

# ZwilleE - Digitaler Zwilling zum KI-unterstützten Management von Wasser-Extremereignissen im urbanen Raum

## 1 Veranlassung

Das Klima in Deutschland und der ganzen Welt verändert sich. Die Häufigkeit von Wetterextremereignissen hat in einem Maße zugenommen, dass ihre Auswirkungen für jeden sichtbar werden.

Die Sommer 2018 – 2020 waren extrem heiß und trocken. Laut Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) hat sich seit Mitte des 18. Jahrhunderts also seit 250 Jahren keine Dürre so großflächig und langanhaltend von April 2018 bis Dezember 2020 über Europa ausgebreitet. 36 % Europas waren 33 Monate lang davon betroffen [1] [2].

In Deutschland hatte die Dürre ein drastisches Wasserdefizit im Gesamtboden zur Folge, welches bis heute im Jahr 2023 nach Jahren deutlich größerer Niederschlagsmengen nicht vollständig ausgeglichen werden konnte. Es kam zu Ertragsausfällen in weiten Teilen Deutschlands. Selbst die Trinkwasserversorgung konnte vereinzelt nicht mehr gewährleistet werden. Auch der Grundwasserspiegel und die Wasserstände der Flüsse sanken ab, Binnenschiffe konnten ihre Beladungskapazität nicht ausschöpfen und Industriestandorte mussten aufgrund von Lieferengpässen die Produktion drosseln. [3]

Sturmtief „Bernd“ brachte im Juli 2021 in Westdeutschland sowie in Teilen Belgiens und den Niederlanden Starkniederschlagsmengen von teilweise bis zu 200 l/m<sup>2</sup> mit sich. Es kam zu Sturzfluten und zum Übertreten kleinerer, mittlerer und größerer Flüsse wie der Ahr, der Emser und der Erft. Neben den Regenmengen führten die dichte Bebauung, die Orographie und die gesättigten Böden zu einer Potenzierung der Schadenswirkung. 189 Menschen in Deutschland verloren ihr Leben. Gebäude und Grundinfrastrukturen, wurden beschädigt [4]. Der Gesamtschaden wird von der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft auf 54 Mrd. US\$ beziffert und ist damit die teuerste Naturkatastrophe in Europa seit Jahrzehnten. Weltweit wurden von 2018 bis 2022 durch Hochwasser Schäden in einer Höhe von 299 Mrd. US\$ verursacht. Davon waren nur 15 % versichert [5].

Laut einer Datenanalyse der Europäischen Umweltagentur EUA von 1980 – 2020 zählt Deutschland neben Frankreich und Italien zu den am stärksten von wetter- und klimabezogenen Extremereignissen betroffenen Ländern in der Europäischen Union [6]. Zukünftig muss in vielen Regionen Deutschlands mit einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Wetterextremen wie Starkregen, Hochwasser und Dürreperioden gerechnet werden.

Wie können sich Städte und Gemeinden zukünftig besser auf Wetterextremereignisse einstellen?

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat deshalb die Fördermaßnahme „Wasser-Extremereignisse (WaX)“ [1] mit dem Ziel ins Leben gerufen, die nachteiligen Folgen durch verbesserte Managementstrategien und Anpassungsmaßnahmen abzuwenden, indem innovative Monitoring-, Vorhersage- und Kommunikationskonzepte, angepasste Wasserinfrastrukturen sowie Betriebs- und Risikomanagementstrategien zum Umgang entwickelt werden. Die Forschungsschwerpunkte sind in den Themenfeldern

- Digitale Instrumente für Monitoring, Analyse, Vorhersage und Kommunikation,
- Risikomanagement gegensätzlicher hydrologischer Extreme und
- Urbane extreme Wasserereignisse

angesiedelt.

Das Verbundprojekt ZwilleE ist eines von insgesamt 12 interdisziplinär und anwendungsorientierten Forschungsvorhaben im Rahmen dieser Fördermaßnahme mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Praxis.

