



IOT-Infrastrukturen für eine bessere Gewässerbewirtschaftung und ein effizienteres Monitoring von Extremereignissen

**27. Symposium
Flussgebietsmanagement beim Wupperverband
Gebietsforum Wupper der Bezirksregierung Düsseldorf**

19. - 20. Juni 2024

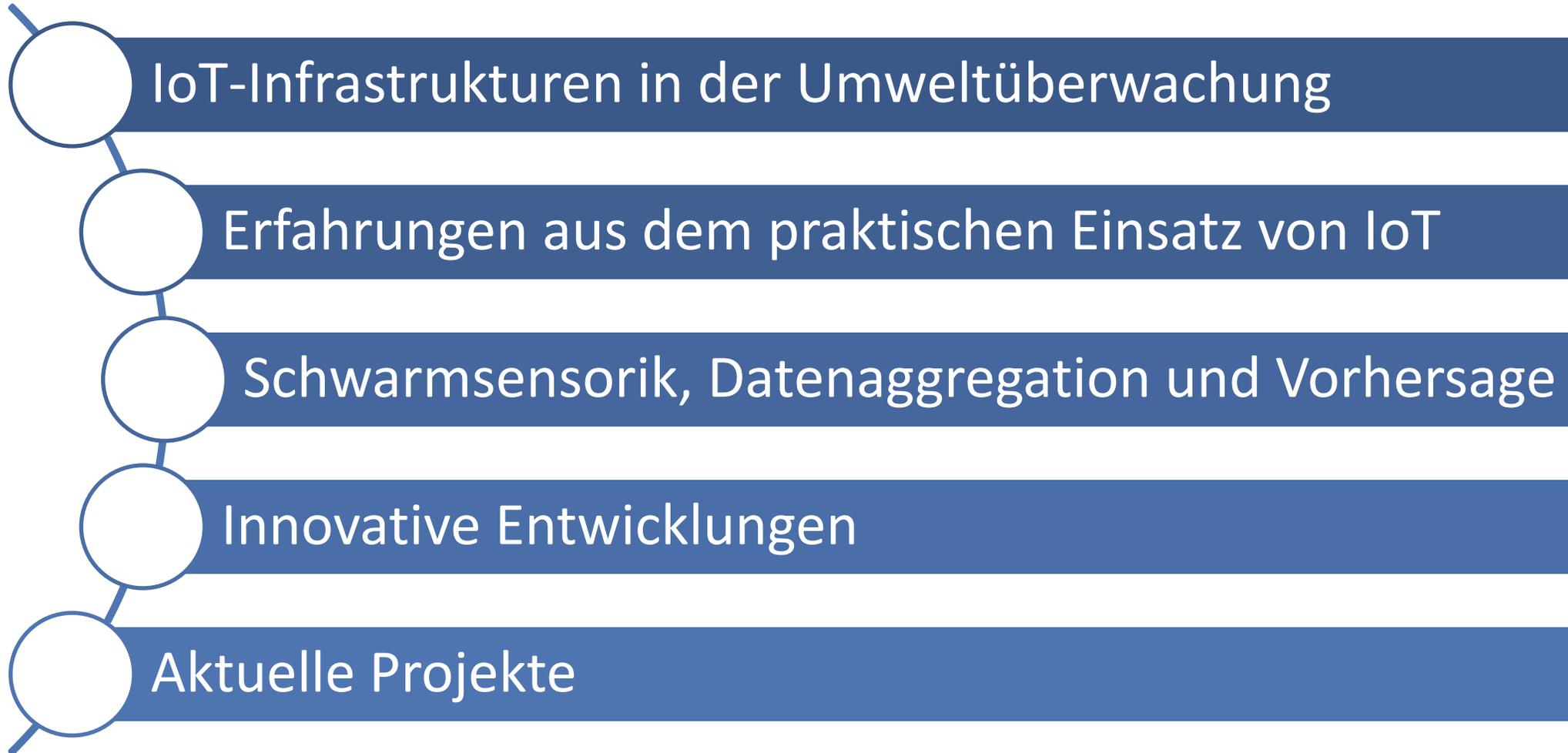
Prof. Dr.-Ing. André Niemann, Dr.-Ing. Thorsten Mietzel, Gregor Johnen M.Sc.



Leuven



Quelle: we-count.net



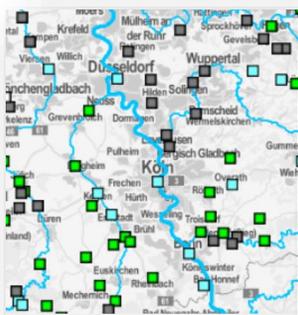
Informationsplattform vs. Open Data-Plattform



Quellen:
Dashboards der Smart Cities Münster, Darmstadt
und des Geoportals der Smart City Hamburg

Open Data – Wo steht die Wasserwirtschaft? Teilungsfähigkeit und Wege zur Datenteilung

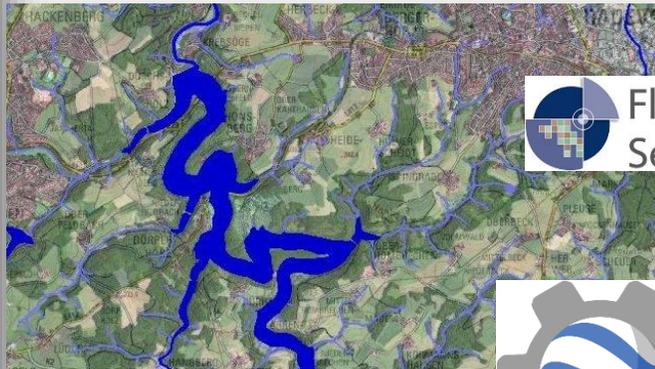
- Verschiedene Plattformen und Protokolle ermöglichen das regelbasierte Teilen von Umweltinformationen und –daten
 - Integration von verschiedensten Datentypen mit Relevanz für die Wasserwirtschaft
 - Teilen und Publikation von Daten



HYGON (Hydrologische Rohdaten)

Das Fachportal HYGON stellt Informationen zu Wasserständen, Wassertemperatur, Gewässergüte und Niederschlag zentral bereit.

Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen



FluGGS Sensor Web

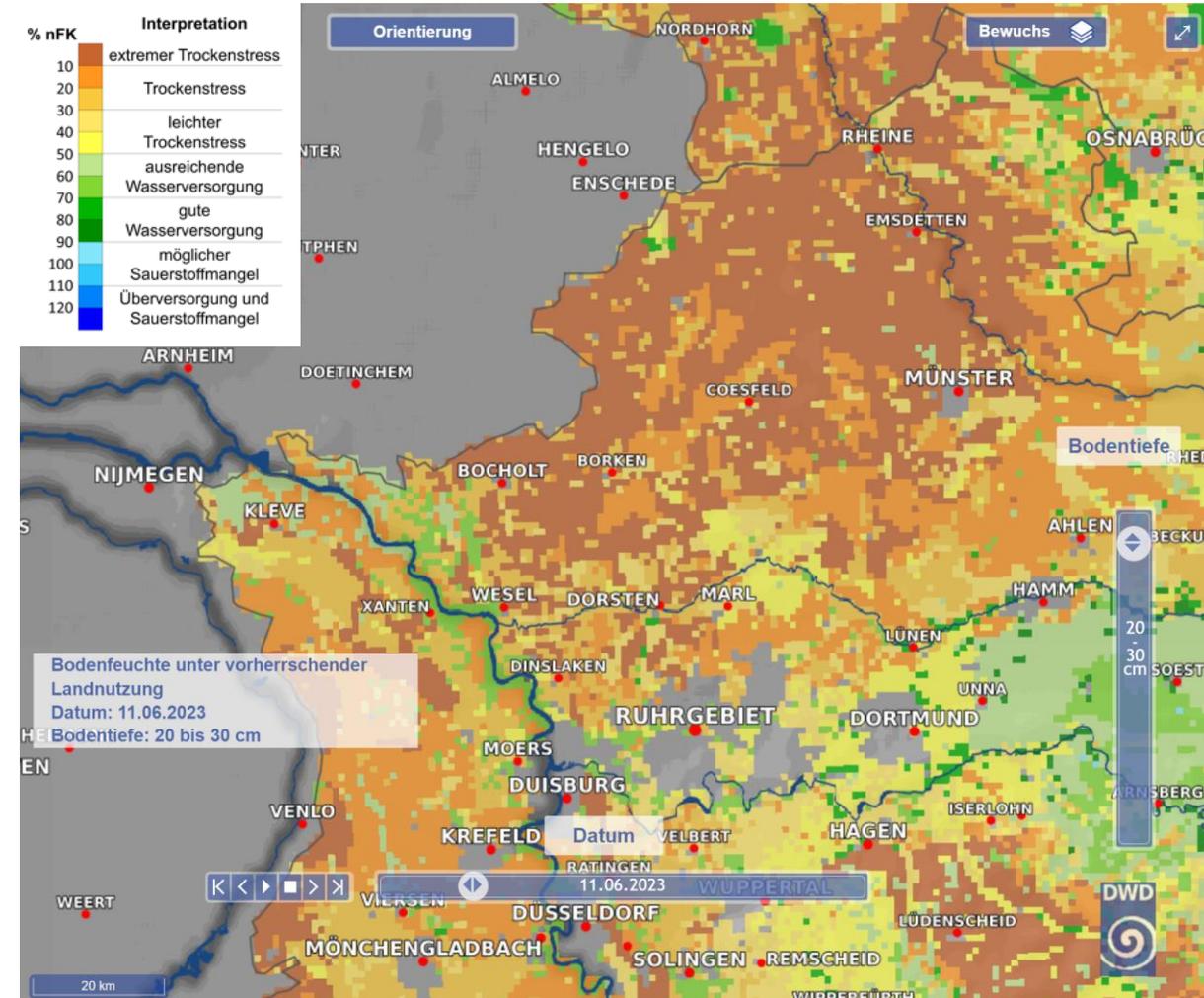
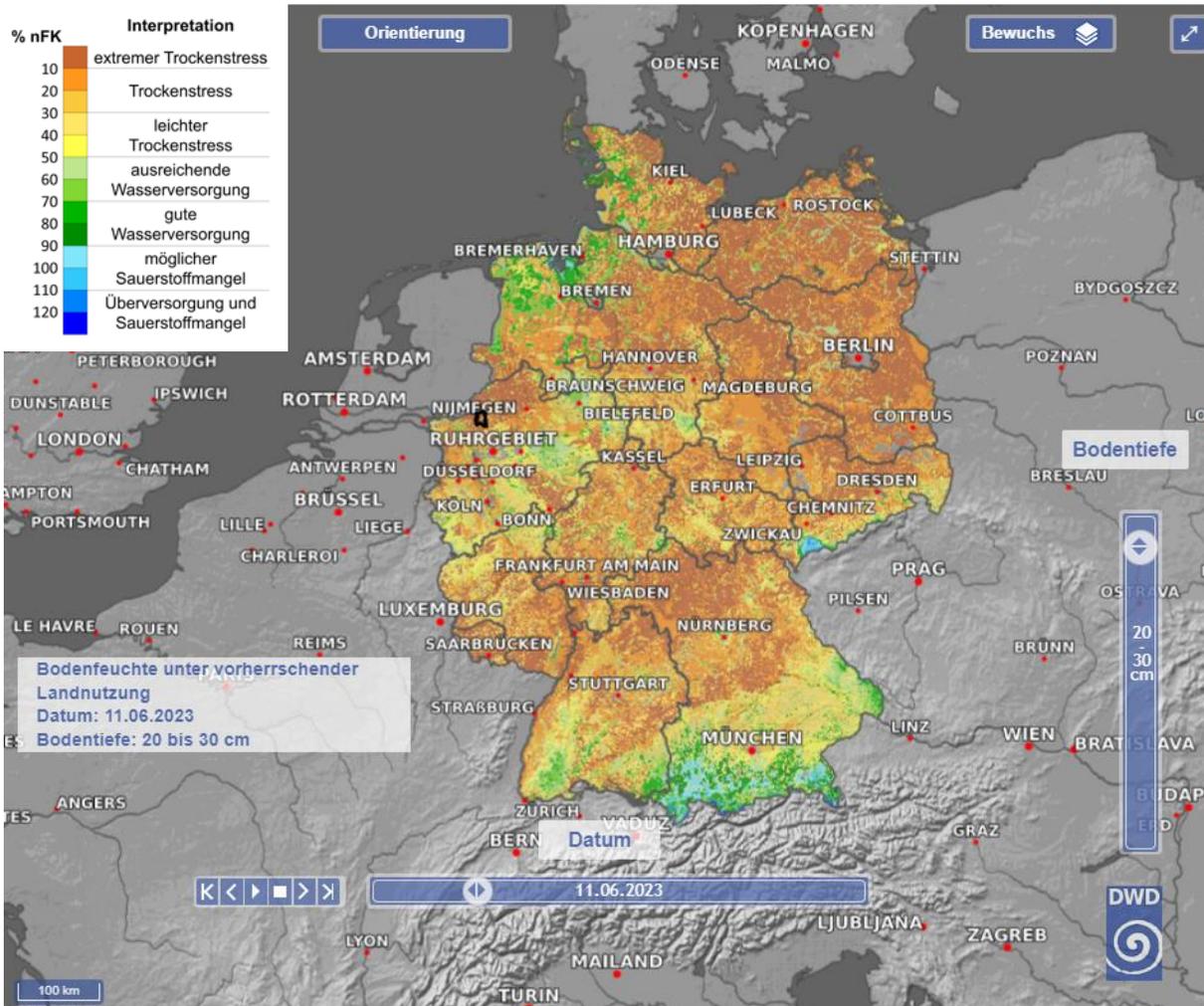


