

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II – Eingehende Darstellung

Verbundprojekt



PuwaSTAR – Pumpwerkswarnung für Starkregen und Hochwasser im urbanen
Raum

in der Fördermaßnahme:

Anwender – Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit II

Teilvorhaben des Lippeverbandes:

Warnung vor Pumpwerksüberlastung und Erarbeitung wirkungsbasierter
Vorsorgestrategien und Verteidigungskonzepte

Förderkennzeichen: 13N16801

Aufgestellt durch: Lippeverband | Hannah Eckers, M.Sc., Dr. Daniela Falter

Projektlaufzeit: 01.10.2023 - 31.12.2025

Erstellungsdatum: 23.06.2026

Verbundkoordinator:

Dr. Daniela Falter
Lippeverband
Kronprinzenstraße 24,
45128 Essen

Projektpartner:

Universität Siegen, Forschungsinstitut für Wasser und Umwelt (FWU)
Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Teil II – Eingehende Darstellung

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Anlagenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	III
1. Veranlassung und Zielsetzung	1
2. Stand der Wissenschaft und Technik zu Beginn des Vorhabens	2
3. Ablauf des Vorhabens	4
4. Pilotgebiet Dorsten-Hamm bach	5
5. Ergebnisse	7
5.1. Niederschlags-Abflussszenarien	8
5.2. Pumpenausfallszenarien	9
5.3. Integration in das bei EGLV betriebene FEWS-Testsystem	11
5.4. Anwendung in der Katastrophenvorsorge	14
6. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	18
7. Zuwendungsrelevante Informationen	20
8. Veröffentlichungen, Vorträge, Poster	22
9. Literaturverzeichnis	24
10. Anlagen	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: EGLV-Gebiet mit Pumpwerken und Bergsenkungen	1
Abbildung 2: Grafische Darstellung der 6 Arbeitspakete von PuwaSTAR.	4
Abbildung 3: Pumpwerk Dorsten-Hamm bach	5
Abbildung 4: Einzugsgebiet Hamm bach/ Wienbach und Fokusgebiet für die Überflutungsvorhersage	6
Abbildung 5: Graphische Darstellung der Modellanwendung	7
Abbildung 6: sechs Ausfallszenarien (rot) einer einzelnen Pumpe mit den Eingangsvariablen (blau) und den abhängigen Variablen (orange)	11
Abbildung 7: Vorhergesagter Niederschlag und simulierte Abfluss- und Wasserstandsvorhersage für den Pegel Am Strandbad	12
Abbildung 8: exemplarische Darstellung der Betriebsdaten des Pumpwerk Dorsten-Hamm bach im Delft-FEWS Testsystem	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausfallszenarien in Abhängigkeit der Restpumpkapazität des Pumpwerks	10
Tabelle 2: Veröffentlichungen und Präsentationen auf Fachveranstaltungen	22

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Ganglinien der Einzelereignisse aus der Langzeitsimulation für die Zufluss-Punkte des Fokusgebiets	27
Anlage 2: Datengrundlage des Niederschlags zur Generierung der NA-Szenarien aus synthetischen Niederschlägen	28
Anlage 3: Entwurf eines Vorhersageberichts der Überflutungsvorhersage für den Polder des Pumpwerk Dorsten Hamm bach als pdf-Dokument.....	29

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
BMFTR	Bundesministerium für Forschung Technologie und Raumfahrt
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
Delft-FEWS	Delft – „Flood Early Warning System“ Delft-FEWS ist ein offenes Shell-System für die Verwaltung von Vorhersageprozessen und/oder die Verarbeitung von Zeitreihendaten. Es enthält eine breite Palette allgemeiner Datenverarbeitungsprogramme und bietet gleichzeitig eine offene Schnittstelle zu jedem externen (Vorhersage-)Modell. Die modulare und hochgradig konfigurierbare Natur ermöglicht den effektiven Einsatz für Datenspeicherungs- und -abrufaufgaben, einfache Prognosesysteme und hochkomplexe Systeme, die eine ganze Reihe von Modellierungstechniken nutzen. Es kann entweder in einer eigenständigen, manuell gesteuerten Umgebung oder in einer vollautomatischen verteilten Client-Server-Umgebung eingesetzt werden.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EGLV	Emschergerossenschaft und Lippeverband
FWU	Forschungsinstitut Wasser und Umwelt, Uni Siegen
KI	Künstliche Intelligenz
KNN	Künstliches neuronales Netz
LV	Lippeverband
MGN	Maximierte Gebietsniederschlagshöhen
NA-Modell	Niederschlag-Abfluss-Modell
PEN	Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags
PWK	Pumpwerk
THW	Technisches Hilfswerk

1. Veranlassung und Zielsetzung

In großen Teilen der Einzugsgebiete der Emschergerossenschaft und des Lippeverbandes (EGLV) sind infolge des Steinkohlebergbaus weit gestreckte Bergsenkungsgebiete entstanden. Diese haben zur Ausbildung von großräumigen abflusslosen Polderflächen geführt. Um diese Gebiete zu entwässern und den Hochwasserschutz zu sichern ist eine dauerhafte künstliche Entwässerung über den Einsatz von Pumpwerken notwendig. EGLV betreiben dafür rund 500 verbandseigene Pumpwerke, die sowohl Abflüsse aus den städtischen Kanalnetzen, als auch Gewässer aus den Bergsenkungsgebieten pumpen (Abbildung 1). Bei Überlastung eines Pumpwerks oder dem (teilweisen) Ausfall fließt das Wasser in das abflusslose Bergsenkungsgebiet und führt dort zu großflächigen Überflutungen. Die Folgen wären monetäre Schäden in Milliarden-Höhe und lebensbedrohliche Situationen für die Bevölkerung. Vorhandene Informationen, z.B. in Form statischer Überflutungskarten oder von EGLV durchgeführte Risikostudien für Pumpwerke, geben hilfreiche Hinweise zur Gefährdung, sind im Ereignisfall aber gegebenenfalls unzulänglich.

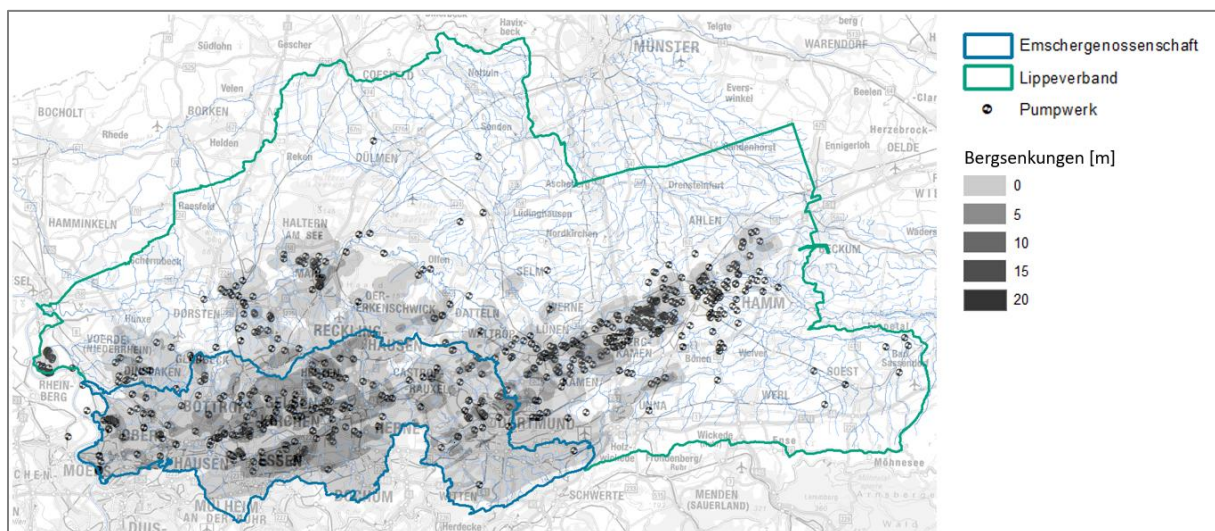


Abbildung 1: EGLV-Gebiet mit Pumpwerken und Bergsenkungen (© Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0))

Vor diesem Hintergrund wurde das vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) innerhalb der Fördermaßnahme „Anwender – Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit II“ (www.sifo.de) geförderte Verbundvorhaben PuwaSTAR initiiert. Das Vorhaben soll ein Vorhersagesystem von Überflutungsflächen und -tiefen für Pumpwerke und deren Poldergebiete im Hochwasserfall entwickeln und eine Überflutungswarnung realisieren, die für das Management im Ereignisfall bereitgestellt werden kann.

Die zu entwickelnde Echtzeitvorhersage basiert dabei auf künstlicher Intelligenz und soll neben Niederschlags- und Abflussvorhersagen auch die aktuelle Leistungskapazität des

Pumpwerks sowie potentielle Ausfallszenarien berücksichtigen. Damit sollen zeitaufwendige und rechenintensive hydraulische Berechnungen, die für die operationelle Vorhersage nicht bzw. nur eingeschränkt nutzbar sind, ersetzt und ereignisbezogene Überflutungsflächen innerhalb weniger Minuten bereitgestellt werden. Ziel ist es, die funktionsfähige KI-Anwendung in das bei EGLV bereits vorhandene und operationell betriebene Hochwasservorhersagesystem Delft-FEWS zu integrieren und nutzbar zu machen. Damit soll das Vorhersagesystem auf ein Pumpwerk an einem Nebengewässer ausgeweitet und ferner um die Vorhersage von Überflutungsgebieten einschließlich Details zum Zustand des Pumpwerks erweitert werden. Die auswirkungsbasierten Vorhersagen sollen im Ereignisfall bei der Einschätzung und Bewertung der Lage bei drohender Systemüberlastung oder dem Ausfall des Pumpwerks unterstützen und eine frühzeitige, zielgerichtete und situative Warnung und Maßnahmeninitiierung ermöglichen. Dazu sollen die Vorhersagen auch den Endnutzern zugänglich gemacht werden und gemeinsam mit den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) und kommunalen Mitarbeiter*innen konkrete Handlungsoptionen und Vorsorgestrategien, entwickelt und abgestimmt werden.

Im Fokus der Ziele steht der Schutz (und die Rettung) von Menschen vor der Bedrohung einer Überflutung im Umfeld von Pumpwerken in bergbaulichen Senkungsgebieten. Durch eine verbesserte Vorhersage soll die Gefahrenabwehr und der Schutz kritischer Infrastruktur gestärkt und so die Versorgungssicherheit der Bevölkerung erhöht beziehungsweise Großschadenslagen vermieden werden.

Das Pumpwerk Dorsten-Hammach (PWK DOR Hammach) und das umgebende Poldergebiet dienen als Pilotgebiet zur Erforschung und Realisierung des Vorhersagesystems. Eine mögliche Übertragbarkeit der entwickelten Methodik auf weitere (Pumpwerks-) Einzugsgebiete und weitere Versagenssituationen soll ebenfalls bedacht und bewertet werden.

2. Stand der Wissenschaft und Technik zu Beginn des Vorhabens

Die operationelle Hochwasservorhersage basiert gegenwärtig insbesondere auf Niederschlag-Abfluss-Modellen, die auf Grundlage gemessener und prognostizierter atmosphärischer Parameter (Niederschlag, Temperatur, potenzielle Verdunstung) basieren (Alfieri et al. 2012). Analog dazu werden operationelle Vorhersagen bei EGLV ebenfalls mit Niederschlag-Abfluss-Modellen auf der Grundlage von gemessenen und vorhergesagten Parametern durchgeführt. Dazu wird das operationell betriebene Hochwasservorhersagesystem Delft-FEWS betrieben und bildet die Grundlage zur Einschätzung der hydrologischen Lage. In diesem modular aufgebauten System werden hydrologische und meteorologische Vorhersagedaten des DWD gebündelt und dargestellt sowie Vorhersagen für den Abfluss an Pegeln der Hauptgewässer

Emscher und Lippe berechnet. Über pegelbezogene Wasserstands-Abflussbeziehungen werden diese außerdem in Wasserstände umgerechnet.

Die kurze Berechnungsdauer der NA-Modelle erlaubt zwar eine zeitnahe Berechnung von Abfluss- und Wasserstandsvorhersagen an Pegeln, jedoch fehlt die Darstellung resultierender Überflutungsflächen und Wassertiefen (Leandro et al. 2025). Für die Bereitstellung dieser Informationen werden i.d.R. gekoppelte ein- und zweidimensionale hydrodynamische Modelle (1D/2D) eingesetzt (Leandro und Martins 2016). Diese Modelle ermöglichen eine detaillierte Abbildung der Wasserausbreitung im urbanen Raum, sind aufgrund Ihrer Rechenintensivität aber nicht für zeitkritische, operationelle Vorhersagen nutzbar. Aus diesem Grund ist nach derzeitigem Stand der Technik keine zielgerichtete Maßnahmenplanung für Echtzeit-Ereignisse möglich, was im Fall eines Hochwassers ein enormes Risiko für Mensch und Gut bedeuten kann. Der mögliche Ausfall oder die Überlastung von Pumpwerken mit erheblichen Auswirkungen auf die Überflutungsflächen verschärfen die Problematik zudem.

Datengetriebene Modelle wie künstliche neuronale Netze (KNN) zeichnen sich durch eine deutlich höhere Recheneffizienz aus und haben daher in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Im Gegensatz zu klassischen 1D/2D-Modellen können KNN-Berechnungen innerhalb von nur wenigen Sekunden bis Minuten aussagekräftige Überflutungskarten liefern, die im Ereignisfall eine zeitnah fundierte Entscheidung auf Grundlage aktueller Überflutungskarten ermöglicht (Schmid und Leandro 2023). Im hydrologischen und hydraulischen Bereich werden künstliche neuronale Netze bereits vielfältig eingesetzt (Natel de Moura et al. 2022; Cho und Kim 2022). Bei eindimensionalen Vorhersagen dienen sie der Modellierung von Niederschlag-Abfluss-Beziehungen (Van et al. 2020). Derartige Modelle dienen zur Vorhersage von Fluss- oder Kanalnetzabflüssen (Chen et al. 2013; Chang et al. 2014) im Rahmen des Flussgebietsmanagements oder Kanalnetzuntersuchungen. Bei zweidimensionalen Vorhersagen werden KNN zur Prognose von Überflutungsflächen und Wasserständen infolge von Starkregen verwendet, wobei Regenzeitreihen als Eingabe und Überflutungskarten als Ausgabe dienen (Berkhahn et al. 2019). Studien haben zwar zum Zeitpunkt des Projektantrages das Potenzial von KI-Modelle bewiesen (Löwe et al. 2021; Lin et al. 2020; Li et al. 2022; Guo et al. 2021), jedoch wurde eine Integration in operationelle Vorhersagesysteme noch nicht untersucht. Zudem wurde ausschließlich die Abhängigkeit von Regen- oder Abflussmengen betrachtet. Die Einbeziehung von Pumpwerken und deren Ausfallszenarien in die Vorhersage ist bislang nicht untersucht worden.

