / aktivieren	0,5 bis 4 h
Einsatzkräfte abfragen/aktivieren	0,5 h bis 2 h
Info an LRA Verwaltungsstab für Großlagen	1 h bis 6 h
Alarmstufen ausrufen	6 bis 12 h

Ein weiterer Fragebogen zur Erhebung der Praxisanforderungen fokussierte auf die Anforderungen bezüglich der Ausprägung und Eigenschaften eines geeigneten Hochwasserfrühwarnsystems bzw. daran abgebildeter Frühwarnprodukte:

Tabelle 2: Frage- und Antwortbeispiele Fragebogen zur Erhebung der Praxisanforderungen Hochwasserfrühwarnung

Kriterium	Vogtland	Osterzgebirge	Ostsachsen
Akzeptierte Falschalarmrate (Median)	35,8 %	38,5 %	Kleineres HW: 59,7% Größeres HW: 28,8%
Vorwarnzeit ↔ Zuverlässigkeit	53 % ↔ 47%	37 % ↔ 63%	41 % ↔ 59 %
Bevorzugte Darstellung (häufigste Antwort)	Kleinräumige Ampelkarte (zoombar)	Kleinräumige Ampelkarte (zoombar)	Wasserstands-vorhersage (Ganglinien), Schwellenwert-überschreitung
Verwendete Warnprodukte (häufigste Antwort)	DWD-WarnWetter-App	DWD-WarnWetter-App	DWD-WarnWetter-App

Im Bereich der probabilistischen Vorhersageprodukte lag der Fokus zum einen auf der Frage, ob auch jene Nutzer ohne einen fachlich-hydrologischen Hintergrund, die beigegebenen Informationen über die Unsicherheit verstehen können und zum anderen, ob sie den Mehrwert der Bereitstellung dieser Informationen sehen. So ist die Annahme weit verbreitet, dass die Behörden des Katastrophenschutzes es bevorzugen, ihre Entscheidungen aufgrund einer deterministischen ja/nein-Entscheidung zu treffen (Demeritt, 2011; Ramos, 2010). Auch Adams (2016) bezeichnet es als große Herausforderung und Notwendigkeit, die Akzeptanz und das Verständnis probabilistischer

Vorhersagen bei Endnutzern zu erhöhen. Es gibt in der Literatur eine Reihe weiterer Beispiele, die nahe legen, dass probabilistische Vorhersagen zwar einen zusätzlichen Nutzen für fachlich versierte oder institutionelle Nutzer bieten können (z.B. McCarthy, 2007; Frick, 2011; Wetterhall, 2013; Vogelbacher, 2014) aber nicht unbedingt die Risiko- und Gefahrenbewertung durch die breite Bevölkerung verbessern (z.B. Brilly, 2005; Gigerenzer, 2005; Morss, 2008).

Norbert (2010) hat jedoch am Beispiel von Schweden, wo probabilistische Produkte von den entsprechenden Behörden für die Kommunikation von Unsicherheiten in der Hochwasservorhersage verwendet werden, gezeigt, dass die Vorteile doch auch von den Nutzern gesehen werden, wenn entsprechende Kommunikation betrieben wird. Im Rahmen der ersten Workshopreihe konnten diese Befunde bestätigt werden: Ein Großteil der Nutzer (39 von 42) gaben im Rahmen eines Evaluationsbogens regions- und nutzergruppenübergreifend an, nach dem Workshop die Gründe für die Verwendung von Unsicherheitsangaben an sich besser zu verstehen und diese auch im Einsatz verwenden zu wollen. Obwohl tendenziell das Interesse und das Verständnis für detailliertere Darstellungen bei fachlich versierteren Nutzern größer ist, wird auch für die weniger versierten Nutzer ein Mehrwert durch die Verwendung probabilistischer Warnungen gesehen.

2.1.2.3 Training und Handlungsoptionen – Workshop-Phase 2 (AP 5.3)

In einer weiteren Phase der Nutzerbeteiligung („Phase 2“) wurden weitere Anwender-/Nutzerworkshops konzipiert, organisiert, durchgeführt und ausgewertet. Dabei standen die Aspekte Schulung und Training der Nutzer von probabilistischen Frühwarnungen (aus dem Demonstrator) im Vordergrund. Das Hauptziel war, ein gegenseitig besseres Verständnis zu entwickeln bei der lagebedingten Notwendigkeit, Entscheidungen unter unvollständigen, unsicherheitsbehafteten Informationen zu treffen.