Google Earth Engine



DWD – Bodenfeuchteviewer

https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/app/bf_view/_node.html



Einsatz von IoT-Sensoren in der Wasserwirtschaft

- Neue drahtlose Datenübertragungstechnologien speziell für das IoT
- Datentransfer mit geringem Energiebedarf; batteriebetriebene Technologien einsetzbar
- Sensortechnologie: IoT-Sensoren
- Autarke Systeme, Keine Stromversorgung erf.
- Echtzeitanbindung / Systeminformation
- Wasserstandmessung mit Ultraschall, Mikrowellenradar und Drucksonden, Bodenfeuchte, Temperatur, Wasserqualität, (EC, DO, pH, ORP)
- Detektion trockenfallender Gewässer
- Neue Wege zur Datenerzeugung mit hoher räumlicher Auflösung

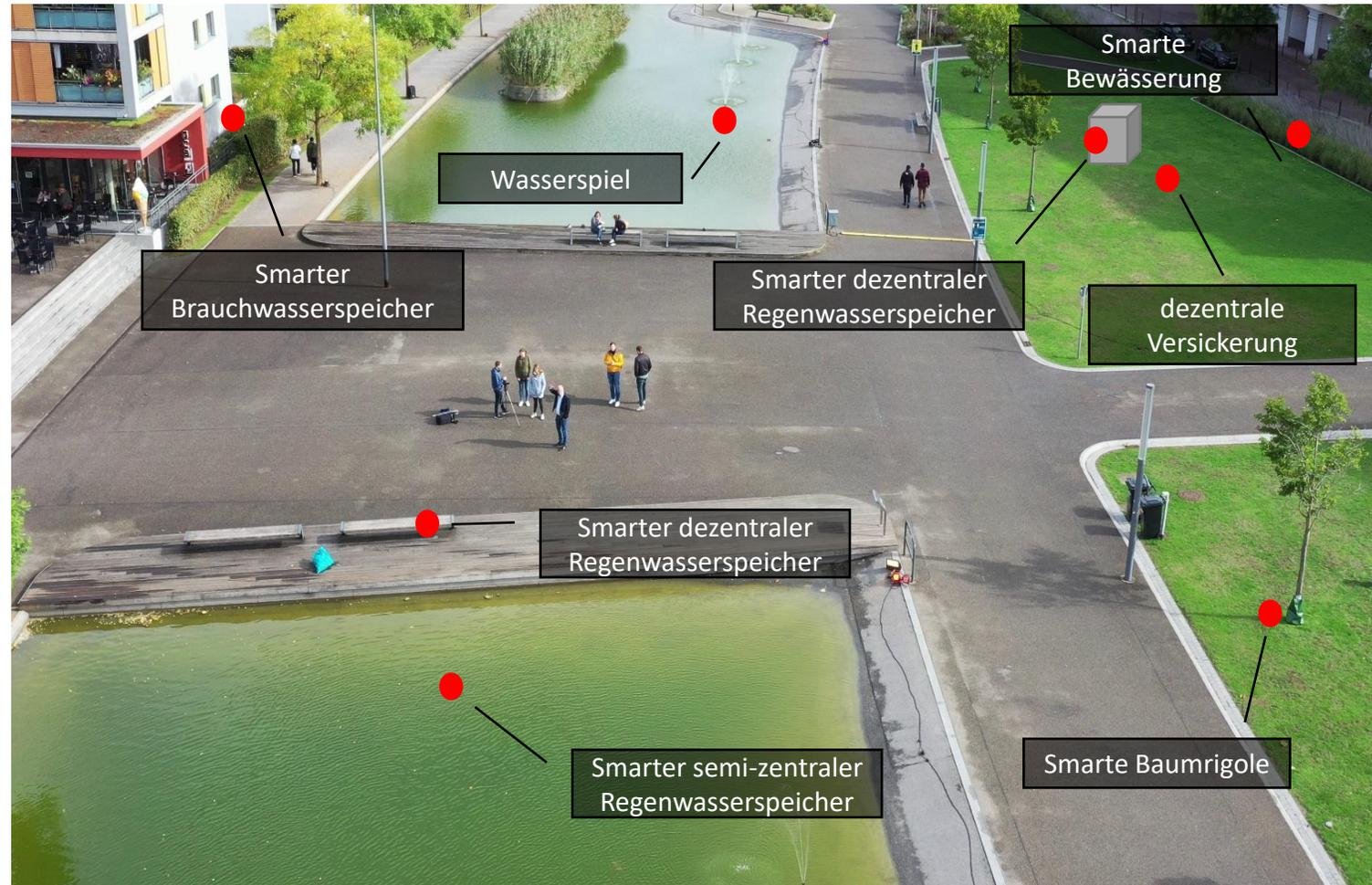
→ Schwarmsensorik



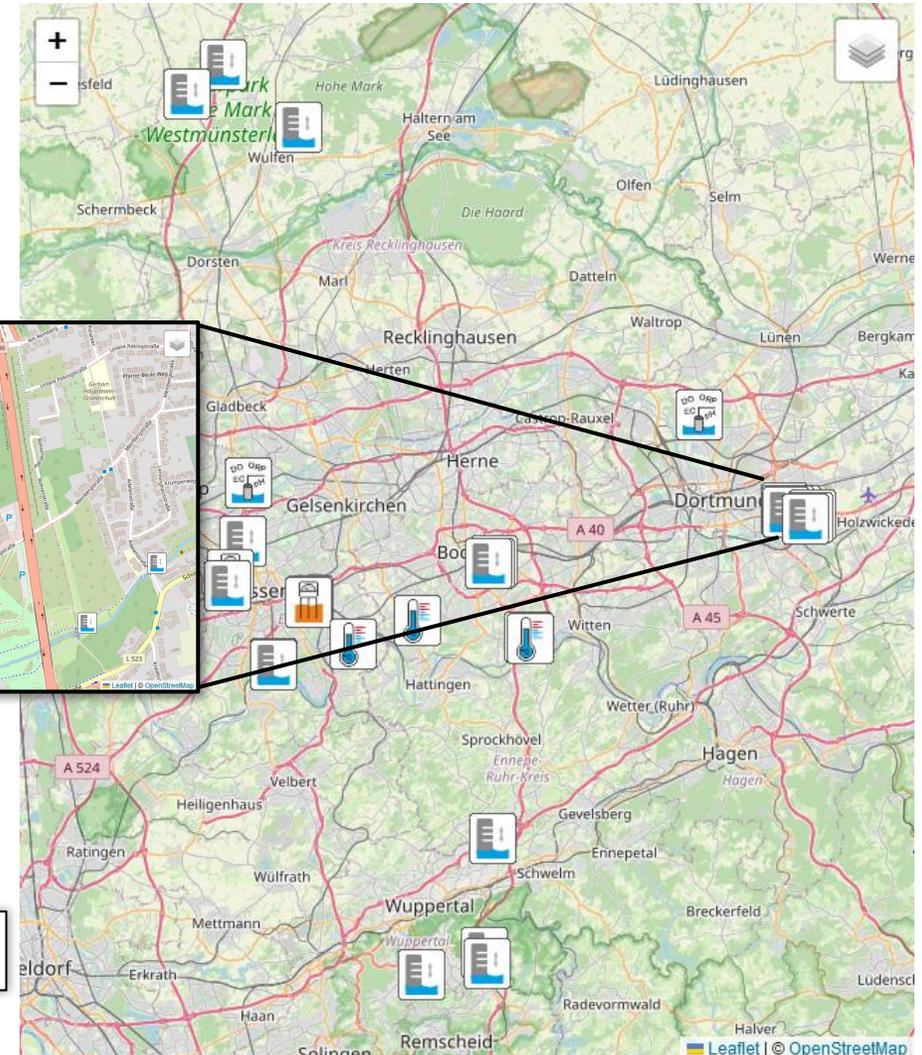
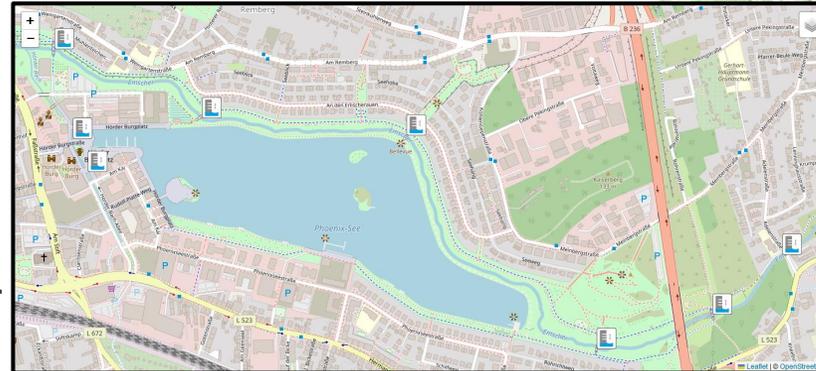
Konventionelle vs IoT - Sensoren