3. Ablauf des Vorhabens

Das vom Lippeverband geleitete Verbundprojekt PuwaSTAR wurde zusammen mit den Verbundpartnern Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (FWU) der Universität Siegen und der Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH aus Aachen umgesetzt. Die durchgeführten Arbeiten des Verbundvorhabens wurden in sechs Arbeitspakete (AP) unterteilt. Diese sind eng miteinander verknüpft und bauten teilweise aufeinander auf. Abbildung 2 zeigt den Aufbau der Arbeitspakete. Der Lippeverband war an allen Arbeitspaketen beteiligt.

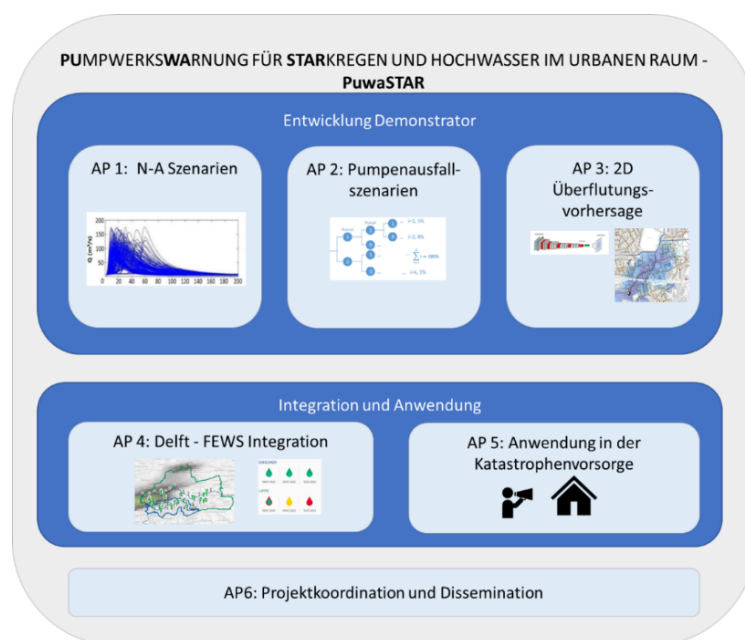


Abbildung 2: Grafische Darstellung der 6 Arbeitspakete von PuwaSTAR.

AP 1 umfasst die Generierung und Aufbereitung der Niederschlags-Abflussszenarien des hydrologischen Modells als Eingangsdaten für die 1D/2D-Überflutungsmodellierung und das Training der KI. Hier lag in einem frühen Projektabschnitt der Fokus der Arbeiten des LV. Um die KI auf einer fundierten Datenbasis trainieren zu können, wurde zum einen auf gemessene, historische Niederschläge als auch auf synthetische Niederschlagsereignisse zurückgegriffen. Ferner konnten Klimaprojektionsdaten, die vom Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Uni Braunschweig aufbereitet und bereitgestellt wurden, integriert werden. Die Definition der Pumpenausfallszenarien, sowie die Ermittlung der entsprechenden Ausfallwahrscheinlichkeiten fand in AP 2 statt, für die der LV insbesondere die Grundlagendaten geliefert hat. AP 3 umfasste die Entwicklung und das Training der KI zur 2-D Überflutungsvorhersage unter Berücksichtigung der Pumpenausfallszenarien, wofür das FWU verantwortlich war. Die Integration des in AP 3 entwickelten Moduls in das Delft-FEWS

System war Bestandteil des AP 4. Das bei EGLV operationell betriebene Hochwasservorhersagesystem Delft-FEWS wird von der Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH betreut, die im Projekt für die Implementierung der KI-Anwendung in das Delft-FEWS Testsystem zuständig waren. Hier hat eine enge Zusammenarbeit stattgefunden. AP 5 umfasste die Anwendung in der Katastrophenvorsorge mit der Definition von Endnutzeranforderungen und Entwicklung von Vorsorgestrategien und Organisationskonzepten. Um die Anwendbarkeit und einen unmittelbaren Nutzen in der Praxis sicherzustellen, fand in diesem AP eine enge Zusammenarbeit mit den assoziierten Partnern statt. Dafür wurden während der Projektlaufzeit vom Lippeverband zwei Workshops mit den Endnutzern durchgeführt. Die Projektkoordination und Dissemination wurden durch AP 6 abgedeckt.

4. Pilotgebiet Dorsten-Hammbach

Die KI-basierte Echtzeitvorhersage von Überflutungsflächen soll am Beispiel des Pumpwerks Dorsten-Hammbach demonstriert werden. Aufgrund des Steinkohlebergbaus in der Region, entstanden im Unterlauf des Hammbach Bergsenkungen von 5-7 Metern, die zur Ausbildung einer abflusslosen Polderfläche in diesem Bereich geführt haben.



Am tiefsten Punkt des Poldergebiets pumpt das PWK DOR-Hammbach zum einen

Abbildung 3: Pumpwerk Dorsten-Hammbach (EGLV/Wulfert, Diethelm 2008)

dauerhaft den gesamten Abfluss des Hammbachs mit einer Einzugsgebietsgröße von rund 143 km² über eine Druckrohrleitung in seinen Vorfluter, die Lippe. Im Oberlauf münden als wichtige Nebengewässer der Rhader Mühlenbach und der Schafsbach in den Hammbach. Im Unterlauf, im Stadtgebiet von Dorsten-Holsterhausen, mündet der Wienbach als größtes Nebengewässer linksseitig in den Hammbach. Der Fließverlauf ist von Norden nach Süden, wobei das nördliche Gebiet vorwiegend ländlich geprägt ist, während sich im Süden mit dem Stadtgebiet von Dorsten-Holsterhausen ein stark urban geprägtes Gebiet befindet, das durch Bergsenkungen beeinflusst ist (s. Abbildung 4). Das Gewässerpumpwerk gewährleistet die Entwässerung des Poldergebiets und sichert den Hochwasserschutz. Vom Auslass der Druckrohrleitungen fließt der Hammbach dann frei in die Lippe. Über einen zweiten Pumpwerksteil leitet das Pumpwerk außerdem die Mischwasserzuflüsse aus der Kanalisation in die Kläranlage. Die beiden Pumpwerksteile operieren unabhängig voneinander, sodass für das gewässerseitige Hochwassergeschehen nur das Gewässerpumpwerk relevant ist und in

die Echtzeitvorhersage der Überflutungsflächen einbezogen wird. Das Gewässer-PWK besteht dabei aus vier Hochwasserpumpen, die insgesamt eine max. Förderleistung von 15,5 m³/s erreichen, sowie zwei Niedrigwasserpumpen.

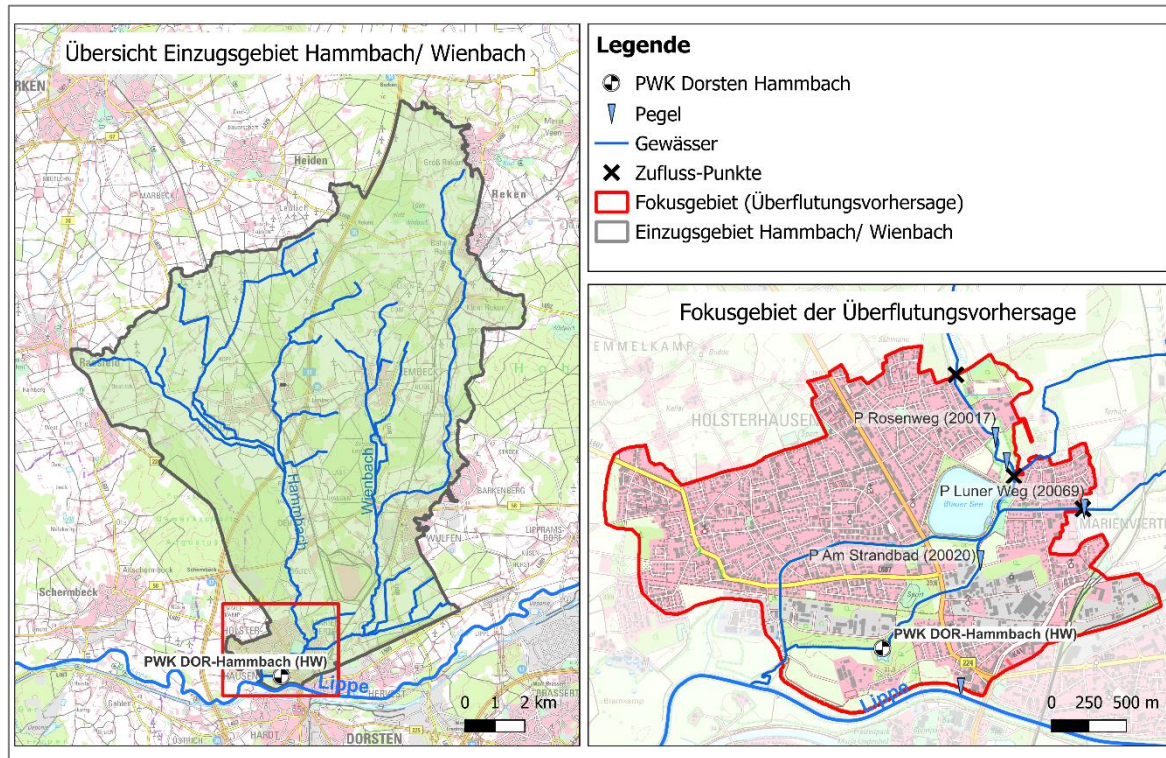


Abbildung 4: Einzugsgebiet Hammbach/ Wienbach und Fokusgebiet für die Überflutungsvorhersage

Abbildung 4 zeigt das Fokusgebiet, für das die Überflutungsvorhersage entwickelt wurde. Die Zuflüsse ergeben sich hauptsächlich aus den Gewässern Hammbach und Wienbach. Außerdem befindet sich im Nord-Osten des Gebiets noch ein kleinerer Zufluss, welcher in den Hammbach mündet. Diese drei Zuflüsse stellen am Eintritt in das Stadtgebiet – neben der Niederschlagsvorhersage – den Input in das KI-Modell dar. An den Gewässern befinden sich außerdem insgesamt drei Pegel, welche Messwerte liefern und für die zusätzlich eine Abfluss- und Wasserstandvorhersage umgesetzt wurde. Der Pegel 20020 Am Strandbad befindet sich im Stadtgebiet von Holsterhausen und ist nach dem Zusammenfluss der Gewässer und ~900 m vor dem PWK lokalisiert, sodass dieser den Zufluss zum PWK gut abbildet.

Im Verbundvorhaben wurde eine KI-gestützte Überflutungsvorhersage entwickelt, die in Echtzeit die max. potenziell überfluteten Flächen und Wassertiefen in den nächsten 24 h im Poldergebiet des Pumpwerks Dorsten Hammbach mit einem Aktualisierungszeitschritt von 6 h prognostizieren kann. Dabei können sowohl fluviale als auch pluviale Überflutungen vorhergesagt werden. Neben der Niederschlags- und Abflussvorhersage der nächsten 24 h sowie den akkumulierten Werten der vergangenen 24 h als Input in die KI-Anwendung, wird auch der aktuelle Zustand des Pumpwerks einbezogen, indem für die maßgebenden Ausfallszenarien jeweils ein spezifisch trainiertes KI-Modell aufgestellt wurde. So können mögliche (Teil-)Ausfälle des PWK ebenfalls berücksichtigt werden. Um die KI-Anwendung trainieren zu können sind eine Vielzahl von NA-Szenarien, die als Trainingsdatensätze genutzt werden, notwendig (s. Kap. 5.1). Außerdem müssen die Ausfallszenarien des PWK definiert werden, die neben dem Niederschlags- Abflussgeschehen eine deutliche Auswirkung auf sich ergebende Überflutungen haben (Kap. 5.2). Die funktionsfähige KI-Vorhersage inkl. der notwendigen Eingangsparameter wurde dann in das bei EGLV operationell genutzte Vorhersagesystem Delft-FEWS integriert und läuft nun im Testbetrieb (Kap. 5.3). Dies, sowie der enge Austausch mit den assoziierten Partnern – dem THW, der Stadt und Feuerwehr Dorsten, der Stadt Bottrop sowie der Kreisleitstelle Recklinghausen – zur Anwendung in der Katastrophenvorsorge (Kap. 5.4) hat maßgeblich zum starken Praxisbezug beigetragen. Der Quellcode des KNN-Moduls sowie der Adapter für die Integration des KNN-Moduls in die Delft-FEWS Konfiguration sind zusammen auf GitHub veröffentlicht (<https://github.com/FWUSiegen/PuwaSTAR->).



5.1. Niederschlags-Abflussszenarien

Um die KNN zur Überflutungsvorhersage auf einer fundierten Datenbasis trainieren zu können werden eine Vielzahl von Hochwasserganglinien (>360), die sowohl aus Starkregen als auch von Hochwasser dominierte Ereignisse umfassen, benötigt und ein möglichst breites und repräsentatives Spektrum abbilden. Dafür wurden die Abflussganglinien an den Zufluss-Punkten der drei Gewässer in das Stadtgebiet mittels des bestehenden NASIM-Modells Hammbach/Wienbach, das zunächst aktualisiert wurde, im fünf Minuten Zeitschritt generiert. Bis zu den Zufluss-Punkten werden $\sim 75 \text{ km}^2$ des Einzugsgebiets des Hammbach, $\sim 63 \text{ km}^2$ des Wienbachs sowie $\sim 3 \text{ km}^2$ des linksseitigen Nebengewässers des Hammbach über das NA-Modell abgebildet und Abflüsse simuliert, die als Input in das hydrodynamische Referenzmodell bzw. die KNN dienen. Neben den simulierten Abflüssen an den Zufluss-Punkten geht außerdem der Niederschlag, der in den Szenarien über dem Fokusgebiet (s. Abbildung 4) fällt und somit ebenfalls zum Abflussgeschehen beiträgt, als Input in die Überflutungsberechnungen ein.