Pandemiebedingt mussten die bereits als Präsenzworkshops konzipierten und vorbereiteten Veranstaltungen verschoben, sowie komplett und ganzheitlich als Online-Veranstaltung umgeplant werden. Schlussendlich fanden die Workshops der Phase 2 wie folgt statt: 16.11.2020 (Region Vogtland), 23.11.2020 (Region Osterzgebirge) und am 03.12.2020 (Region Ostsachsen), jeweils in Form eines WebEx-Meetings.

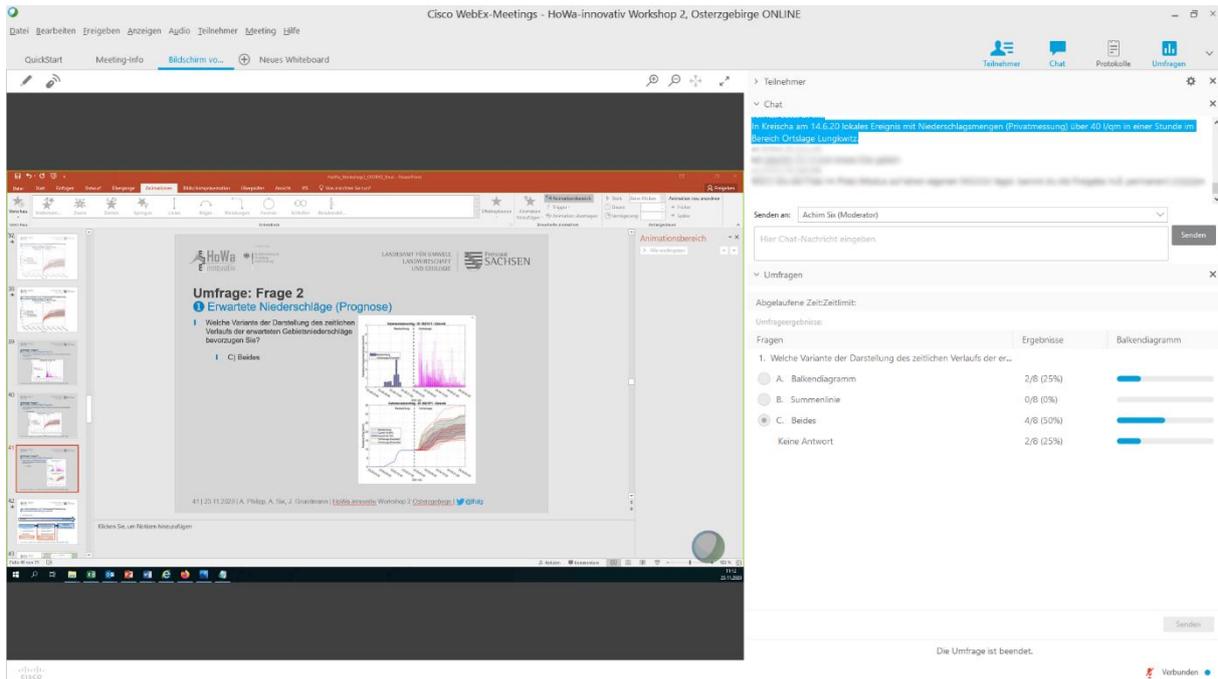


Abbildung 11: Eindruck WebEx-Meeting Workshop 2 Osterzgebirge; rechts im Bild ist eine für die Nutzer freigegebene interaktive Umfrage zu sehen

