

Eingehende Darstellung Hydrotec

Verbundprojekt PuwaSTAR

Pumpwerkswarnung für Starkregen und Hochwasser im urbanen Raum



Teilvorhaben:

Demonstrator für die KI-basierte operationelle 2D-Überflutungsvorhersage
unter Berücksichtigung von Pumpenausfallszenarien

In der Fördermaßnahme:

Anwender – Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit II

Förderkennzeichen: 13N16800

Projektlaufzeit: 01.12.2023 – 31.12.2025

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Aachen, Juni 2026

Impressum

Verfasser	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH Bachstraße 62-64, 52066 Aachen +49 241 94689 0 mail@hydrotec.de www.hydrotec.de
Autoren	Valerie Lutz (Hydrotec) Dr. Judith Nijzink (Hydrotec)
Projektträger	VDI Technologiezentrum GmbH VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
Fördermittelgeber	Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) Heinemannstraße 2, 53175 Bonn
Projektbetreuung	Dr. Frank Sicking (VDI) Elena Adegoke (VDI)
Verbundkoordinator	Emschergenossenschaft Lippeverband (EGLV) Kronprinzenstr. 24, 45128 Essen
Verbundpartner	Universität Siegen Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (FWU) Paul-Bonatz-Str. 9-11 57076 Siegen
Projektnummer	P2929
Stand	Juni 2026

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	2
1 Zielsetzung und Stand der Technik	3
2 Durchgeführte Arbeiten	4
2.1 Niederschlag-Abfluss-Szenarien (Arbeitspaket Nr. 1).....	4
2.2 Pumpenausfallszenarien (Arbeitspaket Nr. 2)	4
2.3 Überflutungsvorhersage inkl. Pumpenausfallszenarien (Arbeitspaket Nr. 3).....	5
2.4 Delft-FEWS Integration (Arbeitspaket Nr. 4).....	5
2.5 Anwendung in der Katastrophenvorsorge (Arbeitspaket Nr. 5)	8
2.6 Koordination und Dissemination (Arbeitspaket Nr. 6)	8
3 Ergänzende Informationen	9
3.1 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	9
3.2 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	9
3.3 Der voraussichtliche Nutzen im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	9
3.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	10
3.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	10
4 Literaturverzeichnis	11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Grafische Darstellung der 6 Arbeitspakete von PuwaSTAR	5
Abbildung 2-2: Screenshot der Zeitreihenanzeige des Pegels Dorsten „Am Strandbad“ im Delft-FEWS Testsystem	6
Abbildung 2-3: Screenshot der Anzeige der Überflutungskarten für das Gebiet Dorsten im Delft-FEWS Testsystem	7
Abbildung 2-4: Screenshot der Pumpwerksanzeige im Delft-FEWS Testsystem.....	8

1 Zielsetzung und Stand der Technik

Das Verbundvorhaben PuwaSTAR sollte 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 basierte dabei auf künstlicher Intelligenz und sollte neben Niederschlags- und Abflussvorhersagen auch die aktuelle Leistungskapazität des Pumpwerks sowie potenzielle Ausfallszenarien berücksichtigen. Damit sollten zeitaufwendige hydraulische Berechnungen, die für die operative Vorhersage nicht bzw. nur eingeschränkt nutzbar waren, ersetzt und ereignisbezogene Überflutungsflächen innerhalb weniger Minuten bereitgestellt werden.

Ziel war es, die funktionsfähige KI-Anwendung in das bei EGLV bereits vorhandene und operativ betriebene Hochwasservorhersagesystem Delft-FEWS zu integrieren und nutzbar zu machen. Damit sollte 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 sollten 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 sollten die Vorhersagen auch den Endnutzerinnen und -nutzern 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 stand der Schutz (und die Rettung) von Menschen vor der Bedrohung einer Überflutung im Umfeld von Pumpwerken in bergbaulichen Senkungsgebieten. Durch eine verbesserte Vorhersage sollte die Gefahrenabwehr und der Schutz kritischer Infrastruktur gestärkt werden und so die Versorgungssicherheit der Bevölkerung erhöht beziehungsweise Großschadenslagen vermieden werden.

Das Pumpwerk Dorsten-Hamm Bach und das umgebende Poldergebiet dienten als Pilotgebiet zur Erforschung und Realisierung des Vorhersagesystems. Eine mögliche Übertragbarkeit der entwickelten Methodik auf weitere (Pumpwerks-)Einzugsgebiete und weitere Versagenssituationen sollte ebenfalls bedacht und bewertet werden.