- Drahtlose Datenübertragungstechnologien speziell für das IoT
- Datentransfer mit geringer Energie; batteriebetriebene Technologie
- Sensortechnologie: IoT-Sensoren
- Autarke Systeme, Keine Stromanschluß
- Echtzeitanbindung / Systeminformation
- Wasserstandmessung mit Ultraschall, Mikrowellenradar und Drucksonden, Bodenfeuchte, Temperatur, Wasserqualität
Detektion trockenfallender Gewässer
- Neue Wege zur Datenerzeugung mit hoher räumlicher Auflösung im Smart City Kontext

→ Schwarmsensorik



- Aktuell am Institut mehr als 60 Sensoren zu unterschiedlichsten Test- und Demonstrationszwecken im Einsatz
- Wasserstandmessung mit Ultraschall, Mikrowellenradar und Drucksonden
- Bodenfeuchte
- Temperatur
- Wasserqualität (EC, DO, pH, ORP)
- Detektion trockenfallender Gewässer



Wasserstand



Temperatur



El.
Leitfähigkeit



gel. Sauerstoff



Leckage



Bodenfeuchte

Fotos: IoT-Sensoren (Maxbotix, Atlas Scientific, Dragino).
Abbildung: Kartendarstellung aller Sensorstandorte der Institute (UDE).

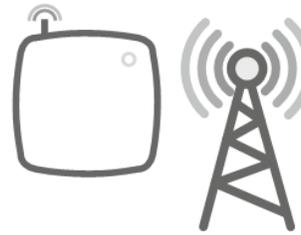


Sensoren



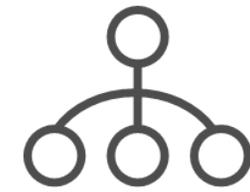
div. Sensoren z.B. für
Wasserstände, -Temperatur,
Sauerstoff

Empfänger



LoRa: z. B. TTN
NB-IoT: z. B. Vodafone

Broker



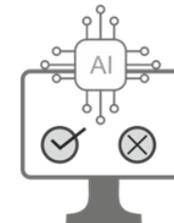
z.B. Telegraf

Visualisierung



Grafana
CSV-Export

Prüfung



Toolbox für Plausibilitäts-
Kontrolle und Korrektur

Datenbank



Zeitreihenbasiert:
z.B. InfluxDB



Abbildung: Der Weg von der Sensorinformation zum Endnutzer.

- Praxis: Reichweiten von LoRa eher theoretisch und unter guten Bedingungen erreicht
→ insbesondere in urbanen Räumen reduzierte Reichweite
 - In Ballungsräumen eigene Gateways im Abstand weniger Kilometer nötig
- NB-IoT als gute Alternative: LTE-Inhärent, kann auf bestehende Infrastruktur zugreifen
- LoRa = lizenzfrei, Kosten skalieren mit Anzahl Gateways ca. 400 bis 1.000 €/Gerät + ggf. If. Kosten für IP-Schnittstelle (Internet)
- NB-IoT = zellular, Kosten skalieren mit Anzahl Endknoten
- Grundsätzlich sind beide Verfahren für IoT-Anwendungen geeignet

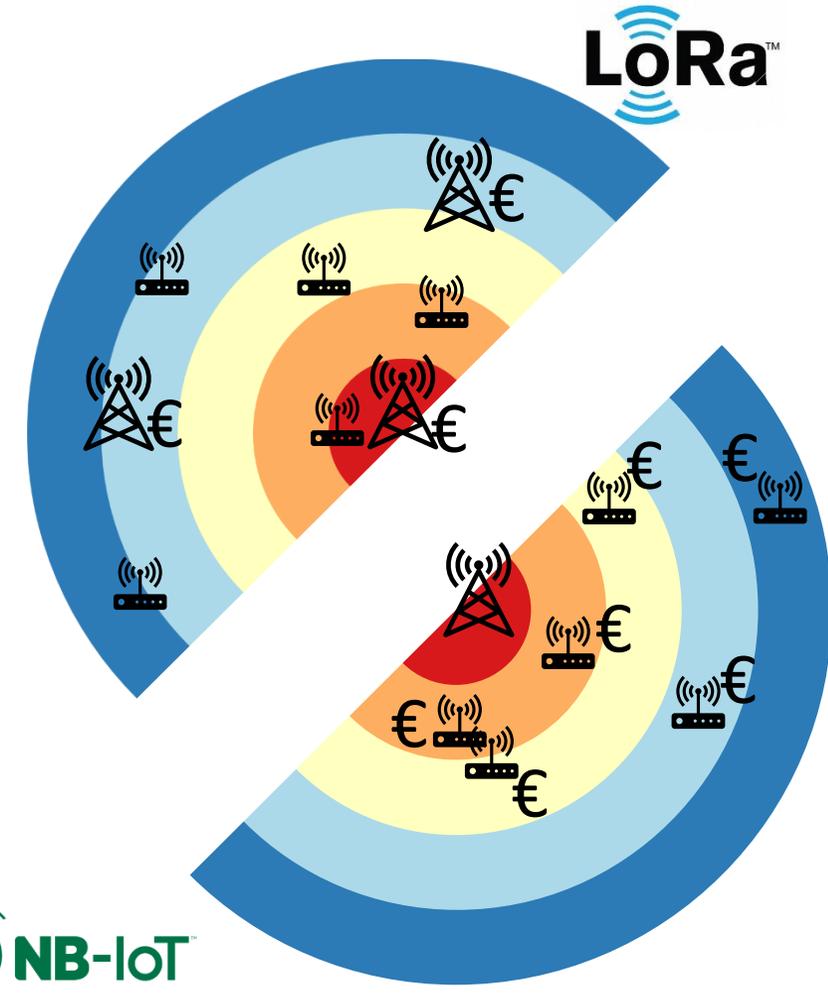
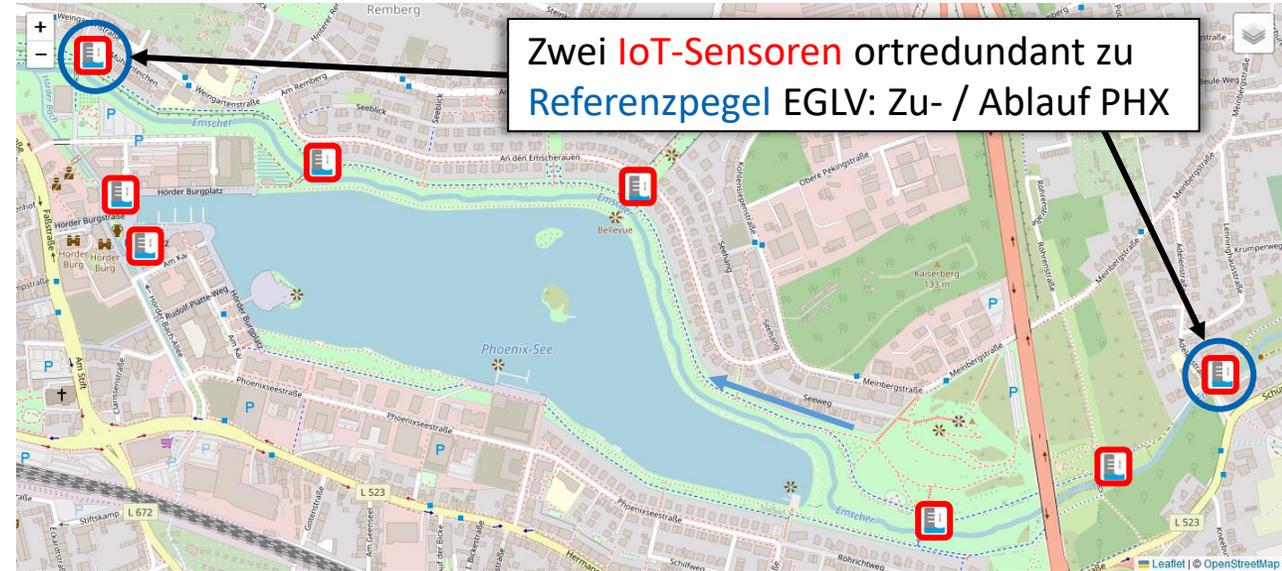


Abbildung: Kostenverursacher in LoRa und NB-IoT.

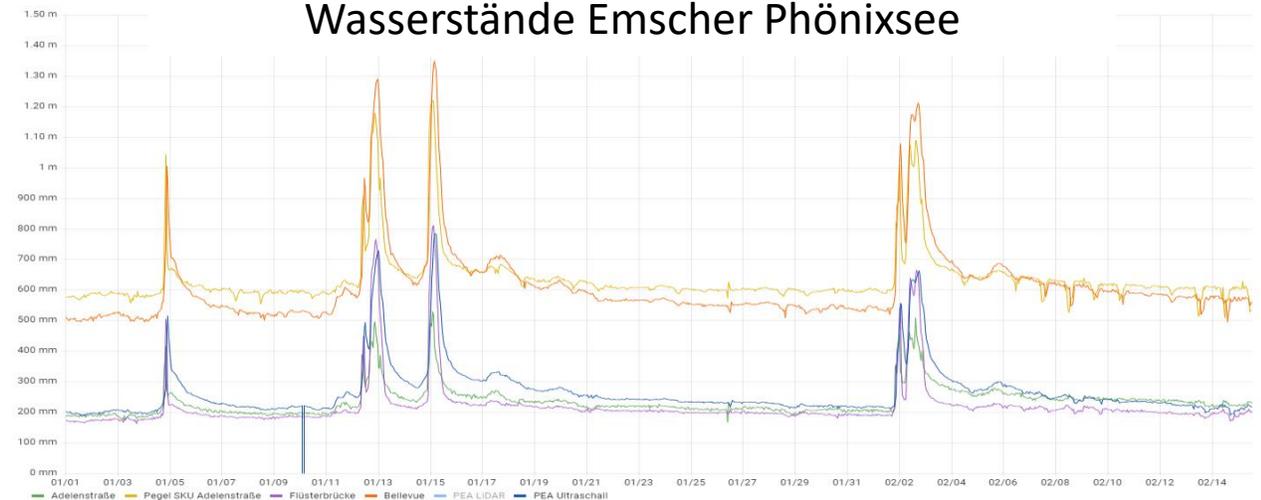
IoT-Sensorik in der Wassermengenwirtschaft

