

eRisikomanagement Starkregenfrühwarnsystem

Abschlussbericht zur
wissenschaftlichen Begleitforschung



Quelle: Landkreis Fulda



Quelle: Landkreis Fulda

eRisikomanagement – Starkregenfrühwarnsystem

Abschlussbericht zur wissenschaftlichen Begleitforschung

im Auftrag des Landkreises Fulda

Wolfgang Dorner

Dorner – Lemberger – Diekmann & Partner

Stand: 10. Februar 2024

Das Teilprojekt „Wissenschaftliche Begleitforschung“ wurde im Rahmen des Projektes „eRisikomanagement - Starkregenfrühwarnsystem“ erstellt. Das Projekt wurde beauftragt durch den Landkreis Fulda und gefördert durch das Hessische Ministerium für Digitale Strategie und Entwicklung.

Zusammenfassung

Starkregenereignisse nehmen zu und führen zu einer erhöhten Gefährdung von bebauten Flächen. Neben Gewässern rücken damit auch kleine Bäche, Gräben und temporär wasserführende Landschaftsstrukturen in den Fokus, um mit diesen pluvialen Ereignissen umzugehen. Insbesondere die kurzen Vorwarnzeiten und die flächenhafte Gefährdung sind eine besondere Herausforderung.

Im Rahmen des hessischen Modellprojekts „eRisikomanagement-Starkregenfrühalarmsystem“ hat sich der Landkreis Fulda mit neuen Ansätzen des Gefahren- und Risikomanagements auseinandergesetzt. Der gewählte Ansatz kombinierte Starkregen-Hot-Spot-Karten mit einem Sensornetzwerk sowie einer Warnapp für Verwaltungen, Feuerwehr und Bevölkerung. Im Landkreis wurden hierzu 185 Sensoren zur Überwachung von Regenereignissen, Überwachung von Kanalhaltungen und Wasserspiegelmessungen in Gewässern installiert und mit einem Cloudsystem verbunden, um Sensorwerte zu speichern und daraus Gefahrenwarnungen für eine Warnapp abzuleiten.

Parallel wurden, auf Grundlage hydrodynamischer Berechnungen, flächendeckend Starkregengefahren identifiziert und in Starkregen-Hot-Spot-Karten abgebildet. Die Veröffentlichung dieser Karten erfolgte dabei auch über die App (für die Verwaltungen und Rettungskräfte) und wurde durch Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit begleitet.

Alle 23 Städte und Gemeinden im Landkreis beteiligten sich aktiv im Projekt, so dass eine flächendeckende Lösung geschaffen werden konnte. Der Aufbau des Systems erfolgte in zwei Phasen mit vier ausgewählten Modellkommunen in Phase 1 sowie den weiteren 19 Kommunen in Phase 2. Durch die Modellkommunen konnten hierbei anschauliche Referenzen geschaffen werden, um den gesamten Kommunen einen Anreiz zu Beteiligung am Projekt zu geben.

Die Analyse des Vorhabens zeigt, dass der Gemeinde übergreifende Ansatz, der im Landkreis gewählt wurde, zahlreiche Vorteile bietet. Hierzu zählen Synergie- und Skaleneffekten, die sich in Form von Kosteneinsparungen ergeben. Da in den seltensten Fällen Landschaftsstrukturen und Gewässer auf ein Gemeindegebiet beschränkt sind, ist auch aus hydrologischer Sicht eine übergreifende Betrachtung erforderlich. Die großflächige Wirkung von Starkregenereignissen kann dabei nur vor Ort durch individuelle Maßnahmen eingeschränkt werden. Das neue System befähigt damit Gemeinden und

Bevölkerung selbst auf Risiken zu reagieren und eigene Maßnahmen zu ergreifen.

Der gewählte Ansatz bietet sich somit sowohl vom gewählten System und Komponenten, bestehend aus Modellierung, Sensornetz und Warnapp, als auch dem Vorgehensmodell als gemeindeübergreifendes Konzept, an, um auf andere Regionen übertragen zu werden. Das Konzept hat Potenziale für eine Weiterentwicklung, um aktuelle Entwicklungen zu berücksichtigen. Neben Starkregen spielt im Kontext des Klimawandels auch Dürre, als zweites Extrem, eine immer gewichtigere Rolle. Hydrologische Daten sind damit wichtig, um beide Extreme in ihren Zusammenhängen zu verstehen. Gleichzeitig wird es umso wichtiger die Wasserrückhaltung in der Fläche nicht nur aus Sicht des Starkregenschutzes zu verstehen, sondern auch den Begriff der Schwammstadt auf die Landschaft auszudehnen und einen integrierten Schutz zu erreichen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Einleitung.....	5
Methodik und Vorgehen.....	8
Literaturstudie	10
Zwischenfazit	13
Technisches System	15
Projektregion und Ablauf	20
Umgriff der Region und Gemeinden	20
Ablauf.....	20
Auswahl der Gemeinden und Schwerpunkte	22
Evaluationsforschung	25
Zwischenfazit	32
Ausblick.....	33
Ökonomische Bewertung.....	35
Kostenvergleichsrechnung.....	35
Kosten-Nutzen-Analyse.....	38
Open- versus Closed-Source, Cloud- versus On-Premise-Anwendungen	41
Zwischenfazit	42
Schlussfolgerungen & Ausblick	43
Bedarf für Sensoren, Planung und Warnung	43
Kooperation in den Einzugsgebieten.....	43
Subsidiaritätsprinzip im Bereich Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement und IT-Lösungen.....	44
Kommunikation, Warnungen und Warnmüdigkeit	45
Empfehlung	46
Perspektiven und Ausblick	46
Literaturverzeichnis	48
Abbildungsverzeichnis	50

Einleitung

Landschaft und Umweltbedingungen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten stark verändert. Flächenversiegelung, Nachverdichtung und auch Intensivlandwirtschaft führen zu verstärkten Oberflächenabflüssen, da die Versickerungsfähigkeit der Flächen verringert ist. Auf der anderen Seite resultiert der Klimawandel in längeren Trockenphasen und einer Konzentration der gleichen Niederschlagsmengen auf kürzere Perioden. Dies verringert die Fähigkeit der Böden weiter die Niederschläge aufzunehmen. Das Verhältnis von Versickerung, Verdunstung und Oberflächenabfluss verschiebt sich stark in Richtung des Oberflächenabflusses.

Neben der Gefahr von Überschwemmungen an Flüssen als fluviale Ereignisse, steigt auch das Risiko durch Oberflächenabflüsse aus der Fläche und an kleinen Gewässern, sogenannte pluviale Ereignisse. Gerade kurze, intensive und kleinräumige Niederschläge werden damit vermehrt zu einem Problem und einer Gefahr für bebauten Gebiete, die sich abseits größerer Gewässer vor Überschwemmungen sicher wähnten. Etablierte Messnetze, wie Niederschlagsmessstationen, Gewässerpegel, Schutzbauten entlang von Gewässern und die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten an Flüssen sind für diese Entwicklung nicht ausgelegt.

In den vergangenen Jahren und insbesondere seit dem Jahr 2018 sind Extremereignisse im Landkreis Fulda aufgetreten. Herausforderungen dabei waren kurze oder keine Vorwarnzeiten auf Grund der schnellen zeitlichen Entwicklung vom Niederschlag zur Abflussbildung und Überschwemmung, sowie die fehlenden Daten und Erfahrungswerte zu starkregengefährdeten Gebieten, gerade an kleinen Gewässern und in der Fläche. Auf Grund vergleichbarer geographischer Rahmenbedingungen in einer Mittelgebirgsregion ergibt sich eine vergleichbare Situation, wie z. B. im Ahrtal. Dieser soll durch ein verbessertes Risikomanagement vorgebeugt werden und als Pilotprojekt für das Land Hessen dienen. Das Konzept des Starkregen-Risikomanagements soll sich dabei an den Stufen „Erkennen“, „Sensibilisieren“ und „Schützen“ orientieren bzw. diese unterstützen.

Ziel des Vorhabens ist es daher die Risiken, die an kleinen Gewässern und in der Fläche durch diese beiden Entwicklungen entstehen zu identifizieren. Darauf basierend können Schutzmaßnahmen geplant, Vermeidungsstrategien entwickelt und zeitnah bei Ereignissen Warnungen ausgegeben werden. Gerade bei den räumlichen Unsicherheiten von kleinräumigen Exzessniederschlägen und den kurzen Vorwarnzeiten werden auch präzisere

Informationen für Einsatzkräfte verfügbar, um Betroffenen schnell zu helfen und schnell eine Übersicht über die Gefahrenlage zu erhalten.

Das System soll daher ein dezentrales und weitflächiges Sensornetz nach dem technischen Konzept des Internets der Dinge (Internet of Things – IoT) mit einer cloudbasierten Datenplattform kombinieren, um über Datendienste aus der Cloud Informationen und Warnungen an unterschiedliche Zielgruppen herauszugeben (vgl. Abbildung 1).

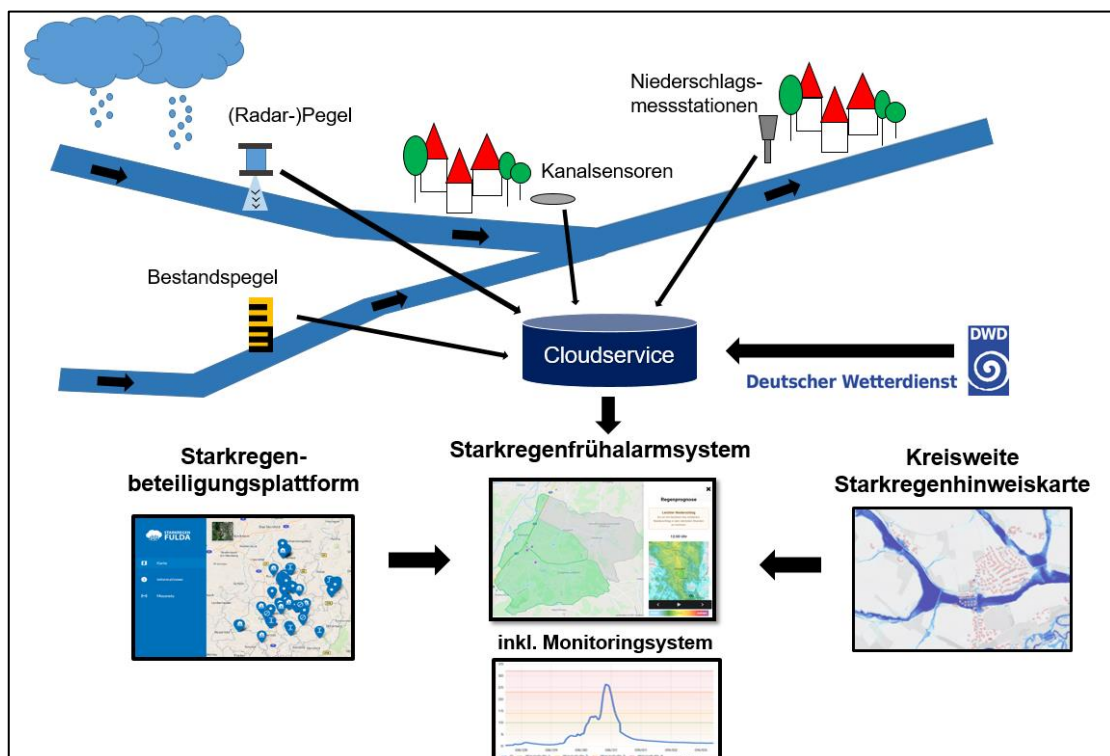


Abbildung 1: Konzept des Projektes "eRisikomanagement-Starkregenfrühwarnsystem"

Ziel dieser wissenschaftlichen Begleitstudie ist es, die Ergebnisse des Vorhabens zu subsummieren und dabei Gesichtspunkte des Ablaufs der Einführung des Systems, des Zusammenwirkens von Gemeinden auf Landkreisebene sowie Überlegungen zur (ökonomischen) Wirkung herauszuarbeiten.

Im Vordergrund stehen dabei:

- Systematisierung des Ablaufs und der Ergebnisse des Vorhabens nach unterschiedlichen Gesichtspunkten (technische und ökonomische Parameter, Wirkung- und Folgenabschätzung)
- Analyse von Prozessen des Projektes sowie aus dem Projekt resultierender Abläufe zur Nutzung des Monitoringsystems

- Synthetisierung der Erfahrungen sowie qualitativ und quantitativ ableitbarer Aussagen und Schlussfolgerungen inkl. deren Herleitung
- Ableitung von Key Performance Indikatoren (KPI) für die Fortführung, Ausbau und Übertragbarkeit
- Vorschläge zur Verbesserung des Systems und der Nutzung aus der Literatur

Die Studie gliedert sich in fünf Abschnitte. Eine Literaturstudie gibt eine Einordnung des Modellprojekts in die Landschaft aktueller Forschungs- und Modellprojekte zum Thema Starkregen und Starkregen-Risikomanagement. Anschließend werden das technische System sowie die Modellregion vorgestellt. Erste Erfahrungswerte werden auf Basis von Interviews mit Kommunalvertretern erhoben und ausgewertet. Eine ökonomische Betrachtung analysiert das Vorhaben aus Perspektive der Kostenvergleichsrechnung, der Kosten-Nutzen-Analyse und betrachtet Skalen- und Netzwerkeffekte. In der technologischen Bewertung des digitalen Systems werden Aspekte von Open- und Closed-Source sowie On-Premise im Vergleich zu Cloud- und Plattform-Lösungen gegenübergestellt.

Methodik und Vorgehen

Die Begleitstrategie erfordert sowohl die Teilnahme an (Online-)Terminen, die Auswertung von Projektunterlagen (Antrag/Projektkonzept, Berichten, Ergebnissen) als auch die wissenschaftliche Kontextualisierung des Vorhabens. Ziel ist es dabei das Vorhaben sowohl in den aktuellen Stand der Forschung einzubetten, um aus diesem zu lernen und wissenschaftliche Ergebnisse in die Fortschreibung und Anschlussfähigkeit des Systems und Projektes einfließen zu lassen, als auch die Inhalte und Abläufe des Vorhabens einer wissenschaftlichen Reflexion zu unterziehen. Auf Grund seines Modellcharakters spielt die Übertragbarkeit des Systems, der Ergebnisse und damit verbundener „Lessons Learned“ eine wichtige Rolle.

Hieraus ergibt sich folgender Ansatz für eine wissenschaftliche Begleitung, die sowohl die laufende Begleitung und Kontextualisierung des Projektes systematisiert als auch die Dokumentation und deren Zugänglichkeit (Transfercharakter) berücksichtigt und dabei methodisch auf einer Literaturstudie bzw. Desk Research beruht.