Operative Hochwasservorhersagen basierten bisher hauptsächlich auf Niederschlag-Abfluss-Modellen, die hydrologische Prozesse anhand von physikalisch-mathematischen Gleichungen realitätsnah berechnen können (Alfieri et al. 2012). Diese Modelle ermöglichen zwar eine zeitnahe Berechnung von Abflüssen und eine Ableitung von Wasserständen über eine Abfluss-Wasserstand-Beziehung, jedoch können räumliche Überflutungsflächen und Wassertiefen nicht dargestellt werden (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 Rechenintensität aber nicht für zeitkritische, operative 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 von Pumpwerken mit erheblichen Auswirkungen auf die Überflutungsflächen im urbanen Raum verschärft diese 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 innerhalb von nur wenigen Sekunden bis Minuten aussagekräftige Überflutungskarten liefern, die im Ereignisfall eine zeitnah fundierte Entscheidung auf Grundlage aktueller Überflutungskarten

ermöglichen. 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 zur Vorhersage von Fluss- oder Kanalnetzabflüssen im Rahmen des Flussgebietsmanagements (Chen et al. 2013; Chang et al. 2014). 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).

Das Potenzial solcher Modelle wurde zwar in zahlreichen Studien bewiesen, jedoch wurden die Integration in operative Vorhersagesysteme und die Betrachtung von Pumpwerksausfällen noch nicht untersucht. Somit wurden im vorliegenden Projekt ausstehende Forschungsfragen untersucht, die für eine zielgerichtete Hochwassereinschätzung maßgebend sind.

2 Durchgeführte Arbeiten

Das Verbundprojekt PuwaSTAR wurde zusammen mit den Projektpartnern Lippeverband (LV) und dem Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (FWU) der Universität Siegen bearbeitet. Die durchgeführten Arbeiten des Verbundvorhabens wurden in sechs Arbeitspakete (AP) unterteilt (Abbildung 2-1). Diese sind eng miteinander verknüpft und bauten teilweise aufeinander auf. AP 1 umfasst die Aufbereitung der Niederschlag-Abflussszenarien des hydrologischen Modells als Eingangsdaten für die 1D/2D-Überflutungsmodellierung und das Training der KI. Die Definition der Pumpenausfallszenarien, sowie die Ermittlung der entsprechenden Ausfallwahrscheinlichkeiten fand in AP 2 statt. AP 3 umfasste die Entwicklung und das Training der KI zur 2-D Überflutungsvorhersage unter Berücksichtigung der Pumpenausfallszenarien. Die technische Integration des in AP 3 entwickelten Moduls in das Delft-FEWS-System war Bestandteil des AP 4. AP 5 umfasste die Anwendung in der Katastrophenvorhersage mit der Definition von Endnutzeranforderungen und die Entwicklung von Vorsorgestrategien und Organisationskonzepten mit den assoziierten Partnern. Dafür wurden während der Projektlaufzeit zwei Workshops mit den Endnutzerinnen und -nutzern durchgeführt. Die Projektkoordination und Dissemination wurden durch AP 6 abgedeckt.

Hydrotec war hauptsächlich für die Bearbeitung des AP 4 zuständig, hat aber in allen Arbeitspaketen die Projektpartner unterstützt. Die von Hydrotec durchgeführten Arbeiten innerhalb der einzelnen Arbeitspakete werden im Folgenden näher aufgeführt und erläutert.

2.1 Niederschlag-Abfluss-Szenarien (Arbeitspaket Nr. 1)

Für das spätere Training des KI-Modells wurden im AP 1 Hochwasserganglinien für drei Zuflusspunkte des betrachteten Einzugsgebietes mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) erzeugt. Dafür wurden gemessene und künstlich erzeugte Niederschläge verwendet, um eine möglichst große Bandbreite an verschiedenen Niederschlagsereignissen abzudecken. Diese Bearbeitung wurde vor allem durch den Projektpartner LV durchgeführt und von diesem an das FWU übergeben. Als ursprünglicher Modellersteller stand Hydrotec dem LV unterstützend zur Seite.

2.2 Pumpenausfallszenarien (Arbeitspaket Nr. 2)

In AP 2 wurden die Ausfallmechanismen für die Pumpen des Pumpwerks Dorsten-Hamm bach untersucht und ein Tool für die Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten eines Pumpenausfalls entwickelt. Dieses AP wurde hauptsächlich durch den LV und das FWU bearbeitet.