Aufgrund der Anzahl der benötigten Ereignisse und um die unterschiedlichen Charakteristika möglicher Abflussganglinien repräsentativ abzubilden, wird das Modell mit unterschiedlichen Niederschlagsdaten belastet. Zunächst wurde eine Langzeitsimulation anhand von gemessenen Niederschlagsdaten verbandseigener Niederschlagsstationen durchgeführt. Für die im EZG des Hammbach relevanten Stationen liegen langjährige Messdaten vor, sodass ein Zeitraum von 1950-2023 simuliert werden konnte. Aus dieser Langzeitsimulation wurde die partielle Serie ermittelt und die zugehörigen Hochwasserwellen extrahiert. Über dieses Verfahren konnten somit 73 Ereignisse aus beobachteten Niederschlagsdaten generiert werden, die charakteristische Hochwasserwellen mit unterschiedlichen Verläufen darstellen. In einem zweiten Schritt wurden Ereignisse mit synthetischen Niederschlägen erzeugt. Dafür wurden die Messdaten der Niederschlagsstationen einer statistischen Analyse nach DWA-A 531 (2012) unterzogen und so die Niederschlagssummen für Wiederkehrzeiten von 5 bis 200 Jahren sowie Dauerstufen zwischen 3 und 96 Stunden ermittelt (s. Anlage 2, Matrix 1). Mit diesen Bemessungsniederschlägen wurde dann unter Verwendung unterschiedlicher Niederschlagsverteilungen (Blockregen, endbetont und anfangsbetont (Euler 2)) ebenfalls das NA-Modell belastet und 168 weitere Ereignisse erzeugt. Damit konnte die Datenbank der NA-Szenarien sowohl um Ereignisse seltener Jährlichkeiten, die auch die Leistungskapazität des PWK übersteigen würden, als auch um Hochwasserereignisse häufiger Jährlichkeiten systematisch erweitert werden. Ferner wurden ebenfalls Szenarien mit sehr hohen Niederschlagssummen, die im Bereich der praxisrelevanten Extremwerte des Niederschlags (PEN) bzw. der Maximierten Gebietsniederschlagshöhen (MGN) liegen, simuliert und der Datenbank ergänzt, sowie Zeitreihen lokaler Starkniederschläge kurzer Dauerstufen (s.

Anlage 2, Matrix 2) ohne wesentlichem Hochwasserabfluss im Gewässer übergeben. Durch letztere sollen lokale Starkniederschläge über dem Stadtgebiet betrachtet werden, die eine Gefährdung unabhängig des Gewässers darstellen können.

Eine weitere wesentliche Datengrundlage bilden Klimaprojektionsdaten des DWD, die zeitlich disaggregiert werden konnten. Damit konnten realitätsnahe Ereignisse erzeugt werden, die die Leistungsfähigkeit des PWK übersteigen würden. Diese projizierten Niederschläge und daraus resultierende Abflüsse aus dem NA-Modell, stellen realistische Szenarien in einem wärmer werdenden Klima dar. Grundlage bilden die vom IPCC betrachteten repräsentativen Konzentrationspfade (representative concentration pathways, RCP) (z.B. IPCC 2021, Brien et al. 2020). Euro-Cordex stellt räumlich höher aufgelöste regionale Klimaprojektionen für Europa bereit. Diese haben allerdings eine tägliche zeitliche Auflösung und sind damit für die Simulation von Hochwasserganglinien unzureichend. Für das Verbundvorhaben wurden die Niederschlagszeitreihen der Klimaprojektionen für den Zeitraum 1971-2100 für das Untersuchungsgebiet vom Leichtweiß Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig für die RCP 4.5 und 8.5 mit einem mikrokanonischen, multiplikativen Kaskadenmodell temperaturabhängig auf 5-Minuten-Werte disaggregiert (Müller und Haberlandt 2018; Ebers, Schröter u. Müller-Thomy 2023) und dem LV zur Verfügung gestellt. Mit diesen Zeitreihen wurden ebenfalls Langzeitsimulationen mit dem NA-Modell durchgeführt und letztendlich Einzelereignisse, die die Leistungsfähigkeit des PWK übersteigen würden, extrahiert. So wurden über die Klimaprojektionen weitere 134 Ereignisse der NA-Datenbank hinzugefügt. Um die weiteren klimatischen Eingangsparameter in das NA-Modell der Klimaprojektionen aufzubereiten, wurde die open-source Software MELODIST (MEteoroLOGical observation time series DISaggregation Tool) (Förster et al. 2016) verwendet.

Es ergibt sich eine finale Datenbank von insgesamt 461 NA-Szenarien aus gemessenen historisch basierten Niederschlagszeitreihen sowie aus synthetisch erzeugten Niederschlagsereignissen und Klimaprojektionsdaten für die definierten Übergabepunkte in das 1D/2D-Modell (s. Anlage 1), die dem FWU bereitgestellt wurden. Letztendlich konnten für ein ausgewogenes Training der KI 375 Einzelereignisse, die in 7715 Trainingsdatensätzen à 24 h resultieren, verwendet werden. Für die generierten NA-Szenarien sowie für jedes individuelle Pumpenausfallszenario wurden die Überflutungsflächen mittels 1D/2D-Überflutungssimulationen durch das FWU berechnet und für das Training der KNN verwendet.

5.2. Pumpenausfallszenarien

Das Gewässerpumpwerk Dorsten-Hammbach fördert den gesamten Abfluss des Hammbach aus dem Poldergebiet und trägt damit maßgeblich zum Hochwasserschutz des Poldergebiets

bei. Bei einem (Teil-) Ausfall oder einer Überlastung des Pumpwerks wären die Auswirkungen auf die sich ausbildenden Überflutungsflächen immens. Die Ausbreitung der Überflutungsfläche hängt hier also nicht nur vom Regen und vom Abfluss ab, sondern auch von der Leistungsfähigkeit des Pumpwerks und möglicher Ausfallszenarien. In Abhängigkeit der Förderleistung der einzelnen Pumpen wurden acht Ausfallszenarien abgeleitet, die der verbleibenden Restpumpkapazität des Pumpwerks bei Ausfall einzelner oder mehrerer Pumpen entsprechen (Tabelle 1). Diese Ausfallszenarien gehen auch in die Überflutungsvorhersage ein und werden im operationellen Betrieb automatisch über den aktuellen Betriebszustand des PWK bestimmt.

Tabelle 1: Ausfallszenarien in Abhängigkeit der Restpumpkapazität des Pumpwerks

Ausfallszenarien	Restpumpkapazität [m³/s]
1	15,5
2	13,5
3	11
4	9
5	6,5
6	4,5
7	2
8	0

Um Ausfallmechanismen von Gewässerpumpwerken zu bestimmen, wurden vom LV Grundlagendaten verbandseigener Pumpwerke über einen vom FWU konzipierten Fragebogen aufbereitet und zur Verfügung gestellt. U.a. darauf aufbauend hat das FWU – wie in Schmid et al. (2025) und Ramsauer et al. (2025) dargestellt – sechs Ausfallszenarien, die durch unterschiedliche interne und externe Mechanismen verursacht werden können, definiert und ein Baye'sches Netzwerk aufgestellt (s. Abbildung 6). Dieses Netzwerk ist außerdem in der Lage, Wahrscheinlichkeiten für den Ausfall einer einzelnen Pumpe in Abhängigkeit der Eingangsvariablen und zugehöriger Ausfallszenarien zu bestimmen. Die Wahrscheinlichkeiten beruhen dabei zur Demonstration auf Annahmen.

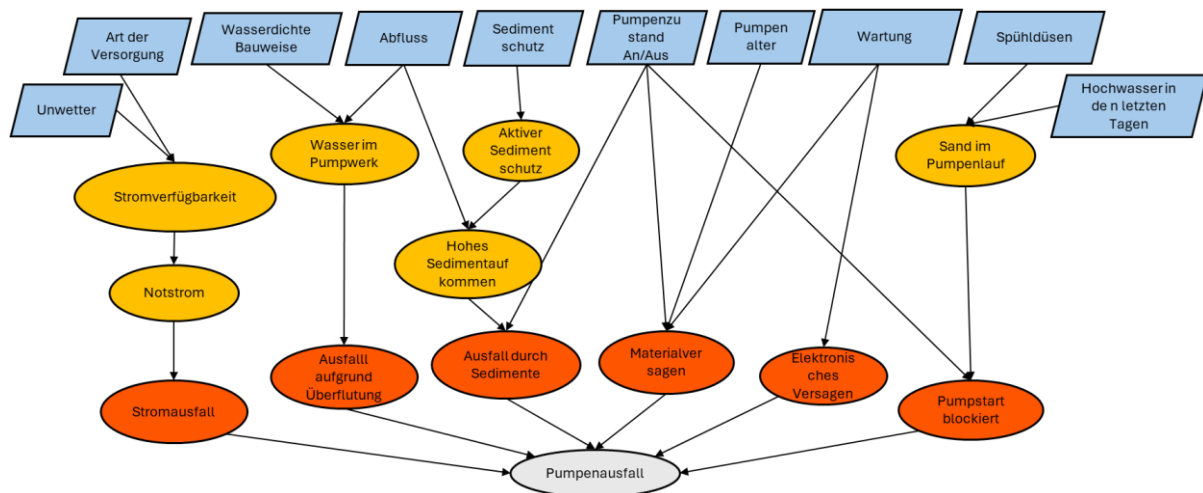


Abbildung 6: sechs Ausfallszenarien (rot) einer einzelnen Pumpe mit den Eingangsvariablen (blau) und den abhängigen Variablen (orange) (Ramsauer et al. 2025)

5.3. Integration in das bei EGLV betriebene FEWS-Testsystem

Zur Einschätzung der hydrologischen Lage wird bei EGLV das Hochwasservorhersagesystem Delft-FEWS betrieben. Dabei werden zwei operationelle Produktivsysteme betrieben sowie ein operationelles Testsystem, auf dem aktuelle Weiterentwicklungen zunächst umgesetzt und getestet werden können. Hier wird ebenfalls die im Verbundvorhaben PuwaSTAR entwickelte KI-basierte Überflutungsvorhersage integriert.

Nebenlaufvorhersage für Hammbach & Wienbach

Als Input in die KI-basierte Überflutungsvorhersage werden aktuelle Abflussvorhersagen an den Zufluss-Punkten benötigt. Um diese bereitzustellen, wurde das NASIM-Modell Hammbach/Wienbach für eine operationelle Vorhersage aufbereitet und von Hydrotec in das FEWS-Testsystem integriert. Im operationellen Betrieb werden für diese Zufluss-Punkte in Echtzeit Ganglinien für die Abflussvorhersage generiert und dienen als Input an die KNN. Unabhängig der für die Überflutungsvorhersage benötigten Ganglinien an den Zufluss-Punkten werden über das bereits integrierte NA-Modell Abflussvorhersagen für die Pegel an Hammbach und Wienbach berechnet (s. Abbildung 7 exemplarisch für den Pegel *Am Strandbad*). Damit konnte neben der Entwicklung der innovativen KI-basierten Überflutungsvorhersage ein Nebengewässer in die Hochwasservorhersage integriert werden. Die Vorhersage von Abfluss und Wasserstand an den Gewässerpegeln stellt eine wichtige Information über die zu erwartende Belastung des Pumpwerks dar.

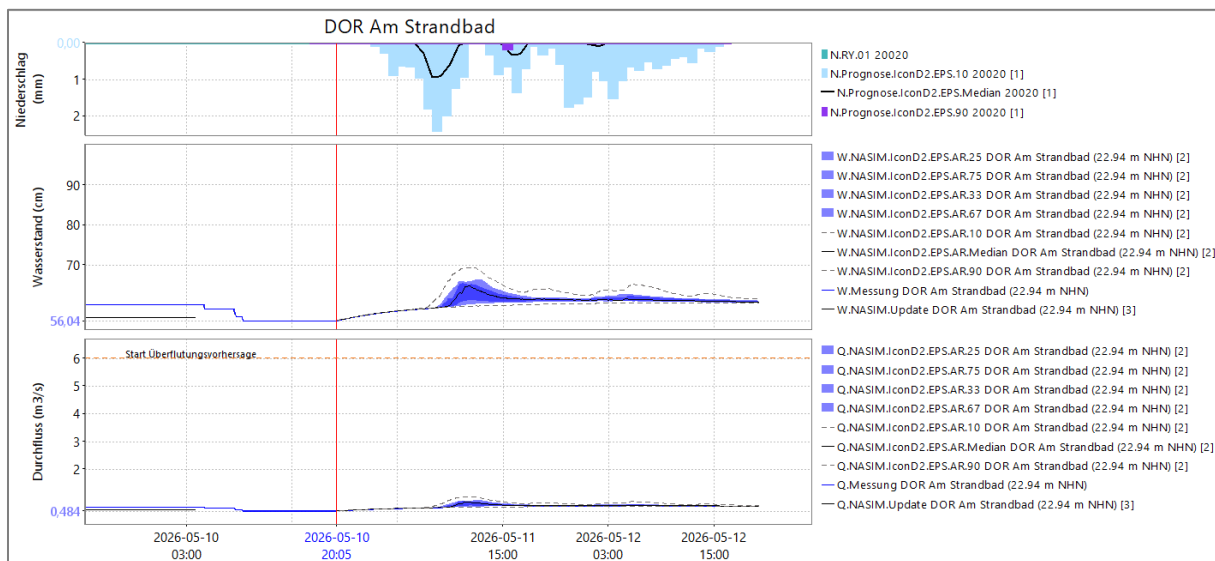


Abbildung 7: Vorhergesagter Niederschlag und simulierte Abfluss- und Wasserstandsvorhersage für den Pegel Am Strandbad

Betriebsdatenanbindung PWK

Die Betriebsdaten des PWK gelangen über das Betriebsüberwachungssystem in das FEWS-Testsystem, werden dort dargestellt und über einen Adapter ebenfalls an die KI-Anwendung weitergegeben. Die Schnittstelle vom EGLV-eigenen Betriebsdatenmanagementsystem, in dem eine Vielzahl an betrieblichen Daten zusammenfließen und analysiert werden können, zum FEWS-System wurde eigens im Projekt entwickelt und angebunden. Dazu wurde bei EGLV ein Workflow erarbeitet und umgesetzt, der die relevanten Parameter automatisiert aus dem Managementsystem exportiert und auf dem Importverzeichnis des FEWS-Testsystems ablegt. Von hier können die Daten in das FEWS-System importiert und visualisiert sowie an die KI-Anwendung weitergegeben werden. Der Import und die Datenvisualisierung in FEWS wurden von Hydrotec konfiguriert. Damit konnte erstmals ein Datenfluss von EGLV-eigenen Betriebsdaten an Delft-FEWS realisiert werden. Die Bereitstellung der zeitlich hochaufgelösten Zeitreihen wird alle 5 Minuten aktualisiert.