In den Workshops wurden zunächst die fachlichen Hintergründe wiederholt und vertieft. Dies war nötig, um im nächsten Schritt den Nutzern mit einer Vorstellung des Demonstrators in der bis dato aktuellen Ausbaustufe anhand von Beispielergebnissen, dessen Aufbau und Inhalte zu vermitteln. Anschließend konnten die Nutzer über präferierte Darstellungsformen an verschiedenen Stellen des Demonstrators abstimmen. Die geschah mithilfe der Live-Umfrage-Funktion direkt in WebEx (siehe Abbildung 11). Im Anschluss an die Workshops, wurden die Ergebnisse der Umfragen ausgewertet, um auf Basis dieser Befunde das finale Design des Demonstrators festzulegen. Kritisch zu sehen sind bei dem Vorgehen folgende Punkte: Zum einen sind die Nutzer vor einer ausgiebigen Testphase vielleicht gar nicht in der Lage, korrekt einzuschätzen, welche Darstellungen sie im Einsatzfall tatsächlich präferieren Frey (2017), zumal die sie das System zu dem Zeitpunkt noch nicht ausgiebig testen konnten. Hier würde es sich lohnen, das Verhalten der Nutzer durch den Zugriff auf die Nutzerdaten untersuchen zu können (Fundel, 2019), was zusätzlich den Vorteil hätte, zwischen den Nutzergruppen unterscheiden zu können. Das Schaffen einer entsprechenden technischen Einrichtung in der operationellen Phase des Demonstrators (AP 4.5) hätte aber den Rahmen des Projektes gesprengt, weshalb darauf verzichtet werden musste. Des Weiteren wurden die Nutzer anhand verschiedener Beispielfälle im Umgang mit dem Demonstrator geschult. Dabei wurde insbesondere Bezug auf die auf kommunaler Ebene vorhandene Alarm- und Einsatzplanung genommen, diese gemeinsam mit den Nutzern besprochen und Punkte identifiziert, wo eine direkte Ankopplung von Frühwarnprodukten bzw. deren fachlicher Inhalte an Entscheidungspunkte in der Einsatzplanung möglich und sinnvoll ist.

Ein besonderer Aspekt des Gesamtvorhabens ist die Verarbeitung von Unsicherheiten und deren Propagierung von den Antriebsdaten, über das Modellsystem bis hin zum Modelloutput, bzw. den

daraus abgeleiteten Warnprodukten. Ein Ziel des Teil-Arbeitspakets 5.3 war es, Umgang mit Entscheidungen unter Unsicherheit stärker zu rationalisieren und dafür Werkzeuge des „Serious Gaming“ einzusetzen. Auf diesem Wege konnte den Nutzern zwar verdeutlicht werden, dass – auf lange Sicht – eine probabilistische Sicht besser als eine rein deterministische Herangehensweise ist. Allerdings hat sich auch herausgestellt, dass es weiterer Aktivitäten bedarf, um die Kluft zwischen einer deterministischen „Null-Eins“-Herangehensweise („Baue ich die mobile Schutzwand auf, oder nicht?“) und dem tatsächlichen Nutzbarmachen des Mehrwerts von probabilistischen Vorhersagen zu verringern (siehe dazu auch Kox, 2019).

2.1.2.4 *Praxistauglichkeit des Demonstrators – Workshop-Phase 3 (AP 5.4)*

Die dritte und finale Phase der Workshops wurde in 2021 durchgeführt. Pandemiebedingt musste auch dafür – entgegen dem ursprünglich avisierten Präsenz-Format – auf das Online-Format (WebEx) zurückgegriffen werden. Das Hauptziel des jeweils dritten Nutzer-Workshops war es, die Nutzer noch einmal mit den zu den vorangegangenen Workshops, aber auch durch zwischenzeitliche Interaktion (telefonisch, per Email, persönlich), geäußerten Ansprüchen und Wünschen an den Einsatzdemonstrator bzw. der dort vorgehaltenen Warnprodukte vertraut zu machen und gewissermaßen die finale Ausbaustufe vorzustellen. Mit Hilfe von Fragebögen und Diskussionen wurde ein abschließendes Feedback der Nutzer zu deren Erfahrungen beim Umgang mit dem Demonstrator in der Praxis eingeholt, um die Tauglichkeit des Demonstrators bewerten zu können.

Eine zentrale Rolle nahmen dabei probabilistische Darstellungsformen ein (siehe Abbildung 12), wobei die wichtigsten Kernaussagen und Befunde aus den Nutzerfeedbacks dazu waren:

- Die Einteilung der Darstellung in Beobachtung/Vergangenheit sowie Niederschlag/Abfluss wird von den Nutzern verstanden und als übersichtlich und hilfreich erachtet.
- Die Darstellung der Unsicherheiten für Niederschlag und Abfluss können nach den im Training erfolgten Erklärungen, bis auf vereinzelte kleinere Unklarheiten (z.B. „Was ist der Hauptlauf?“) richtig gelesen und interpretiert werden.
- Teilweise wären Darstellungen/Informationen über den Wasserstand erwünscht; bislang basiert die Darstellung hydrologischer Daten ausschließlich auf Abflüssen (m^3/s).
- Je nach Nutzergruppe fällt die Interpretation von HQ-Werten durchaus schwer, weshalb eine Darstellung von Referenzwerten in verbaler Form (analog der Einteilung in der Übersichtskarte) oder – gegebenenfalls zusätzlich – anhand der Werte „markanter“ abgelaufener Ereignisse gewünscht wird.