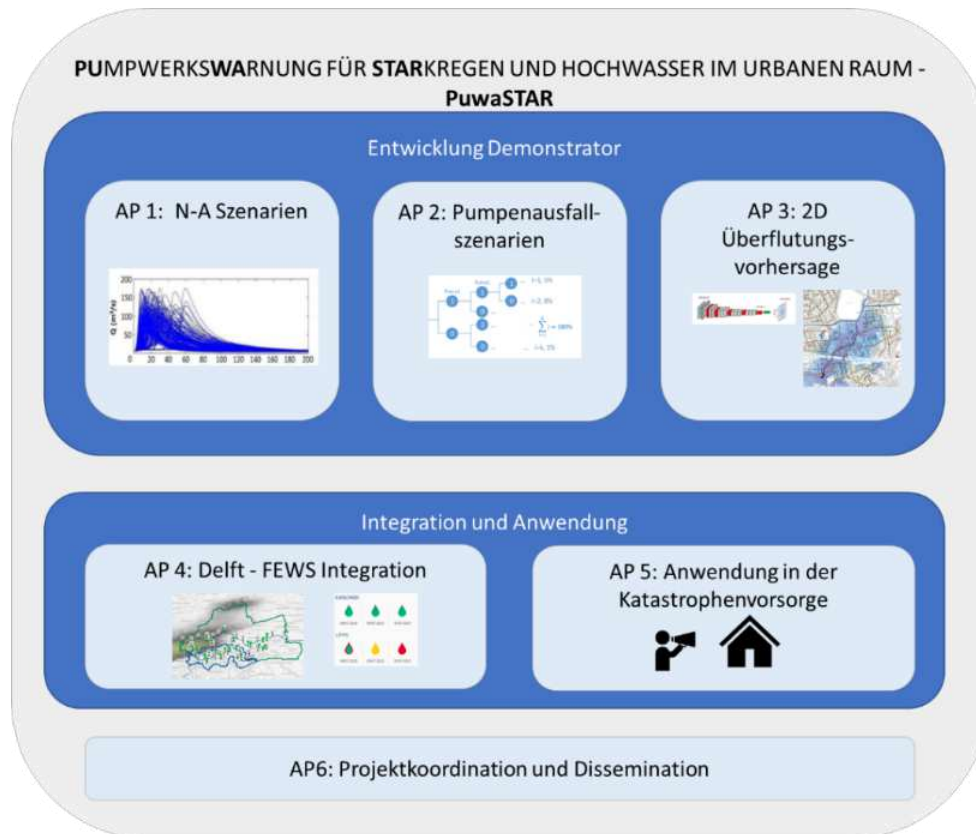


Abbildung 2-1: Grafische Darstellung der 6 Arbeitspakete von PuwaSTAR.

2.3 Überflutungsvorhersage inkl. Pumpenausfallszenarien (Arbeitspaket Nr. 3)

Das AP 3 umfasste die Entwicklung des KNN-Moduls zur 2D-Überflutungsvorhersage durch das FWU. In enger Abstimmung mit dem FWU wurden die Schnittstellen zwischen dem KNN-Modul und dem Demonstrator abgestimmt und vorbereitet.

Das KNN-Modul benötigt als Eingabedaten die akkumulierten Niederschläge und Abflüsse der letzten 24 Stunden und die vorhergesagten Abflüsse und Niederschläge der folgenden 24 Stunden, ebenso die aktuell maximal mögliche Förderleistung des Pumpwerks. Diese Daten waren aus dem Vorhersagesystem Delft-FEWS zu exportieren und in das von dem KNN-Modul erwartete Format umzuwandeln. Ebenso musste das Ergebnis des KNN-Moduls in ein Format umgewandelt werden, das durch Delft-FEWS wieder eingelesen werden kann. Die entsprechende Schnittstellensoftware wurde von Hydrotec in der Programmiersprache Python geschrieben, um in AP 4 in den Modelladapter integriert werden zu können. Der Zeitreihen-Export aus Delft-FEWS erfolgt im XML-Format. Für die Übergabe an das KNN-Modul werden die Zeitreihen in einen NumPy-Array umgewandelt. Die Ergebnisse der Modellierung liegen zunächst ebenso als NumPy-Array vor und werden durch den entwickelten Adapter in eine CF-1.6 Kompatible netCDF-Datei umgewandelt, die durch Delft-FEWS eingelesen werden kann.

2.4 Delft-FEWS Integration (Arbeitspaket Nr. 4)

Ziel dieses Arbeitspakets war es, die 2D-Überflutungsvorhersage unter Berücksichtigung der Ausfallszenarien der Pumpen in dem Delft-FEWS-Client-Server-Testsystem für die operationelle Vorhersage zu integrieren. Die Teilarbeitspakete umfassten die Festlegung der Datenformatanforderungen an die KI (AP 4.1), die Integration der Beta-Versionen des 2D-UV Demonstrators (ohne Ausfall der Pumpen) (AP 4.2), die Integration der Pumpwerks-Echtzeit-Aufzeichnungen über den Betriebszustand der Pumpen (AP 4.3) und die Integration der

Pumpwerk-Ausfallszenarien in das Vorhersagemodul (AP 4.4). Die Bearbeitung des AP 4 wurde hauptsächlich von Hydrotec übernommen.