Folgende Parameter werden dargestellt (s. Abbildung 8):

- Aktuelle Förderleistung [m^3/s]
- Aktuelle max. Gesamtförderleistung [m^3/s]
- Wasserstand im Zulauf zum Pumpwerk [cm]
- Status der einzelnen Pumpen [Pumpe aus/ Pumpe an/ Pumpe nicht verfügbar]

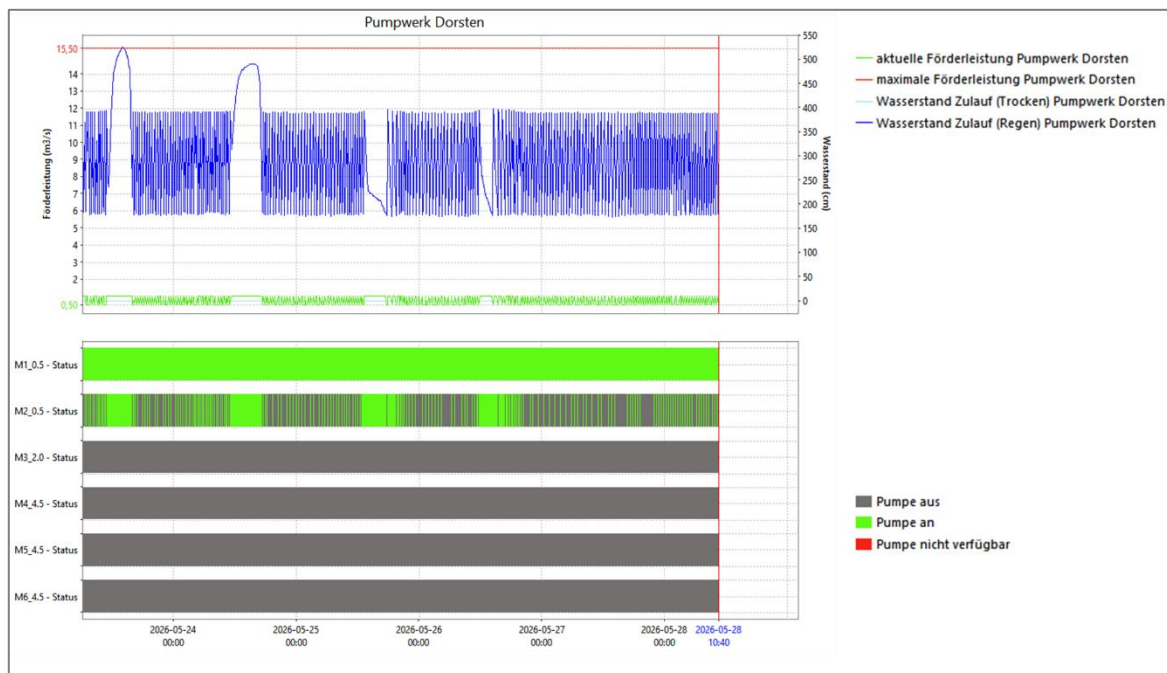


Abbildung 8: exemplarische Darstellung der Betriebsdaten des Pumpwerk Dorsten-Hammach im Delft-FEWS Testsystem

Da die einzelnen Pumpen wasserstandsabhängig zu- und abgeschaltet werden, wodurch ein intermittierende Betriebsweise entsteht, können Pumpen planmäßig abgeschaltet sein. Es wird daher zwischen dem Status *Pumpe aus* (eine Pumpe ist planmäßig abgeschaltet) und dem Status *Pumpe nicht verfügbar* (eine Pumpe befindet sich in Störung und kann nicht hinzugeschaltet werden) unterschieden. Weiterhin wurde von Hydrotec eine Möglichkeit geschaffen, die Angabe der Förderleistung des Pumpwerks für die KI-Vorhersage zu übersteuern. Dies bietet dem Anwender die Option mögliche Szenarien, mit einer angenommenen verringerten Gesamtförderleistung zu betrachten.

KI-Adapter zur Überflutungsvorhersage

Die KI-Anwendung wurde technisch in einer Docker-Umgebung bei EGLV umgesetzt. Dies bietet den Vorteil, dass für das KI-Modell eine isolierte Umgebung bereitgestellt werden kann, die funktional vom FEWS-System abgekapselt ist. Somit werden keine Abhängigkeiten erzeugt und Weiterentwicklungen und Wartungen sowohl des KI-Modells als auch des FEWS-Systems sind unabhängig voneinander durchführbar. Der virtualisierte Server, auf dem die KI-Anwendung läuft, wurde von EGLV aufgesetzt und bereitgestellt. Zur Anbindung des KNN-Moduls an Delft-FEWS wurde von Hydrotec ein spezifischer Adapter konzipiert und implementiert. Der entsprechende Python-Code ist auf der GitHub-Instanz des FWU (<https://github.com/FWUSiegen/PuwaSTAR->) veröffentlicht. Im operationellen Betrieb soll durch das KNN-Modul zu einem Vorhersagezeitpunkt ein Set von drei möglichen Überflutungsszenarien berechnet und dargestellt werden, sodass immer drei Berechnungen

parallelisiert stattfinden. Um die Dynamik des Events abbilden zu können, wurde eine zeitliche Aktualisierung der Überflutungsberechnung von 6h gewählt. Je Szenario wird die max. vorhergesagte Überflutung in den folgenden 24h und in Abhängigkeit der aktuellen Gesamtförderleistung des PWK berechnet.

5.4. Anwendung in der Katastrophenvorsorge

Eine zeitnahe und wirkungsorientierte Warnung, wo sich das Hochwasser mit welchen Wassertiefen ausbreitet, ermöglicht es im Ereignisfall adäquate Entscheidungen zu treffen und Bedürfnisse nach Schutzmaßnahmen umzusetzen. Damit würde eine neue Herangehensweise in der Hochwasserbewältigung realisierbar werden. Um dies zu ermöglichen und die neuen Vorhersageinformationen effektiv und effizient in das praktische Hochwasserrisikomanagement zu integrieren, sind Mechanismen und eine abgestimmte Strategie gemeinsam mit den BOS und Kommunen zu entwickeln. Nur so kann sichergestellt werden, dass mit Hilfe der Vorhersagedaten ein präzises Lagebild erstellt und ein unmittelbarer und praxisrelevanter Nutzen für die Einsatzkräfte geboten werden kann. Während der Projektlaufzeit fanden daher zwei Workshops mit den direkt assoziierten Partnern Stadt Dorsten, Feuerwehr Dorsten, Stadt Bottrop und THW (Ortsverband Gladbeck/Dorsten & Regionalstelle Gelsenkirchen) und dem zuständigen Betriebsbereich des LV sowie der Kreisleitstelle Recklinghausen und weiteren interessierten Stakeholdern statt. Der erste Workshop fand bereits zu einem frühen Projektzeitpunkt statt, um Anforderungen gemeinsam zu definieren und bereits bei der Entwicklung der KI-Vorhersage mit zu berücksichtigen. Dies betrifft die Informationsinhalte und Darstellungen der Überflutungskarten, die in der Vorhersage transportiert werden sollen, sowie das Übertragungsformat und die Informations- und Meldewege, über die dies zu realisieren ist. Die Umsetzbarkeit der Anforderungen wurde im weiteren Projektverlauf geprüft und in die Umsetzung integriert. Der zweite Workshop wurde durchgeführt, nachdem das Training der KI und auch die technische Anbindung an das Vorhersagesystem Delft-FEWS weitestgehend abgeschlossen war. Somit lag bereits eine Version der Überflutungsvorhersage und ein Entwurf zur Bereitstellung der Informationen vor, die gemeinsam nochmals reflektiert und finalisiert werden konnten. Darauf aufbauend konnten dann ebenfalls Organisationskonzepte zur Information der BOS und Initiierung von Maßnahmen gemeinsam diskutiert und erarbeitet werden.

Entwurf eines Vorhersageberichts

Um die Informationen der Überflutungsvorhersage intern (EGLV) als auch extern (Mitglieder des kommunalen Krisenmanagements und der zuständigen BOS) zu kommunizieren und

bereitzustellen, wurde gemeinsam mit den assoziierten und beteiligten Partnern ein Vorhersagebericht in Form eines pdf-Dokuments konzipiert (s. Anlage 3). Im FEWS-System ist hierzu eine Export-Funktion konfiguriert, über die die in FEWS vorhandenen Vorhersagen (Niederschlag, Abfluss, Wasserstand, Überflutungsflächen) automatisiert in eine Dokument-Vorlage integriert und als pdf-Dokument exportiert, werden können. Das Dokument wird auf einen internen Server exportiert und kann von hier aus z.B. per Mail weiterverteilt werden.

Im Dialog mit den Partnern wurde ein zweigeteilter Berichtsentwurf als einsetzbar in der akuten Situation erachtet. Der erste Teil beinhaltet dabei die eigentlichen Vorhersagen als Diagramme und Karten, mit sehr kurzen und prägnanten Erklärungen, sodass hier nur die wichtigsten Informationen auf den ersten Blick deutlich werden und im Ereignisfall schnell und effizient eingesetzt werden können. Dieser Vorhersage-Teil ist wie folgt aufgebaut:

- Informationen zum Erstellungs- und Vorhersage Zeitpunkt des vorliegenden Vorhersage-Berichts
- Überflutungsvorhersage der KI-Anwendung für drei unterschiedliche Überflutungsszenarien basierend auf Niederschlags- und Abflussvorhersagen (*hier: für das Poldergebiet des PWK DOR Hammbach*)
- Messdaten und Vorhersagen von Niederschlag, Wasserstand und Abfluss (*hier: am Pegel DOR Am Strandbad*)
- Informationen zum Pumpwerk (*hier: PWK DOR-Hammbach*)
- Kontaktdaten

Außerdem wird auf jeder Seite der Erstellungszeitpunkt des Berichts sowie die Seitenzahlen angegeben, um eine eindeutige Kommunikation zu ermöglichen.

Der zweite Teil des Berichts beinhaltet weiterführende, erläuternde Informationen zu den Vorhersagen bzw. Informationen des ersten Teils. Hier werden z.B. Begrifflichkeiten und Zusammenhänge näher erklärt. Der Aufbau folgt dabei im Wesentlichen dem des ersten Teils. Beide Teile des konzipierten Vorhersageberichts sind dem Anhang zu entnehmen.

In der operationelle Hochwasservorhersage nutzen EGLV als Niederschlags-Eingangsdaten die Ensemble-Vorhersagen des DWD. Die daraus berechneten Abflussvorhersagen werden somit ebenfalls als Ensemblevorhersagen bereitgestellt. Über eine statistische Auswertung wird ein Unsicherheitsbereich möglicher Verläufe zwischen dem 10%- und 90%-Perzentil aufgespannt. Die Perzentile geben die Überschreitungswahrscheinlichkeit der Vorhersage an. Das 90%-Perzentil gibt somit an, dass 10% aller Vorhersagen unterhalb und 90% oberhalb dieses Wertes liegen. Damit ist eine Abschätzung der Größenordnung der Unsicherheiten und möglicher Entwicklungen möglich. Diese Ensemblevorhersagen sind in der Interpretation und Ableitung konkreter Handlungen aber komplexer. Eine verständliche Kommunikation ist daher umso wichtiger, stellt aber eine Herausforderung dar (Najafi et al. 2024, Treis, Pfister u.

Teichgräber 2023). Um die Unsicherheiten in den Vorhersagen auch in der entwickelten flächenhaften Überflutungsvorhersage zu integrieren und in den Überflutungskarten sichtbar zu machen, werden in der Vorhersage drei eindeutige Überflutungskarten von der KI-Anwendung berechnet und dargestellt. Diese zeigen die sich einstellenden Überflutungsflächen und Wassertiefen für einen ungünstigen Fall, den Median und einen günstigen Fall. Für den ungünstigen Fall gehen als Input in die KI die Verlaufskurve des 90%-Perzentil für den Abfluss sowie den Niederschlag ein. Entsprechend stellt der günstige Fall Überflutungsflächen resultierend aus dem 10%-Perzentil des vorhergesagten Abflusses und Niederschlags dar.

Für die dargestellten Überflutungskarten gilt in einem Bericht durchgehend derselbe Pumpwerkszustand und damit dieselbe Förderleistung. Standardmäßig wird hier die aktuelle Förderleistung des PWK verwendet. Es ist allerdings auch möglich diese in FEWS händisch anzupassen und somit mögliche Ausfallszenarien durchzuspielen. Die neu anzustoßende KI-Anwendung nutzt dann die angepasste Förderleistung zur Berechnung der Überflutungsflächen und geht analog auch in den Berichtsexport ein.