Einordnung des Projektes in den Kontext laufender bzw. aktueller Forschungs- und Modellprojekte

Durch eine Webrecherche werden aktuelle Projekte in Deutschland ermittelt, die sich mit der Analyse und Bewertung von Starkregengefahren beschäftigen. Schwerpunkt liegt hierbei auf nationalen Forschungsprojekten z.B. des Bundesforschungsministeriums (BMBF) oder gefördert durch Länderministerien als Forschungs- und Modellvorhaben. Nicht berücksichtigt wurden Einzelvorhaben von Kommunen, die nicht darauf ausgerichtet waren oder sind übertragbare Ergebnisse zu liefern.

Analyse des technischen Systems

Das System sowie die Phasen der Einführung des Systems werden analysiert. Hierzu wird insbesondere der Aufbau des Systems und das Geschäftsmodell betrachtet.

Evaluationsforschung durch Befragung von Kommunalvertreterinnen und Vertreter

In Verbindung mit dem Phasenmodell der Einführung des Systems werden Interviews mit Kommunalvertreterinnen und Vertretern geführt, um

Hintergrundinformationen zu den Erfahrungen während der Einführung, aus dem laufenden Betrieb sowie den Vorerfahrungen der Kommunen zu erhalten.

Ökonomische Analyse

In der Ökonomischen Analyse wird der Versuch unternommen den Ansatz einer landkreisweiten und damit gemeindeübergreifenden Einführung eines Warnsystems zu bewerten sowie die Kosten des Systems einem möglichen monetären und nicht-monetären Nutzen gegenüberzustellen. Hierbei sollen auch Skalen- und Netzwerkeffekte diskutiert werden.

Bewertung des technologischen Ansatzes und Geschäftsmodells

Eine abschließende Diskussion ordnet das aktuelle System in den Kontext von Open- und Closed-Source sowie die Bedeutung von plattform- und cloudbasierten Lösungen ein.

Literaturstudie

In den vergangenen Jahren wurden in Deutschland zahlreiche Projekte realisiert, die sich mit dem Thema Starkregen und Starkregenrisikomanagement aus unterschiedlichen Perspektiven auseinandergesetzt haben oder dies aktuell noch tun. Viele dieser Projekte benennen dabei das Ahrhochwasser 2021 als eine Zäsur oder initialen Faktor für die Befassung mit dem Thema. Die in Folge beschriebenen Projekte sind das Ergebnis einer Internetrecherche nach aktuelleren Vorhaben unter dem Stichwort „Starkregen UND Projekt“. Die hier referenzierten Projekte (s. Tabelle 1) stellen dabei nur eine Auswahl dar, die insbesondere solche Vorhaben einbezieht, die einen Forschungs- oder Modellcharakter haben. Kommunale und staatliche geförderte Umsetzungsprojekte für die Erstellung von Starkregen-Gefahrenkarten oder Starkregen-Hinweiskarten finden sich zahlreich im Internet und in Presseberichten der vergangenen zwei bis drei Jahre und werden hier aber nicht berücksichtigt.

Erste Projekte, die sich explizit oder ausschließlich mit Starkregen auseinandersetzen, reichen in die Jahre 2016 und 2017 (z. B. HiOS, RESI-Extrem I) zurück. Gerade in den vergangenen drei bis vier Jahren hat die Intensität der Befassung mit diesem Thema aber stark zugenommen.

Neben Landesprojekten zur Erprobung von Simulationsverfahren finden sich auch Umsetzungsprojekte zur Erstellung von Starkregenkarten unterschiedlicher Art sowie Forschungsprojekte zur Risikokommunikation, Simulation von Starkregenereignissen und in ausgewählten Fällen dem Einsatz von Sensorik zur Frühwarnung. Das Spektrum der Projekte deckt dabei die gesamte Breite des Risikomanagements ab. Insgesamt überwiegen aber Projekte in den Bereichen Simulation und Modellierung von Hochwasser- und Starkregenereignissen, Erstellung von Starkregengefahren-, Hinweis- und Risikokarten sowie Ansätze zur Kommunikation und Eigenvorsorge der Bürgerinnen und Bürger. Die Nutzung von Sensoren, die Verdichtung des Sensornetzes durch zusätzliche Sensoren und Messstellen sowie der Einsatz vernetzter Sensoren (Internet of Things – IoT) finden sich nur in zwei Projekten (Lemgo-Digital, KiWaSuS).

Tabelle 1 Forschungs- und Modellprojekte der vergangenen Jahre zum Starkregen-Risikomanagement

Akronym	Projekt	Umgriff	Kommunen	Maßnahmen
RESI-Extrem I¹		Stadt	Stadt Olfen	- Entwicklung von Starkregenkarten
RESI-Extrem II²		Stadt	Städten Olfen (NRW), Schwäbisch Gmünd (Baden-Württemberg)	- Einsatz von Starkregengefahren- und Risikokarten bei städtebaulichen Planungen - integrierter städtebaulicher Entwicklungskonzepte (InSEK)
RN³	Regionalverband Nordschwarzwald	Kommunaler Verbund	24 Städten und Gemeinden in den Landkreisen Calw, Enzkreis und Freudenstadt	- Starkregenrisiko-management - beinhaltet Gefährdungsanalyse, Risikoanalyse und Handlungskonzept
KoReGeb⁴	Kommunikationskonzept Regenwassermanagement Gebstättel	Gemeinde	Gemeinde Gebstättel	- Entwicklung von Kommunikationskonzepten - ein Unterprojekt von ERNIE
ERNIE⁵	Untersuchung des Einsatzes von Regentonnen zum Niederschlagsrückhalt in einem Wohngebiet zur Entlastung des Kanals bei Starkregen	Gemeinde	Gemeinde Gebstättel	- Vernetzung von Regentonnen und Zisternen zur Minderung des Starkregenrisikos - Simulation der Wirkung
WAWUR⁶	Wild abfließendes Wasser in urbanen Räumen	Stadt	Landeshauptstadt Dresden & Stadtentwässerung Dresden GmbH	- Simulation von Starkregensituationen - Aufbau eines Portals zur Abbildung der Simulationsergebnisse
KLASS	Klassifikation meteorologischer Extremereignisse zur Risikovorsorge gegenüber Starkregen für den Bevölkerungsschutz und die Stadtentwicklung	Staat		- Qualitative und quantitative Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Niederschlägen und Einsätzen - Untersuchung von Maßnahmen zum Risikomanagement und Risikovorsorge

¹ vgl. „Forschungsprojekt: Starkregen“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.olfen.de/de/umwelt-klimaschutz/klimafolgeanpassung/forschungsprojekt-starkregen.html>.

² „Projekt RESI-Extrem II | Universität Stuttgart“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.project.uni-stuttgart.de/resi-extrem/>.

³ „24 Kommunen wappnen sich für Starkregen“, Baden-Württemberg.de, 25. Oktober 2023, <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/24-kommunen-wappnen-sich-fuer-starkregen-1>.

⁴ vgl. „Wie man dem Starkregen begegnen kann: Alternativen zur Kanalerweiterung gesucht“, Campuls, 16. Februar 2022, <https://campuls.hof-university.de/wissenschaft-forschung/wie-man-dem-starkregen-begegnen-kann-alternativen-zur-kanalerweiterung-untersucht/>.

⁵ vgl. „Wie man dem Starkregen begegnen kann“.

⁶ vgl. Henry Willem Farr, „Forschungsprojekt WAWUR zu Starkregen“, *Virtual City Systems* (blog), 25. August 2022, <https://vc.systems/erkunden/forschungsprojekte/forschungsprojekt-wawur-zu-starkregen/>.

Regen//Sicher⁷	Regen//Sicher	Stadt	Worms, Lübeck sowie Bad Liebenwerda und Elsterwerda	- Untersuchung der Bedeutung von Kommunikation auf die individuelle Risikovorsorge - Erprobung unterschiedlicher Kommunikationskanäle, wie Nachbarschaftsberatung und Stadtteilworkshops
i-quadrat⁸	i-quadrat	Stadt	Stadt Lübeck	- Entwicklung von Methoden zur rechtssicheren Bereitstellung von grundstücksscharfen Informationen für die Öffentlichkeit - Einbindung des lokalen Wissens der Bevölkerung zur Verifizierung von Modellen
RISA⁹		Stadt	Hansestadt Hamburg	- Verfahren zur Rückhaltung von Wasser in der Fläche
HiOS¹⁰	Hinweiskarten Oberflächen- abfluss und Sturzflut	Bundesland	Freistaat Bayern	- Entwicklung und Erprobung von Simulationsansätzen - Nachmodellierung von historischen Ereignissen - Entwicklung GIS-gestützter Methoden zur Identifikation begünstigender Faktoren
KLIMPRAX¹¹	KLIMPRAX Starkregen	Bundesland	Bundesland Hessen	Entwicklung von Starkregen Hinweiskarten und Starkregen-Gefahrenkarten
KIWaSuS¹²	KI-basiertes Warnsystem für Starkregen und urbane Sturzfluten	Staat	BRD	- Entwicklung von Methoden zur ortsgenauen Vorhersage lokaler Überflutungen - Entwicklung energieautarker und vernetzter Sensorik
Starkregen¹³		Staat	BRD	- Ermittlung von Schadenspotenzialen von Starkregen - Identifikation der Charakteristik besonders schadträchtiger Regenfälle

⁷ vgl. Jonas Stoll, „Wie gelingt wirksame Starkregenvorsorge?“, Text, Umweltbundesamt (Umweltbundesamt, 15. Juli 2021), <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wie-gelingt-wirksame-starkregenvorsorge>.

⁸ vgl. madameWu, „projekt-i-quadrat.de“, 28. August 2017, <https://www.projekt-i-quadrat.de/>.

⁹ vgl. „RISA Hamburg“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.risa-hamburg.de/index.html>.

¹⁰ vgl. „Projekt HiOS (Hinweiskarten Oberflächenabfluss und Sturzflut) - LfU Bayern“, zugegriffen 23. Dezember 2023, https://www.lfu.bayern.de/wasser/starkregen_und_sturzfluten/hios/index.htm.

¹¹ vgl. „KLIMPRAX Starkregen“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen>.

¹² vgl. „KIWaSuS | Hochschule Ruhr West“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.hochschule-ruhr-west.de/kiwasus/>.

¹³ vgl. „Forschungsprojekt Starkregen“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.gdv.de/gdv/themen/klima/forschungsprojekt-starkregen-52866>.

Visdom RP¹⁴		Bundesland	Rheinland-Pfalz	Erprobung von Modellen und Ansätzen für die Ermittlung von Wassergefahren insbes. Starkregengefahren
Lemgo-Digital - Echtzeit-Frühwarnsystem für Starkregen-Ereignisse¹⁵	Lemgo-Digital - Echtzeit-Frühwarnsystem für Starkregen-Ereignisse	Stadt	Stadt	- Erprobung von IoT-Sensoren in Verbindung mit LoRaWan zur Warnung vor Hochwasser und insbes. Starkregen - Untersuchung der Dynamik an Staustufen in Gewässerabschnitten
RAINMAN¹⁶	Integriertes Starkregenrisikomanagement	Bundesland	Sachsen - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	- Entwicklung eines Starkregenrisikomanagements für Städte und ländliche Regionen - Entwicklung einer Toolbox für den Umgang mit Starkregen
SiSSI¹⁷	Simulation von Starkniederschlägen im Stadtgebiet Siegen	Stadt	Siegen	- Identifikation von pluvialen und fluvialen Gefahrengebieten - Integrierte Betrachtung beider Ereignistypen

Zwischenfazit

Die Erstellung von Starkregen(gefahren)karten hat sich, in Erweiterung zu Hochwassergefahrenkarten und Fließwegekarten, in den letzten Jahren zu einem etablierten Ansatz entwickelt. In Modellprojekten wurden, wie z. B. bei KlimPRAX in Hessen¹⁸, hierfür auch Praxisleitfäden ausgearbeitet und den Kommunen als Empfehlungen an die Hand gegeben. Die LAWA fasste Ergebnisse von Landesprojekten in einem übergreifenden Bericht zum Starkregenrisikomanagement¹⁹ zusammen. Obwohl in allen Bereichen die Bedeutung von Daten hervorgehoben wird, spielen Sensoren und Sensornetze auf kommunaler Ebene keine Rolle. Diese werden im Schwerpunkt in Forschungs- und Entwicklungsprojekten berücksichtigt oder sind Bestandteil von Smart-City-Initiativen.

¹⁴ vgl. „F+E-Projekt Visdom RP“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de/servlet/is/201274/>.

¹⁵ vgl. „Das Fraunhofer-Reallabor - Echtzeit-Frühwarnsystem für Starkregen-Ereignisse“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://lemgo-digital.de/index.php/de/umwelt-projekte/107-earlyflooding>.

¹⁶ vgl. Referat Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit, „RAINMAN – Integriertes Starkregenrisikomanagement - Wasser - sachsen.de“, zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.wasser.sachsen.de/rainman-5352.html>.

¹⁷ vgl. S. Guerke, „Projekt SiSSI (Simulation von Starkniederschlägen Im Stadtgebiet Siegen)“ (S. Guerke), zugegriffen 23. Dezember 2023, <https://www.bau.uni-siegen.de/fwu/wb/starkregen-siegen/projekt/?lang=de>.

¹⁸ vgl. „Starkregen-Gefahrenkarten“, zugegriffen 11. Oktober 2023, <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen/starkregen-gefahrenkarten>.

¹⁹ vgl. LAWA, „LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement“ (LAWA, o. J.).

Die Nutzung von Geodaten zur Fließpfadmodellierung, Simulation und Modellierung der Ausdehnung von pluvialen Ereignissen mit 2D-Strömungsmodellen sowie die Ableitung und Veröffentlichung von Starkregen-Gefahren- und Risiko-Karten kann daher als Stand der Disziplin angesehen werden. Sensor basierte Warnlösungen und deren Integration in App-Lösungen zur Warnung und Information der Bevölkerung sowie weiterer Zielgruppen, wie Feuerwehr und öffentliche Verwaltung, sind in Deutschland immer noch Gegenstand von Modell- und Forschungsprojekten. Während Methoden der Risiko- und Gefahrenkommunikation sowie Sensibilisierung der Bevölkerung in den vergangenen Jahren untersucht wurden, liegen keine Ergebnisse zur Bedeutung von Warn-Apps und deren Wirkung im Starkregen-Risikomanagement vor. Erste Lösungen werden aber, wie hier im Projekt „eRisikomanagement-Starkregenfrühalarmsystem“, getestet.