Hydrotec hat im Zuge des AP 4.1 das N-A-Modell des Hambachs in das bestehende Vorhersagesystem des LV eingebunden. Dies umfasst die Datenaufbereitung der historischen und prognostizierten Klimadaten (Niederschlag, Temperatur, Verdunstung), die Einbindung des Modelladapters, um das NASIM-Modell automatisiert aus dem Delft-FEWS-System heraus zu starten, und die Ergebnisaufbereitung. Im Vorhersagesystem wurden grafische Darstellungen für die Anzeige der simulierten Abflussvorhersagen an den Pegeln Dorsten „Am Strandbad“, „Luner Weg“ und „Rosenstraße“ sowie an zwei Zuflusspunkten in das Modellgebiet des KNN-Moduls erstellt (Abbildung 2-2). Für die Pegel werden ebenfalls die Wasserstände über hinterlegte Abflusskurven berechnet und Messwerte angezeigt. Das N-A-Modell wird mit der Ensemble Vorhersage ICON-D2-EPS des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt. Die Vorhersagen werden alle 3 Stunden aktualisiert und umfassen das Wettergeschehen in den nächsten 48 Stunden. Mit dem N-A-Modell wird das Abflussgeschehen im Gebiet mit allen 20 Ensemble-Mitgliedern berechnet. Mithilfe statistischer Auswertungen werden die Überschreitungswahrscheinlichkeiten der resultierenden Abflussganglinien für vordefinierte Perzentile (10 %, 25 %, 33 %, 50 %, 67 %, 75 %, 90 %) berechnet und dargestellt. Die Abflussganglinien des 10-%-, 50-%- und 90-%-Perzentils gehen als Eingangsdaten in die spätere Berechnung der Überflutungsflächen ein.

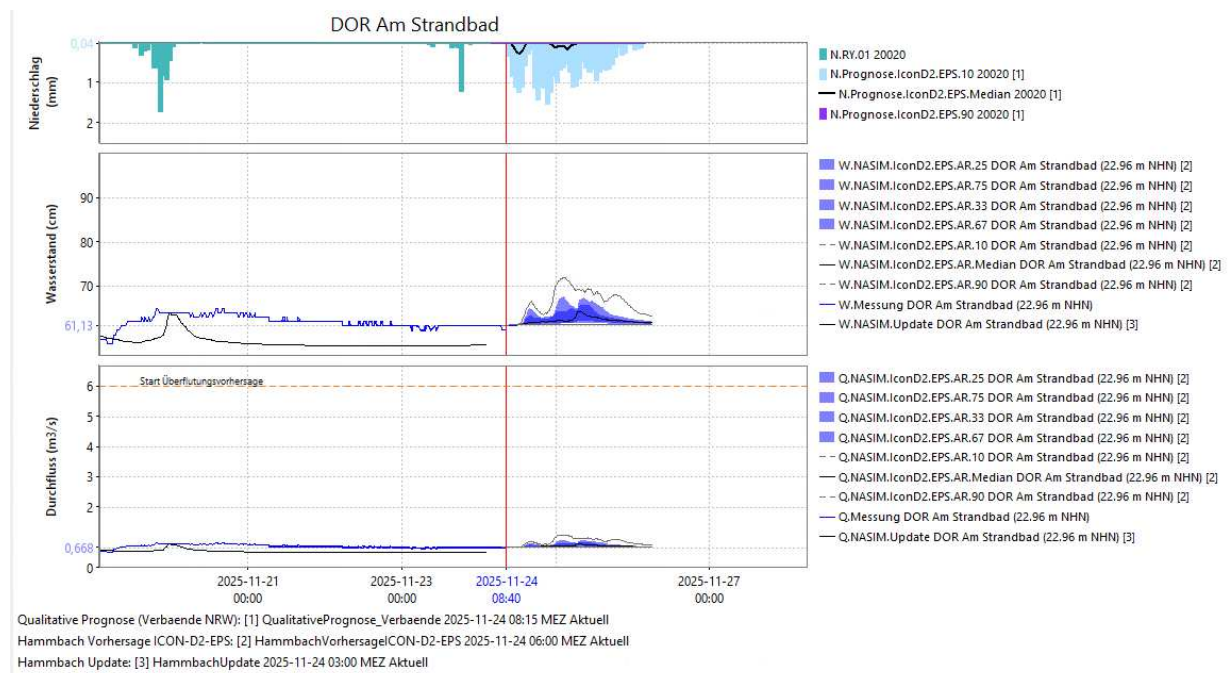


Abbildung 2-2: Screenshot der Zeitreihenanzeige des Pegels Dorsten „Am Strandbad“ im Delft-FEWS Testsystem.