Letztendlich ist vor allem an den beiden letztgenannten Punkten auch der Wunsch nach einer „impaktbasierten“ Vorhersage ablesbar, also der Wunsch nach einer konkreten Information über die zu erwartenden Auswirkungen an einem konkreten Ort.

Zur Bewertung der Tauglichkeit des Demonstrators im Einsatz seitens der Nutzer kann folgendes zusammengefasst werden. Es ist dabei zu betonen, dass die fachlichen Hintergründe sowie die Arbeits- und Einsatzbereiche und somit die Präferenzen der Nutzergruppen sehr unterschiedlich sind:

- Der Aufbau des Demonstrators mit der Einteilung in vier Abschnitte sowie in Überblicks- und Detailansicht sowie die Möglichkeit zum Aufruf vorangegangener Vorhersagen wird von den Nutzern als übersichtlich und intuitiv im Handling empfunden. Auch die Bereitstellung unterschiedlicher Darstellungen des Niederschlags nebeneinander (Schwellwert- und Quantilstatistik) wurde eher als Informationszugewinn, denn als ein Verlust von Übersichtlichkeit gesehen. Diese Erfahrungen decken sich mit denen von Pappenberger (2013), der angibt, dass „mehr Information“ von den Nutzern meist nicht als negativ angesehen wird, insofern sie übersichtlich und eindeutig dargestellt ist.
- Möglichkeit der Nutzung per Smartphone / Tablet war den Nutzern wichtig und wurde – trotz kleinerem Optimierungspotential im Handling – als positiv empfunden.
- Die Verkürzung des Aktualisierungsintervalls von drei auf eine Stunde hat die Nutzbarkeit wesentlich erhöht. Eine weitere Verkürzung sowie die Integration aktuellsten (Echtzeit-)Radardaten und von Nowcasting-Informationen zum Niederschlag wären jedoch wünschenswert.
- Die Nutzer bewerten den Demonstrator als hilfreich, um die Lage in der Region besser einschätzen zu können. Der Mehrwert durch Zugewinn an Informationen wird sehr begrüßt.
- Eine konkrete Übersetzung der angegebenen Durchflusswerte in einen Wasserstand bzw. dessen Auswirkungen an bestimmten Standorten fällt vielen Nutzer(-gruppen) schwer. Implizit lässt sich hierbei wieder der Wunsch nach impactbasierten Vorhersagen ablesen.
- Als direkter „Trigger“ für bestimmte Maßnahmen wird der Demonstrator bislang allein zwar nicht genutzt (i.S.v. „Ab einer Wahrscheinlichkeit von 50 % für einen bestimmten Durchfluss wird die Schutzwand aufgebaut.“), dennoch tragen die Vorhersagen und Warnungen in Kombination mit weiteren zur Verfügung stehenden Informationsquellen zur Entscheidungsfindung bei.