## 2 Die Zielstellung

Das Verbundvorhaben „Zwille – Digitaler Zwilling zum KI-unterstützten Management von Wasser-Extremereignissen im urbanen Raum“ (DZ) verfolgt das Ziel, Methoden und Werkzeuge für die Erstellung eines digitalen Zwillings der städtischen Entwässerungsinfrastruktur als Basis für eine proaktive Bewältigung von Wetterextremereignissen im urbanen Raum zu entwickeln.

Erstmals werden dazu alle relevanten Teilbereiche der Entwässerungsinfrastruktur – das heißt Einzugsgebiete, Kanalnetz, Kläranlagenverbund und Einleitungsgewässer – einbezogen und im digitalen Zwilling (DZ) zusammengeführt.

Mit Hilfe eines KI-basierten Assistenten sollen unter Einbeziehung von formalisiertem Erfahrungswissen und Simulationsergebnissen Handlungsempfehlungen zur Vorsorge und zum Umgang während und nach Wetterextremereignissen gegeben werden. Die vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen werden dem Fachpersonal nach dem „Erklärbare-KI“-Ansatz transparent erläutert, um Nachvollziehbarkeit, Akzeptanz und spätere Umsetzungschancen zu verbessern.

Bild 1 zeigt die zusammengeführten Teilbereiche der Entwässerungsinfrastruktur und den Lösungsansatz zur Bewältigung von Wasserextremereignissen durch den digitalen Zwilling (DZ).

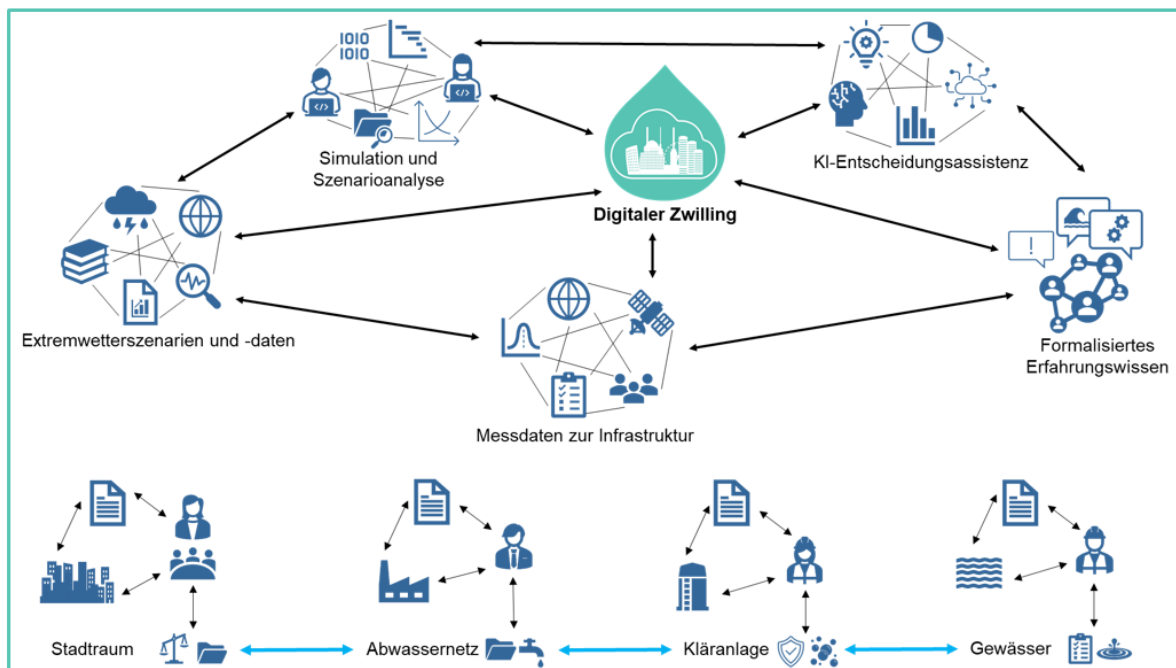


Bild 1: Ganzheitlicher interdisziplinär vernetzter Ansatz des digitalen Zwillings