Technisches System

Technologisch ist das Konzept definiert durch die Kombination von einem annähernden flächendeckenden, hydrodynamischen Starkregenmodell in Kombination mit einem Sensornetzwerk. Dabei werden nicht nur Fließpfade in der Landschaft identifiziert, sondern durch eine hydrodynamisch 2D-Simulation Abflüsse und Wasserstände ermittelt.

Das hydrodynamische Starkregenmodell liefert einen semiquantitativen Überblick über die Ausdehnung von Überschwemmungen und gefährdeten Flächen, welche als Grundlage dienen die Positionierung von Sensoren als Teil eines Warnsystems zu definieren.

Diese basieren auf extremen Niederschlagsereignissen und zeigen die Konzentration von Oberflächenabflüssen und Überschwemmungen, die daraus entstehen. Dabei werden nicht nur kleine Gewässer berücksichtigt, sondern auch Abflusspfade in der Landschaft. Diese Starkregen-Hot-Spot-Karten können von Kommunen, Planerinnen und Planern sowie der Bürgerschaft genutzt werden, um sich über das individuelle Hochwasserrisiko zu informieren, aber auch Planungen und Schutzmaßnahmen daraus abzuleiten.

Im hydrodynamischen Modell werden auf Grundlage des Digitalen Höhenmodells des Landkreises (DEM 1) die Abflusspfade von extremen Niederschlagsereignissen simuliert. Ziel ist die Identifikation von überschwemmungsgefährdeten Bereichen entlang von Bachläufen sowie Abflusspfaden, die sich in der Landschaft ausbilden (vgl. Abbildung 2). Die Simulation soll dabei Anhaltswerte liefern, in welchen Teileinzugsgebieten und Ortsteilen in Folge ein Aufbau von Messeinrichtungen als Sensornetzwerk notwendig ist, um die Bevölkerung und gegebenenfalls Hilfskräfte vor möglichen Gefährdungen zu warnen. Auf Basis des DEM lässt sich eine Simulation ableiten, die als Indikation verwendet wird, aber nicht den Anforderungen an offizielle Starkregion-, Risiko- oder Hochwassergefahrenkarten genügt.

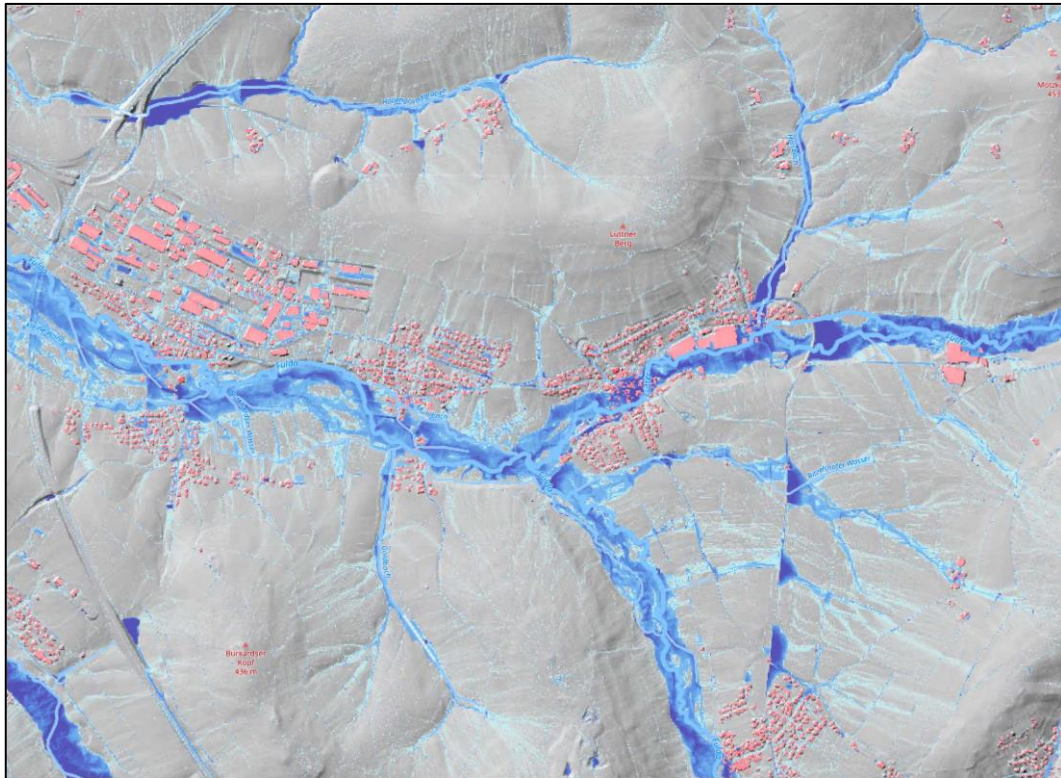


Abbildung 2: Kartographische Darstellung der Abflusspfade und überschwemmungsgefährdeter Bereiche (Quelle: Spekter GmbH)

Die sensorische Komponente des Konzepts basiert auf dem Starkregen-Frühwarnsystem (Starkregen-fas), der Firma Spekter GmbH. Die Sensoren werden im Einzugsgebiet installiert, um dort ereignisbezogene Daten für Warnungen zu liefern.

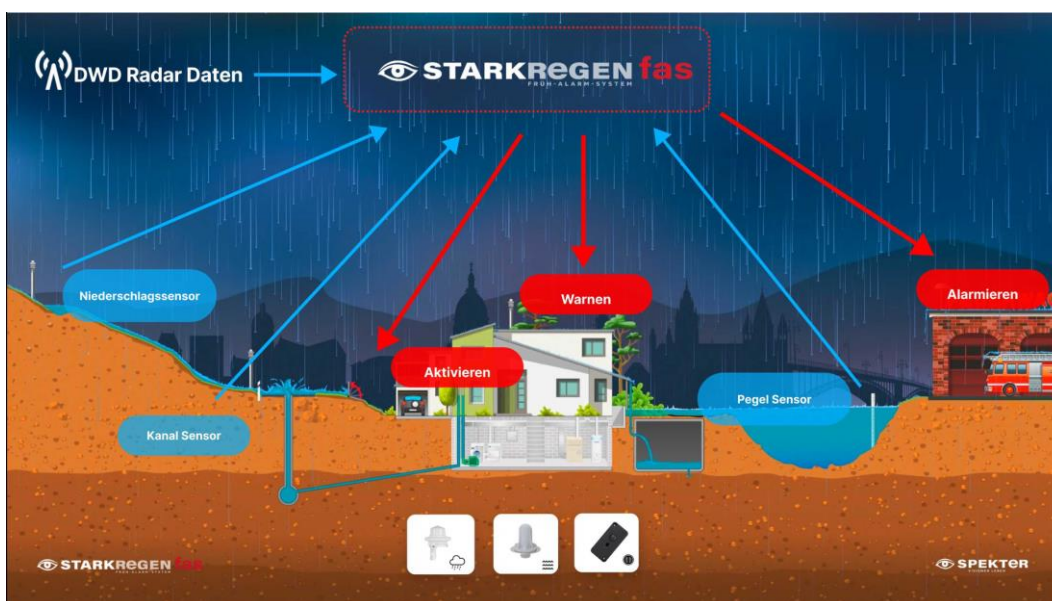


Abbildung 3: Konzeptioneller Aufbau des Starkregen-Frühwarnsystems (Quelle: Spekter GmbH)

Drei Sensortypen (vgl. Abbildung 3 und Tabelle 2) werden verwendet, um flächendeckend Niederschlagsdaten und die Reaktion im Einzugsgebiet zu erfassen:

- Radarsensor als „Niederschlagssensor“
- Bewegungs- und Ultraschallsensor als „Kanalwächter“
- Ultraschallsensor als „Pegelsensor“

Diese Sensoren werden im Einzugsgebiet bzw. an neuralgischen Punkten am Gewässer und im Kanalsystem montiert. Über Funkkommunikationsprotokolle (LoRa und MIOTY) werden die Sensordaten abgefragt und in einem Webdienst zugänglich gemacht.

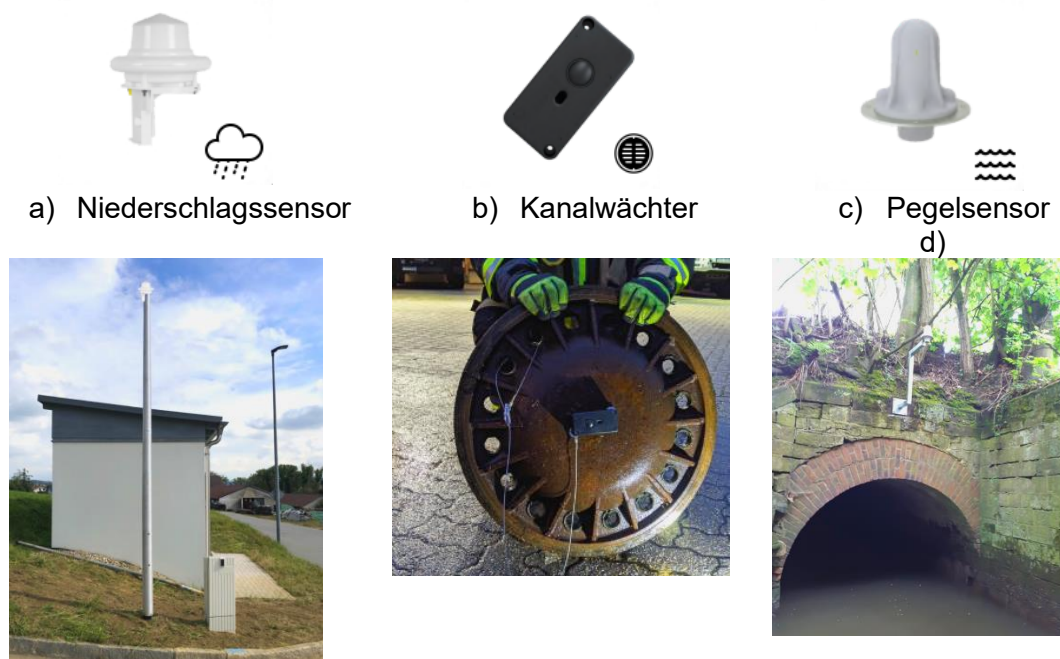


Abbildung 4: Sensorik im Einzugsgebiet (Quelle: Spekter GmbH)

Die Erfassung von Niederschlägen erfolgt durch Radarmessungen in einem zweistündigem Intervall. Der Radarsensor hat eine permanente Stromanbindung und ist gleichzeitig der Standort des zentralen IoT-Gateways.

Um Einstau und die Gefahr des Überstaus der Kanalisation zu erkennen, werden Bewegungen der Kanaldeckel sowie Einstauhöhen ausgewählter Halungen durch einen Bewegungssensor im Kanaldeckel erfasst. Dieser ermittelt auch durch Ultraschallmessungen die Einstauhöhen der Halungen. Das Gerät ist batteriebetrieben und übermittelt Messwerte alle sechs Stunden.

Pegelmessungen an Gewässern und in Becken liefern alle 15 Minuten aktuelle Pegeldaten, die von batteriebetriebenen Ultraschallsensoren übermittelt werden.

Tabelle 2 Übersicht über die Sensoren

Sensorname	Niederschlags-sensor	Kanalwächter	Pegelsensor
Sensortyp	Radarsensor	Beschleunigungssensor Ultraschallsensor	Ultraschallsensor
Messung	Niederschlag im Einzugsgebiet	Lageänderung des Kanaldeckels und Einstauhöhe der Haltung	Wasserstand im Fließgewässer oder Becken
Messintervall	2 Stunden	6 Stunden	15 Minuten
Stromversorgung	Stromnetz	Batterie	Batterie

Die Daten werden über die Kommunikationsschnittstellen an eine zentrale Datenbank übermittelt. Auf Basis der Daten werden unterschiedliche Teilsysteme bedient, welche die breite Öffentlichkeit, Verwaltungen sowie ggf. Rettungskräfte warnen und informieren (vgl. Abbildung 5). Ein zentraler Web-Map-Service (WMS) stellt kartographisch aufbereitete Daten der Sensoren zur Verfügung, die in Geoinformationssysteme der unterschiedlichen Verwaltungen eingebunden werden können. Des Weiteren werden Warndaten abgeleitet, die über eine Warn-App bzw. perspektivisch zentrale Warndienste der Kommunen und Land ausgespielt werden können. Durch Push-Meldungen (Ereignis basierter Versand von Nachrichten) über SMS, Email und Telefon können Bürgerschaft, Verwaltung und Rettungskräfte vor und während Extremereignissen gewarnt und informiert werden.



Abbildung 5: Alarmierung und Warnung unterschiedlicher Zielgruppen (Quelle: Spekter GmbH)

Die Warnungen werden dabei in drei unterschiedlichen Warnstufen ausgegeben (vgl. Abbildung 6).

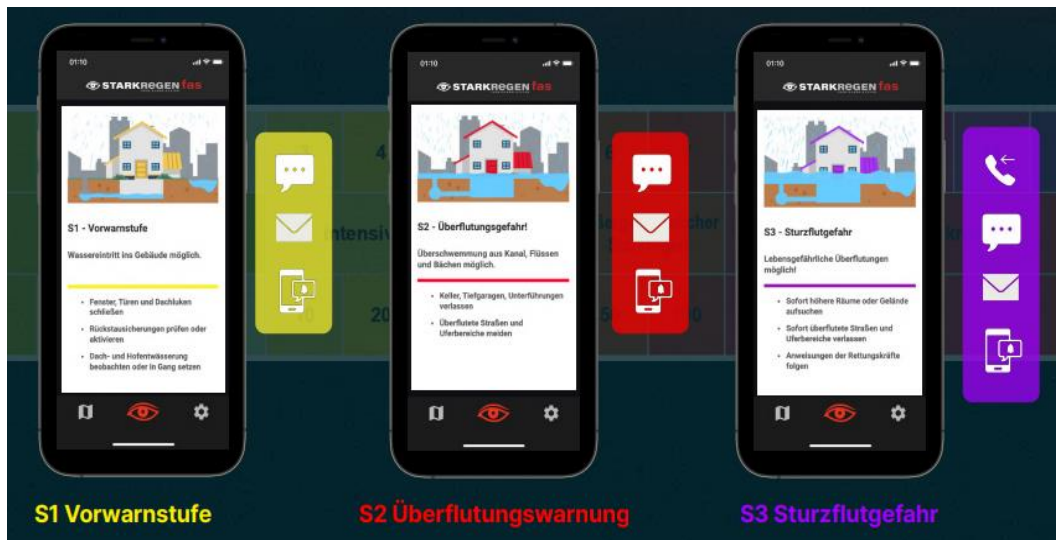


Abbildung 6: Warnstufen der Warnapp (Quelle: Spekter GmbH)

Im Projekt stellt insbesondere das verdichtete Sensornetz in Verbindung mit der zentralen Datenhaltung und Warnlösung eine Neuerung dar. Im Gegensatz zu etablierten Ansätzen z. B. der Hochwassernachrichtendienste und des Deutschen Wetterdienstes, baut das Starkregenmonitoring und -warnsystem auf einer plattform-basierten Lösung auf. Hierbei handelt es sich um eine zentrale Datenbank, die bei einem Cloud-Anbieter gehostet wird. Die Lösung wird als Closed-Source im Modell Software-as-a-Service (SaaS) angeboten. Datenhaltung, Datenanalyse sowie die Ermittlung von Gefahrenlagen und Warnszenarien erfolgt auf den Systemen des Diensteanbieters. Die Lösung kann als Plattform bezeichnet werden, da das System Kommunen, Hilfsorganisationen (hier im Schwerpunkt die lokalen Feuerwehren) sowie Bürgerschaft vernetzt und Daten zentral zur Verfügung stellt.