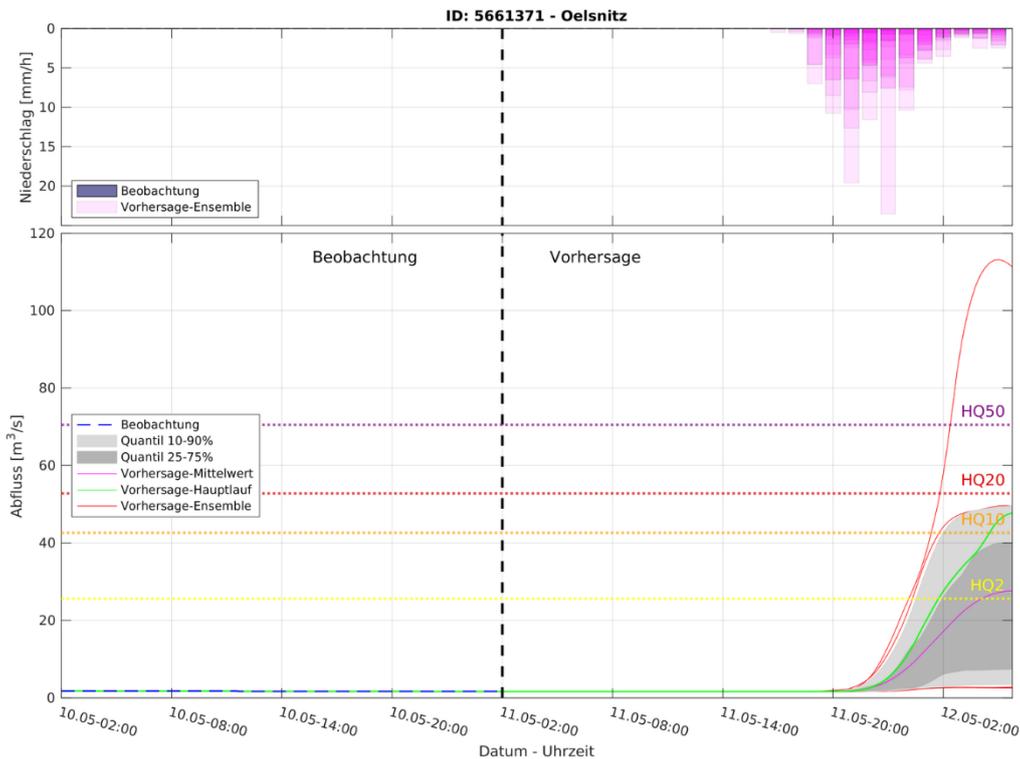


Abbildung 12: Durch vielfältige Nutzerbeteiligung abgestimmtes Frühwarnprodukt; oben: Balkendiagramm der probabilistischen Niederschlagsvorhersage (Transparenz zeigt Unsicherheit); unten: Bandbreite (Min/Max, sowie für verschiedene Wahrscheinlichkeitsniveaus) der Abflussvorhersage mit eingezeichneten Alarmstufen-Schwellenwerten für einen konkreten Gewässerquerschnitt, welcher in der Alarm- und Einsatzplanung als Bezugspegel geführt wird und für den bestimmte Schwellenwert-Überschreitungen das Ergreifen konkreter Maßnahmen vorgesehen ist

Für die Nutzer wurde eine entsprechende Handreichung zur korrekten Nutzung und Interpretation der probabilistischen Frühwarnungen zusammengestellt. Allerdings hat es sich als vielmehr hilfreich erwiesen, die wichtigsten Interpretationshilfen direkt im Einsatzdemonstrator mit beizugeben. Daher gibt es dort zu jedem der vier inhaltlichen Abschnitte folgenden kontextbezogenen Hilfetext („Was sehe ich hier?“):

- Hier sieht man eine Prognose der Wahrscheinlichkeit, mit der die Niederschlagsmenge der nächsten 24 Stunden einen gewissen Schwellenwert überschreitet. Die Angaben gibt es dabei für drei unterschiedliche Schwellenwerte: 30 mm, 50 mm und 80 mm. Die Überschreitung höherer Schwellenwerte hat eine geringere Wahrscheinlichkeit.
- Hier sieht man eine Prognose der Niederschlagsmengen für die nächsten 24 Stunden. Die Angaben gibt es dabei für vier verschiedene Eintrittswahrscheinlichkeiten: hoch („wahrscheinlich“), mittel („möglich“), gering („unwahrscheinlich“) und minimal („Worst Case“). Extremere/höhere Niederschläge haben eine geringere Wahrscheinlichkeit.
- Hier sieht man eine Prognose der Hochwassergefährdung für die nächsten 24 Stunden für bestimmte Gewässerquerschnitte. Die Angaben gibt es dabei für drei verschiedene Eintrittswahrscheinlichkeiten: hoch („wahrscheinlich“), mittel („möglich“) und gering („unwahrscheinlich“). Extremere Hochwasser haben eine geringere Wahrscheinlichkeit.