Integration in das Krisenmanagement und Mehrwert für die Hochwasserbewältigung

Für eine strategische Planung des Katastrophenschutzes ist eine möglichst schnelle Information zur Ausbreitung der sich einstellenden Überflutungsflächen und Wassertiefen von wesentlicher Bedeutung und erlaubt eine zielgerichtete Bevölkerungswarnung und Maßnahmeninitiierung. In einem ersten Schritt wurde gemeinsam mit dem Betriebsbereich und den BOS mögliche Informations- und Übertragungswege einer flächenhaften Überflutungsvorhersage und den relevanten Informationen diskutiert. Die Organisation des Hochwasserdienstes ist bei EGLV in internen Arbeitsanweisungen festgelegt sowie die Kommunikation und Zusammenarbeit mit externen Beteiligten und Krisenstäben. Um keine parallelen Strukturen aufzubauen, ist eine Integration des ergänzenden Instruments einer Überflutungsvorhersage in die vorhandenen Strukturen angestrebt und erarbeitet worden.

Die KI-Anwendung mit der Darstellung von Überflutungsflächen kommt zum Einsatz, wenn eine Ausuferung des Gewässers droht oder besteht. Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Das PKW läuft planmäßig, aufgrund eines hohen Zuflusses droht oder besteht eine Überlastung des PWK.
2. Das PWK fällt (teilweise) aus, aufgrund der verminderten Förderleistung kann der aktuelle oder vorhergesagte Zufluss nicht mehr vollständig gepumpt werden.

In beiden Fällen käme es zu einem Rückstau vor dem PWK und in der Folge zu Überflutungen aus dem Gewässer. Die beiden Fälle unterscheiden sich insbesondere in ihrer zeitlichen Komponente (Vorlaufzeit) als auch in den resultierenden Maßnahmen.

Während die Überlastung des PWK bei voller Leistungsfähigkeit zumeist gut vorhersagbar ist (in der Abflussvorhersage ist ein höherer Zufluss zum Pumpwerk zu erwarten, als das PWK fördern kann) und damit Vorsorgemaßnahmen getroffen werden können, tritt ein (Teil-)Ausfall des Pumpwerks kurzfristig und oft unvorhersehbar auf, sodass die Zeit für Vorsorgemaßnahmen gering ist. Letzterer Fall hängt außerdem stark von dem zugrunde liegenden Ausfallmechanismus und -szenario ab. Ein Stromausfall beispielsweise kann plötzlich und unvorhersehbar auftreten. Mit dem Ausfall einer einzelnen Pumpe aufgrund von Material im Vorlauf kann ggf. bereits vor dem tatsächlichen Ausfall gerechnet werden, wenn im Allgemeinen mehr Material vom Gewässer mitgeführt wird. In diesem Fall lässt sich mit der KI-Anwendung bereits im Vorfeld ein Szenario mit einer verminderten Förderleistung berechnen, womit potenzielle Auswirkungen besser abgeschätzt werden können.

Unabhängig der aktuellen Förderkapazität des PWK und des Abflusses im Gewässer können durch die KI-Anwendung auch durch Starkregen ausgelöste, pluviale Überflutungen vorhergesagt werden, die Gebiete unabhängig des Gewässers betreffen können.

Die neu entwickelte Überflutungsvorhersage stellt nun eine zusätzliche Information und wertvolle Grundlage zur Lagebeurteilung bereit und kann einen deutlichen Mehrwert zur Abschätzung möglicher Auswirkungen und damit eine wichtige Unterstützung in der Entscheidungsfindung bieten. Die Berechnung der Überflutungsflächen geschieht im FEWS-System und kann im System selbst dargestellt und über den Berichtsexport exportiert und als pdf bereitgestellt werden. Die mögliche Informationsweitergabe des pdf-Berichts kann dann per Mail erfolgen.

Wie unter anderem in Schaum et al. (2024, S. 78) diskutiert, „mangelt es an räumlich expliziten Frühwarnungen, die z.B. auf das zu erwartende Ausmaß der Überschwemmung hinweisen“. Im Gegensatz zu klassischen Vorhersagen an Pegeln, die lediglich Punktinformationen zu Abfluss und Wasserstand liefern, ist über die hier entwickelte Überflutungsvorhersage eine solche explizite, flächenhafte Information betroffener Gebiete und damit die Darstellung einer konkreten Situation möglich. Hochwassergefahrenkarten bieten zwar ebenfalls hilfreiche flächenhafte Informationen zu Überflutungen, sind aber statisch und für ein vorgefertigtes Szenario berechnet. Sie liefern keine ereignisspezifischen und dynamischen Informationen und sind damit für den operationellen Einsatz nur bedingt nutzbar. Mit einer dynamischen Überflutungsvorhersage, die die aktuelle meteorologische und hydrologische Situation und Vorhersagen berücksichtigt, können räumliche Schwerpunkte vorhergesagter Überflutungsflächen ereignisspezifisch identifiziert werden. Liegen neue Informationen zur Lage vor, können diese einbezogen und somit die Ereignisentwicklung berücksichtigt werden. Dies sowie der sich daraus ergebende Mehrwert für ein effektives Krisenmanagement wurde ebenfalls im Dialog mit den assoziierten Partnern und Beteiligten in den Workshops diskutiert

und hervorgehoben. Durch die Integration des Betriebszustands des Pumpwerks können außerdem die Auswirkungen einer Versagenssituation berücksichtigt werden. Eine Integration der flächenhaften Vorhersagedaten in die operationelle Hochwasservorhersage und das Krisenmanagement ermöglicht eine zielgerichtete und systematische Planung und Initiierung von Schutz- und Verteidigungsmaßnahmen. Verbesserte Handlungsoptionen ergeben sich unter anderem bei folgenden Maßnahmen:

- Einschätzung zu Ressourcen und Bedarfsanforderungen vor (!) der Lage
- Zielgerichtete Bevölkerungswarnung
- Systematische Evakuierungsmaßnahmen
- Gezielte Straßensperrungen und Verkehrslenkung
- Schutz kritischer Infrastruktur

So eine zeitnahe, wirkungsorientierte Warnung mit einer Überflutungskarte, wie sie in PuwaSTAR entwickelt wurde, kann nun die Möglichkeit für eine neue Herangehensweise in der Hochwasserbewältigung ermöglichen und die Resilienz gegenüber Hochwasserereignissen stärken. Diese Kette, von der Erstellung einer KI-basierten, wirkungsorientierten Echtzeitvorhersage (inkl. Pumpwerksausfallszenarien) bis zur zielgerichteten Kommunikation und Einbindung in die Lagebeurteilung konnte im Projekt erarbeitet werden und bildet eine Grundlage für die Integration in das operationelle Krisenmanagement. Die Umsetzung muss dann außerhalb des Forschungsprojekts angestrebt werden.

6. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Verbundvorhaben hat ein funktionsfähiges Vorhersagesystem entwickelt, das in Echtzeit potenziell überflutete Flächen und Wassertiefen im Poldergebiet des Pumpwerks Dorsten-Hamm bach prognostizieren kann. Dabei wird die maximale Überflutung in den nächsten 24h für unterschiedliche vorhergesagte Niederschlagsszenarien berechnet. Neben der Niederschlags- und Abflussvorhersage wird der Betriebszustand des Pumpwerks berücksichtigt und ermöglicht eine Einschätzung der Auswirkungen eines möglichen (Teil-) Ausfalls auf die sich einstellenden Überflutungsflächen und -tiefen. Das System bietet im Ereignisfall eine bessere Lageeinschätzung, frühzeitige Information und die Initiierung zielgerichteter Maßnahmen. Durch die Integration in das bei EGLV genutzte Vorhersagesystem Delft-FEWS sowie der engen Zusammenarbeit mit den assoziierten Partnern und weiteren Beteiligten zur Definition von Anforderungen und der Umsetzung im Risikomanagement konnte ein starker Praxisbezug hergestellt werden. Im entscheidenden

Fall kann diese Überflutungsvorhersage bei der Bewertung der Hochwasserlage helfen und schafft einen klaren Mehrwert insb. in der Lagebeurteilung und Katastrophenvorsorge.

Der Demonstrator wurde gebietsspezifisch für das Poldergebiet des PWK DOR-Hammbach entwickelt. Eine Übertragbarkeit der Methodik auf weitere Pumpwerkseinzugsgebiete ist zwar perspektivisch möglich, allerdings mit einem hohen Aufwand verbunden. Da die KI gebietsspezifisch trainiert wurde, müsste für weitere Einzugsgebiete erneut eine Vielzahl an Trainingsdatensätzen (NA-Szenarien und 1D/2D-Simulationen, sowie Pumpwerksspezifische Ausfallszenarien) generiert und die KI trainiert werden. Hier bestehen weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarfe für eine effiziente Übertragbarkeit und Generalisierbarkeit der KI-Anwendung. Weiterentwicklungsbedarf zeigt sich außerdem in der Dynamik der Vorhersage. Für den LV sind bspw. auch Ausfälle im Verlauf eines Ereignisses und die resultierenden Überflutungsflächen von Interesse. Hier besteht Forschungsbedarf, um auch diese Betrachtungen einzuschließen. Die Übertragbarkeit auf andere Versagenssituationen, wie Deichbrüche oder Rückhaltebecken, ist zudem eine weitere Forschungsfrage.

Nach dem Hochwasser im Juli 2021 wurde bei EGLV die *Roadmap Krisenhochwasser* als Programm zur weiteren Verbesserung des Hochwasserrisikomanagements und Stärkung der Resilienz gegen Extremereignisse im Klimawandel initiiert. Das Programm ist in fünf Aktionsfelder gegliedert: Retention, Anpassung, Hochwasserwarnung, Kooperation und Gesetze (EGLV 2022). Das Projekt PuwaSTAR gliedert sich in das Aktionsfeld *Hochwasserwarnung – Next Level* ein, das eine Ausweitung der bestehenden Hochwasservorhersage auf Nebengewässer und Pumpwerke vorsieht. Neben dem entwickelten Demonstrator zur innovativen Vorhersage von Überflutungsflächen, konnte ebenfalls ein Nebengewässer an das Vorhersagesystem angeschlossen werden und läuft derzeit im Testbetrieb. Nach einer Testphase kann das Modell bei guter Performance in die operationellen Systeme integriert werden und die Abfluss- und Wasserstandsvorhersage an den Pegeln von Emscher und Lippe auf den Hammbach und Wienbach ausgeweitet werden. Analog zu Pegeln an den Hauptgewässern sind dann betriebliche Warnschwellen zu definieren, die bei aktueller oder prognostizierter Überschreitung betriebliche Maßnahmen auslösen.

Ein wesentlicher Aspekt ist außerdem die Schaffung einer Schnittstelle zur Integration EGLV eigener Betriebsdaten an das Hochwasservorhersagesystem Delft-FEWS, die im Projekt erarbeitet und umgesetzt werden konnte. Das Pumpwerk sichert die Entwässerung und den Hochwasserschutz des Poldergebiets und stellt mit seiner Leistungskapazität und Funktionsfähigkeit ein kritisches Element im Hochwassergeschehen dar. Informationen zum Zustand des Pumpwerks sind damit von wesentlicher Bedeutung. Die Integration der Betriebsdaten in Zusammenhang mit der Anbindung des NA-Modells des Hammbach an das

Vorhersagesystem ermöglicht eine direkte Betrachtung der Mess- und Vorhersagewerte des Niederschlags und im Zufluss zum Pumpwerk in Verbindung mit dem aktuellen Status des Pumpwerks und bildet damit die Grundlage zur Generierung einer Pumpwerks-Warnung.

Die funktionale Schnittstelle kann analog auch für die Datenanbindung weiterer EGLV-eigener Pumpwerke an das Delft-FEWS System genutzt werden.

7. Zuwendungsrelevante Informationen

Die Hauptkosten der Finanzierung des Projekts wurden beim LV für die Position der Personalkosten (Pos. 0812) aufgewendet. Die Stelle der Projektkoordinatorin wurde beim LV neu besetzt. Insbesondere die Arbeiten zur Generierung der Trainingsdatensätze (NA-Szenarien) für die KI-Anwendung zu Beginn des Projekts waren arbeitsintensiv und wesentlich zur Erstellung einer fundierten Datenbasis zur bestmöglichen Entwicklung der Überflutungsvorhersage. Die Integration aller Bestandteile in das bei EGLV vorhandene Delft-FEWS System und die Erarbeitung von Konzepten zur Anwendung in der Katastrophenvorsorge in den fortgeschritteneren Projektabschnitten waren entscheidend für den unmittelbaren und praxisrelevanten Nutzen der Projektergebnisse. Die Umsetzung wird außerhalb des Projekts angestrebt. Für eine zielgerichtete operationelle Verwendung konnten aber bereits im Projekt die wesentlichen Grundlagen festgelegt werden. Die Koordination des Gesamtverbundes und die Dissemination der Projekt-(zwischen-)Ergebnisse fand über die gesamte Projektlaufzeit statt.

Eine flächenhafte Vorhersage von Überflutungen zur Nutzung im operationellen Betrieb hätte einen wesentlichen Mehrwert gegenüber den gegenwärtigen Vorhersagen von Abfluss und Wasserstand als Punktinformation und würde für den LV eine deutliche Verbesserung der Lagebeurteilung und darauf aufbauender Initiierung von Maßnahmen bedeuten. Die durch Bergsenkungen geprägten und vorwiegend dicht besiedelten Gebiete von EGLV müssen dauerhaft über Pumpwerke, als kritische Infrastruktur, entwässert werden. Fließt einem Pumpwerk mehr Wasser zu, als dieses mit seiner Leistungsfähigkeit fördern kann, fließt das Wasser in das abflusslose Bergsenkungsgebiet und sorgt dort mit sehr hohen Wasserständen von bis zu 4 m für Überflutungen. Die Folgen wären monetäre Schäden in Milliarden-Höhe und lebensbedrohliche Situationen für die Bevölkerung. Auch können einzelne Pumpen oder das gesamte Pumpwerk aus diversen technischen Gründen oder durch Wirkung externer Einflüsse, sowie durch menschliches Versagen ausfallen oder erheblich in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Die Auswirkungen eines Ausfalls oder einer Überlastung eines Pumpwerkes werden in der aktuellen Hochwasservorhersage-Methodik nicht berücksichtigt. Durch das Forschungsvorhaben konnte ein Vorhersagesystem entwickelt werden, das in Echtzeit die Ausbreitung von Überflutungsflächen im Poldergebiet des PWK DOR Hammbach

vorhersagen kann, und damit einen erheblichen Mehrwert in der Hochwasservorhersage bietet. Außerdem kann der (Teil-)Ausfall des Pumpwerks in der Vorhersage mitberücksichtigt werden und die Auswirkungen können auf die sich einstellenden Überflutungsflächen aktuell und ereignisspezifisch abgeleitet werden. Damit lässt sich erstmals auch eine Versagenssituation in die Echtzeit-Vorhersage integrieren.