Projektregion und Ablauf

Umgriff der Region und Gemeinden

Der Landkreis Fulda, als Modellregion des Projektes, liegt im Regierungsbezirk Kassel. Er hat eine Fläche von 1.380,42 km² sowie 227.456 Einwohner (Stand Dez 2022) und damit eine Bevölkerungsdichte von 165 Einwohner je km². Der Landkreis umfasst 23 Gemeinden (vgl. Tabelle 3 Tabelle 3) und liegt geographischen zwischen den Ausläufern der Hohen Rhön im Osten und des Vogelbergs im Westen.

Tabelle 3 Gemeinden des Landkreises Fulda - Pilotgemeinden grau hinterlegt (Quelle: www.hessen-gemeindelexikon.de HA Hessen Agentur GmbH)

Kommune	Einwohner (Dez 2022)	Fläche [km²]
Städte		
Fulda	69.986	104,04
Gersfeld (Rhön)	5.516	89,37
Hünfeld	16.941	119,77
Tann (Rhön)	4.565	60,45
Marktgemeinden		
Burghaun (Pilot)	6.436	65,05
Eiterfeld	7.110	89,83
Hilders	4.859	70,38
Gemeinden		
Bad Silzschlirf	3.568	13,04
Dipperz	3.625	30,05
Ebersburg (Pilot)	4.704	37,05
Ehrenberg (Rhön)	2.549	40,83
Eichenzell (Pilot)	11.277	55,96
Flieden	8.673	49,65
Großenlüder	8.765	73,92
Hofbieber	6.150	87,17
Hosenfeld	4.593	50,71
Kalbach	6.511	70,64
Künzell	17.062	30,29
Neuhof (Pilot)	10.956	90,28
Nüsttal	2.920	45,52
Petersberg	16.410	35,51
Poppenhausen	2.727	40,77
Rasdorf	1.581	30,07

Ablauf

In den Modellkommunen wurden Sensoren für Niederschlagsmessungen, Abflussmessungen an kleinen Gewässern sowie zur Überwachung der Kanalisation ausgebracht und durch Funktechnik vernetzt. Die Sensoren

wurden dann über Funkprotokoll in das Backendsystem mit einer Datenbank für die Datenhaltung eingebunden. Die Kommunen haben über eine Online-Kartenanwendung Zugriff auf die Sensoren und Sensorwerte (vgl. Abbildung 7).

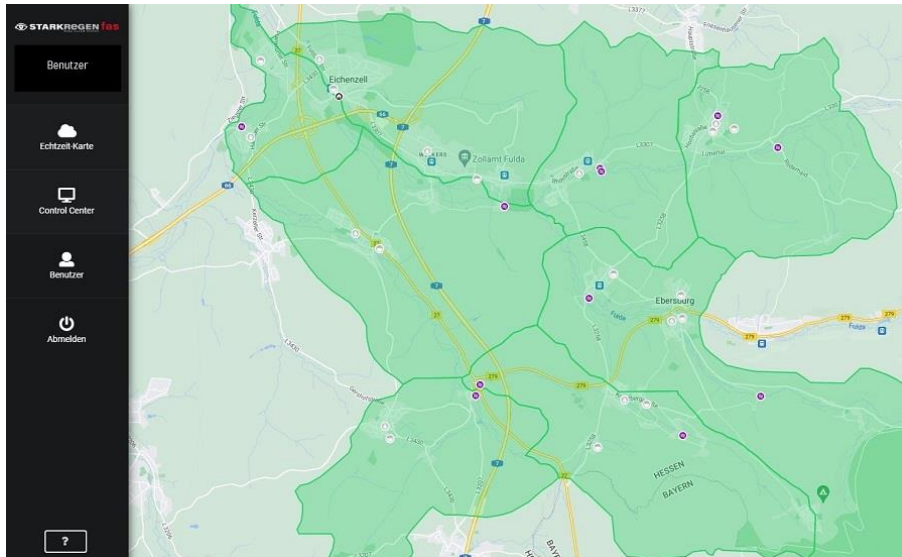


Abbildung 7: Online-Karte und System zur Verwaltung des Sensornetz (Quelle: Spekter GmbH)

Die Beteiligung der Bürgerschaft (Citizen Science) erfolgt auf unterschiedlichen Wegen, wie z. B. Pressemeldungen, Veranstaltungen aber auch den Aufbau eines Portals zur Sammlung von Informationen zu historischen Starkregen- und Hochwasserereignissen während der Projektlaufzeit (vgl. Abbildung 8). Auch an ausgewählten und markant angebrachten Sensoren wurden Hinweistafeln und QR-Codes angebracht, um auf das Vorhaben, die App und die Bedeutung des Schutzes vor Starkregengefahren hinzuweisen.



Abbildung 8: Einbindung der Bürgerschaft z. B. durch Citizen Science (Quelle: Landkreis Fulda)

Auswahl der Gemeinden und Schwerpunkte

Das Modellprojekt verlief in zwei Phasen mit zwei Kohorten an Gemeinden im Landkreis Fulda, für die das neue digitale und sensorische Konzept eingeführt und validiert wurde. Für eine Pilotphase in 2022 wurden, mit den Gemeinden Burghaun, Neuhof, Eichenzell und Ebersburg (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 9) vier Gemeinden als Querschnitt der Region ausgewählt. Diese Kommunen waren zum einen besonders betroffen von Starkregenereignissen seit 2018, zum anderen ist in diesen Gemeinden die Thematik Digitalisierung und Smart City bereits in Angriff genommen worden.

Tabelle 4 Statistische Kennwerte der Pilotkommunen (Quelle: Landkreis Fulda)

Pilotkommune	Burghaun	Ebersburg	Eichenzell	Neuhof
Einwohner	6.442	4.536	11.033	10.747
Fläche [ha]	6.504	3.707	5.600	9.027
Ortsteile	9	5	9	8

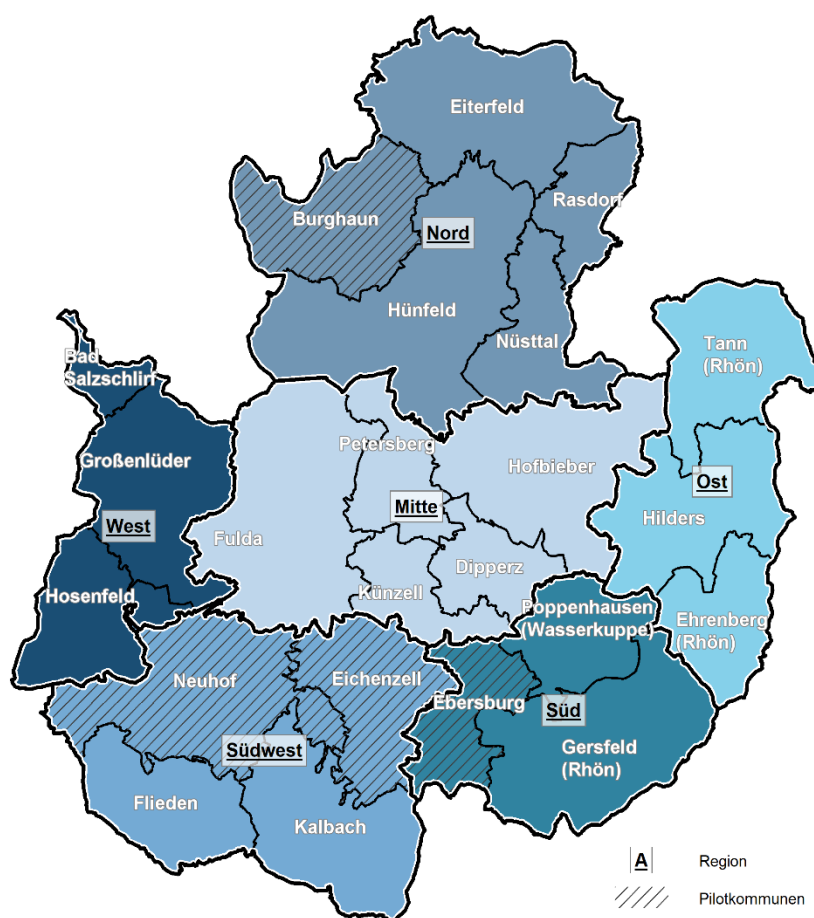


Abbildung 9: Einteilung der Gemeinden des Landkreises Fulda in Teilprojektregionen sowie Pilotkommunen (Quelle: Landkreis Fulda)



Abbildung 10: Pilotkommunen sowie vorhandene und relevante Pegel im Landkreis (Quelle: Landkreis Fulda)

In einer zweiten Phase in 2023 erfolgte der Roll-Out in die weiteren 19 Städte und Gemeinden des Landkreises. Hierzu wurden sechs Teilregionen gebildet. In einer Auftaktveranstaltung wurden die Vertreterinnen und Vertreter der Kommunen informiert. Nach anschließenden Beschlussfassungen in den kommunalen Gremien erfolgte die Montage der Systeme, die Anbindung der Sensoren an die zentrale Datenbank und darstellende Teilsysteme und Schulungstermine. Eine begleitende Kampagne war darauf ausgerichtet die breite Öffentlichkeit über den Prozess zu informieren.

In den 23 Städten und Gemeinden des Landkreises wurden insgesamt 185 Sensoren der oben aufgeführten Typen verbaut (vgl. Tabelle 5).

Evaluationsforschung

Um den Status quo der Nutzung des Systems in den Modellkommunen, aber auch den Ablauf des Projektes sowie die aktuellen Aktivitäten besser zu erfassen, wurden Interviews als Leitfrageninterviews geführt. Die Interviews fanden im Zeitraum 27. November 2023 bis 1. Dezember 2023 statt. Durch diesen späten Zeitpunkt im Projekt sollte ein umfassender Umsetzungsstand des Projektes in allen Kommunen vorliegen sowie erste Erfahrungswerte im Umgang mit App und Dashboard. Interviewpartner waren drei Bürgermeisterinnen und Bürgermeister bzw. Bauamtsleiterinnen und Bauamtsleiter aus Modellkommunen. Die Interviews wurden als Audio aufgezeichnet, über die Transkriptionsfunktion von Microsoft-Word transkribiert und manuell kontrolliert und korrigiert.

Grundlage der Interviews war ein Katalog mit zehn Leitfragen, die allen Interviewteilnehmerinnen und Teilnehmern einzeln vorgetragen und von diesen beantwortet wurden:

- Was ist die Motivation der Gemeinde am Modellprojekt teilzunehmen?
- Welche (Niederschlags-)Ereignisse der Vergangenheit haben dabei eine Rolle gespielt? An welche Ereignisse können Sie sich erinnern?
- Welche Schadensbilder haben sich bei diesen Ereignissen gezeigt (Anzahl Gebäude, beschädigte Infrastruktur, Aufräumarbeiten, psych. Schäden)?
- Welchen Aufwand betreibt die Gemeinden für Schutz und Schadensvermeidung und welchen Aufwand (Zeit, Geld) haben sie mit der Beseitigung von Schäden und Unterstützung Betroffener?
- Wird sich nach Ihrer Ansicht die Situation bei Starkregenereignissen, Überflutungen und Schäden in den kommenden Jahren verschlechtern, gleichbleiben oder verbessern und warum?
- Wie arbeiten sie bereits heute bei der Gewässerbewirtschaftung mit Nachbargemeinden zusammen? (Beziehung zu Ober-/Unterliegern, Koordination Pflege und Bau, ...)
- Welche Ansätze aus dem Warnsystem dürften Ihrer Meinung nach funktionieren und was müsste beim Warnsystem verbessert werden?
- Wie kann man zukünftig die Bürgerschaft in Ihrer Gemeinde laufend über das Warnsystem informieren bzw. für die Warnungen sensibilisieren?
- Welche Informationen brauchen die Bürgerinnen und Bürger, um aus den Warnungen die richtigen Handlungen abzuleiten oder darauf vorbereitet zu sein?

- Warum würden Sie Kolleginnen und Kollegen aus anderen Gemeinden das System empfehlen oder davon abraten?

Ergebnisse

Es wurden drei Interviews geführt, die wie folgt gekennzeichnet wurden:

Interviewpartner:in 1 (IP1): Bauamtsleiter:in

Interviewpartner:in 2 (IP2): Bauamtsleiter:in

Interviewpartner:in 3 (IP3): Bürgermeister:in

Alle drei Interviewpartnerinnen/Interviewpartner verfügen über langjährige Erfahrungen im Amt und haben dadurch auch Kenntnis von historischen Hochwasser- und Starkregenereignissen im kommunalen Gebiet.

Motivation zum Projekt und dominante Schadenslagen

Sowohl die Motivation zum Projekt als auch die Vorbedingungen in den einzelnen Kommunen waren sehr unterschiedlich. Die Hochwassersituation im Ahrtal hat einen Beitrag geleistet: „da sind alle politischen Vertreter wach geworden“ (IP1). Dabei lagen in einzelnen Gemeinden schon Vorarbeiten vor, wie Vorerkenntnisse aus einer kommunalen Vorstudie wozu eine hydraulische Überrechnung der Bachläufe durchgeführt wurde. Die systematische Analyse der Bedarfe lieferte Ergebnisse und Erkenntnisse, die in das e-Risikomanagementprojekt eingeflossen sind (IP1).