- Hier sieht man die aktuellen aufsummierten Niederschlagshöhen der vergangenen 24 Stunden in Millimetern (Litern pro Quadratmeter). (Datenquelle: DWD)

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises für das Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 13N14824 für den Zeitraum 01.08.2018 bis 31.10.2021 sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 3: Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Pos.	Gesamt-finanzierungsplan	2018	2019	2020	2021	Gesamt
0812	190.000,00 €	3.000,00 €	66.521,89 €	67.138,77 €	53.204,85 €	189.865,51 €
0843	680,00 €	- €	403,16 €	- €	124,28 €	527,44 €
0846	1.570,00 €	- €	885,78 €	260,80 €	126,70 €	1.273,28 €
Gesamt	192.250,00 €	3.000,00 €	67.810,83 €	67.399,57 €	53.455,83 €	191.666,23 €

Die Positionen sind dabei wie folgt verschlüsselt: 0812 – Beschäftigte E12-E15; 0843 – Sonstiges/Allg. Verwaltungsausgaben; 0846 – Dienstreisen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten sowie die aufgewendeten Ressourcen im Teilprojekt „Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung“ waren angemessen und notwendig, da sie den in der Gesamt- und Teilvorhabensbeschreibung dargelegten Abläufen zur Erreichung der Projektziele entsprachen. Die im Arbeitsplan formulierten Ziele konnten im Wesentlichen allesamt erreicht werden. Pandemiebedingt sind vor allem für das Arbeitspaket 5 Mehraufwände angefallen (Neu-/Umkonzeption und Umplanung von Online- statt Präsenzveranstaltung). Da allerdings die initial veranschlagten Mittelbedarfe nicht vollständig abgerufen wurden, konnte durch eine laufzeitneutrale Verlängerung dieser Zusatzaufwand kompensiert werden. Außer den im zahlenmäßigen Nachweis dargestellten Posten (siehe Abschnitt 2.2), waren keine zusätzlichen Mittelzuführung während der Projektbearbeitung notwendig.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Teilvorhaben „Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung“ legte den Fokus auf die Entwicklung eines praxistauglichen Hochwasserfrühwarnsystems zur Hochwasserwarnung in kleinen, schnell reagierenden Einzugsgebieten. Dabei ist auf Grund der hydrologischen Gegebenheiten (schnelle Reaktionszeiten bei Starkregen) die Simulation (Teilvorhaben TU Dresden) und anschließende Kommunikation von Unsicherheiten essenziell, da sich das Niederschlagsgeschehen auf den relevanten Raumskalen nicht beliebig genau vorhersagen lässt. Neben den unsicheren Niederschlagsvorhersagen muss natürlich auch für eine möglichst gute hydrologische Warnung/Prognose/Vorhersage das vergangene und aktuelle Niederschlagsgeschehen erfasst werden. Gemeinhin wird dieser Schritt als Niederschlagsschätzung bezeichnet, da – obschon Messdaten vorhanden sind – auch diese raum-zeitlich inter- und ggfs. extrapoliert werden müssen und dabei auch eine möglichst präzise Abbildung des per se in Raum und Zeit hoch variablen und

diskontinuierlichen Niederschlagsfeldes anzustreben ist. Hierbei konnte durch das Teilvorhaben der Universität Augsburg mit Hinzunahme der opportunistischen CML-Daten gezeigt werden, dass eine Verbesserung bisheriger Niederschlagsschätz-Produkte (konkret: DWD-RADOLAN-RW) erreichbar ist.

Das Teilvorhaben „Anwendergerechte Hochwasserfrühwarnung“ integrierte die o.g. Aspekte zu den wesentlichen Ergebnissen:

- Iterativ mit den Anwendern entwickelte probabilistische Frühwarnprodukte;
- Zusammenschauende Darstellung dieser Produkte und weiterer relevanter Daten für das Hochwasser-Management in Form eines Online-Demonstrators;
- Schulung und Training der Nutzer im Umgang mit verfügbaren Produkten.

Damit ergibt sich kein direkt quantifizierbarer Nutzen im Sinne der wirtschaftlichen Verwertbarkeit. Allerdings bieten die Ergebnisse (Frühwarnprodukt, Schulungs- und Trainingskonzept) ganz erhebliches Potential für wirtschaftlich/monetär quantifizierbare Effekte im Sinne der Verbesserung des Hochwasserrisikomanagements (Minderung von Schäden und weiterer negativer Hochwasserfolgen).