8. Veröffentlichungen, Vorträge, Poster

Die Ergebnisse des Projekts wurden in verschiedenen Terminen mit kommunalen Mitgliedern und bei regionalen und überregionalen Fachaustauschen vorgestellt sowie in Pressemitteilungen disseminiert. Informationen zum Projekt können auch über die folgende Internetseite abgerufen werden: <https://www.eglv.de/puwastar/>

Des Weiteren wurde das Projekt bei den folgenden Fachveranstaltungen präsentiert und die Ergebnisse in Fachmagazinen publiziert:

Tabelle 2: Veröffentlichungen und Präsentationen auf Fachveranstaltungen

Titel	Datum	Veranstaltung, Ort	Art	Autoren
Datengetriebenes Vorhersagesystem zur Abschätzung von Hochwassergefahren bei Pumpwerksausfällen im urbanen Raum.	04.- 06. März 2026	Tag der Hydrologie, Kassel	Vortrag	Ramsauer, S. , Schmid, F. Johann, G., Falter, D., Eckers, Leandro, J.
Floodplain forecast for first responders. The project PuwaSTAR	23.-24. Oktober 2025	8 th Dutch-german workshop – Forecasting meets first responders, Essen	Vortrag	Eckers, H. , Falter, D., Johann, G.
Bayesian Analysis of Stormwater Pump Failures and Flood Inundation Extents	Oktober 2025	MDPI Water, 17(19), 2876 DOI: 10.3390/w17192876	Veröffentlichung	Ramsauer, Sebastian; Schmid, Felix; Johann, Georg; Falter, Daniela; Eckers, Hannah; Leandro, Jorge
A Novel Data-Driven Approach for the Dynamic Prediction of Maximum Flood Inundation Considering Pump Station Failures	15.- 19. September 2025	Urban Drainage Modelling Conference (UDM), Innsbruck	Vortrag	Ramsauer, S. , Schmid, F. Johann, G., Falter, D., Eckers, Leandro, J.
PuwaSTAR: KI-basierte 2D-Überflutungsvorhersage für Pumpwerke	03.- 04. Juli 2025	Regionales Delft-FEWS Anwendertreffen, Essen	Vortrag	Eckers, H. , Lutz, V.
Flood forecasting and pumping station warning in urban areas to improve flood-resilience: The project PuwaSTAR	27. April- 03. Mai 2025	European Geoscience Union (EGU) General Assembly, Wien	Vortrag	Eckers, H. , Buchholz, O., Falter, D., Johann, G., Leandro, J., Nafo, I., Nijzink, J., Pfister, A., Ramsauer, S., Schmid, F.

Entwicklung eines Neuartigen Datengetriebenen Überflutungsvorhersagemodells für Pumpwerke	19.- 21. März 2025	Tag der Hydrologie, Augsburg	Poster	Ramsauer, S. , Schmid, F., Johann, G., Falter, D., Eckers, H., Müller, L., Leandro, J.
Vorhersagesystem für Pumpwerke bei Hochwassergefahr	Februar 2025	WWT – Wasserwirtschaft Wassertechnik, 74, H 1-2, DOI: 10.51202/1438-5716-2025-1-2-016	Veröffentlichung	Schmid, F., Ramsauer, S., Eckers, H., Falter, D., Johann, G. & Leandro, J.
Pumpwerkswarnung für Starkregen und Hochwasser im urbanen Raum: Das Projekt PuwaSTAR	2024	Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 45.24: 17-24 DOI: 10.14617/for.hydrol.wasbew.45.24	Veröffentlichung	Falter, D. , Buchholz, O., Ebener, A., Leandro, J., Pfister, A., Schmid, F., Teichgräber, B., Johann, G
Pumpwerkswarnung für Starkregen und Hochwasser im urbanen Raum: Das Projekt PuwaSTAR	19.- 21. März 2024	Tag der Hydrologie, Berlin	Vortrag	Falter, D. , Buchholz, O., Ebener, A., Leandro, J., Pfister, A., Schmid, F., Teichgräber, B., Johann, G.
<i>Deep learning approach for real-time flood forecasting considering critical infrastructure failure: A case study for stormwater pumps</i>		<i>Journal of Hydrology</i> https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.6845377	Veröffentlichung (eingereicht)	Ramsauer, S. , Schmid, F., Johann, G., Falter, D., Eckers, H., Müller-Thomy, H., Leandro, J.

9. Literaturverzeichnis

- Alfieri, Lorenzo; Salamon, Peter; Pappenberger, Florian; Wetterhall, Fredrik; Thielen, Jutta (2012): Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. In: *Environmental Science & Policy* 21, S. 35–49. DOI: 10.1016/j.envsci.2012.01.008.
- Brienen, S., Walter, A., Brendel, C., Fleischer, C., Ganske, A., Haller, M., Helms, M., Höpp, S., Jensen, C., Jochumsen, K., Möller, J., Krähenmann, S., Nilson, E., Rauthe, M., Razafimaharo, C., Rudolph, E., Rybka, H., Schade, N. u. K. Stanley (2020): Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02.
- Chang, Fi-John; Chen, Pin-An; Lu, Ying-Ray; Huang, Eric; Chang, Kai-Yao (2014): Real-time multi-step-ahead water level forecasting by recurrent neural networks for urban flood control. In: *Journal of Hydrology* 517, S. 836–846. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.06.013.
- Chen, Pin-An; Chang, Li-Chiu; Chang, Fi-John (2013): Reinforced recurrent neural networks for multi-step-ahead flood forecasts. In: *Journal of Hydrology* 497, S. 71–79. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.05.038.
- Cho, Kyeungwoo; Kim, Yeonjoo (2022): Improving streamflow prediction in the WRF-Hydro model with LSTM networks. In: *Journal of Hydrology* 605, S. 127297. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.127297.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) (2012): DWA-Regelwerk. Arbeitsblatt DWA-A 531. Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer. Hennef.
- Ebers, N., Schröter, K. u. H. Müller-Thomy (2024): Estimation of future rainfall extreme values by temperature-dependent disaggregation of climate model data- In: *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 24. S. 2025-2043. DOI: 10.5194/nhess-24-2025-2024.
- Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV) (2022): Roadmap Krisenhochwasser. [Roadmap-Krisenhochwasser.pdf](#)
- Förster, K., Hanzer, F., Winter, B., Marke, T. u. U. Strasser (2016): An open-source MEteoroLOGical observation time series DISaggregation Tool (MELODIST v0.1.1). In: *Geoscientific Model Development (GMD)*, Vol 9, 7. S. 2315-2333. DOI: 10.5194/gmd-9-2315-2016
- Guo, Zifeng; Leitão, João P.; Simões, Nuno E.; Moosavi, Vahid (2021): Data-driven flood emulation: Speeding up urban flood predictions by deep convolutional neural networks. In: *J Flood Risk Management* 14 (1), Artikel e12684. DOI: 10.1111/jfr3.12684.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA.
- Leandro, Jorge; Althoff, Ingrid; Fischer, Svenja; Mudersbach, Christoph; Lesny, Kerstin (2025): Requirements for Flood-Driven Forecasting Systems for Small and Medium-Sized Catchments in Germany. In: *Water* 17 (22). DOI: 10.3390/w17223283.

- Leandro, Jorge; Martins, Ricardo (2016): A methodology for linking 2D overland flow models with the sewer network model SWMM 5.1 based on dynamic link libraries. In: *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 73 (12), S. 3017–3026. DOI: 10.2166/wst.2016.171.
- Li, Zewen; Liu, Fan; Yang, Wenjie; Peng, Shouheng; Zhou, Jun (2022): A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects. In: *IEEE transactions on neural networks and learning systems* 33 (12), S. 6999–7019. DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3084827.
- Lin, Qing; Leandro, Jorge; Wu, Wenrong; Bhola, Punit; Disse, Markus (2020): Prediction of Maximum Flood Inundation Extents With Resilient Backpropagation Neural Network: Case Study of Kulmbach. In: *Front. Earth Sci.* 8, Artikel 332. DOI: 10.3389/feart.2020.00332.
- Löwe, Roland; Böhm, Julian; Jensen, David Getreuer; Leandro, Jorge; Rasmussen, Søren Højmark (2021): U-FLOOD – Topographic deep learning for predicting urban pluvial flood water depth. In: *Journal of Hydrology* 603, S. 126898. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126898.
- Müller, H. u. U. Haberlandt (2018): Temporal rainfall disaggregation using a multiplicative cascade model for spatial application in urban hydrology. In: *Journal of Hydrology*, 556 (2018). S. 847-864. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.01.031
- Najafi, H., Shrestha, P.K., Rakovec, O., Apel, H., Vorogushyn, S., Kumar, R., Thober, S., Merz, B. u. L. Samaniego (2024): High-resolution impact-based early warning system for riverine flooding. In: *nature communications* 2024, 15, 3726. DOI: 10.1038/s41467-024- 48065-y
- Natel de Moura, Carolina; Seibert, Jan; Detzel, Daniel Henrique Marco (2022): Evaluating the long short-term memory (LSTM) network for discharge prediction under changing climate conditions. In: *Hydrology Research* 53 (5), S. 657–667. DOI: 10.2166/nh.2022.044.
- Ramsauer, S., Schmid, F., Johann, G., Falter, D., Eckers, H., & Leandro, J. (2025). Bayesian Analysis of Stormwater Pump Failures and Flood Inundation Extents. In: *Water*, 17 (19), 2876. DOI: 10.3390/w17192876
- Schaum, S., Jüpner, R., Fabisch, M., Reinert, J., Bachmann, D. u. U. Förster (2024): Zusammenarbeit zwischen Wasserwirtschaft und Katastrophenschutz – Erkenntnisse aus dem 6. Deutsch-Niederländischen Workshop. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2024 (17), Nr.2, S. 78-79.
- Schmid, Felix; Leandro, Jorge (2023): A Feature-Informed Data-Driven Approach for Predicting Maximum Flood Inundation Extends. In: *Geosciences* 13 (12), S. 384. DOI: 10.3390/geosciences13120384.
- Schmid, F., Ramsauer, S., Eckers, H., Falter, D., Johann, G. & Leandro, J. (2025): Vorhersagesystem für Pumpwerke bei Hochwassergefahr. In: *Wasserwirtschaft Wassertechnik (wwt)*, 1-2.
- Treis, A., Pfister, A. u. B. Teichgräber (2023): Umgang mit Unsicherheiten in der Hochwasservorhersage am Beispiel des Emschergebiets. In: *WasserWirtschaft* Vol. 113, 2023, S. 20-24. DOI: 10.1007/s35147-023-1866-7

Software

ArcMap Version 10.8.2., ESRI, Redlands (CA), USA

Delft-FEWS, Version 2025.02 (2025), Deltares, Delft.

MELODIST (MEteoroLOGical observation time series DISaggregation Tool) V. 0.1.5

NASIM, Version 5.4.3. (2023) Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen.

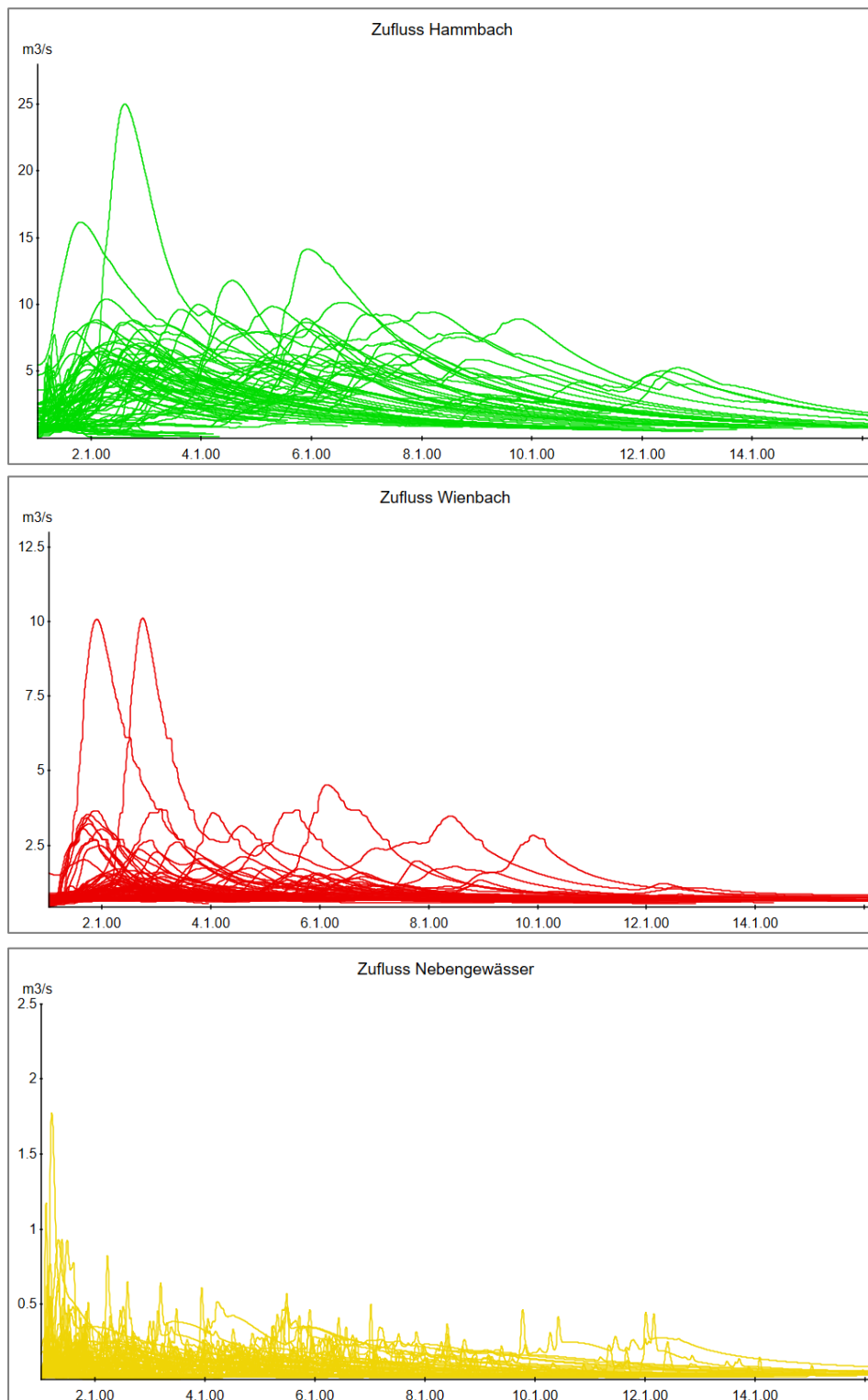
QGIS, Version 3.3.4 Prizren (2023), QGIS Development Team, QGIS Geographic Information System, QGIS Association.