Gemeinsam ist allen drei befragten Gemeinden, dass Überflutungen aus Hochwasser in der näheren Vergangenheit keine große Rolle gespielt haben. In den vergangenen Jahren gab es immer wieder kleinere Überschwemmungen an Gewässern oder durch Starkregen, aber hauptsächlich waren Vereinsheime und Verkehrswege betroffen (IP1). „... Überflutung, vielleicht noch weniger das Thema, weil wir schon bei uns größtenteils im Gemeindegebiet viele Retentionsflächen haben, aber diese Starkregenereignisse haben die Problematik, dass die gezielt auftreten mit relativ starken Wassermengen, und da ist für uns die Frage gewesen, was kann man da in der Prophylaxe betreiben ...“ (IP2). Im Gegensatz dazu wird gesehen, „dass wir bei uns in den letzten Jahren schon immer mal das Thema Starkregenereignisse hatten“ (IP2). Die letzten zwei Jahre hintereinander traten Schadenslagen insbesondere bei Privatpersonen durch Starkregenereignisse auf. Hierbei drang Oberflächenwasser aus einem Waldgebiet bzw. landwirtschaftlichen Flächen in einen Ortsteil ein und überflutete Keller und Nebengebäude (IP2). „... also in der Regel betraf es den

öffentlichen Raum, sprich die Straßen, Gehwege, und es waren dann Aufwendungen, die wir hatten mit unserem Bauhof, indem wir da wieder die Schäden beseitigen mussten. Das waren aber dann eher so Aufräumarbeiten, und wir hatten vor einigen Jahren, ist es aber schon her, in einem Dorfgemeinschaftshaus dann einen Wassereintritt“ (IP3).

Die Frage „wie werden die Bürger gewarnt? Wie wird die Feuerwehr gewarnt“ (IP2) war dabei auch eine Motivation, um auf unkalkulierbare Starkregenereignisse besser reagieren zu können. „von daher haben wir da schon Interesse dran gehabt, dass es für uns und letztendlich auch für den Landkreis da eine Möglichkeit geschaffen worden ist, da irgendwo schon mal über so ein Warnsystem da entsprechend dagegen zu steuern“ (IP2).

Bürgerinnen/Bürger und Eigenverantwortung

Die Eigenverantwortung der Bürgerinnen und Bürger wird von allen Befragten als ein zentrales Element gesehen. Als Negativbeispiel bei Bau und Planung wird hier ein Schadensfall (IP1) in den vergangenen Jahren beim Neubau eines privaten Wohnhauses genannt, wobei durch den Bau eine Sperrwirkung bei einem Grabensystem und damit bei Starkregen konzentrierte Oberflächenabflüsse über das Grundstück und durch das Haus ihren Weg suchten. Verantwortung wird aber auch von Grundstückseigentümerinnen und Eigentümern bei der Pflege und Instandhaltung von Gräben und anderen Landschaftsstrukturen erwartet (IP2). „grundsätzlich ist es so, dass ja jeder Eigentümer verpflichtet ist, sein Eigentum erstmal selbst zu schützen“ (IP3).

Weitere abgeschlossene oder laufende Maßnahmen

Bei Starkregen und verbleibenden Restrisiken bei Hochwasser setzen alle Kommunen auf Erfahrungswerte, die daraus resultierende Sperrung von Straßen und Unterführungen sowie punktuelle Schutzmaßnahmen durch Anwohner und Unterstützung durch die Feuerwehr. Bei Hochwassergefahren sehen sich alle befragten Kommunen durch aus gut gewappnet und haben ein hohes Maß an Vertrauen in den etablierten Hochwasserschutz. Historisch gibt es viele Rückhaltungen, Becken und Schächte, die dazu führen, dass es vor allem keine Hochwasserprobleme gibt (IP2)

Baulicher Schutz wird durch laufende Maßnahmen des Unterhalts ergänzt: „da koffern wir natürlich immer immer das das Bachbett aus, da wo es im innerhalb der Lage und da haben wir lange Erfahrungswerte“ (IP3).

Aber auch im Bereich Starkregen gibt es bereits erste strukturierte Ansätze und Planungen auf deren Grundlage in den kommenden Jahren Maßnahmen ergriffen werden sollen, wie Retentionsbecken, Umbau bzw. Ausbau des Kanalsystems bei hydraulischen Problemen (IP1). „All diese Dinge sind daraus [Anm.: Planungen] noch mal auch deutlich geworden, und das hat natürlich

dann Auswirkungen jetzt für die Folgejahre, wo wir natürlich auch noch Maßnahmen umsetzen,, (IP1). Auch eine weitere Kommune hat seit drei Jahren ein Ingenieurbüro beauftragt, Maßnahmen zu planen und sukzessive kleinere Maßnahmen zu realisieren. Hierfür wurde im Haushalt auch Geld eingestellt: „das läuft seit 3 Jahren, wir haben das Budget bei uns im Haushalt, bei dem wir uns jedes Jahr dann bedienen können, sodass wir einzelne kleinere Maßnahmen sowieso schon erledigt haben und abgestimmt haben“ (IP2).

Maßnahmen in Bezug auf den Starkregenschutz sind Anpassungen an Verrohrungen (z.B. Gitter), um Verklausungen zu verhindern (IP2) oder die sukzessive Räumung und Instandsetzung von Gräben, auch bei Privatpersonen (IP2).

Neben baulichen Maßnahmen und Unterhalt von Infrastrukturen ist aber auch die Rückhaltung von Wasser in der Fläche für die Kommunen ein bedeutender Baustein: „weil idealerweise sollte man das das Wasser dort fangen, wo es halt anfällt. Ja, und das ist halt manchmal gar nicht so einfach“ (IP2).

„Deswegen, unser Credo ist immer dort, wo das Wasser anfällt, das Schadensereignis möglichst abzufangen, beziehungsweise hatten wir das, könnte ich mal als Ergänzung sagen, auch zahlreiche Gespräche mit den Landwirten, die dann auch größtenteils dann auch die Bereitschaft hatten, dann entsprechende Grünstreifen dann, von 5 Metern beispielsweise, stehen zu lassen. Das hat schon gewirkt ...mit der Landwirtschaft entsprechende Bereiche anzulegen, Pufferbereiche beziehungsweise die die, die Beackerung der Flächen vielleicht noch mal neu zu betrachten, ob sie vertikal oder in der horizontalen eben die Fläche beackern“ (IP2).

Auch bei diesem Ansatz werden konsequent Maßnahmen, wie Flurbereinigungen (IP2) und die Zusammenarbeit mit Beratungsstellen der Landwirtschaft als dominantem Flächennutzer gesucht: „Schnittstelle Boden, wir haben so eine Beratung durch ein landwirtschaftliches Institut, was insbesondere für unsere Wasserschutzgebiete gilt, aber wo natürlich auch allgemeine Empfehlungen ausgesprochen werden in Sachen, wie soll Ackerbau betrieben werden, damit keine, damit die Starkregenereignisse nicht zu Schäden innerhalb der Ortslage führen, sondern der Regen, das Wasser möglichst außerhalb der Ortslage schon irgendwie aufgenommen und weggeführt werden“ (IP3).

Interkommunale Zusammenarbeit und Synergien

Als Projekt auf Ebene eines Landkreises hatte das Projekt aus Sicht der Gemeinden einen interkommunalen Charakter. Der Vorteil einer interkommunalen Zusammenarbeit wurde dabei in der gemeinsamen Nutzung und dem Datenaustausch über die Dashboards mit Nachbargemeinden

gesehen, um Daten zusammen mit Gemeinden im Unter- und Oberlauf zu nutzen (IP1). Die Zusammenarbeit hat dabei auf Ebene einzelner Einzugsgebiete eine Historie, wie im Wasserverband Haune (IP3). Aber auch auf Basis der aktuellen Starkregenkarten wurden Aktivitäten ausgelöst, wie die Intention zu einer gemeindeübergreifenden Flurbereinigung zur Schaffung von Retentionsräumen bzw. Rückhaltebecken (IP1).

Mehrwert des Systems

Den Mehrwert des Frühwarnsystems sehen die Kommunen für die Bürgerinnen und Bürger (IP1, 2, 3), aber hauptsächlich für die kommunale Verwaltung und Feuerwehren (IP1, 2, 3): „... dass die Feuerwehr und Bauhof auch weiß, wenn sowas mal angekündigt ist, ja. Also ich sag jetzt mal anhaltende Regenschauer und die wissen, aha, es knallt. Dann sollte es mittlerweile so sein, dass sie auch gewisse Anlagen anfahren, also einfach zu Regenrückhalteschächten fahren, um zu gucken, sind die Gitter voll oder sind sie vom Schwemmgut belegt ...“ (IP2)

Eine Gemeinde setzt den Kanalwächter gezielt nicht ein, da bei Rückstau im Kanal aus ihrer Sicht keine Frühwarnung mehr möglich ist (IP1). Funktionsweise und Wirkung der Regensensoren können von den Kommunen nicht eingeschätzt werden, da hierzu noch keine Erfahrungswerte vorliegen (IP1, 3). Die Erweiterung des Pegelmessnetzes durch die Sensoren des Frühwarnsystems wird durch alle Kommunen positiv bewertet, da mit Pegelsensoren bereits aus der Vergangenheit (positive) Vorerfahrungen aus dem bestehenden Messnetz vorliegen und damit auch eine leichte Interpretierbarkeit erwartet wird.

Warnung und Kommunikation

Von Warnungen aus dem System versprechen sich die Kommunen neben der Information für die Bevölkerung auch Vorwarnungen für die Verwaltung und Feuerwehren „, aber das System ist ja nicht nur was für die Bürger letztendlich. Hier geht es ja auch vor allen Dingen auch um die Rettungsdienste, sprich auch Feuerwehr“ (IP2). Die „Feuerwehr erhalten das System ja auch, und dann denke ich, dass die Feuerwehren entsprechend hier auch agieren ...“. „... und die Verwaltungen ...“ haben die Aufgabe bei entsprechenden Warnstufen die potenziell gefährdeten Bürgerinnen und Bürger zu informieren (IP1). Hier ist zu erkennen, dass vereinzelt auch Prozesse gedacht werden, wie die App und Warnungen im Konzept der Meldekette weitergedacht werden. Gleichzeitig bestehen hier aber auch unterschiedliche Wahrnehmungen: „das sind halt die Zufälle im Leben, aber es passt ja meistens, die Dinge, dann auch sich am Wochenende abspielen, wo sowieso kein Ansprechpartner, dann explizit, vielleicht außer einem Bürgermeister dann, irgendwo zu kriegen ist“ (IP2). Ob dabei die Nutzung der App

flächendeckend funktioniert, gilt es zu beobachten: „aber ich denke mal die Bürger werden das System dann auch installieren. Da werden wir speziell auch darauf hinweisen“ (IP1).

Die Tatsache, dass es mehrere Apps und Kanäle gibt, über die die Warnungen ausgespielt werden, hat sowohl positive wie auch negative Aspekte. Neben der Warn-App im Projekt ist auch bekannt, dass Warnungen über HessenWarn ausgespielt werden (IP1). Es wird hierbei positiv bewertet, dass es mehrere Kanäle und parallel hierzu (für die Verwaltung) auch Email und SMS als Warnkanäle gibt (IP1). „Ich krieg das sowohl über mein Handy, dann als E-Mail oder als SMS angezeigt, wenn was ist. Also, als diese Vorwarnstufen. Also es funktioniert einwandfrei, ja“ (IP2).

Allerdings kann dies ggf. auch verwirrend wirken, welche App gemeint ist, „es gibt nämlich im Moment so viele unterschiedliche Projekte“ (IP3). Unterschiedliche Kanäle zu bespielen und damit sowohl die Bürgerinnen und Bürger mit Warnungen zu erreichen, als auch über die Verfügbarkeit des Warnsystems zu informieren, wird wahrscheinlich eine Daueraufgabe auf unterschiedlichen Ebenen sein: „Was ich tatsächlich jetzt nicht zu 100% sagen kann, ob wir es auch irgendwie auf der Homepage verlinkt haben“ (IP2) bzw. „das muss auf die Homepage und das muss, wir haben noch so einen Dorffunk, so eine App neben der Homepage, und auch da müssten wir das immer wieder mal publik machen, weil das gerät immer wieder in Vergessenheit so was und die und die Vielzahl, das ist ja das witzige, am Anfang hab ich ja gefragt, reden wir jetzt aber über die oder die App, die Vielzahl der Apps macht es nicht einfacher.“ (IP3)

Seitens der Kommunen wird die Warnung als das zentrale Instrument gesehen, um bei Bürgerinnen und Bürgern Aktivitäten auszulösen, „weil die Bürger sind ja jetzt schon betroffen und sehr sensibel in diesem Bereich“ (IP1). „Weil ich sag das mal, diejenigen, die jetzt tatsächlich über alle Jahre wissen, ‚aha, bei uns kann was passieren‘, die haben zum Teil auch so eine gewisse Eigenprophylaxe schon betrieben, indem sie vielleicht ein paar Sandsäcke schon mal vorhalten“ (IP2).

Diese Informiertheit betrifft aber wahrscheinlich eher die klassische Hochwasserlage, dass „die Warnung, dass die Pegelstufen erhöht sind und dass ... da eine Gefahr auf ihre Gebäude oder, oder die Region zukommt“ (IP1), und damit zu entsprechenden Reaktionen führt.

Bezüglich des Mehrwerts der Warnungen und Vorkenntnisse der Bürgerschaft ist hier sicherlich nochmals der Unterschied zwischen Hochwasser und Starkregen zu berücksichtigen: „Dadurch, dass, dass wir, ich habe es eingangs gesagt, ja vielleicht gar nicht so das Thema mit der allgemeinen Hochwasserthematik haben, ist das vielleicht momentan auch für viele Bürger

gar nicht so im Fokus?“ (IP2). „Das ist ja allgemein so, dass die die Starkregenereignisse A häufiger werden und B punktuell auftreten, das heißt bei manchem Starkregenereignis. Das betrifft dann plötzlich eine Ortslage, die wir so gar nicht am Schirm hätten, Ja, man muss wirklich die Eigentümer immer mehr sensibilisieren, dass die sich da drauf einstellen und da auch eine gewisse Vorkehrung treffen“ (IP3).