- Beispiel Dortmund-Phönixsee
- Insgesamt acht IoT-Sensoren
sechs an Emscher,
zwei im Mündungsbereich Hörder Bach
- Abstände zwischen Sensoren < 700 m
→ Datentechnische Verdichtung
eines bestehenden Messnetzes

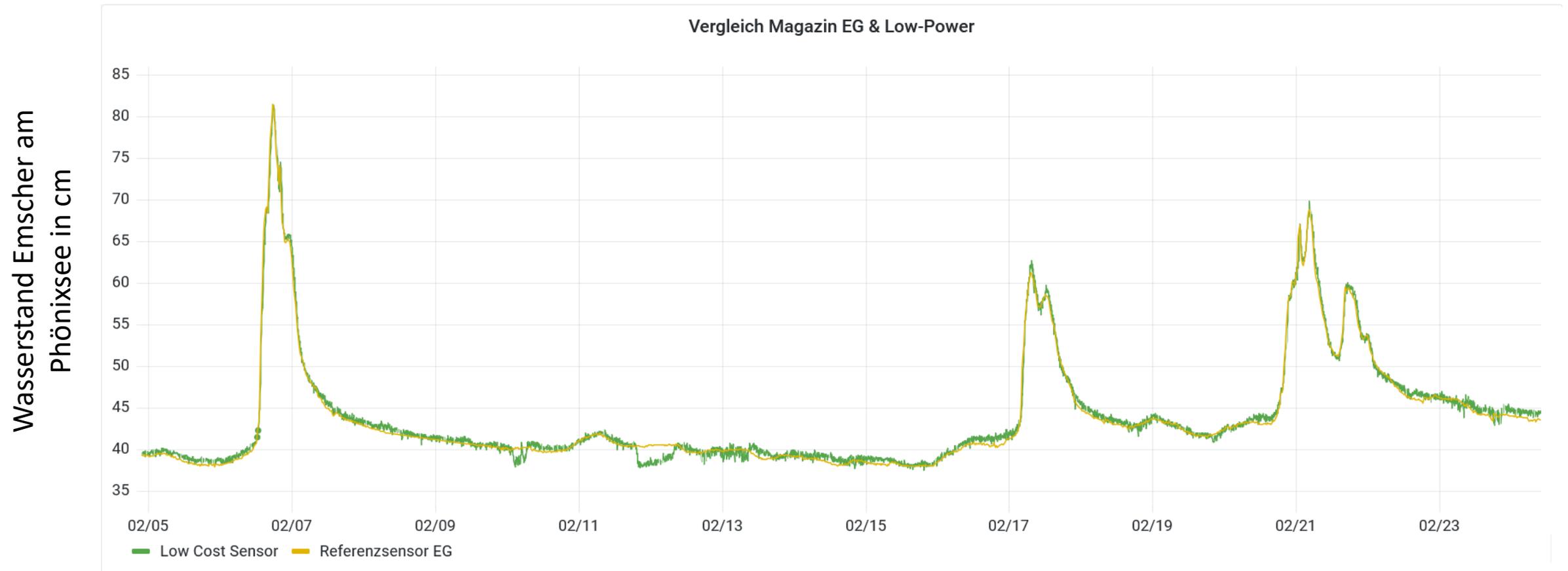
Fotos: Klemmvorrichtungen für Dragino LDD575 IoT-Ultraschallsensor am Phönix-See



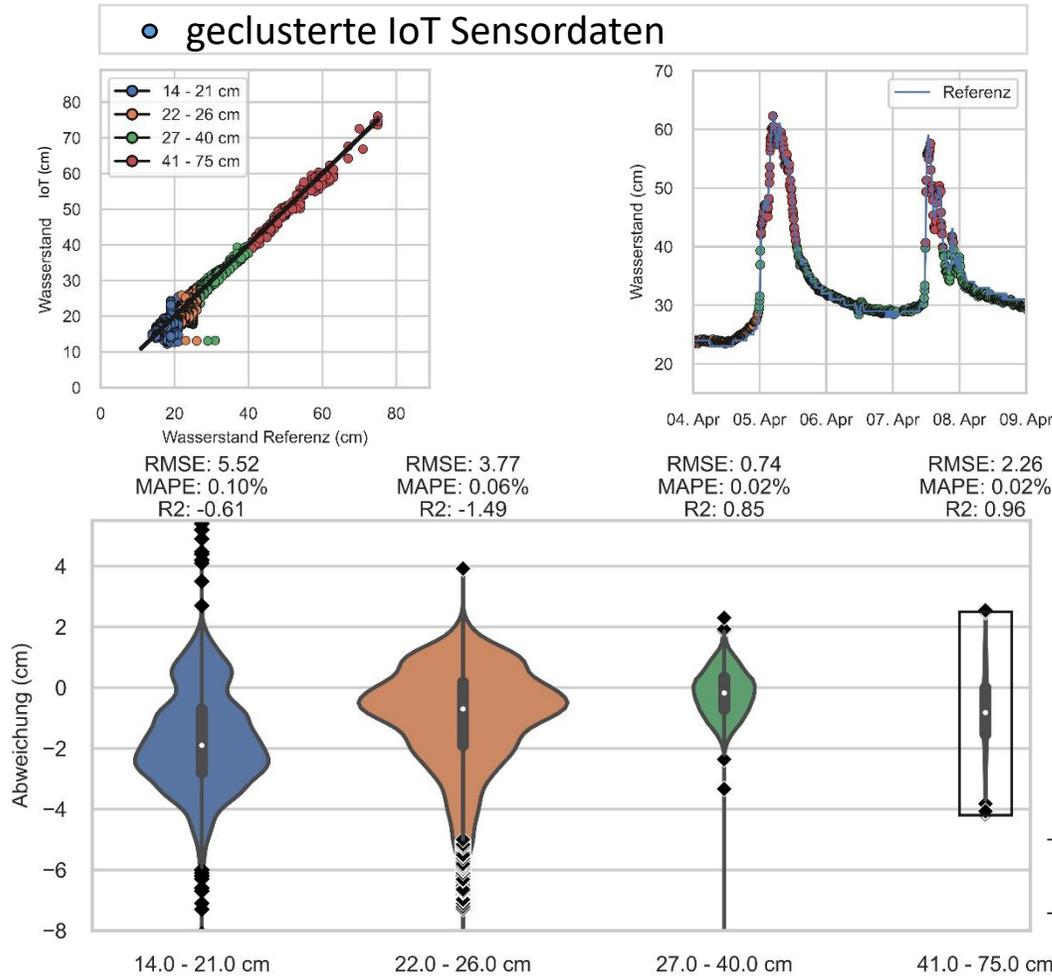
Wasserstände Emscher Phönixsee



Vergleich der Wasserstände IoT-Sensor und Referenzpegelmessung



Analyse der Messsignalgüte im Untersuchungsraum Phönixsee



Dragino
NDDS75

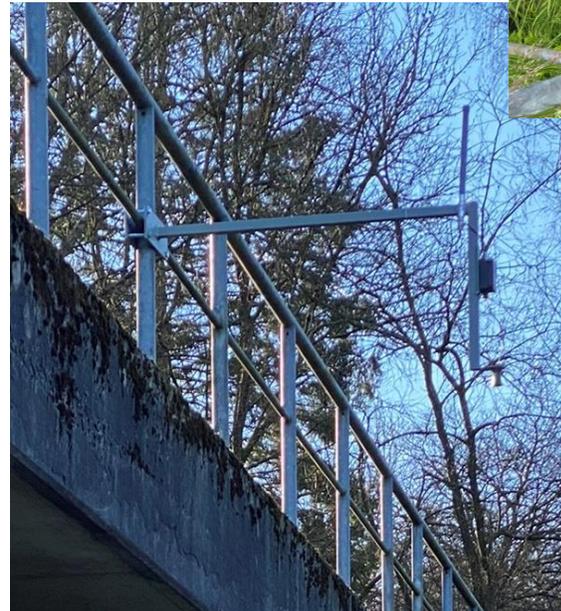
Vergleich mit EG
Referenz-
Radarsonde
VEGAPULS

Foto:
Ultraschallsensor
an der Emscher,
Standort
Adelenstraße
(km 74,77).

HRB Grennebreckerstr.