TimeView, Version 3.3.0 (2023). Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen.

TimeView Version 3.3.2 (2024). Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen.

10. Anlagen

Anlage 1: Ganglinien der 73 Einzelereignisse aus der Langzeitsimulation für die Zufluss-Punkte in das Fokusgebiets



Anlage 2: Datengrundlage des Niederschlags zur Generierung der NA-Szenarien aus synthetischen Niederschlägen

Matrix der Jährlichkeiten und Dauerstufen der Niederschläge und deren zugehörige Niederschlagssumme der im Modellgebiet liegenden N-Stationen (Auswertung nach DWA A 531 (2012) auf Basis der partiellen Serie, bzw. in Anlehnung an PEN-LAWA für die Jährlichkeit 200) als Input in das NA-Modell

Dauerstufe [h]		3h	12h	18h	24h	48h	72h	96h
Jährlichkeit (N)	N-Station	Niederschlagssumme [mm]						
2	8931	24	34	37,5	40,3	49,8	56,3	61,3
	8965	25	34,8	38,4	41,1	51	57,8	63,1
5	8931	29,9	41,8	46	49,1	60,8	68,5	74,4
	8965	32	43,3	47,3	50,3	61,9	69,7	75,7
10	8931	34,4	47,8	52,3	55,8	69,1	77,7	84,3
	8965	37,3	49,7	54	57,3	70,2	78,7	85,3
20	8931	38,9	53,7	58,7	62,4	77,3	86,9	94,2
	8965	42,6	56,1	60,8	64,3	78,5	87,8	94,8
33	8931	42,2	58,1	63,4	67,3	83,4	93,7	101,4
	8965	46,5	60,9	65,7	69,4	84,6	94,4	101,9
50	8931	44,8	61,6	67,1	71,3	88,3	99,1	107,2
	8965	49,6	64,6	69,7	73,5	89,4	99,7	107,5
100	8931	49,2	67,5	73,5	77,9	96,6	108,3	117,1
	8965	54,9	71	76,4	80,5	97,7	108,7	117
200	8931	54,7	75,2	81,9	86,7	105,9	118	127,2
	8965	63,4	81,5	87,4	91,7	107,1	117,1	124,7

Matrix der Niederschlagssumme für Starkregenereignisse kleiner Dauerstufen der für das Fokusgebiet relevanten N-Station (Auswertung nach DWA A 531 (2012) auf Basis der partiellen Serie, bzw. PEN-LAWA für die Jährlichkeit 200) als lokale Niederschlagsereignisse im Fokusgebiet, unabhängig der Gewässer

Dauerstufe [h]		1h	1,5h	2h
Jährlichkeit (N)	N-Station	Niederschlagssumme [mm]		
2	8931	17,9	20	21,6
5	8931	22,7	25,2	27,1
10	8931	26,4	29,1	31,2
20	8931	30	33,1	35,4
50	8931	34,8	38,3	40,9
100	8931	38,5	42,3	45,1
200	8931	42,9	47	50,2

Anlage 3: Entwurf eines Vorhersageberichts der Überflutungsvorhersage für den Polder des Pumpwerk Dorsten Hammbach als pdf-Dokument

Überflutungsvorhersage für den Polder des Pumpwerks Dorsten-Hammach

Lippeverband

Automatisierte Berichterstellung durch Delft-FEWS.

Zeitpunkt der Berichterstellung: 26.11.2025 um 12:05

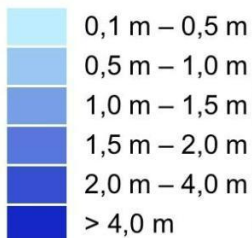
Zeitpunkt dieser Vorhersage: 26.11.2025 um 12:05

Vorhersage der maximalen Überflutung in den folgenden 24h bei einer verfügbaren Pumpwerksleistung von 15.5 m³/s

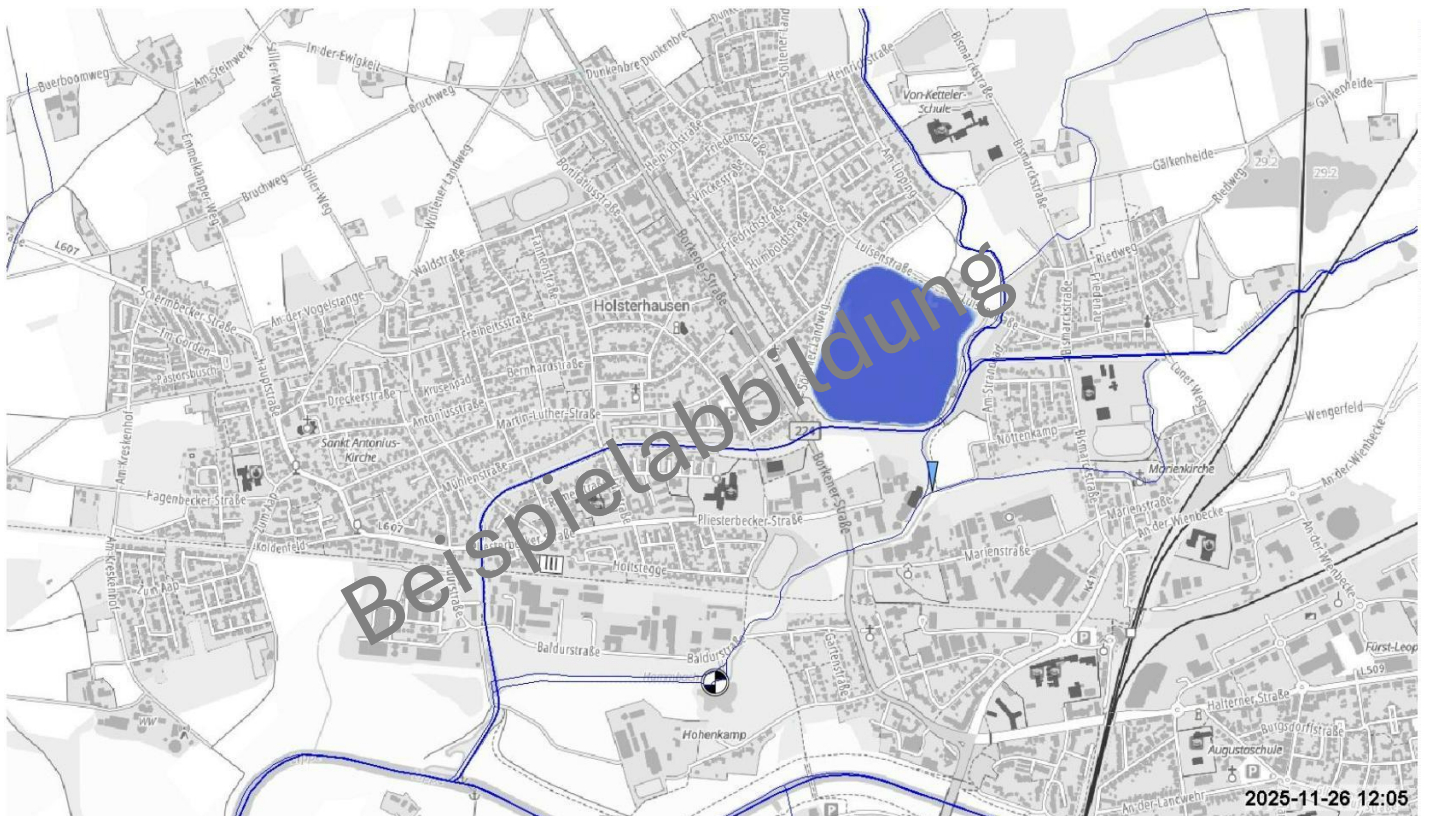
Es wird ein Unsicherheitsbereich der Vorhersage (über die drei Karten) dargestellt, der keine Begrenzung nach oben oder unten darstellt.

Hinweis: Es werden KEINE Überflutungen, die aus der Lippe resultieren dargestellt.

Legende:

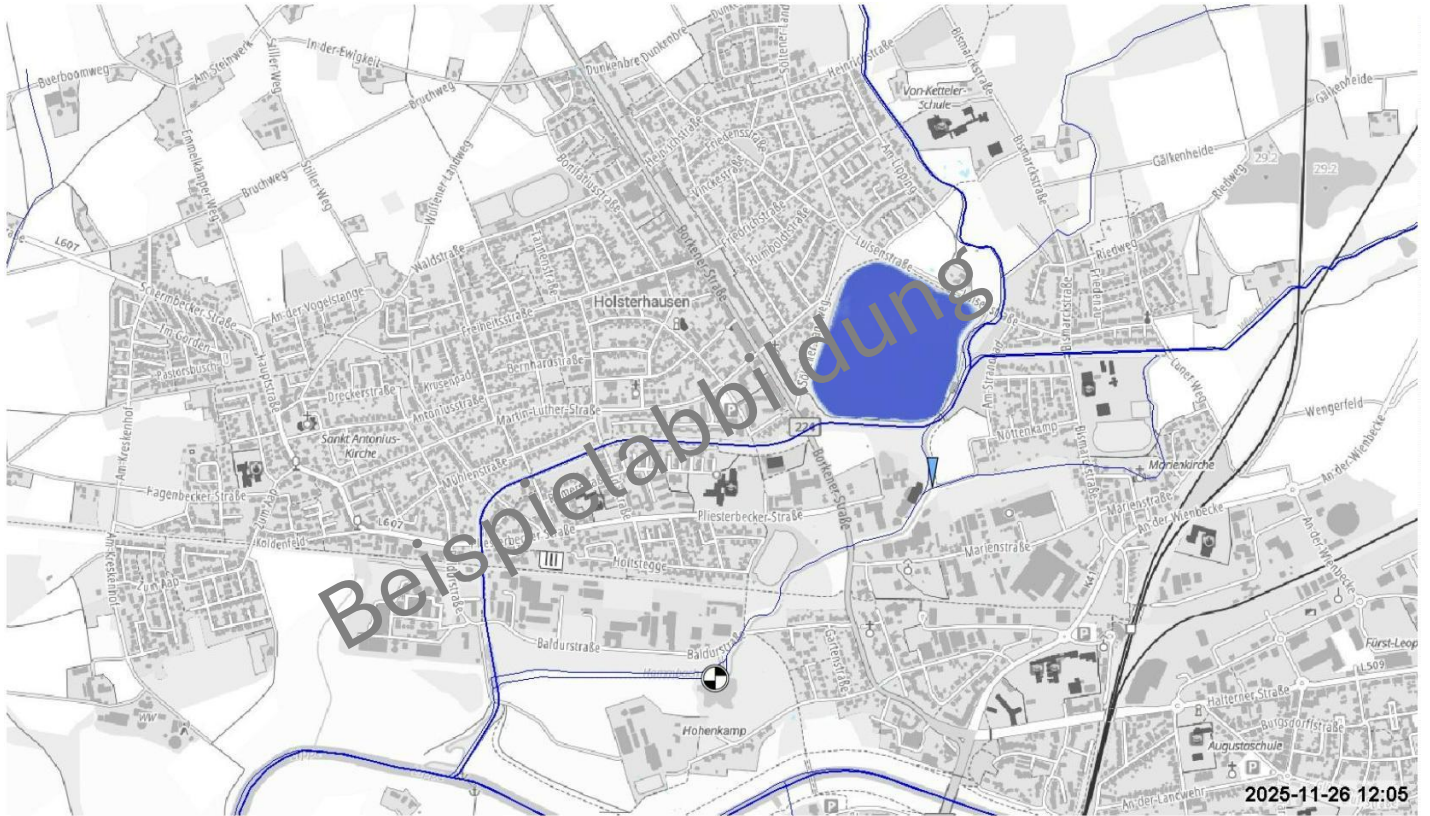


Ereignisspezifische Überflutung bei einer vorhergesagten Niederschlagssumme von 0.8 mm in den nächsten 24h (ungünstige Niederschlagsentwicklung, 10%-Perzentil der Ensemble-Vorhersage)