Die „Frühzeitige Warnung der interessierten Bürgerinnen und Bürger“ (IP3) ist dabei nur eine Zielgruppe, die gesehen wird. „Die Beteiligung an diesem Projekt habe ich mir in meine Ortsbeiratssitzungen genommen und habe jeden Ortsbeirat informiert, motiviert, dass sie sich die App runtergeladen ... und auch noch mal sensibilisiert, dass jeder erstmal selbstverantwortlich ist dafür“ (IP3). So werden Ortsbeiräte, kommunale Ausschüsse (Bauausschuss, IP2) als Multiplikatoren betrachtet. Ergebnisse werden kommuniziert „bei den Ortsvorstehern, beziehungsweise auch in Abstimmung mit unserem Bauhof, wo wir die am ehesten anbringen, um entsprechende Resultate dann auch zu bekommen“ (IP2).

Die „Frühzeitige Warnung der interessierten Bürgerinnen und Bürger“ (IP3) stößt dabei auf die Einschränkung, „dass er entsprechend Internet hat“ (IP2). Zu berücksichtigen ist auch, ob die Gruppe „der interessierten Bürgerinnen und Bürger“ (IP3) auch eine Schnittmenge mit den Bürgerinnen und Bürgern aufweist, für die die Warnungen wichtig wären. Die App bietet dabei „eine überschaubare Anzahl von Informationen“ (IP3). Überschaubar ist hier im Kontext als übersichtlich zu interpretieren und die App wird als leicht zugänglich und die Warnungen als verständlich gesehen.

Empfehlungen und Vorschläge zum System

Alle drei Interviewpartner würden das System auf jeden Fall weiterempfehlen: „um eventuelle Hochwassersituationen frühzeitig zu erkennen und diese Warnstufe zu erhalten, denke ich, kann nur ein Mehrwert sein für eine Kommune, für die Bürger, für die Betroffenen“ (IP1). Dabei werden aber auch die Vorteile der Zusammenarbeit und Koordination über den Landkreis gesehen, „weil es A funktioniert und auch die Zusammenarbeit im Landkreis relativ geräuschlos gelaufen ist“ (IP2). Es werden aber die Bedarfe gesehen, das Thema weiterzuentwickeln. „Also das ist für uns jetzt nicht das Thema, dass wir sagen, Oh, jetzt wo wir Pilotkommune waren und andere Dinge gleich bezahlt bekommen haben, ist das Thema für uns beendet. Also ich glaube schon, dass wir eine Kommune sind, die mit offenen Augen da durchs Leben geht und wir werden das entsprechend dann auch für uns anpassen“ (IP2). Die Wirkung des Systems lässt sich aber aus Sicht der Verwaltung noch nicht abschließend bewerten: „Dafür habe ich noch gar nicht genug Meldungen erhalten“ (IP3).

Zwischenfazit

Die Arbeit der Kommunen ist einerseits geprägt durch die langjährige Erfahrung mit bekannten Brennpunkten. Andererseits ergeben sich durch Veränderungen in Landschaft und Bebauung sowie die Verschärfung von Starkregen hohe lokale und neue Konzentrationen. Daraus entstehen neue temporäre Schwerpunkte.

Die Projektlaufzeit ist dabei viel zu kurz, um zu bewerten, ob Erfahrungswerte zu bestehenden Brennpunkten durch Vorhersagen ergänzt, und damit Reaktionszeiten reduziert werden können, bzw. ob Vorhersagen für die Identifikation neuer Schwerpunkte genutzt werden können. Auch Aussagen über die Dichte des Messnetzes und die Notwendigkeit der Nachjustierung und des weiteren Ausbaus sind noch nicht möglich. Ebenso fehlen Erfahrungen, die Hinweise zu Qualität der Warnung oder Akzeptanz des Systems durch verschiedene Zielgruppen erlauben würden.

Viele dieser Punkte könnten nur auf Basis eines länger laufenden Folgeprojektes aufgegriffen und beantwortet werden. Kurze Projektlaufzeiten sind gerade bei Projekten, die sich auf Ereignisse mit geringen Jährlichkeiten beziehen eine Herausforderung.

Die Bedeutung von Pegeln und die Interpretation von Pegelwerten hat in den befragten Gemeinden eine gewisse Tradition und die Kommunen verfügen hier über Erfahrungswerte aus den bereits bestehenden Pegelmessnetzen. Hinsichtlich der Interpretation von Niederschlagsdaten und deren Interpretation und Umsetzung in konkrete Szenarien scheinen allerdings noch nicht so viele Vorerfahrungen vorzuliegen. Die Interpretation dieser Werte im Zusammenhänge würde aber gerade für kleine Einzugsgebiete noch einmal weitere Zeiten und Vorlauf für eine frühzeitigere Warnung und Alarmierung liefern und die Grundlage für eine Lageplanung darstellen.

Die Planung und Umsetzung von Maßnahmen scheint oftmals noch stark ereignisgetrieben zu sein und erfolgen ex-post. Die Kommunen haben hierbei zwischenzeitlich Erfahrungswerte aus historischen Ereignissen an spezifischen Orten und ergreifen dort und darüber hinaus Maßnahmen, wie Grabenräumung, Anpassungen von Verrohrungen und deren Einlaufbauwerken. Nur eine Kommune hatte dabei auf einen flächenhaften und strukturierten Ansatz verwiesen, der auch die Entwicklung neuer Hotspots und Veränderungen im Niederschlags- und Abflussregime zu berücksichtigen scheint. Auch in der baulichen Vorsorge könnten gezielte Planungsinstrumente helfen, die Schadenspotenziale bei Starkregenereignissen zu reduzieren. Hieraus ergäben sich Handlungsfelder für die Bauleitplanung zur Nutzung von Starkregenkarten zur Berücksichtigung von Landschaftsstrukturen bei der Flächenplanung sowie als

Informationsgrundlagen für Bauherren und Objektplanerinnen und Planer als Planungsgrundlagen für Neubau und Sanierung.

Die Vielzahl an Apps und Kommunikationspfaden ist gut und wird positiv bewertet. Gleichzeitig war es aber auch für einige Ansprechpartner verwirrend, da es aktuell eine Vielzahl an Systemen, Apps und Projekten gibt. Wichtig scheint es daher, dass die Vielzahl der Warn- und Informationswege erhalten bleibt und dementsprechend Schnittstellen zu Systemen, wie Homepage, kommunalem Newsletter und Apps sowie übergeordneten Systemen, wie HessenWarn, verfügbar sind und genutzt werden. Aber nicht nur aus Perspektive der Bürgerinnen und Bürger, sondern auch der Verwaltung, scheint es notwendig, die Kommunikation zu unterschiedlichen Themen auf eine übersichtliche Anzahl von Anwendungen zu reduzieren und system- und anwendungsübergreifend Hürden für die Usability und User Experience abzubauen.

Ausblick

Eine längere Projektlaufzeit oder ein Folgeprojekt könnten hilfreich sein, um zahlreiche hier entstandene Fragen klären zu können. Eine längere Betriebszeit wäre auf jeden Fall notwendig, um Erfahrungen mit dem Monitoring zu sammeln, um eine Grundlage die für Analyse der Abläufe, Erfahrungen zur Positionierung der Sensoren und Kalibrierung/Prüfung der Rechenmodelle zu erhalten. Auch können Art und Wirksamkeit der Warnung und Alarmierung nicht ohne entsprechende Ereignisse überprüft werden.

In einer nächsten Stufe würde sich die Entwicklung und der Aufbau von Managementpläne anbieten, um Starkregensimulationen, konkrete Maßnahmen kurz-, mittel- und langfristig zu planen und insbesondere die Aktivitäten unterschiedlicher Akteure im Warn- und Alarmfall aufeinander abzustimmen.

Die Interviews haben gezeigt, dass die Kommunen ihre Aufgaben kennen und auch gut über das Warnsystem informiert sind. Einige Antworten ließen dabei aber die Frage offen, ob es eine standardisierte Herangehensweise oder Best Practice gibt, wie Warnungen auf Ebene einer Kommune optimal umgesetzt werden können und welche Prozesse durch Warnungen auf unterschiedlicher Stufe bzw. in unterschiedlichen Teilgebieten angestoßen werden müssen.

Auch hinsichtlich der Information der Bevölkerung gab es widersprüchliche Stimmen. Insbesondere die Frage nach Vorkenntnissen bzw. Ortskundigkeit sollte nochmal näher betrachtet werden. In Zeiten größerer Mobilität verändert sich auch die Einwohnerstruktur laufend und Kenntnisse über vergangene Ereignisse gehen verloren bzw. geraten in Vergessenheit. Die Informiertheit

der Bewohnerinnen und Bewohner zur Risikosituation am Standort, die Sensibilisierung und Unterstützung bei der Vorbereitung eigener Maßnahmen wären damit relevante Schritte, um die Eigenverantwortung zu stärken bzw. Hilfe zur Selbsthilfe zu gewähren.

Im Sinne der Eigenverantwortung gegenüber der Verantwortung der Behörden und Kommunen ist auch das Thema Planung von Gebäuden bei Neubau und Sanierung zu sehen. Die Berücksichtigung von Hochwasser hat eine lange Tradition in der kommunalen Bauleitplanung. Starkregen und die daraus resultierenden Gefahren sollen perspektivisch eine vergleichbare Aufmerksamkeit in der Bauleit- und Objektplanung erhalten. Gerade die Starkregenkarten könnten hierzu als unverbindliches Instrument genutzt werden, um Bauherrinnen und Bauherren sowie Planerinnen und Planer zu informieren und für die Notwendigkeit eines vorbeugenden Starkregenschutzes für das Objekt zu sensibilisieren.

Ökonomische Bewertung

Aus ökonomischer Perspektive spielen unterschiedliche Aspekte eine Rolle. Neben der klassischen Kosten-Nutzen-Analyse, die die Aufwendungen für das System mit den eingesparten Kosten der Schäden vergleicht, bietet die Kostenvergleichsrechnung einen Einblick in unterschiedliche Szenarien, wie die Beauftragung des Systems durch Gemeinde, Kreis oder sogar Bezirk. Zu berücksichtigen sind dabei neben Synergie- und Skaleneffekten auch Netzwerkeffekte, die gerade bei der Nutzung digitaler Technologien entstehen.

Kostenvergleichsrechnung

In der Kostenvergleichsrechnung sollen die Beauftragung und Aufbau des Systems auf den Ebenen Einzelgemeinde, Verbund von Gemeinden, wie Gewässerzweckverband bzw. Landkreis, sowie Bezirk betrachtet werden. Wesentlicher Aspekt dieser Kostenvergleichsrechnung ist die Betrachtung von Synergien, die durch größere Einheiten entstehen bzw. Skaleneffekte bei größeren Stückzahlen oder Fläche. Differenziert zu betrachten sind die Vergabe von Leistungen im Vergleich zu Eigenleistungen der Gemeinden bzw. übergeordneter öffentlicher Strukturen.

Die Bewertung von Kosten bei der Vergabe von Leistungen bei Beschaffung von Sensoren, Einbau der Sensoren, Betrieb einer Plattform zur Speicherung der Daten und Bereitstellung einer Warnapp stellt sich dabei als schwierig dar. Skaleneffekte bei der Sensorbeschaffung sind bis dato schwer zu belegen. Synergieeffekte bei Einbau und auch Wartung der Sensoren durch Drittfirmen hängen von der Regionalität des Unternehmens und damit der Marktsituation ab. Für den Betrieb einer Daten- und Warnplattform gibt es momentan keine vergleichbare Wettbewerbssituation, so dass eine Marktpreisbildung auch bei einer Vergabe angezweifelt werden kann und Skaleneffekte ggf. vom Good-Will des Anbieters abhängen. Somit werden in Folge Synergie- und Skaleneffekte, die aus der Beauftragung von Dienstleistern entstehen würden, in einer Modellrechnung nicht berücksichtigt.

Aus Sicht der Kostenvergleichsrechnung sind damit die internen Kosten relevant, die auf Verwaltungsseite für Aufbau und Betrieb der Warninfrastruktur entstehen. Diese können gegliedert werden in:

1. Aufwände für die Vergabe von Leistungen
2. Koordination von Dienstleistern
3. Betreuung von Gremien
4. Öffentlichkeitsarbeit

5. Ggf. Koordination von Gemeinden, bei gemeindeübergreifenden Ansätzen

Die folgenden Annahmen lassen einige Aspekte außer Acht, die aber sehr unterschiedlich ausfallen können bzw. zu bewerten sind, und daher hier kurz diskutiert werden. Für die Durchführung eines vergleichbaren Projektes spielen vor allem die Qualifikation des Personals sowie die Verfügbarkeit personeller Ressourcen für die oben beschriebenen Aufgaben eine wesentliche Rolle. Hierbei ist davon auszugehen, dass diese Faktoren mit der Größe der betrachteten Einheit positiv korrelieren. Im Gegensatz dazu nimmt die Nähe der Einrichtung zu den Bürgerinnen und Bürgern mit zunehmender Dezentralität zu bzw. es gibt örtliche Kenntnisse, die der Umsetzung eines Projektes förderlich sind und sich effizienzsteigernd auswirken. Daher müssen diese Punkte für unterschiedliche Teilaufgaben unter dem Gesichtspunkt der Subsidiarität berücksichtigt werden. Die ökonomischen Implikationen können nur qualitativ betrachtet werden bzw. bedürften einer detaillierteren Untersuchung und fließen daher in die vorliegende Kostenvergleichsrechnung nicht mit ein.

Die oben dargestellten Teilaufgaben lassen sich nun wie folgt bewerten.

Ad 1) Gerade die Aufwände für die Vergabe von Leistungen sollte weitestgehend unabhängig vom Auftragsvolumen sein. So kennt das Vergaberecht zwar unterschiedliche Verfahren, die vom zu erwartenden Auftragsvolumen abhängen. Im vorliegenden Fall befinden sich die Volumina aber immer im Bereich öffentlicher bzw. europaweiter Ausschreibungen, so dass auf Ebene von Gemeinde, Landkreis bzw. Bezirk der Vergabeaufwand als weitestgehend unabhängig vom Volumen des Auftrags angesehen werden kann. Dieser Aufwand fällt somit einmalig (Vergabe durch Bezirk), 20-fach (Vergabe durch jeden Landkreis) oder 140-fach an (Einzelvergabe durch jede Gemeinde des Bezirks).

Ad 2) Auch die Aufwände für die Betreuung von Dienstleistern, wie die Überwachung des Leistungsfortschritts, Abrechnung und Koordination von Leistungen, ist damit ähnlich zu sehen, wie die Vergabe der Leistung und sollte weitestgehend unabhängig vom Auftragsvolumen sein. Mehraufwände entstehen eher in der Zusammenarbeit mit den Gebietskörperschaften sowie durch Delegation von Aufgaben, wie z.B. lokale Fortschrittsüberwachung oder Abnahmen vor Ort (siehe hierzu Punkt 5).