Ultraschall

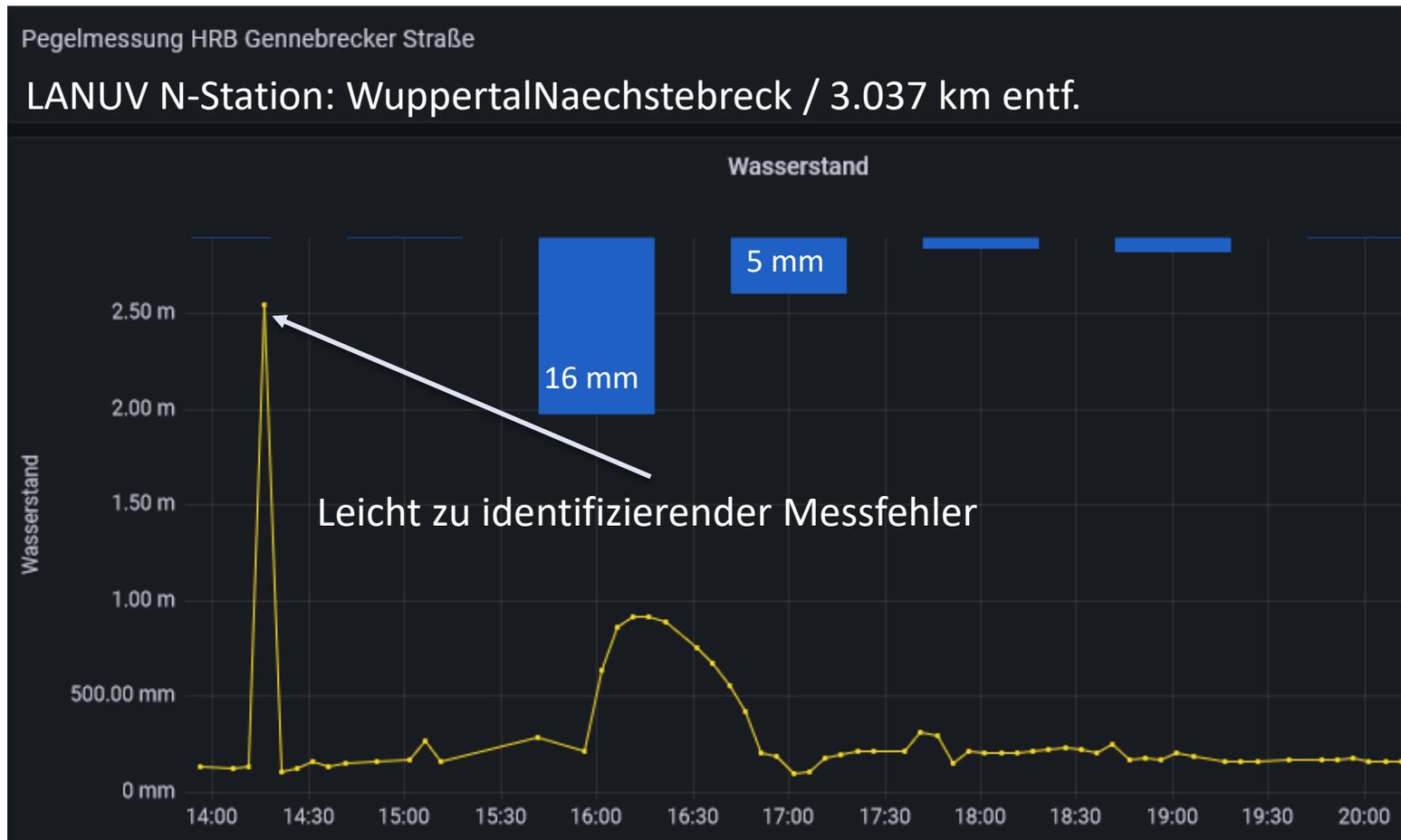


Microwellenradar

Druck



Niederschlagsereignis 20. Mai 2022

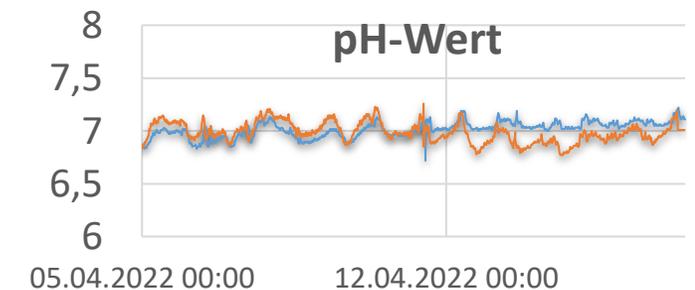
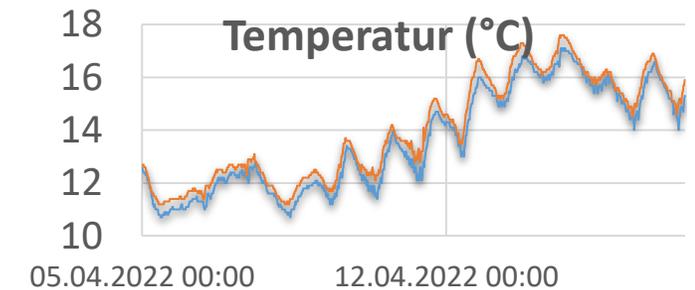
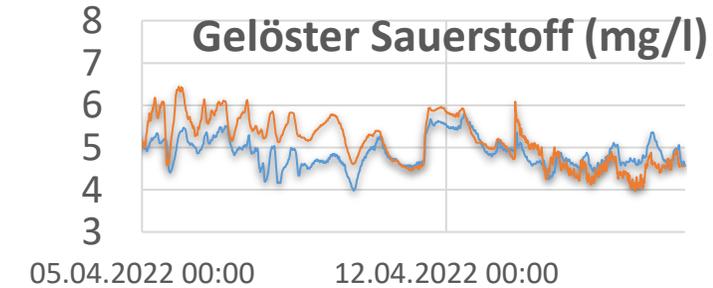
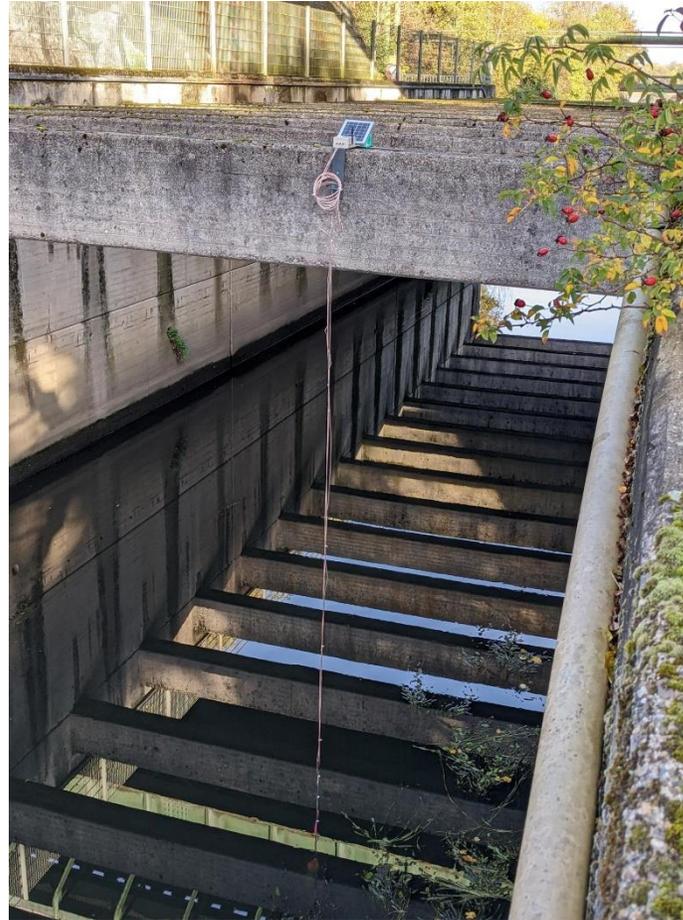


IoT-Sensorik zur Messung von Wasserqualitätsparametern



↑ Abbildung: Temperatur Sensor Dragino LSN50

→ Abbildungen: UV-powered Atlas Scientific Sensoren für gelösten Sauerstoff, elektrische Leitfähigkeit und Temperatur im ABS Gehäuse



— IoT - Sensor
— High precision sensor

IoT-Sensoren zur Detektion trockenfallender Gewässerstrecken

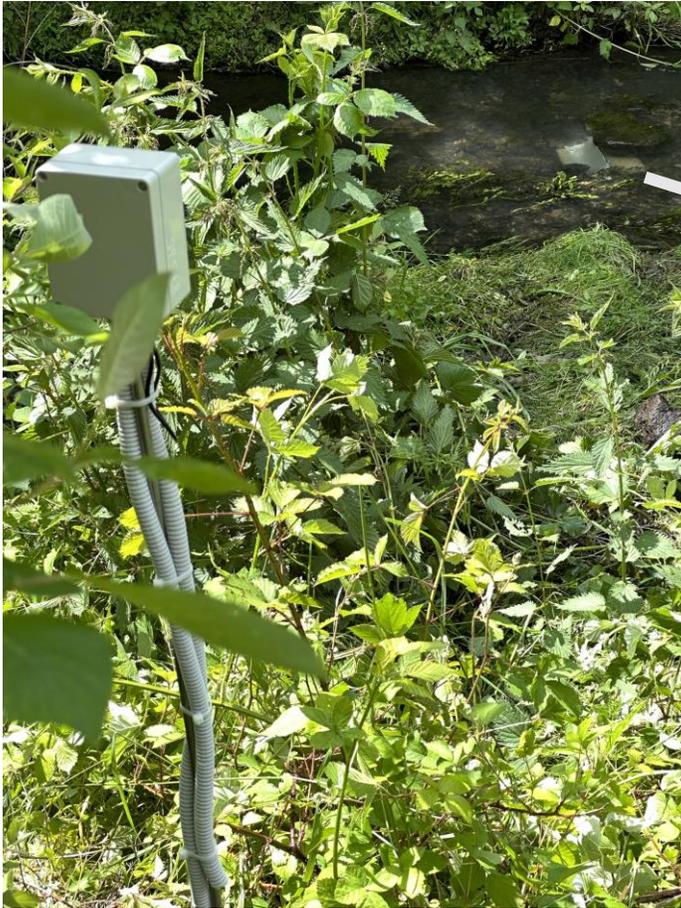
- Monitoring des Eintritts des vollständigen Versiegens eines Baches/Dauer seiner Trockenheit
- Einfache Beschreibung über den Zustand der Trockenheit mit 0 (nass) und 1 (trocken)
- Vorteile: einfacher Einbau vor Ort, robuste Technik, wartungsarm, geringer Aufwand



Fotos: (links) Kontaktsensor (Leak sensor) am Borbecker Mühlenbach (km 5,7). Zu Testzwecken wurde der Sensor oberhalb des tiefsten Sohlpunktes angebracht. Die Ergebnisse werden mit Ultraschall verifiziert (rechts).



Messung von Leitfähigkeit und Temperatur im Gewässer



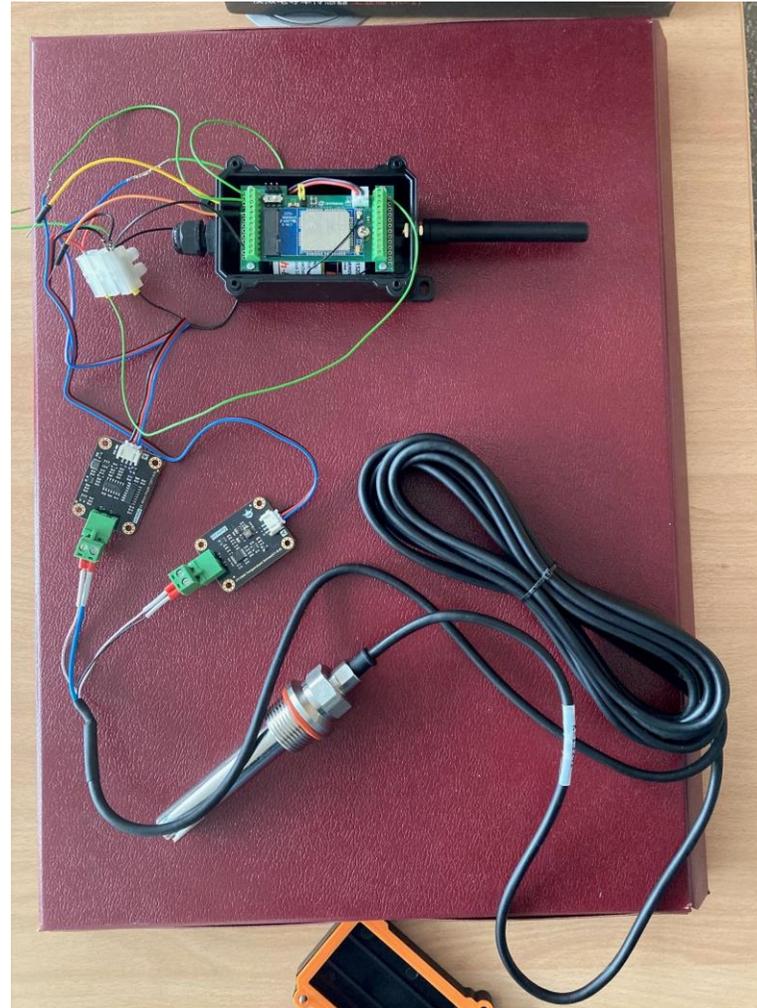
- Montage beider Sensoren auf einer Betonplatte mit Gewindestangen als Bodenankern
- Leitblech zum Schutz der Sensoren
- Batteriebetrieben
- NB-IoT als Funkstandard und Messdatenerfassung in Echtzeit
- Messintervall 15 Minuten
- Installationsaufwand vor Ort: gering