So werden die entwickelten Konzepte und Schulungsunterlagen fortan im Rahmen der Schulungen der sächsischen Wasserwehren Verwendung finden. Gleichzeitig wird das LHWZ im Rahmen eines bereits laufenden Eigenforschungsvorhabens in den nächsten zwei bis drei Jahren probabilistische Vorherhersagen für alle relevanten Pegel des Freistaats berechnen. Die im hierin beschriebenen Teilvorhaben entwickelten Warnprodukte (z.B. prob. Darstellungsweisen der Abflussvorhersagen) werden dann direkt als Blaupause bei der anstehenden Implementierung der entsprechenden Funktionalitäten dienen können. Außerdem wurde im Teilvorhaben bereits erfolgreich demonstriert, dass die neuartigen Niederschlagsfelder im Rahmen der operationellen Verfahren beim LHWZ bruchfrei und mit Mehrwehrt verarbeitet werden können. Wenn zukünftig diese Produkte dauerhaft bereitstehen, wird eine direkte Einbindung in die LHWZ-Verfahren angestrebt.

Das Gesamtvorhaben und damit auch das hierin beschriebene Teilvorhaben fand deutliche Beachtung auf diversen wissenschaftlichen Veranstaltungen, Konferenzen, in Veröffentlichungen aber auch bei anderen Anwendern (Hochwasserzentralen) und Nutzern. Durch die Gremienarbeit des LHWZ Sachsen in diversen Gruppen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (beispielsweise Expertengruppe Hydrometeorologie, Expertengruppe Hochwasservorhersage) ist das Vorhaben bundesweit in den einschlägigen Kreisen bekannt gemacht worden.

Für die nähere Zukunft ergeben sich im Wesentlichen zwei Handlungsstränge für das LHWZ mit Blick auf seine Aufgaben und Bedarfe:

- (1) Verstetigung und didaktische Konsolidierung von Schulungs- und Trainingskonzept sowie der entsprechenden Materialien.
- (2) Verstetigung, „Professionalisierung“ sowie flächenmäßige Ausweitung des Demonstrators hin zu einem prä-operationellen Stadium.

Beide genannten Aspekte sind in einem Folgeantrag (Akronym „HoWa-PRO“) abgebildet, welcher sich zum Erstellungszeitpunkt dieses Dokuments in der Bewilligungsprüfung befindet. Eine

Bewilligung dieses Folgeantrags vorausgesetzt, ergibt sich auf diesem Wege ein starker Nutzen für die Verbesserung des Hochwasserrisikomanagements in Sachsen (und darüber hinaus), da so konkrete, gereifte und direkt in Praxis implementierbare Konzepte erhalten werden.

2.5 Bekanntgewordene Fortschritte bei anderen Stellen während des Vorhabens

Im Projektzeitraum sind keine Erkenntnisse über Fortschritte bei anderen Stellen (Dritten) bekannt, geworden, welche mittelbar zur Durchführung des Teilvorhabens relevant waren und/oder den Stand von Wissenschaft und Technik dergestalt verändert hätten, dass Anpassungen am laufenden Vorhabens notwendig geworden wären.

Dennoch wurde der Stand von Wissenschaft und Technik während des laufenden Teilvorhabens verfolgt und dazu unter anderem folgende Quellen genutzt:

- ResearchGate: <https://www.researchgate.net/>
- Google Scholar: <https://scholar.google.de/>
- Publons: <https://publons.com/>
- Web of Science: <https://webofscience.com/>
- Scopus: <https://scopus.com/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Arbeitspakete Gesamtvorhaben	6
Abbildung 2: Übersicht der identifizierten Testgebiete in Sachsen	7
Abbildung 3: Überblick der für die Verifikations-Analyse angewandte Methodik	8
Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung von RADOLAN- sowie CML-getriebenem Output des Frühwarnsystems vs. einer Referenz	10
Abbildung 5: Vorgehensmodell zur Konzeption des Demonstrators Hochwasserfrühwarnung	11
Abbildung 6: Übersicht zu den für den Aufbau und die Funktionsweise des Demonstrators relevanten Aspekten.....	11
Abbildung 7: Beispiel-Abbildungen aus dem operationellen Einsatzdemonstrator Hochwasserfrühwarnung	14
Abbildung 8: Zur Rolle der Workshops für das Produktdesign, das Demonstrator-Design sowie für Schulung und Training	15
Abbildung 9: Hauptaspekte der konzipierten und durchgeführten Workshops.....	15
Abbildung 10: Impression vom HoWa-Workshop (Phase 1) am 25.09.2019 in Glashütte (Foto: Jens Grundmann)	16
Abbildung 11: Eindruck WebEx-Meeting Workshop 2 Osterzgebirge; rechts im Bild ist eine für die Nutzer freigegebene interaktive Umfrage zu sehen	21
Abbildung 12: Durch vielfältige Nutzerbeteiligung abgestimmtes Frühwarnprodukt; oben: Balkendiagramm der probabilistischen Niederschlagsvorhersage (Transparenz zeigt Unsicherheit); unten: Bandbreite (Min/Max, sowie für verschiedene Wahrscheinlichkeitsniveaus) der Abflussvorhersage mit eingezeichneten Alarmstufen-Schwellenwerten für einen konkreten Gewässerquerschnitt, welcher in der Alarm- und Einsatzplanung als Bezugspegel geführt wird und für den bestimmte Schwellenwert-Überschreitungen das Ergreifen konkreter Maßnahmen vorgesehen ist	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich von Verifikationsmetriken für die beiden Antriebe CML-Daten sowie RADOLAN-Daten	10
Tabelle 2: Frage- und Antwortbeispiele Fragebogen zur Erhebung der Praxisanforderungen Hochwasserfrühwarnung	19
Tabelle 3: Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	25