Die prototypische Umsetzung erfolgt am Beispiel des Entwässerungssystems der Stadt Hannover mit vorgelagerten Einzugsgebieten und nachgelagerten Oberflächengewässern. Im DZ werden in einem Messkonzept vorhandene und neue, im Projekt geschaffene Messstellen genutzt, um ein Verfahren zu entwickeln, mit dem eine Abschätzung der Überflutungsauswirkungen von gemessenen und prognostizierten Niederschlagsereignissen erfolgen kann. Dabei kommt ein hochauflösendes Modell zur Niederschlagsprognose zur Anwendung und Überflutungskarten sowie historische Niederschlagsinformationen werden einbezogen. Zudem wird ein integriertes Simulationsmodell der Entwässerungsinfrastruktur von Hannover erstellt. Hierbei werden Teilmodelle des Entwässerungssystems (Kanalnetz) und des Kläranlagenverbundes erzeugt und miteinander gekoppelt. Dies ermöglicht es, Handlungsalternativen in Extremwetterereignissen zu ermitteln.

Das beim Fachpersonal vorhandene Erfahrungswissen in Bezug auf extreme Wasserszenarien wird erhoben, formalisiert und mit den Simulationsmodellen kombiniert, um ein Werkzeug für die Entscheidungsassistenz zu schaffen. Schließlich erfolgt die Integration aller vorgenannten Komponenten zu einem digitalen Zwilling.

## 2.1 Projektpartner

Im Projekt arbeiten sechs Projektpartner interdisziplinär zusammen, wobei jedem ein spezielles Arbeitsfeld zugeordnet ist.

Projektpartner	Aufgaben im Projekt
	Definition Extremwetterszenarien und Systemanforderungen; Erprobung
	Messprogramm und Analyse Überflutungsgefährdung
	Hochauflösende Modelle zur Niederschlagsprognose
	Modellierung und Simulation; Entwicklung Gesamtsystem-Prototyp und Use Case Umsetzung
	Erfahrungswissen und Gegenstrategien
	Konsortialführung Kommunikations- & Dateninfrastruktur, nachvollziehbare Entscheidungsassistenz

## 2.2 Die Umsetzung

### 2.2.1 Szenarien

Wetterextremereignisse im urbanen Raum haben unterschiedliche Ausprägungen. Im Projekt ZwillE werden die Auswirkungen durch folgende Szenarien abgebildet:

- Szenario 1: Lokale Überflutungen in Folge von Starkregenereignissen (ab SRI 3)
- Szenario 2: Mischwasserentlastungen (bei Niedrigwasser im Gewässer) infolge kritischen Regenereignisses (SRI < 3)
- Szenario 3: Flusshochwasser in Verbindung mit Starkregenereignissen (SRI < 3)
- Szenario 4: Lange Trockenwetterperioden

### 2.2.2 Anwendungsfälle

Für diese Szenarien werden jeweils drei Anwendungsfälle (Use Cases, UC) betrachtet:

1. UC 1 – Abbildung Ist-Zustand
2. UC 2 – Kurzfristige Maßnahmen
3. UC 3 – Langfristige Planung

Der digitale Zwilling im UC1 liefert ein genaues Abbild der heutigen Entwässerungssituation in Hannover an der Oberfläche, in den Kanälen, den Kläranlagen und den Fließgewässern.

Im UC2 wird bei prognostizierten Starkregenereignissen mit  $SRI \geq 3$  unter Verwendung der im Projekt neu installierten und der bereits vorhandenen Messtechnik durch den digitalen Zwilling die tatsächliche Ist-Situation in den Kanälen und der Kläranlage in Hannover abgebildet und Maßnahmen zur Vermeidung von kanalinduzierten Überflutungen vorgeschlagen. Durch die Nutzung von formalisiertem Erfahrungswissen des technischen Fachpersonals der Stadtentwässerung werden nachvollziehbare Maßnahmenvorschläge für die proaktive Bewältigung von realen oder fiktiven hydrologischen Krisensituationen unterbreitet.