Überwachung des Trockenfallens von Gewässern mit IoT-Sensorik

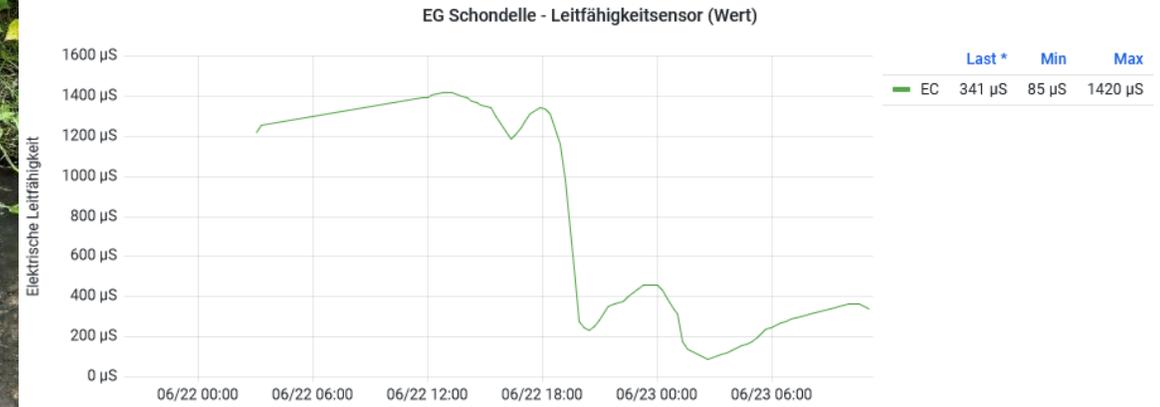
- Überwachung des Trockenfallens mit Hilfe einer Leitfähigkeitsmessung
- Ableitung eines digitalen Wertes: Trocken oder Gewässer fließt
- Gleichzeitige Messung der Temperatur
- Übertragung der Daten in einstellbaren Intervallen via NB-IoT



Details zu den Trockenfallsensoren

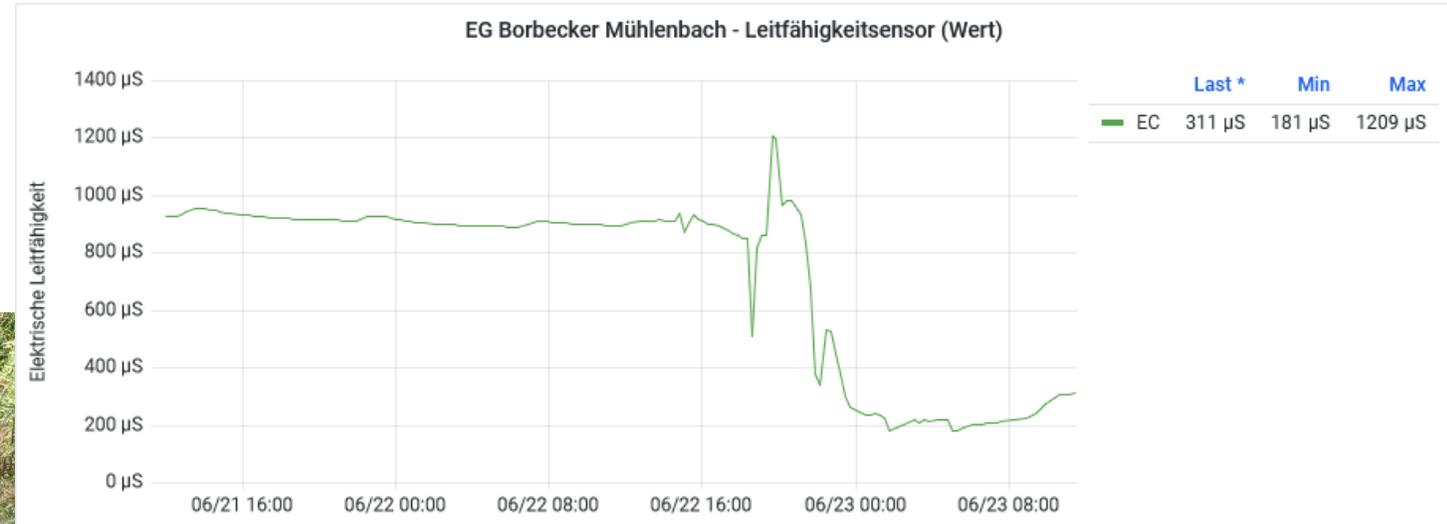


Gewässerüberwachung durch Leitfähigkeitsmessungen - Messstation an der Schondelle



Regenereignis vom 22.06.2023

Gewässerüberwachung durch Leitfähigkeitsmessungen - Messstation am Borbecker Mühlenbach



Regenereignis vom 22.06.2023
Entlastung und dann Verdünnung

Beispiel Anwendungen Dritter: Die Google Flood Forecasting Initiative

Ziel: Präzise und umsetzbare Hochwasserwarnungen für Regionen, die von Überschwemmungen betroffen ist (115 Millionen Hochwasserwarnungen für 23 Millionen Menschen in 2021)

Eingangsdaten: Abflussmessungen, Niederschlagsmessungen, Niederschlagsvorhersage (auch in unbeobachteten Einzugsgebieten)

Daten-
management



Hydrologische
Modellierung

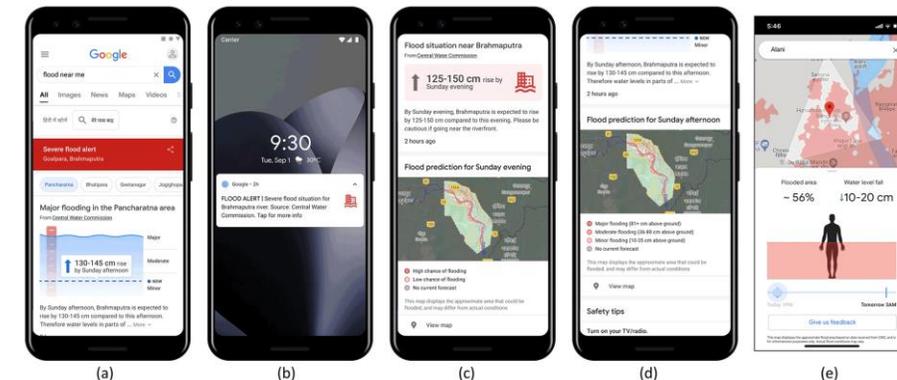
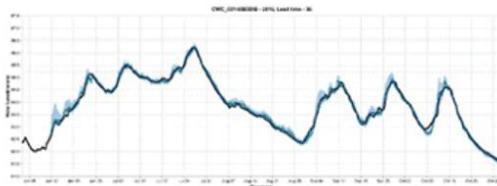


Ausweisung von
Überflutungs-
gebieten



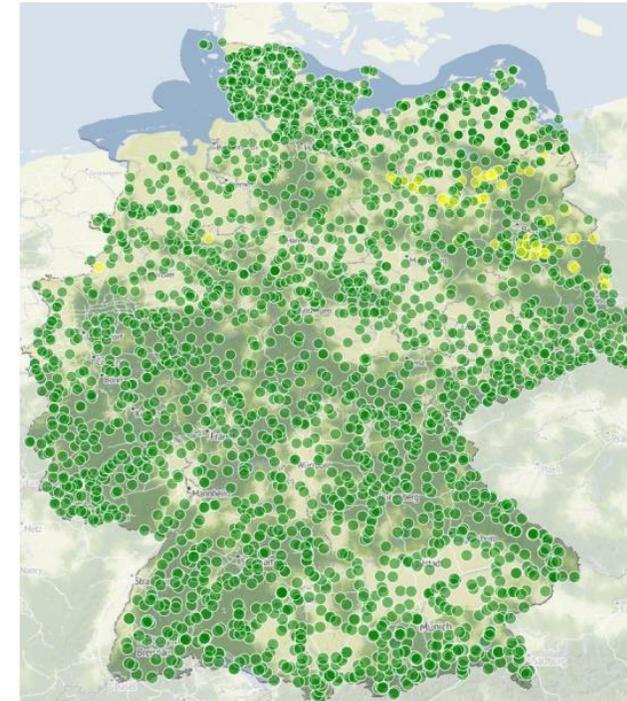
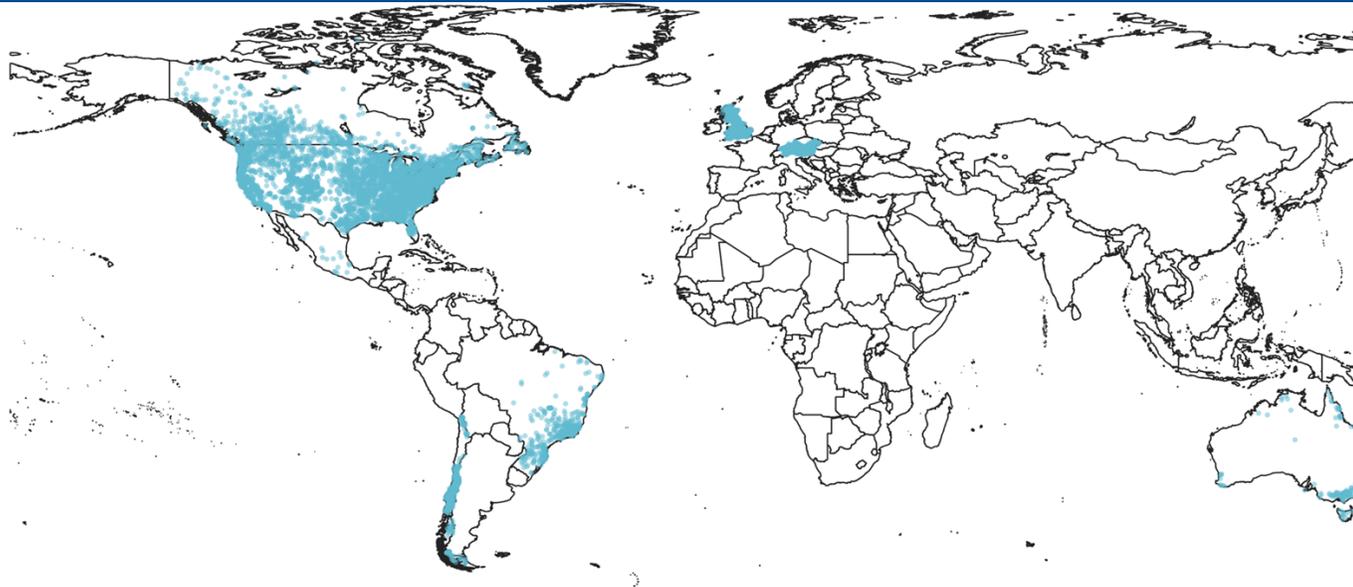
Frühwarnung