Für die Integration der Beta-Version des KNN-Moduls in AP 4.1 wurde auf Basis der in AP 3 entwickelten Schnittstellendefinition ein Modelladapter entwickelt, der die automatisierte Ausführung der Überflutungsvorhersage aus Delft-FEWS heraus ermöglicht. Aufgrund der Vorgaben des KNN-Moduls hinsichtlich der benötigten Python-Version und Software-Bibliotheken wurde während des Projekts beschlossen, den Modelladapter in einen eigenen Container (Docker) auszulagern. Das Docker-Image des Modelladapters wird dabei isoliert auf einem separaten Linux-Server betrieben und ist damit unabhängig von der übrigen Python-Umgebung des Vorhersagesystems.

Für die Vorbereitung der Eingangsdaten des KNN-Moduls wurde die Delft-FEWS-Konfiguration um die Aufbereitung der Ergebnisse des N-A-Modells erweitert. Für jede Überflutungsvorhersage werden drei Modellläufe des KNN-Moduls parallel gestartet. Diese umfassen jeweils

einen Modelllauf mit einer günstigen Niederschlagsentwicklung (90 % Perzentil der Ensemble-Vorhersage, 90 % der Ensemble-Member sagen mindestens diesen Niederschlag bzw. Abfluss voraus), dem Median der Vorhersage und einer ungünstigen Niederschlagsentwicklung (10 % Perzentil). Die Berechnung erfolgt innerhalb weniger Minuten und die Ergebnisse stehen direkt in Form von drei verschiedenen Überschwemmungskarten im Vorhersagesystem zur Verfügung. Die Karten zeigen jeweils die erwartete maximale Überschwemmung der nächsten 24 Stunden mit einer Auflösung von 5 x 5 Metern (Abbildung 2-3).

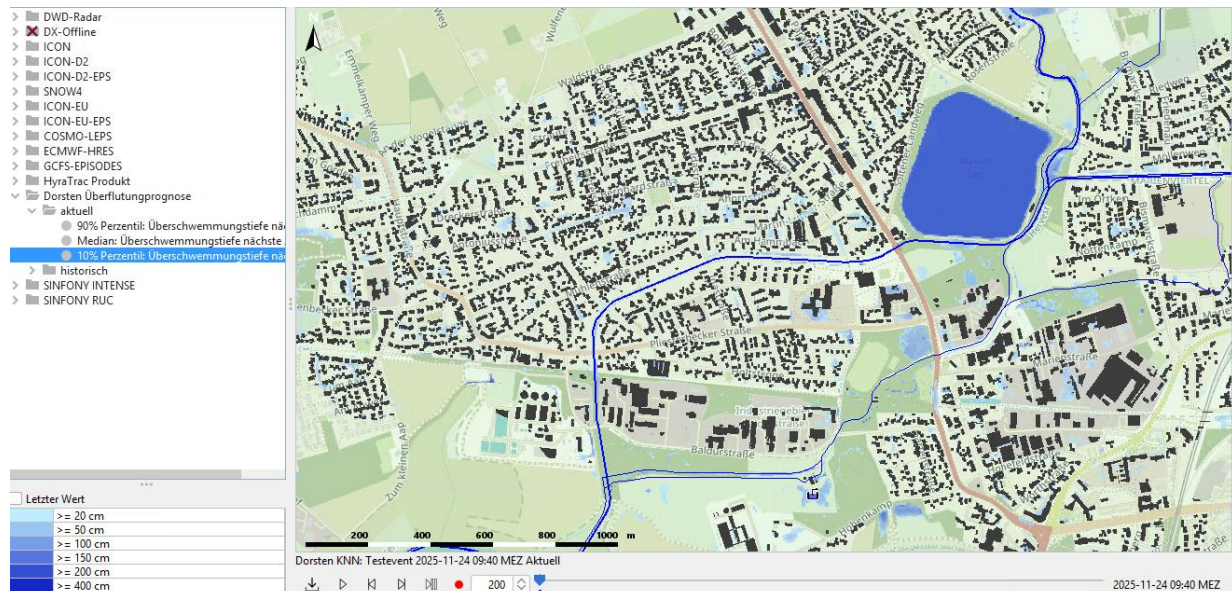


Abbildung 2-3: Screenshot der Anzeige der Überflutungskarten für das Gebiet Dorsten im Delft-FEWS Testsystem.