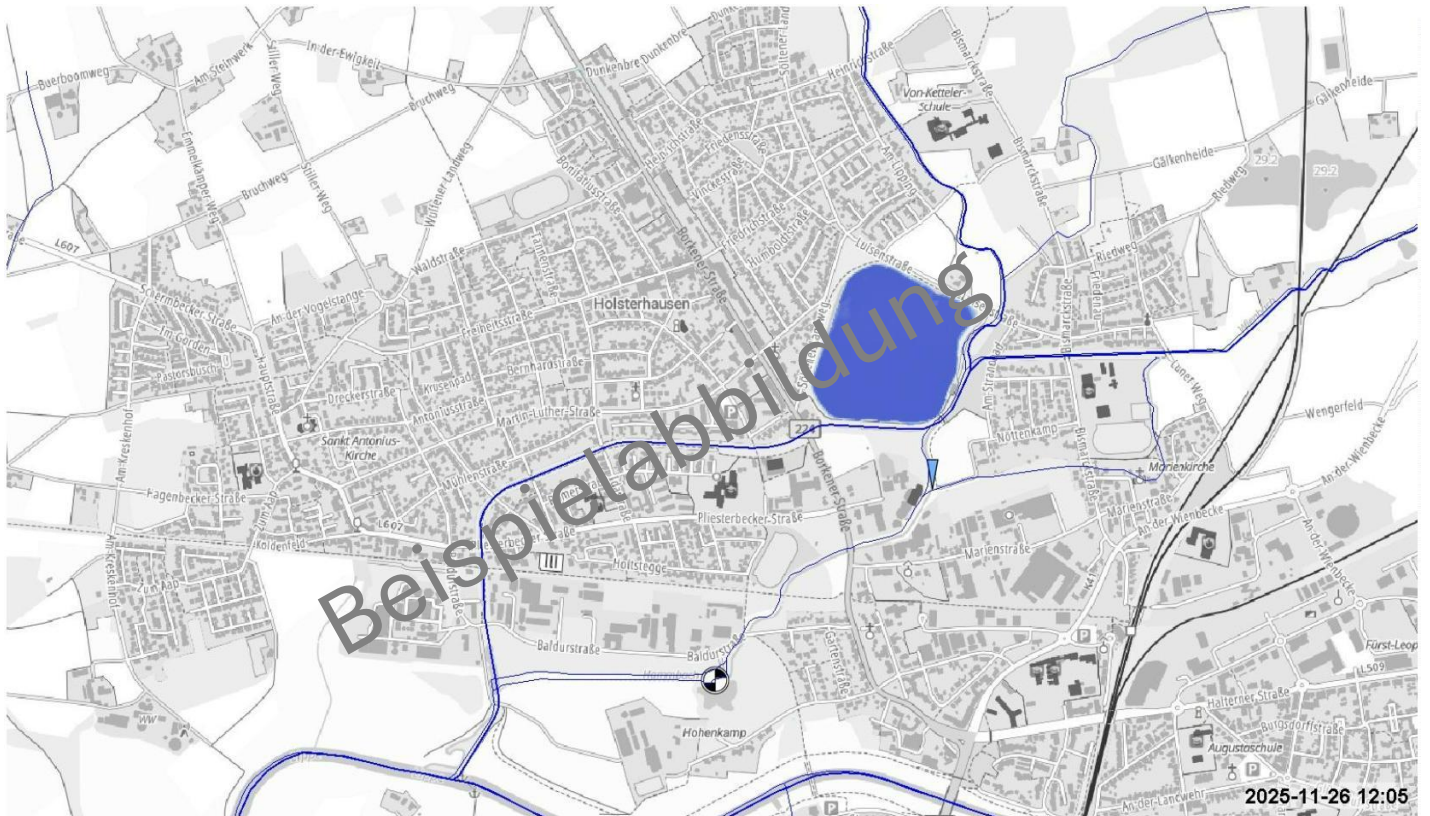


Überflutungsvorhersage für den Polder des Pumpwerks Dorsten-Hammach

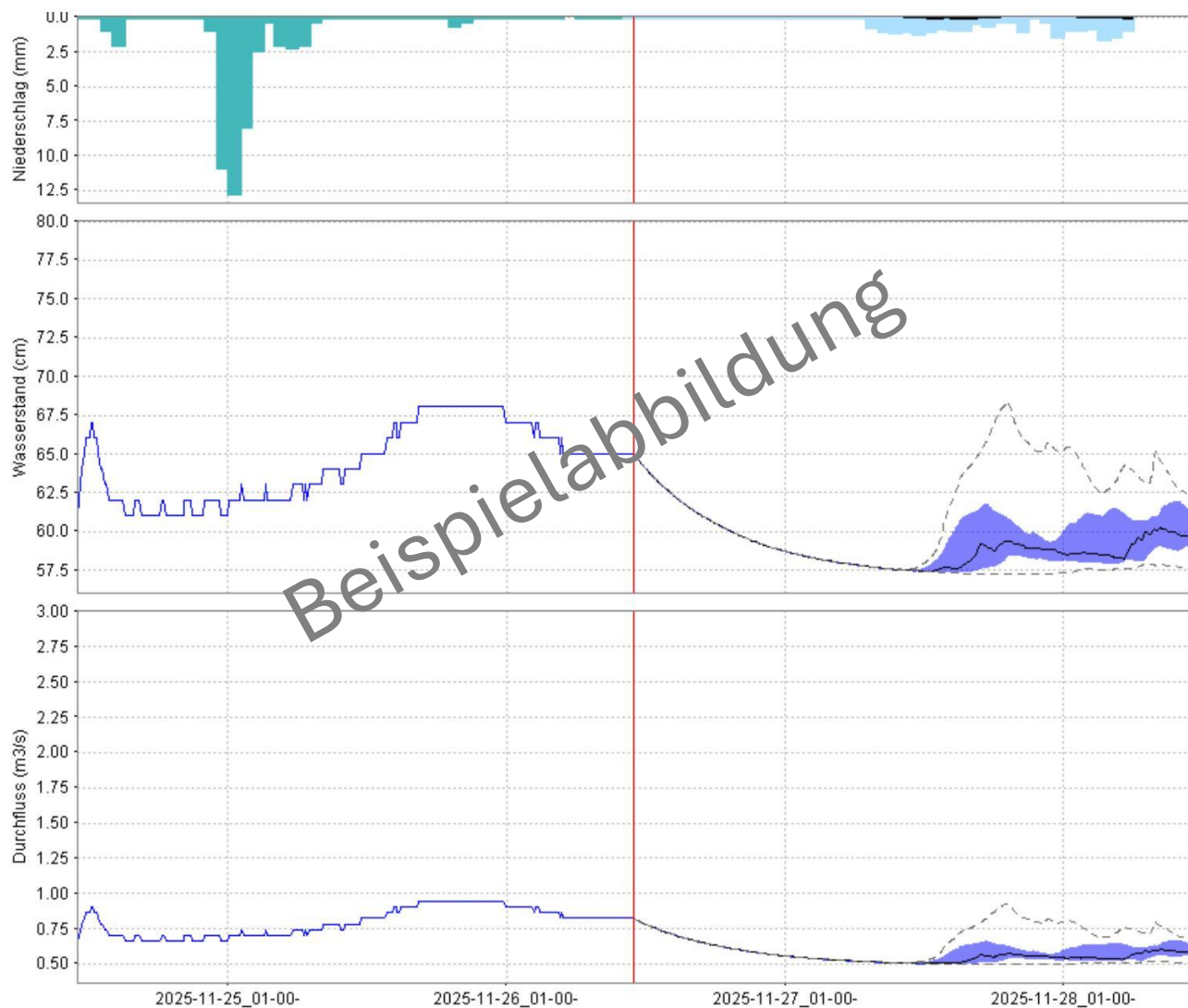
Ereignisspezifische Überflutung bei einer vorhergesagten Niederschlagssumme von 0.1 mm in den nächsten 24h (Median der Ensemble-Vorhersage)



Ereignisspezifische Überflutung bei einer vorhergesagten Niederschlagssumme von 0.0 mm in den nächsten 24h (günstige Niederschlagsentwicklung, 90%-Perzentil der Ensemble-Vorhersage)



Niederschlag, Wasserstand und Durchfluss am Pegel Dorsten 'Am Strandbad'



Legende:

Niederschlag:



Messwerte



Median der Vorhersage



Unsicherheitsbereich der Vorhersage
(90 % der Vorhersagen liegen in diesem Bereich)

Wasserstand und Durchfluss:

— Messwerte

— Median der Vorhersage

■ Unsicherheitsbereich der Vorhersage
(50 % der Vorhersagen liegen in diesem Bereich)

--- Unsicherheitsbereich der Vorhersage
(80 % der Vorhersagen liegen in diesem Bereich)

Niederschlagssummen für das Pegel Einzugsgebiet des Pegels 20020 DOR 'Am Strandbad'

h	Messwerte	Vorhersage (Median)
	mm	mm
1	0.0	0.0
6	0.0	0.0
24	0.0	0.1
48	46.9	3.2

Status des Pumpwerks Dorsten-Hamm bach

aktuelle Förderleistung: 1.0 m³/s am 26.11.2025 um 11:52 Uhr
aktuell mögliche Gesamtleistung: **15.5 m³/s** am 26.11.2025 um 11:52 Uhr
maximale Gesamtleistung: 15,5 m³/s

Kontakt Daten (Meldekopf)

Adresse:
Tel.-Nr.:
Mobil-Nr.:
Fax-Nr.:
E-Mail:

Weiterführende (Fach-)Informationen

Zeitpunkt der Berichterstellung = Zeitpunkt an dem das Dokument erstellt wurde

Zeitpunkt dieser Vorhersage = Anfangszeitpunkt, für den die Überflutungsvorhersage gestartet wurde, die Vorhersage zeigt die max. erwartete Überflutung von diesem Zeitpunkt für die folgenden 24h

Überflutungsvorhersage:

Die Vorhersage der Überflutungsflächen bezieht sich auf die in den folgenden **24 h** vorhergesagte **maximale Überflutung**. Die Vorhersage beruht auf der *Ensemblevorhersage* des Niederschlags und daraus resultierender Abflussvorhersagen als Dateninput. Entsprechend ergibt sich ein Unsicherheitsbereich in der Vorhersage und ein Spektrum an möglichen Überflutungsflächen.

Dargestellt werden die Überflutungsflächen, die sich aus dem

10%-Perzentil (ungünstige Niederschlagsentwicklung),
Median der Vorhersage und
90%-Perzentil (günstige Niederschlagsentwicklung)

der *Ensemblevorhersage* ergeben. Diese stellen keine Begrenzung nach oben oder unten dar. Dargestellt wird eine mögliche Überflutung, die aus dem Hamm bach resultiert und/oder durch Starkregen im Stadtgebiet verursacht sein kann.

Außerdem geht die **aktuell mögliche Gesamtleistung** des PWK in die Überflutungsvorhersage mit ein. Bei einem (Teil-)Ausfall des PWK hat dies Auswirkungen auf die resultierende Überflutung. Eine verringerte Förderleistung des PWK kann auch bei geringeren Abflüssen zu Rückstau und potenziell zu Überflutungen führen.

Ensemblevorhersage:

Ein **Ensemble** besteht aus mehreren gleichwahrscheinlichen Einzelvorhersagen und bietet über die Spannweite der Ensemblemitglieder eine Einschätzung der Unsicherheiten. Die Einzelvorhersagen werden einer statistischen Analyse unterzogen und bieten über die Darstellung in Unsicherheitsbereichen eine wahrscheinlichkeitsbasierte Betrachtung.

Ein **Perzentil** ist dabei der Wert bzw. die Verlaufskurve, die angibt wie viele Prognoseläufe (prozentual) unterhalb dieser Kurve als Verlaufsgrenze liegen. Das 10%-Perzentil gibt entsprechend an, dass 10% der Prognoseläufe kleiner ausfallen. Die restlichen 90% der Prognoseläufe liegen über der Verlaufsgrenze.

Pumpwerk

Der gesamte Abfluss des Hammbach muss aufgrund von Bergsenkungen kontinuierlich über das Pumpwerk Dorsten Hammbach gepumpt werden. Das Gewässerpumpwerk hebt das Wasser des Hammbach und stellt somit dessen Vorflut wieder her. Fließt dem Pumpwerk mehr Wasser zu, als es mit seiner Leistungsfähigkeit fördern kann, oder fällt es (teilweise) aus, so staut sich das Wasser in das Bergsenkungsgebiet zurück und führt dort zu Überflutungen.

Infos zum PWK:

- **Aktuelle Förderleistung:** aktuell tatsächlich gepumpter Abfluss
- **aktuell mögliche Gesamtleistung:** Summe der Kapazität der zuschaltbaren (nicht in Störung befindlichen) Pumpen; dieser Wert geht auch in die *Überflutungsvorhersage* ein
- **maximale Gesamtleistung: 15,5 m³/s**

Hinweis: Neben dem Gewässerpumpwerk besteht das PWK Dorsten Hammbach aus einem zweiten Pumpwerksteil, dem Abwasserpumpwerk zur Weiterleitung der Abwässer. In der Überflutungsvorhersage wird das Abwasserpumpwerk nicht betrachtet.

Niederschlag

Im Niederschlagsdiagramm sind die gemessenen Niederschlagsintensitäten sowie die Niederschlagsvorhersagen für die nächsten 48 Stunden dargestellt.

Bei den **gemessenen Niederschlägen** handelt es sich um die Gebietsniederschläge des Pegeleinzugsgebietes auf Basis des RY-Radarproduktes des Deutschen Wetterdienstes.

Für die **Niederschlagsvorhersage** wird die Ensemble-Vorhersage ICON-D2-EPS des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Dargestellt werden der Median, das 10%-Perzentil und das 90%-Perzentil der *Ensemblevorhersage*. Die zeitliche Auflösung beträgt eine Stunde.

In der Tabelle sind die gemessenen Niederschlagssummen auf Basis des RY-Produktes für die letzten 1, 6, 24 und 48 Stunden sowie die vorhergesagten Niederschlagssummen für die nächsten 1, 6, 24 und 48 Stunden aufgeführt. Die vorhergesagten Niederschlagssummen werden aus dem Median der Ensemble-Vorhersage ICON-D2-EPS des DWD berechnet.

Pegel (Abfluss, Wasserstand)

In den Pegeldiagrammen werden sowohl die Messwerte des Wasserstands und Abflusses als auch Vorhersagen für die folgenden 48h bereitgestellt. In die Modellrechnungen für die Abfluss- und Wasserstandvorhersagen geht neben den gemessenen Niederschlagsdaten der EGLV-Niederschlagsstationen auch die Ensemble-Vorhersage ICON-D2-EPS des DWD ein. Für die daraus resultierenden Abfluss- und Wasserstandvorhersagen werden ebenfalls die Unsicherheitsbereiche zwischen dem 10%- und 90%-Perzentil (= 80% der Vorhersagen liegen in diesem Unsicherheitsbereich) und dem 25%- und 75%-Perzentil (=50% der Vorhersagen liegen in diesem Unsicherheitsbereich) sowie der Median dargestellt.