Daten:
Eingabe,
Qualitätskontrolle,
Korrektur



Quelle: Nevo et al. 2022

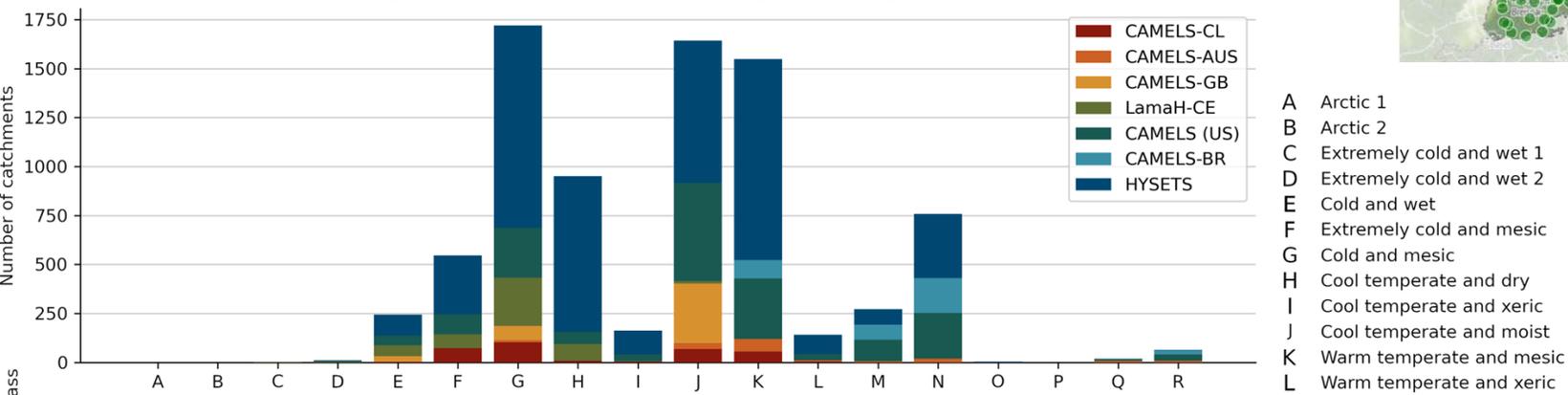
CAMELS-DE: Benchmark-Datensatz für Hydrologie – Bedeutung, aktueller Stand und Ausblick



Catchment
Atttributes and
Meteorology for
Large-sample
Studies

-
D
E

Distributions of catchments over GEnS climate zones



Quelle: Kratzert et al. 2023

Bedeutung der CAMELS-Datensätze:

- CAMELS steht für "Catchment Attributes and MEteorology for Large-sample Studies,,
- Diese Datensätze sind in der hydrologischen Gemeinschaft als konsistente und umfassende Benchmark-Datensätze anerkannt
- Sie verknüpfen Landschafts- und Einzugsgebietsattribute mit hydrologischen und meteorologischen Zeitreihen

CAMELS-DE: Initiative für einen konsistenten, frei verfügbaren Datensatz für hydro-meteorologische Analysen in Einzugsgebieten in Deutschland

Loritz, Ralf¹; Stölzle, Michael²; Guse, Björn³; Kiesel, Jens⁴; Haßler, Sibylle¹; Mälicke, Mirko¹; Tarasova, Larisa⁵; Heidbüchel, Ingo⁶; Ebeling, Pia⁵; Hauffe, Corina⁷; Müller-Thomy, Hannes⁸; Jehn, Florian Ulrich⁹; Brunner, Manuela²; Götte, Jonas²; Rohini, Kumar⁵

Show affiliations

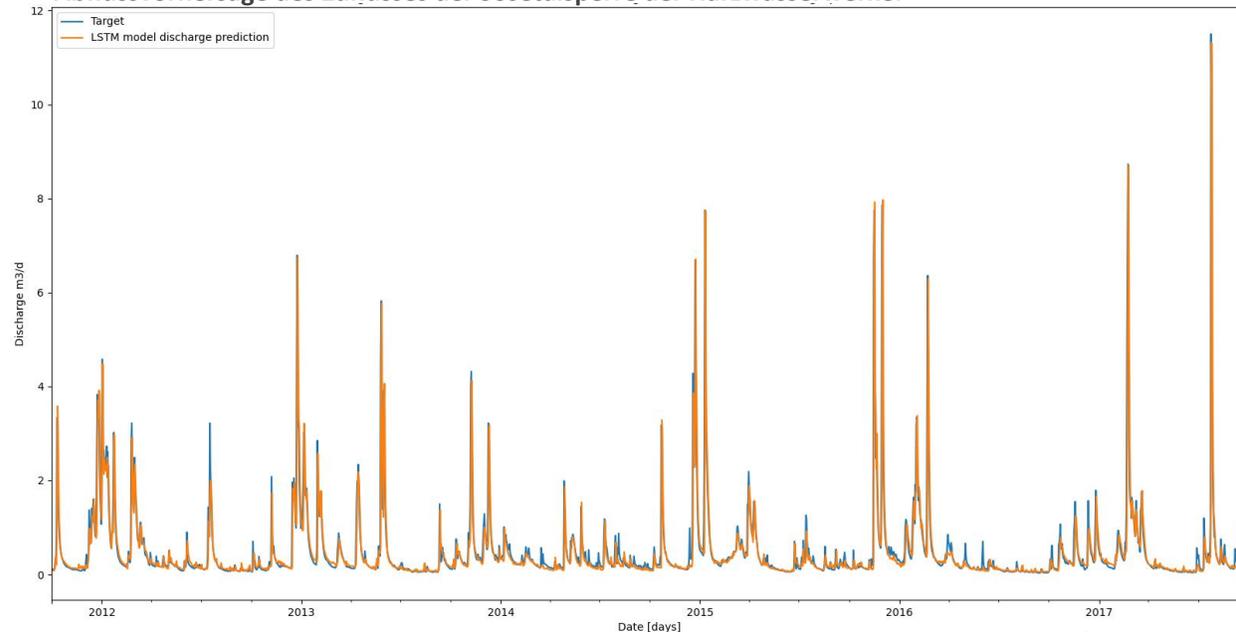
Zukunft und Ambitionen:

- Der Schwerpunkt liegt auf der einfachen Verfügbarkeit und der leichten Integration der Daten in Programmierumgebungen
- Benchmark-Datensätze sind entscheidend für die Reproduzierbarkeit von Forschungsergebnissen und die Effizienz der Nutzung von Umweltdaten
- In Zeiten des maschinellen Lernens bilden sie die Grundlage für moderne, datengetriebene Hydrologie und Umweltüberwachung

- **LSTMs** erzielen sehr gute Ergebnisse bei der hydrologischen Modellierung und übertreffen mitunter klassische Modellierungsansätze:

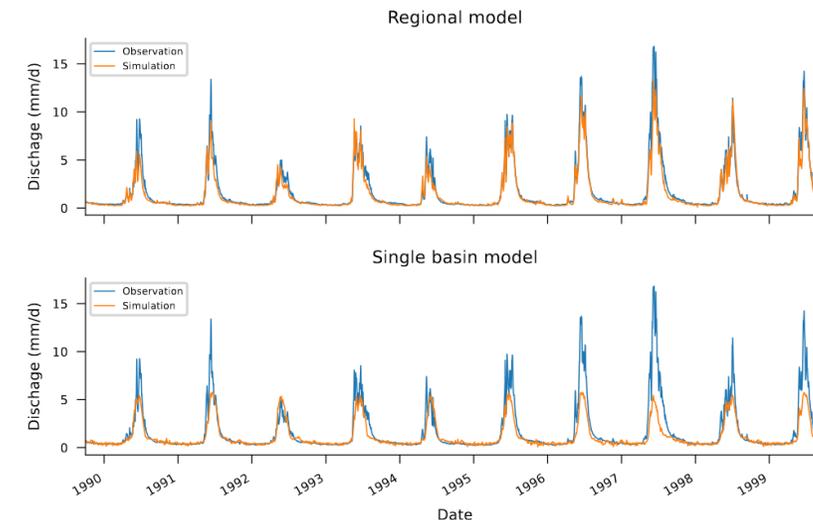
- **Aber:** Ist ein Ereignis nicht in den Trainingsdaten abgebildet, wird das Modell dieses auch niemals vorhersagen (mangelnde Extrapolationsfähigkeit)
- **Daher:** Nutzen der CAMELS-Datensätze für einen diverseren Trainingsdatensatz (Regionale Modellierung) für ein Grobmodell mit anschließendem Finetuning

Abflussvorhersage des Zuflusses der Sösetalsperre der Harzwasserwerke:



Quelle: (Johnen 2024)

Vergleich eines regionalen Modells mit dem Modell eines EZGs:



Quelle: (Kratzert et al. 2023)



PROWAVE

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

PROWAVE - PROaktive Steuerung von WasserVerteilungssystemen

DBU-Förderthema 10:

„Integrierte Konzepte und Maßnahmen zu Schutz und Bewirtschaftung von Grundwasser und Oberflächengewässern“

Zielsetzung:

Entwicklung einer **Pilotsteuerung** im niedersächsischen Teil des Harzes (Westharz) zur dynamischen Steuerung vor und während Extremereignissen

1. Erstellung eines **digitalen Zwillings** für Talsperren und Teilen der Wasserverteilungssysteme
2. Einsatz von **ML-Modellen** zur kurzfristigen und mittelfristigen **Prognose** von **Talsperrenzufluss** und **Wasserbedarf**
3. Entwicklung eines **hydrodynamischen Optimierungsmodells** zur vorhersagebasierten Mehrfachzieloptimierung als Klimaanpassungsmaßnahme



PROWAVE



Titel des geplanten Vorhabens	PROWAVE – Proaktive Steuerung von Wasserverteilungssystemen
Projektgesamtkosten	348.934 €
Beantragter Fördermittelanteil	256.525 €
Projektlaufzeit	04.2024–04.2027 (36 Monate)