Um den aktuellen Status des Pumpwerks Dorsten-Hambach zu überwachen, wurde zusammen mit dem LV der Datenimport und die Darstellung der Pumpwerksdaten (Abbildung 2-4) in AP 4.3 erarbeitet. Mit einer minütlichen Auflösung wird der aktuelle Wasserstand des Zulaufs, die aktuelle gesamte Förderleistung des Pumpwerks und der Status der einzelnen Pumpen importiert. Die Pumpen können entweder aktiv, inaktiv oder nicht verfügbar (defekt) sein. Durch die hinterlegte Leistung der jeweiligen Pumpen wird die aktuell verfügbare maximale Förderleistung berechnet. Sind Pumpen als nicht verfügbar gekennzeichnet, wird ihre Förderleistung nicht mit in die Berechnung der gesamten maximalen Förderleistung einbezogen.

Nach dem Abschluss des Trainings der KNN für alle 8 möglichen Pumpenausfallszenarien durch das FWU wurden die Gewichte und die finale Softwarearchitektur an Hydrotec übergeben. Im Zuge des AP 4.4 wurde der Moduladapter entsprechend angepasst und alle acht Gewichte wurden im KNN-Modul-Container hinterlegt. Unter Berücksichtigung des aktuellen Betriebszustandes des Pumpwerks und dessen maximal möglicher Förderleistung wird die entsprechend trainierte KI ausgewählt.

Die 2D-Überflutungsvorhersage für die nächsten 24 Stunden wird automatisiert ausgeführt, nachdem die Abflussvorhersage am Pegel Dorsten „Am Strandbad“ einen festgelegten Grenzwert überschritten hat und erfolgt alle 6 Stunden bis zur Unterschreitung dieses Grenzwertes.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Vorhersage zu jeder Zeit manuell auszuführen. Mithilfe von sogenannten Modifiern ist es auch möglich, aus Delft-FEWS heraus alle Eingangsdaten des KNN-Moduls zu überschreiben. Damit kann beispielsweise simuliert werden, was passieren würde, wenn sich die maximale Förderleistung des Pumpwerks verringert oder noch höhere Abflüsse als prognostiziert auftreten. Dies soll die Mitarbeitenden im operationellen Einsatz in ihrer Lageeinschätzung unterstützen.

Nach jeder Überflutungsvorhersage wird automatisiert ein Lagebericht mit den Überflutungskarten, dem Status des Pegel Dorsten ‚Am Strandbad‘, dem Pumpwerkszustand und den bereits gefallenem sowie prognostizierten Niederschlägen erstellt und auf den FTP-Server des LV hochgeladen. Das Berichts-Template wurde in AP 5 erarbeitet.

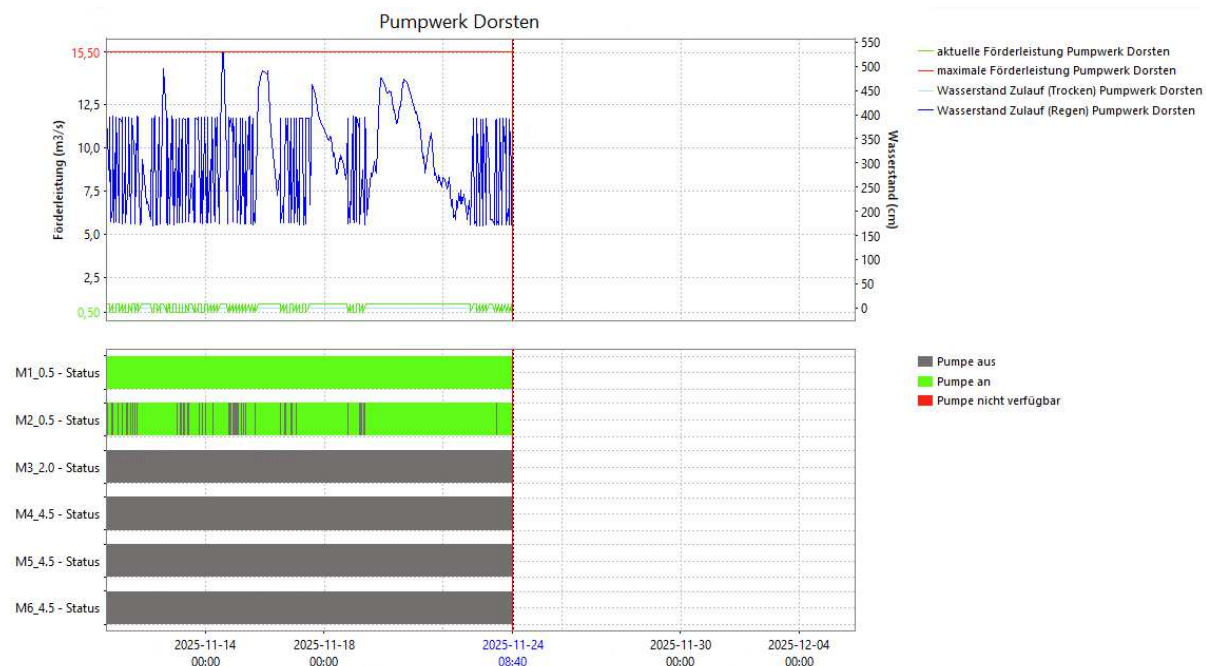


Abbildung 2-4: Screenshot der Pumpwerksanzeige im Delft-FEWS Testsystem.