Ad 3) Die Betreuung von Gremien wird einen erheblichen Mehraufwand darstellen, wenn Leistungen zentral übernommen werden und Strukturen vor Ort in den Kommunen eine Unterstützung benötigen. Dies wäre aber auch ein Indikator, dass eine Umsetzung eines solchen Vorhabens allein auf Gemeindeebene nicht leistbar wäre.

Ad 4) Ähnlich verhält es sich bei der Öffentlichkeitsarbeit, wobei hier Netzwerkeffekte positiv zu berücksichtigen sind, da eine Information der Öffentlichkeit meist eine gemeindeübergreifende Wirkung erzielt, was für größere Strukturen bei der Umsetzung sprechen würde, und eine Delegation von Teilaufgaben an die Gemeinden.

Ad 5) Wird das Projekt zentralisiert durchgeführt, so erfordert es eine Koordination mit nachgelagerten Kommunen, da Informationen zur lokalen Infrastruktur und Begebenheiten, bauliche Maßnahmen bis ggf. hin zur Qualifikation lokalen Personals berücksichtigt werden müssen.

In der folgenden Modellrechnung werden die stark variierenden Aufwände aufgeschlüsselt für die Umsetzung als Projekt durch (1) einen Bezirk in Zusammenarbeit mit den Kommunen, durch (2) die 20 Landkreise des Bezirks in Zusammenarbeit mit deren Gemeinden oder (3) die 140 Gemeinden eines Bezirks individuell. Hierbei werden die Aufwände des Auftraggebers und ggf. nachgelagerter Kommunen geschätzt. Die Aufwände werden in Personenmonaten (PM) gem. TVL/TVÖD für eine Stelle vergleichbar EU (ca. 7.000 EUR Arbeitgeber-Monatsbrutto) angenommen.

Tabelle 6 Modellrechnung für unterschiedliche drei Umsetzungsvarianten

Position	Bezirk	20 Landkreis	140 Gemeinden
Vergabe von Leistungen	1 x 2 PM x 7.000 EUR =	20 x 2 PM x 7.000 EUR =	140 x 1 PM x 7.000 EUR =
	14.000 EUR	280.000 EUR	980.000 EUR
Koordination von Dienstleistern	1 x 12 PM x 7.000 EUR =	20 x 6 PM x 7.000 EUR =	140 x 2 PM x 7.000 EUR =
	84.000 EUR	840.000 EUR	1.960.000 EUR
Betreuung von Gremien	1 x 6 PM x 7.000 EUR + 20 x 2 PM x 7.000 EUR + 140 x 1 PM x 7.000 EUR =	20 x 2 PM x 7.000 EUR + 140 x 1 PM x 7.000 EUR =	140 x 1 PM x 7.000 EUR =
	1.302.000 EUR	1.260.000 EUR	980.000 EUR
Koordination der Öffentlichkeitsarbeit	1 x 0,5 PM x 7.000 EUR + 20 x 0,3 PM x 7.000 EUR + 140 x 0,1 PM x 7.000 EUR =	20 x 0,3 PM x 7.000 EUR + 140 x 0,1 PM x 7.000 EUR =	140 x 0,1 PM x 7.000 EUR =

	143.500 EUR	140.000 EUR	98.000 EUR
Koordination der Kommunen	1 x 3 PM x 7.000 EUR = 21.000 EUR	20 x 1 PM x 7.000 EUR = 140.000 EUR	
Gesamt	1,5 Mio EUR	2,6 Mio EUR	4,0 Mio EUR

Die Modellrechnung (vgl. Tabelle 6) gibt einen Anhalt, dass Skaleneffekte auf Seite des Staates aus ökonomischer Sicht nicht vernachlässigt werden dürfen und für eine Umsetzung auf einer möglichst hohen Ebene der Verwaltungsgliederung sprechen. In der Modellrechnung sind Skaleneffekte des Lösungsanbieters, z. B. durch verringerte Vertriebskosten, geringere Stückkosten bei Sensoren durch höhere Stückzahlen oder Synergien bei Installationskosten und Fahrtaufwänden noch nicht mit einbezogen. Diese würden aber ebenfalls für eine möglichst flächendeckende Lösung auf übergeordneter Ebene sprechen.

Neben Synergie- und Skaleneffekten sind auch Netzwerkeffekte zu berücksichtigen. Auf Ebene von Gewässereinzugsgebieten, die in der Regel gemeindeübergreifend und oft auch landkreisübergreifend sind, ist die flächendeckende Ausstattung mit Sensorik bei Ober- und Unterliegern für die Funktionstüchtigkeit des Systems und Warnqualität entscheidend, was im Sinne des Datenaustauschs zwischen den Gemeinden als positiver Netzwerkeffekt zu werten ist. Weitere positive Netzwerkeffekte durch eine Umsetzung auf Landkreis- oder Bezirksebene entstehen in der Öffentlichkeitsarbeit vor Ort und deren Wirkung über die Grenzen einer Gemeinde oder eines Landkreises hinaus, was die Information und Sensibilisierung der Bevölkerung verbessert.

Subsidiarität bedeutet hier, dass Aufgaben, die besser vor Ort durchgeführt werden, auch vor Ort erfolgen z. B. Betreuung der Gremien, Zuarbeit in der Öffentlichkeitsarbeit oder Betreuung von Dienstleistern vor Ort. Andere Aufgaben sollten soweit wie möglich zentralisiert werden, da eine gewässerübergreifende und zentrale Koordination erforderlich ist.

Kosten-Nutzen-Analyse

Im Zeitraum des Projektes gab es keine Gefahrenlagen aus denen auch relevante Schäden hervorgegangen wären. Auch vermiedene Schäden konnten damit nicht bewertet werden. Bei einem Ereignis am 16. auf den 17. August 2023 wurden in einzelnen Einzugsgebieten die Warnstufen S1 und teilweise S2 erreicht. Schäden sind keine bekannt.

Eine Nutzenbewertung kann daher nur über generische Schäden bzw. deren Vermeidung erfolgen. Schäden aus Starkregen lassen sich hierzu zum Beispiel in drei Kategorien einteilen:

D1: Schäden an Außenanlagen, wie Wegen, Einfahrten und in Gärten sowie Kosten aus der Beseitigung von angeschwemmtem Material auf Straßen, Gehwegen und auf Freiflächen sowohl auf öffentlichen Flächen als auch Privatgrundstücken (i. d. R. Wohnhäuser und kleinere Gewerbeeinheiten)

D2: Schäden an Bauwerken und Inventar durch Einströmen von Wasser über Türen, Fenster und Rückstau aus der Kanalisation in Kellerräume

D3: Neben dem Kellergeschoß sind auch hochwertiger ausgestattete Wohnräume im Erdgeschoß von Gebäuden betroffen, hierbei auch entsprechendes Inventar und Bodenbeläge.

Es werden folgende Annahmen getroffen:

	Schadensart und Umfang als Wiederherstellungskosten	Schaden pro Flurstück/Haushalt
D1	Beseitigung von Schäden im Außenbereich durch Instandsetzung von Gehwegen, Straßen und anderen Verkehrsflächen sowie Beseitigung von angeschwemmtem Material	500 EUR
D2	Schäden durch Überflutung an der Bausubstanz im Kellerbereich (100 m ²) bei Nutzung als Lagerraum/Abstellfläche und geringem Ausbaugrad, hierbei Beseitigung oder Reinigung geringfügiger Wirtschaftsgüter, Entfernung von Verschmutzungen	10.000 EUR
D3	Schäden durch Überflutung an der Bausubstanz im Kellerbereich (120 m ²) bei höherwertiger Nutzung als Wohnfläche und für Erholung, hierbei Beseitigung oder Reinigung höherwertiger Wirtschaftsgüter, Entfernung von Verschmutzungen und Instandsetzung des Innenausbau	25.000 EUR

Für die wirtschaftliche Betrachtung vergleichen wir nun die Effekte der Warnung auf die Vermeidung von Schäden. Als Orientierung wird hierzu eine Vermeidung von Schäden auf jährlicher, zehnjährlicher und fünfundzwanzigjähriger Basis herangezogen.

Ein 1-jährliches Szenario geht auf kleine und häufig wiederkehrende Ereignisse ein, die aus lokalen pluvialen Ereignissen und Wasserablauf aus der Fläche hervorgehen. Es kann herangezogen werden, um die jährlichen Betriebs- und Instandhaltungskosten mit dem Nutzen aus der Vermeidung zu vergleichen. Im 1-jährlichen Szenario ist davon auszugehen, dass im Durchschnitt einer Gemeinde im Landkreis 2-3 Schäden der Kategorie D1 vermieden oder abgemildert werden können. Je Gemeinde wird ein Schaden D2 sowie ein halber Schaden D3 vermieden.

Im 10-jährlichen Szenario wird auf die Bedeutung seltenerer Ereignisse eingegangen, bei denen ein selteneres Ereignis mit einer höheren Intensität einhergeht. Gerade bei steigenden Niederschlagskonzentrationen durch den Klimawandel in Verbindung mit einer Überlastung der Kanalsysteme wird es vermehrt zu Rückstau im Kanalsystem oder oberflächlichem Abfluss über das Straßensystem und damit Schäden an Infrastruktur und Gebäuden kommen. Für eine Gemeinde werden daher 10 vermiedene Schäden der Kategorie D1, 5 Schäden der Kategorie D2 sowie 2 Schäden der Kategorie D3 angenommen.

Das 25-jährliche Szenario orientiert sich an der Bemessungsgrenze für Kanalhaltungen und deren Auslegung für ein 20-50-jährliches Regenereignis. Neben der Überlastung der Kanalisation kommen auch Oberflächenabflüsse aus der Fläche hinzu. Hierbei werden 20 vermiedene Schäden aus D1, 10 aus D2 und 4 aus D4 angenommen.

	Vermeidungspotenzial pro Gemeinde	Vermeidungspotenzial im Landkreis mit 23 Gemeinden
1-jährlich	D1: 2x500 EUR= 1.000 EUR D2: 1x10.000 EUR= 10.000 EUR D3: 0,5x25.000 EUR= 12.500 EUR Gesamt: 23.000 EUR	529.000 EUR
10-jährlich	D1: 10x500 EUR= 5.000 EUR D2: 5x10.000 EUR= 50.000 EUR D3: 2x25.000 EUR= 75.000 EUR Gesamt: 130.000 EUR	2.990.000 EUR
25-jährlich	D1: 20x500 EUR= 10.000 EUR D2: 10x10.000 EUR= 100.000 EUR D3: 4x25.000 EUR=100.000 EUR Gesamt: 210.000 EUR	4.830.000 EUR

Die Annahme der vermiedenen Schäden hängt von zahlreichen Faktoren ab. Neben der Veränderung des Niederschlagsgeschehens und der damit einhergehenden Überlastung der Infrastruktur, sind dies die Wirkung des Warnsystems und die Sensibilisierung der Bevölkerung, um vorbeugende Maßnahmen oder Adhoc-Maßnahmen im Ereignisfall auf Basis von Warnungen zu initiieren.

Die Betrachtung der drei Schadensszenarien zeigt, dass die Kosten eines Systems sowohl in Betrieb (1-jährliches Szenario) als auch Ersteinrichtung (10- und 25-jährliches Szenario) schnell durch vermiedene Schäden kompensiert werden.

Open- versus Closed-Source, Cloud- versus On-Premise-Anwendungen

In den vergangenen Jahren hat eine Diskussion stattgefunden, inwiefern die öffentliche Hand im IT-Bereich auf Open-Source-Lösungen zurückgreifen soll. Hierbei wurden Aspekte abgewogen, wie Kostenersparnis bei Lizenzen, Möglichkeit der Weiterentwicklung einer Lösung, sollte der Lösungsanbieter ausfallen, Transparenz bei Open-Source hinsichtlich Sicherheit, Datenschutz und Berechnungsverfahren durch Einblick in Code und Algorithmen.

Aktuell kommt bei plattformbasierten Lösungen die Diskussion des Betriebs von Software in der Cloud versus die Installation auf eigener Hardware (On-Premise) hinzu. Für Cloud-Lösungen sprechen dabei insbesondere die Skalierbarkeit der Rechenleistung, günstige Betriebskosten sowie hohe Sicherheitsstandards der Hardware- und Softwareinfrastruktur. Schutz personenbezogener Daten sowie die zusätzliche Abhängigkeit, neben der Software-Lösung, nun auch bei Infrastruktur von privaten Anbietern sind dabei wesentliche Kritikpunkte.

Im Fall eines Sensornetzes und einer Warninfrastruktur gilt es unterschiedliche Aspekte abzuwägen. Eine breit ausgerollte und verfügbare Lösung, wie das integrierte System des Projektes „eRisikomanagement-Starkregenfrühalarmsystem“, stellt einen Lösungsanbieter und Infrastrukturbetreiber vor einige Herausforderungen. Sowohl Software als auch Hardware müssen stark skalieren, um im Fall einer großflächigen Gefährdungslage Rechenleistung und Bandbreite zur Verfügung zu stellen. In dieser Situation müssen sowohl Warnungen an Geräte ausgegeben werden als auch Nutzerinnen und Nutzer der öffentlichen Verwaltung, Hilfsdienste und Bevölkerung auf das System zugreifen können, um detaillierte Informationen zu Warnung zu erhalten.

Die Bereitstellung solcher Infrastruktur- und Software-Lösungen kann aktuell durch kleine und mittlere Gemeinde und auch durch die meisten Landkreise und Bezirke nicht geleistet werden. Es handelt sich um einen klassischen Fall einer Cloud-Anwendung. Hinsichtlich des Datenschutzes und Vertraulichkeit ist die Auslagerung der Daten in ein privates Rechenzentrum nicht als sehr kritisch zu sehen, da nur bedingt personenbezogene Daten, wie z. B. IP-Adressen von zugreifenden Anwendern, gespeichert werden. Kritischer zu sehen ist der Closed-Source-Charakter der Anwendung sowie die Position als Plattform-Lösung. Eine Regelung, die die Daten des Sensornetzes im Eigentum des Lösungsanbieters belässt, stärkt die Position einer Plattform und verschafft dieser ggf. ein Datenmonopol. Dieses in Verbindung mit dem

technischen Wissen über das Sensornetzwerk, Algorithmen und internen Prozesse der Applikation etabliert eine unausgewogene Marktsituation und befördert monopolistische Strukturen. Gleichzeitig droht ein Ausfall der Sensor- und Warninfrastruktur bei einem wirtschaftlichen Ausfall des Unternehmens oder bei Scheitern von Vertragsverlängerungen.