Referenzen/Literatur

- Adams, T. und T. Pagano (2016): *Flood Forecasting - A Global Perspective*. Academic Press.
- Brilly, M. und M. Polic (2005): Public perception of flood risks, flood forecasting and mitigation. *Hydrology and Earth System Sciences* 5(3), S. 345 – 355.
- Demeritt, D. und N. Sebastien (2011): Responding to early flood warning in the European Union. In: Franco, C.d., Meyer, C.O. (eds) *Forecasting, Warning and Responding to Transnational Risks*. Palgrave Macmillan, S. 127 –147.
- Frey, R., A. Pedroni, R. Mata, J. Rieskamp und R. Hertwig (2017): Risk preferences shares the psychometric structure of major psychological traits. *Science Advances* 3(10). S. 1 – 13.
- Frick, J. und C. Heck (2011): Can end-users' flood management decision making be improved by information about forecast uncertainty? *Atmospheric Research* 100(2-3), S. 296 – 303.
- Fundel, J., N. Fleischhut, S. Herzog, M. Gröber und R. Hagedorn (2019): Promoting the use of probabilistic weather forecasts through a dialogue between scientists, developers, and end-users. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 145(S1). S. 210 – 231.
- Gigerenzer, G. et al. (2005): A 30 percent chance of rain tomorrow: how does the public understand probabilistic weather forecasts? *Risk Analysis* 25(3), S. 623 – 629.
- Kox, T. und L. Gerhold (2019): Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: *Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25)*.
- McCarthy, S. (2007): Contextual influences on national level flood risk communication. *Environmental Hazards* 7(2), S. 128 – 140.
- McCarthy, S., S. Tunstall, D. Parker, H. Faulkner und J. Howe (2007): Risk communication in emergency response to a simulated extreme flood. *Environmental Hazards* 7(3), S. 179 – 192.
- Morss, R., J. Demuth und J. Lazo (2008): Communicating uncertainty in weather forecasts: a survey of the U.S. public. *Weather and Forecasting* 23(5), S. 974 – 991.
- Norbert, S., D. Demeritt und H. Cloke (2010): Informing operational flood management with ensemble predictions: Lessons from Sweden. *Journal of Flood Risk Management* 3, S. 72 – 79.
- Pappenberger, F. et al. (2013): Visualizing probabilistic flood forecast information: expert preferences and perceptions of best practice in uncertainty communication. *Hydrological Processes* 27(1), S. 132 – 146.
- Philipp, A. und F. Kerl (2015): Ansprüche potentieller Nutzer an ein Hochwasserfrühwarnsystem für Sachsen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 59(1), S. 4 – 22.

- Ramos, M., T. Mathevet, J. Thielen-del Pozo und F. Pappenberger (2010): Communicating uncertainty in hydro-meteorological forecast systems: mission impossible? *Meteorological Applications* 17(2), S.223 – 235.
- Stauffer, R., G. Mayr, M. Daberning und A. Zeileis (2015): Somewhere over the rainbow: How to make effective use of colors in meteorological visualizations. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96(2), S. 203 – 216.
- Vogelbacher, A. (2014): Zuverlässigkeitsaussagen in der Praxis der Hochwasserwarnung und -vorhersage in Bayern. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 58(2), S. 148 – 154.
- Wetterhall, F. et al. (2013): HESS Opinions “Forecaster priorities for improving probabilistic flood forecasts”. *Hydrology and Earth Systems* 17, S. 4389 – 4399.