2.5 Anwendung in der Katastrophenvorsorge (Arbeitspaket Nr. 5)

Im AP 5 wurden die Anforderungen der Endnutzerinnen und -nutzer an die Warnungen und Überflutungskarten sowie ein Organisationskonzept zur Warnung der Bevölkerung und Initiierung von geeigneten Maßnahmen erarbeitet. Die Bearbeitung dieses AP wurde überwiegend vom LV geleistet. Zusammen mit allen Partnern fanden zwei Endnutzerworkshops statt, um die entsprechenden Anforderungen gemeinsam zu erarbeiten. Zudem hat Hydrotec ein Template für den Lagebericht erstellt, das automatisiert nach jeder Überflutungsvorhersage ausgefüllt wird und dem Hochwasserdienst zur Weiterverbreitung an die im Organisationskonzept definierten Stellen zur Verfügung steht.

Der erstellte Bericht enthält drei Überflutungskarten für die jeweilige Niederschlagsentwicklung der Ensemble-Vorhersage (ungünstig, median, günstig), eine Darstellung der aktuellen und vorhergesagten Wasserstands- und Abflussentwicklung am Pegel Dorsten ‚Am Strandbad‘, sowie eine Darstellung der aktuellen und vorhergesagten Entwicklung des Niederschlags im Modellgebiet. Ebenso enthält der Bericht eine tabellarische Übersicht über die historischen und vorhergesagten Niederschlagssummen für das Pegel Einzugsgebiets des Pegels Dorsten ‚Am Strandbad‘ sowie den Status der aktuellen Förderleistung und der maximal möglichen Gesamtleistung des Pumpwerks Dorsten-Hamm Bach. Den Abschluss bilden die Kontaktdaten der Betriebsüberwachungszentrale in Bottrop. Zusätzlich wurde vom LV noch eine Seite mit Erklärungen und Begriffsdefinitionen für die bessere Einordnung der im Lagebericht enthaltenen Informationen erarbeitet.

2.6 Koordination und Dissemination (Arbeitspaket Nr. 6)

Das AP 6 umfasst die übergreifende Projektkoordination sowie die Verbreitung und Nutzbarmachung der Ergebnisse. Es band alle Verbundpartner ein und sorgte für eine effiziente und gute Zusammenarbeit. Über die Projektlaufzeit wurden regelmäßige Jours Fixes abgehalten,

um den aktuellen Projektstand zu prüfen, offene Fragen zu klären und Aufgaben zu priorisieren.

Die (Teil-)Ergebnisse des Projekts wurden vor allem von den Verbundpartnern LV und FWU zu mehreren Gelegenheiten veröffentlicht (siehe entsprechende Abschlussberichte, Abschnitt 3.5). Hydrotec beteiligte sich bis jetzt an Präsentationen im Rahmen des Regionalen Delft-FEWS-Anwendertreffens 2025 in Essen, des European Geoscience Union (EGU) General Assembly 2025 in Wien und dem Tag der Hydrologie 2024 in Berlin.

Zum Projektabschluss wird der Python-Code für den Modelladapter zusammen mit dem KNN-Modul auf einer GitHub-Instanz der Universität Siegen veröffentlicht.

3 Ergänzende Informationen

3.1 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises sind die Personal- und Reisekosten. Diese sind tabellarisch aufgeschlüsselt in den Anlagen dargelegt. Die Reisekosten setzen sich aus den Projekttreffen sowie der in AP 6 genannten Reise zur innereuropäischen Fachtagung EGU in Wien zusammen. Die Personalkosten entsprechen der Summe der gearbeiteten Stunden an der Umsetzung des Vorhabens. Material- und Verwaltungskosten sind nicht angefallen und auch innerbetriebliche Leistungen oder Fremdleistungen wurden von Hydrotec nicht in Anspruch genommen.

3.2 Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die geleisteten Projektarbeiten sind sowohl notwendig als auch angemessen, da sie den Hochwasserdienst, die Feuerwehr, das Technische Hilfswerk sowie politische Entscheidungsträger entscheidend bei der Lageeinschätzung unterstützen.