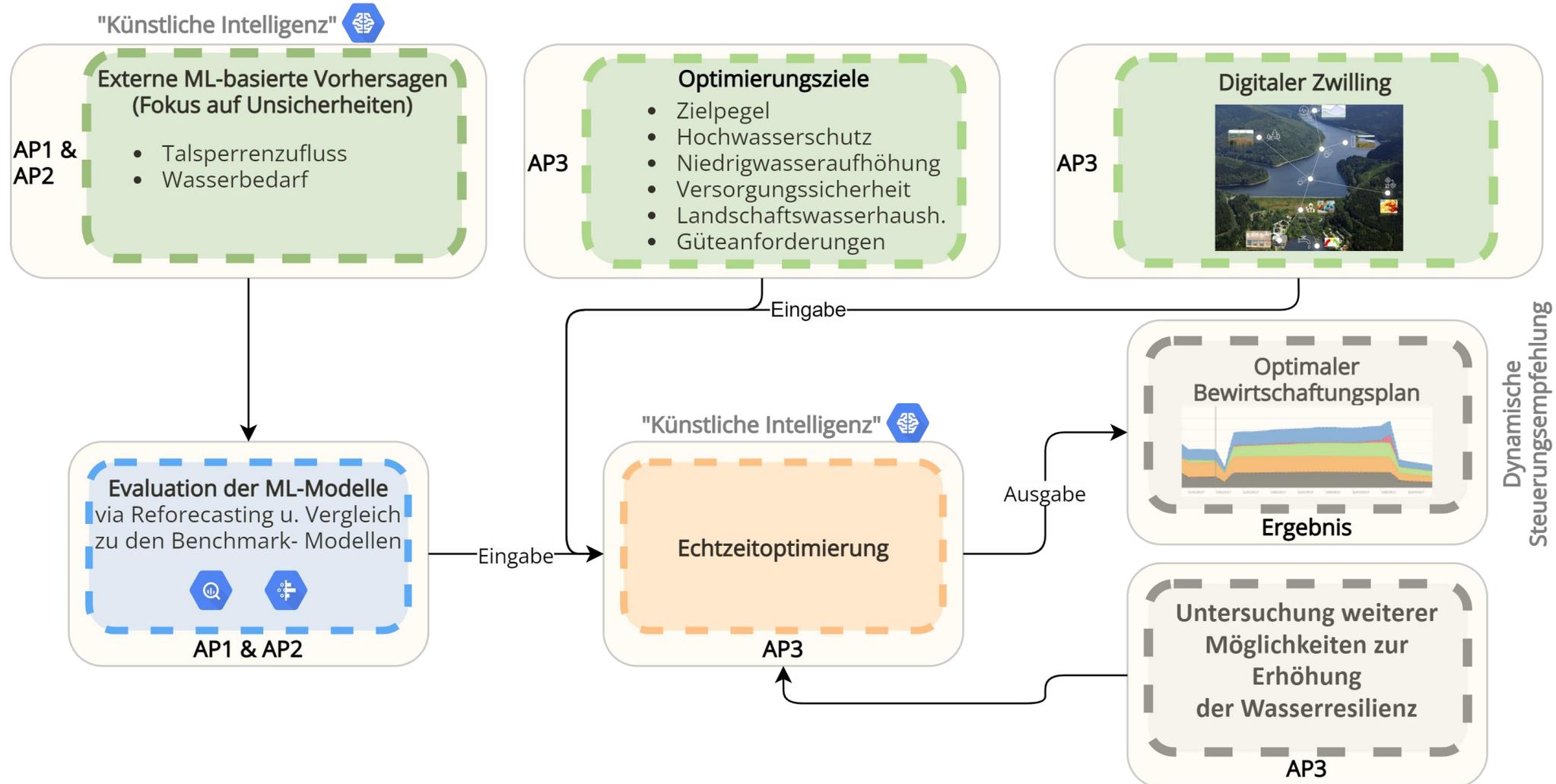
gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

PROWAVE - PROaktive Steuerung von WasserVERteilungssystemen



Das Projekt HüProS

Wege zur Überflutungsvorsorge und – prognose

Projektpartner



Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen



KI-basierte Hochwasser- und Überflutungsprognose für Inde & Vicht

Hochwasserprognose: Wasserstände an ausgesuchten

Gewässerstellen (z.B. Pegel) → punktuell

Überflutungsprognose bedeutet: Wasserstände in betroffenen
Siedlungsgebieten → flächenhaft

Nutzung vorhandener Daten und Schaffung zusätzlicher Daten

Niederschlagsmessungen an Bodenstationen (WVER, LANUV, DWD)

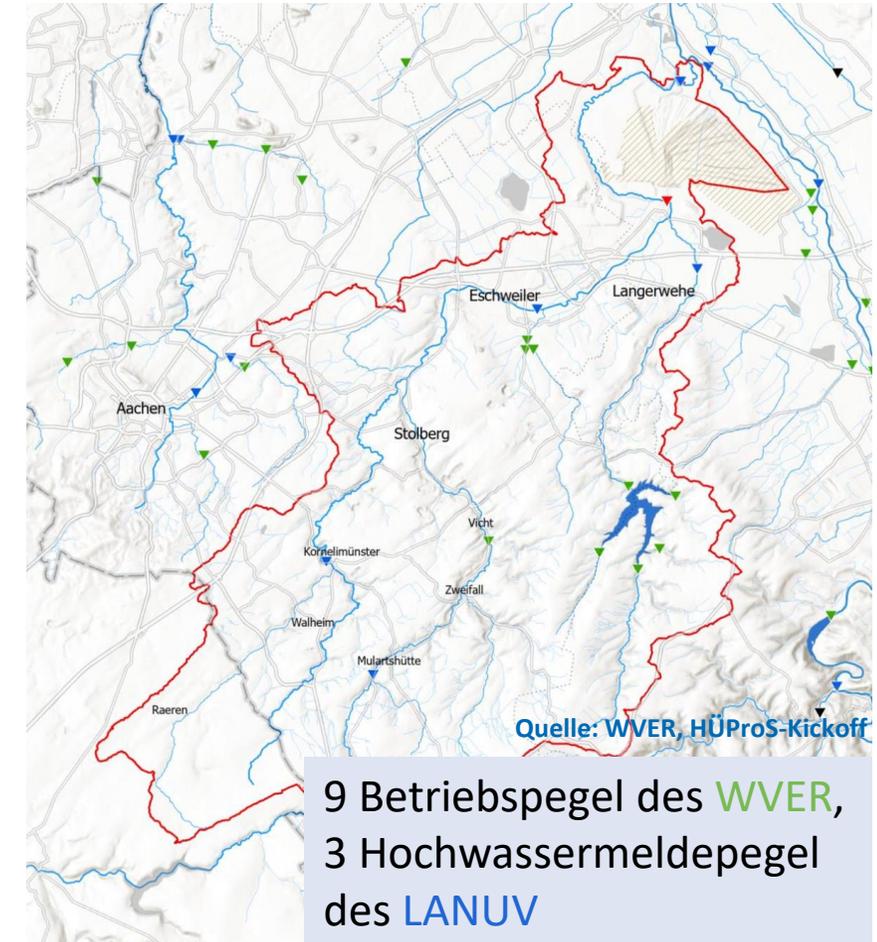
Radarniederschlagsmessungen und -prognosen des DWD

Modellierte Bodenfeuchteverteilung im Einzugsgebiet des FZJ

Wasserstands- und ggf. Abflussmessdaten an Gewässerpegeln
von LANUV, WVER und WAG

Flächendeckendes Wasserstandsmonitoring durch Installation von
Wasserstandsensoren im gesamten EZG ggf. weitere

Niederschlagsbodenstationen und Bodenfeuchtesensoren



9 Betriebspegel des WVER,
3 Hochwassermeldepegel
des LANUV

Laufzeit: November 2023 - Dezember 2026

Das Projekt HüProS

Wege zur Überflutungsvorsorge und – prognose

Installation von aktuell 12 Ultraschall-IoT-Sensoren an Brücken



Das Projekt HüProS

Wege zur Überflutungsvorsorge und – prognose

Hochwasserprognosemodell auf Basis der Bestandsdaten

(„Bestands-“ oder „Grob-KI“)

liefert Wasserstandsprognosen an vorhandenen Gewässerpegeln
Übertragung der HW-Information in die Fläche anhand von
Überflutungskarten erforderlich

Überflutungsprognosemodell auf Basis der Bestands- und Neudaten („Erweiterte-“ oder „Fein-KI“)

liefert Überflutungsprognosen direkt für betroffenen Siedlungen
Nowcasting ist durch Berücksichtigung des flächendeckenden
Wasserstandsmonitorings genauer als „Grob-KI“

Hochwasserdashboard zur Darstellung aller Messdaten und Prognoseprodukte zur Unterstützung der hydrologischen Lagebeurteilung

Digitale Zwillinge für Hydrologie und Hydraulik

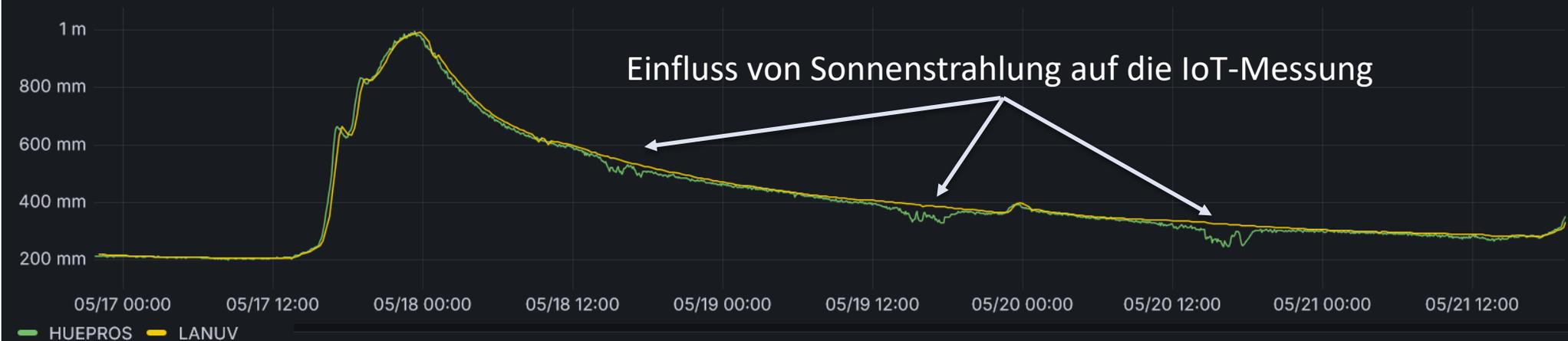
dienen u.a. als Trainingsdatensätze für die KI bei künftigen Veränderungen
im EZG (z.B. Veränderte Landnutzung/Neubau von HRB, u.a.)

Quelle: <https://www.siwawi-uni-due.de/huep/>



Visueller Vergleich IoT-Sensorik / LANUV-Sensorik (Wasserstandsmessung, Ereignisse vom 11.3.24 & 17.5.24)

Vergleich HUEPROS-Sensor / LANUV-Sensor



Vergleich HUEPROS-Sensor / LANUV-Sensor



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Zentrum für Umwelt- und Wasserforschung
Universität Duisburg-Essen

Prof. Dr.-Ing. André Niemann
Dr.-Ing. Thorsten Mietzel
Gregor Johnen M.Sc.
Universitätsstr. 15
45141 Essen
andre.niemann@uni-due.de
+49(0)201-183-2225

20.06.2024

Prof. Dr.-Ing. A. Niemann | IOT-Infrastrukturen für bessere Gewässerbewirtschaftung und effizienteres Monitoren von Extremereignissen