Für eine allgemeinverständliche Einordnung von Starkregen wurde der von Schmitt et al. (2018) [7] empfohlene Starkregenindex herangezogen, der eine ortsbezogene Kategorisierung von Starkregenhöhen in Form von Indexzahlen von 1 – 12 vorschlägt (Bild 2).

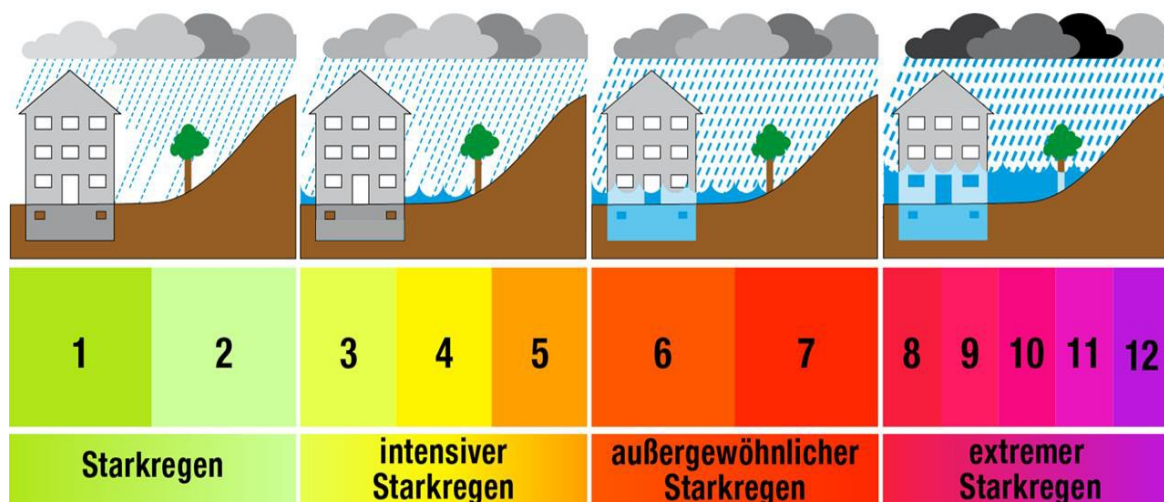


Bild 2: Prinzipalskizze zur Risikokommunikation mittels SRI 1 bis 12 nach Schmitt et al. (2018) [7].

Tabelle 1: Folgen von Starkregenereignissen SRI 1 - 12 nach [8]

SRI 1-2	Starkregen	kein Überstau aus der Kanalisation („Entwässerungskomfort“)
SRI 3-5	intensiver Starkregen	Schutz gegen Überflutungen als „kommunale Gemeinschaftsaufgabe“, ggf. kurzzeitige Überstauungen an der Oberfläche
SRI 6-12	außergewöhnlicher und extremer Starkregen	punktueller, auch ausgedehnte Überflutungen; vorrangige Handlungsmaxime „Schadensbegrenzung“

Aus Tabelle 1 kann für das Projekt ZwillE abgeleitet werden, dass im Use Case 2 bei Starkregen mit SRI 1-2 das Regenwasser über die Kanalisation abgeleitet werden kann. Erst bei Überschreiten der Bemessungssituation „Freispiegelabfluss“ durch verschiedene Überlastungszustände  $SRI \geq 3$  kommt es zu einem Einstau mit Schachtwasserständen oberhalb des Kanalscheitels. Die Freispiegelleitung wird hydraulisch zum Druckabfluss. Als Überstau werden Wasserstände oberhalb eines Bezugsniveaus bezeichnet, üblicherweise die Geländeoberkante am Bezugspunkt. Eine Ableitung über die Kanalisation ist nicht mehr möglich. Es kann zu Wasseraustritt auf die Oberfläche bzw. zu einem verhinderten Wassereintritt kommen. Die Folgen sind kanalinduzierte Überflutungen.