Durch präzise Analysen und frühzeitige Warnungen können Schadenskosten und Gemeinkosten erheblich reduziert werden, während gleichzeitig der Schutz der Bevölkerung bei Überflutungen nach Starkregenereignissen verbessert wird.

Wichtig ist dabei, dass das Problem nicht nur auf das aktuelle Untersuchungsgebiet beschränkt ist, sondern auch in zahlreichen anderen Poldergebieten der Emschergenossenschaft und des Lippeverbands auftritt. Diese Studie bildet die Grundlage, um eine Übertragbarkeit des Vorgehens in weitere Gebiete zu ermöglichen.

3.3 Der voraussichtliche Nutzen im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Mit dem erfolgreichen Projektabschluss kann der erarbeitete Demonstrator im operationellen Testbetrieb des Vorhersagesystems der Emschergenossenschaft und des Lippeverbands eingesetzt werden. Im Falle einer bevorstehenden Überflutungssituation wird erwartet, durch die im Projekt implementierte Überflutungsvorhersage die Lageeinschätzung für alle beteiligten Akteure (u. a. Hochwasserdienst, Stadt, Feuerwehr, THW) deutlich zu verbessern. Der Übergang von einer statischen Vorhersage (z. B. über Starkregen Gefahrenkarten) zu den dynamisch erzeugten Überflutungskarten unterstützt einen ereignisspezifisch koordinierten Einsatz.

Das erarbeitete Konzept zur schnellen und räumlich detaillierten Überflutungsvorhersage ist grundsätzlich auf andere Gebiete übertragbar. Für jedes neu einzubindende Gebiet wird ein eigenes N-A-Modell und ein entsprechend trainiertes KNN-Modul benötigt. Weitere geplante Forschungsvorhaben der Verbundpartner LV und FWU beschäftigen sich daher mit der

Entwicklung einer generalisierten KNN, die sich leichter auf andere Gebiete übertragen lässt. Aktuell wird ein ähnlicher KI-Ansatz für die Überflutungsvorhersage mittels Delft-FEWS entlang der Emscher verfolgt.

Auch die Einbindung der Betriebsdaten weiterer Pumpwerke der EGLV ist möglich und wird voraussichtlich auf weitere Poldergebiete ausgebaut.

3.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Keiner.

3.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Präsentation Regionales Delft-FEWS-Anwendertreffen am 3. - 4. Juli 2025 in Essen

Eckers, H.; Lutz, V. 2025: PuwaSTAR: KI-basierte 2D-Überflutungsvorhersage für Pumpwerke, Regionales Delft-FEWS Anwendertreffen, Essen, 3.-4. Apr 2025

https://www.hydrotec.de/wp-content/uploads/2025/11/06_PuwaSTAR_Lippeverband-Hydrotec-2025-Eckers-Lutz-02.pdf

Präsentation European Geoscience Union (EGU) General Assembly am 27. April - 3. Mai 2025 in Wien

Eckers, H.; Buchholz, O.; Falter, D.; Johann, G.; Leandro, J.; Nafo, I.; Nijzink, J.; Pfister, A.; Ramsauer, S.; Schmid, F. 2025: Flood forecasting and pumping station warning in urban areas to improve flood-resilience: The project PuwaSTAR, EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-16233, DOI: [10.5194/egusphere-egu25-16233](https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-16233).

Präsentation Tag der Hydrologie am 19. - 21. März 2024 in Berlin

Falter, D.; Buchholz, O.; Ebener, A.; Leandro, J.; Pfister, A.; Schmid, F.; Teichgräber, B.; Johann, G. 2024: Pumpwerkswarnung für Starkregen und Hochwasser im urbanen Raum: Das Projekt PuwaSTAR. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 45.24: S. 17-24.

GitHub Repository mit dem Code für den PuwaSTAR-FEWS-Adapter 2025
<https://github.com/FWUSiegen/PuwaSTAR/tree/main/PuwaSTAR-FEWS-Adapter>

Projektwebseite 2026

EGLV 2026: PuwaSTAR: Pumpwerkswarnung für Starkregen und Hochwasser im urbanen Raum, <https://www.eqlv.de/puwastar/> [26.06.2026]

4 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](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.01.008).
- Berkhahn, Simon; Fuchs, Lothar; Neuweiler, Insa (2019): An ensemble neural network model for real-time prediction of urban floods. In: *Journal of Hydrology* 575, S. 743–754. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2019.05.066](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.066).
- 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127297).
- 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](https://doi.org/10.2166/wst.2016.171).
- 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](https://doi.org/10.3390/w17223283).
- 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](https://doi.org/10.2166/nh.2022.044).