Durch die Einbindung von hochauflösenden Niederschlagsvorhersagen mit einer Vorhersagezeit von bis zu zwei Stunden auf Basis von Radardaten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung und Klimaprojektionen ist es jedoch mit ZwillE möglich, vorausschauende Szenarioanalysen mit kurz- und langfristiger zeitlicher Orientierung zu erstellen und daraus proaktiv solche Ereignisse abzuwenden, die bei  $SRI \geq 3$  die Folge wären, wie z. B. „Überstau“ in der Kanalisation.

Der UC3 bietet schließlich die Möglichkeit, durch den im digitalen Zwilling implementierten aktuellen Zustand der Entwässerungsinfrastruktur in Hannover und durch die im UC2 gesammelten Erfahrungen bei der proaktiven Bewältigung von Wetterextremereignissen (Szenarien 1 – 4), bauliche Maßnahmen zur besseren Bewältigung solcher Ereignisse zu planen.

### 3 Bedeutung und Aussicht

Besonders Starkregenereignisse ab einem  $SRI \geq 3$  mit lokal eng begrenzt anfallenden Wassermengen können in Abhängigkeit von der vorhandenen Kanalinfrastruktur zu Überflutungen führen. Die Kanalisation kann oft solche Wassermengen nicht ableiten. Es kommt zum Überstau. „Fliegende“ Schachtabdeckungen, wie Bild 3 zeigt, sind dann keine Seltenheit. Schäden an der Infrastruktur und den angrenzenden Gebäuden sind die Folge.



Bild 3: Typischer Überstau infolge eines Starkregenereignisses [9]

Durch den digitalen Zwilling wird es möglich, basierend auf der Kenntnis der Entwässerungsinfrastruktur, durch Einbeziehung von hochauflösenden Niederschlagsvorhersagen mit einer Vorlaufzeit von 2 Stunden auf Starkregenereignisse vor ihrem Eintreten proaktiv zu reagieren. Gezielt können Maßnahmen eingeleitet werden, die unter Einbeziehung von vorhandenem Erfahrungswissen helfen, kritische Situationen besser zu bewältigen und Gefährdungen zu vermeiden.

## Literaturverzeichnis

- [1] „WAX - Wasser-Extremereignisse,“ WaX Vernetzungs- und Transfervorhaben Aqua-X-Net, [Online]. Available: <https://www.bmbf-wax.de/hintergrund-und-ziele/>. [Zugriff am 01 11 2023].
- [2] O. Rakovec, L. Samaniego, V. Hari, Y. Markonis, V. Moravec, S. Thober, M. Hanel und R. Kumar, *The 2018–2020 Multi-Year Drought Sets a New Benchmark in Europe*, 2022.
- [3] DKKV\_Deutsches\_Komitee\_Katastrophenvorsorge\_e.\_V., *DKKV Statement*.
- [4] B. Thiebes, R. Winkhardt-Enz und I. Kleeschulte, *DKKV Schriftenreihe 62*.
- [5] Munich\_RE, „Hochwasserrisiken nehmen zu,“ Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft Aktiengesellschaft in München, [Online]. Available: <https://www.munichre.com/de/risiken/naturkatastrophen/hochwasser.html>. [Zugriff am 02 11 2023].
- [6] European\_Environment\_Agency, *Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe*.
- [7] T. G. Schmitt, M. Krüger, A. Pfister, M. Becker, C. Mudersbach, L. Fuchs, H. Hoppe und I. Lakes, „Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex,“ *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 2 2018.
- [8] T. G. Schmitt, „Starkregen und urbane Sturzfluten - Agenda 2030,“ 2022.
- [9] „iagua - Rehabilitación de redes de alcantarillado mediante técnicas de drenaje urbano sostenible,“ [Online]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-valbuena-villalonga/rehabilitacion-redes-alcantarillado-mediante-tecnicas-drenaje>. [Zugriff am 15 11 2023].