Zwischenfazit

Der Staat braucht skalierbare Lösungen (State-Cloud) um hoheitliche Aufgaben im Katastrophenschutz mit digitalen Mitteln bewältigen zu können. Es handelt sich um eine hoheitliche Aufgabe, die in Bezug auf Kosten, Synergien und Kompetenzen nur auf Ebene der Länder oder sogar des Bundes gelöst werden kann und im Zug der Subsidiarität den kommunalen Strukturen zur Verfügung gestellt werden sollten, da die meisten Kommunen mit den Herausforderungen der IT-Infrastruktur überfordert wären.

Closed-Source ist ein etabliertes und legitimes Geschäftsmodell von Lösungsanbietern. Um das Risiko des Ausfalls von Systemen zu vermeiden, sollte es aber nur unter zwei Voraussetzungen zum Einsatz kommen: (1) Bereitstellung des Quellcodes, um, z. B. im Falle einer Insolvenz oder anderen Ausfall des Lösungsanbieters, einen weiteren Betrieb des Systems gewährleisten zu können, (2) sowie Nutzung definierter Schnittstellen bzw. Offenlegung von Schnittstellen sowohl auf generischer Ebenen (z. B. Kommunikations- und Datenaustauschstandards) aber auch hinsichtlich spezifischer Daten (Inhalte und Struktur von Nachrichten und Datensätzen), um die Interoperabilität zwischen Lösungen zu gewährleisten.

Schlussfolgerungen & Ausblick

Ziel der Studie war es, das Vorhaben eRisikomanagement wissenschaftlich zu begleiten und hinsichtlich des Ablaufes, der Prozesse sowie ökonomischer und technischer Aspekte zu betrachten.

Bedarf für Sensoren, Planung und Warnung

Durch die hohe Mobilität in der Bevölkerung und Umzüge in fremde Regionen geht historisches Wissen über Überschwemmungsgefahren verloren bzw. ist bei Neubürgerinnen und Neubürgern nicht vorhanden. Klimawandel, Siedlungsentwicklung und Intensivlandwirtschaft zusammen schaffen neue Abflusspfade in der Landschaft und verändern das Abflussregime. Es ist daher wichtig die Bevölkerung zu sensibilisieren und informieren, dass Überflutungsgefahren auch jenseits der großen Flüsse drohen.

Starkregenhinweiskarten und ein verdichtetes Sensornetz sind daher eine sinnvolle Kombination, um Sensibilisierung, Information und Planungen zu forcieren, die diesen Entwicklungen entgegenwirken oder zumindest die Bevölkerung über Risiken informieren und damit die Grundlage für individuelle Vorsorge schaffen. Auch die Verbesserung der Reaktionszeiten durch Informationen aus Sensoren und Sensornetzen in vormals unübersichtlichen Einsatzlagen birgt ökonomische Vorteile.

Aus ökonomischer Sicht stellt sich das Konzept als wirtschaftlich dar, wenn die Einbindung in die Verwaltung, Hilfskräfte und Bevölkerung gelingt und dadurch Schäden vermieden werden können.

Kooperation in den Einzugsgebieten

Bei der Entwicklung der Maßnahmen ist es dabei relevant, dass sich politische Entscheidungsträger und Verwaltung neben der Verantwortung für die eigenen Bürgerinnen und Bürger auch der Verantwortung im Einzugsgebiet eines Gewässers bewusst sind. Je mehr Daten gerade aus den Oberläufen von Einzugsgebieten vorliegen, umso früher und meist auch präziser können Vorhersagen und Warnung genutzt werden, um Schadenslagen vorzubeugen oder Schäden schnell und effizient zu beseitigen.

Alleine hieraus resultiert bereits das Erfordernis für gemeindeübergreifende Kooperationen und Konzepte. Gleichzeitig wirken Informationssysteme am besten, wenn es gelingt die Kosten für deren Entwicklung und Einführung

möglichst breit zu verteilen. Software, im Gegensatz zu anderen Gütern, kann einmal entwickelt und vielfach genutzt werden. Auch Kosten der Systemeinführung können eingespart werden, wenn Informationssysteme gleich großflächiger eingeführt werden. Es bietet sich daher die Delegation der Einführung solcher Systeme an übergeordnete Einheit an.

Messnetze, Simulationen und Warnsysteme waren aus Kostengründen bis dato nur an größeren Gewässern denkbar. Immer günstiger werdende Sensoren und die Möglichkeiten vernetzter Systeme und Online-Plattformen erlauben nun auch die Übertragung dieser Technologien auf kleinere Gewässer. Aus Sicht der Wirtschaftlichkeit sind aber besonders die Kosten für die Planung und Einführung des Systems sowie Betrieb und Aktualisierung zu betrachten. Neben wasserwirtschaftlichem Wissen ist dabei auch bis zu einem gewissen Grad informatisches Knowhow erforderlich, das gerade von kleineren Gemeinden und Städten nicht vorgehalten werden kann. Aus Sicht einer Wirtschaftlichkeitsrechnung sind die Kosten für Hardware und Software schnell für kleinere Einzugsgebiete und Siedlungen zu rechtfertigen, für die sich ein Überschwemmungsrisiko abzeichnet. Auch bei kleinen Ereignissen übersteigen die Schäden schnell die Kosten für das System. Einführungs- und Betriebskosten müssen allerdings großflächig umgelegt werden, so dass nur große Städte, Kommunalverbände oder Landkreise in der Lage sein werden ein solches System wirtschaftlich unterhalten zu können.

Aus dem Verbund lässt sich damit nicht nur Synergien ziehen und eine Verteilung von projektfixen Kosten erreichen. Ein Landkreis oder Bezirks übergreifendes Vorhaben bietet auch weitergehende Netzwerkeffekte in Bezug auf die Verfügbarkeit hydrologischer Daten, aber auch in der Information und Sensibilisierung der Bevölkerung, die gemeindeübergreifende Wirkung erzielt.

Subsidiaritätsprinzip im Bereich Hochwasser- und Starkregenrisikomanagement und IT-Lösungen

Die Beteiligung aller Gemeinden zeigt, dass auf interkommunaler Ebene Solidarität herrscht. Nicht alle Kommunen profitieren unmittelbar und gleich von der Wirkung des Warnsystems, sind aber bereits sich in ein übergreifendes Konzept einzubringen.

Im Sinne der Subsidiarität ist es notwendig unterschiedliche Teilaufgaben bei vergleichbaren Projekten gesondert zu betrachten. Obwohl die Verantwortung für die Bewirtschaftung kleiner Gewässer sowie die Handhabung von Oberflächenabflüssen in vielen Bundesländern eine gemeindliche Aufgabe darstellen, können hydrologische Herausforderungen nur auf Einzugsgebietsebene betrachtet werden. Da diese in der Regel

gemeindeübergreifend sind, ergibt sich das Erfordernis des Aufbaus hydrologischer Messnetze auf einer übergeordneten Verwaltungsebene.

Durch Entwicklung digitaler Technologien, wie Plattformen und cloudbasierten Lösungen ergeben sich aber auch in Aufbau und Betrieb von Sensoren übergeordneten IT-Strukturen Argumente für eine zentrale Befassung. Die hohen Kosten für die Entwicklung und Einführung eines Systems lassen sich am besten durch die Verteilung auf zahlreiche zahlende Anwender bewältigen bzw. eine möglichst große Flächendeckung. Dies spricht für Landkreis-, Bezirks- oder Landesprojekte zum Aufbau von IT-Strukturen.

Die Nähe der Kommunen zu den Bürgerinnen und Bürgern und damit die Risikokommunikation, als eine wichtige Teilaufgabe eines Risikomanagement-Projektes, erfordert eine möglichst dezentrale Handhabung. Dies wäre damit ein Kernthema auf gemeindlicher Ebene.

Kommunikation, Warnungen und Warnmüdigkeit

Der ökonomische Erfolg des Systems hängt von der Wirkung der Informationen und Warnungen in Bevölkerung und Verwaltung ab. Wichtig am Projekt „eRisikomanagement-Starkregenfrühalarmsystem“ war, dass neben der technischen Einführung des Systems auch bereits die Kommunikationsstrategie mitgedacht und umgesetzt wurde. Neben der Warn-App und der Erstellung von Karten, als wichtige Informationsmaterialien und Informationssystemen zählen hierzu aber insbesondere die vielen Kontaktpunkte, die geschaffen wurden, um die Bürgerinnen und Bürger zu sensibilisieren. Presseartikel, Anbringen von Hinweisschildern, Informationstafeln und Veranstaltung waren dabei wichtige Schritte bei der Einführung des Systems.

Nach Ablauf des Projektes wird es aber notwendig die Nutzung der vorhandenen Informationen in Form von Karten sowie der App zu verstetigen. Wichtige Ankerpunkte hierfür können Folgemaßnahmen sein, die z. B. baulich aus den Starkregengefahrenkarten abgeleitet wurden, private Initiativen zum Selbstschutz vorzustellen sowie gerade bei Starkregenereignissen eine Auswertung von Warnungen, Schäden und Bewertung der Warnqualität vorzunehmen und breit zu veröffentlichen.

Neben Pressemitteilungen und Veröffentlichungen auf Social Media können unterjährig Gemeindeverwaltungen und Feuerwehren als Multiplikatoren vor Ort Sensibilisierungsmaßnahmen durchführen. Gerade in Gebieten mit hohem Risiko, die in den Karten ausgewiesen sind, könnte eine direkte Ansprache betroffener Anwohnerinnen und Anwohner erfolgen. Handreichungen zur Vorstellung möglicher baulicher Schutzmaßnahmen würden vielen potenziell

Betroffenen helfen, eine Vorstellung von den Handlungsmöglichkeiten zu bekommen.

Empfehlung

Das Projekt weist ein hohes Potenzial für die Übertragung auf andere Regionen auf. Sowohl aus hydrologischer, ökonomischer wie auch digitaler Perspektive sollte dabei der gemeindeübergreifende Ansatz auf Ebene Landkreis oder sogar Bezirk weiter ausgebaut werden.

Wichtige Vorarbeiten, die im Projekt geleistet wurden, sind dabei die Vorreiterrolle für eine geschlossene Umsetzung zur Abdeckung eines gesamten Landkreises sowie die Schaffung von Basisinformationen, die auf andere Regionen übertragbar sind. Hierzu zählen insbesondere Unterlagen zur Vergabe sowie Materialien zur Öffentlichkeitsarbeit.

Für einen weiteren Ausbau des Systems empfiehlt sich eine Standardisierung von System- und Datenschnittstellen. Bis dato ist die Anzahl der Anbieter überschaubar. Um zu vermeiden die Abhängigkeit zu einem einzelnen Anbieter zu schaffen, wird es notwendig Aspekte der Interoperabilität zwischen Sensoren und Sensorknoten, Datenhaltung sowie Warnsystem zu regeln.

Perspektiven und Ausblick

Starkregen und Hochwasserereignissen müssen aus der Dynamik in der Fläche heraus betrachtet, werden. Daten werden dabei zu einem wichtigen Gut für Vorhersagen und Planungen. Die Kopplung von kommunalen und staatlichen Messnetzen auf Einzugsgebietsebene ist damit ein notwendiger Schritt, um die Dichte der Sensornetze zu steigern und Informationen zu verdichten. Nur dadurch kann eine Verbesserung der Prognose, Planung, Warnung und Gefahrenabwehr gegen Starkregen und Hochwasser in und an Gewässern erreicht werden.

Mit steigenden Ansprüchen und schnelleren Veränderungen müssen die vielfältigen Interessen und Nutzungsansprüche an der begrenzten Ressource Fläche besser integriert werden. Im Sinne einer Smart City oder Smart Region würde es sich daher anbieten die Ansätze der Schwammstadt und Sensornetze zu kombinieren um daraus naturnahe Konzepte der Siedlungsentwicklung abzuleiten in denen Sensornetze die Informationen für kurz-, mittel- und langfristige Planungen liefern. In ländlichen Regionen muss Denkansatz der Schwammstadt auch auf andere Landnutzungsformen und in die Landschaftsplanung und Landnutzungsplanung übertragen werden.

Neben dem hier betrachteten Risiko von Starkregenereignissen, können diese Konzepte für ein Wasserhaushaltsmanagement herangezogen werden. Die zu erwartenden Entwicklungen bei Hochwasser und Niedrigwasser und der schnelle Wechsel von Exzessniederschlägen und Trockenperioden erfordern neue Denkansätze, um Gewässer und Grundwasser als Ressourcen und davon abhängige Ökosysteme zumindest vor menschlichen Aktivitäten besser zu schützen und gegenläufige Effekte auszugleichen.

Diese hohe Dynamik in den Entwicklungen erfordert aber auch, dass Karten und darauf aufbauende Planungen an diese Veränderungen angepasst werden müssen. Die Digitalisierung und Automatisierung bei der Auswertung von Daten kann zukünftig genutzt werden, um darauf aufbauende Informationen, wie Karten und Pläne, automatisch zu erzeugen und anzupassen. Dies erfordert Anpassungen in Prozessen und Abläufen, um Konzepte des digitalen Zwillings und automatisierte Prozessketten z. B. aus der Industrie auf öffentliche Planungen und Informationssysteme zu übertragen.

Literaturverzeichnis

- Baden-Württemberg.de. „24 Kommunen wappnen sich für Starkregen“, 25. Oktober 2023. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/24-kommunen-wappnen-sich-fuer-starkregen-1>.
- Campuls. „Wie man dem Starkregen begegnen kann: Alternativen zur Kanalerweiterung gesucht“, 16. Februar 2022. <https://campuls.hof-university.de/wissenschaft-forschung/wie-man-dem-starkregen-begegnen-kann-alternativen-zur-kanalerweiterung-untersucht/>.
- „Das Fraunhofer-Reallabor - Echtzeit-Frühwarnsystem für Starkregen-Ereignisse“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://lemgo-digital.de/index.php/de/umwelt-projekte/107-earlyflooding>.
- „F+E-Projekt Visdom RP“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://hochwassermanagement.rlp-umwelt.de/servlet/is/201274/>.
- Farr, Henry Willem. „Forschungsprojekt WAWUR zu Starkregen“. *Virtual City Systems* (blog), 25. August 2022. <https://vc.systems/erkunden/forschungsprojekte/forschungsprojekt-wawur-zu-starkregen/>.
- „Forschungsprojekt: Starkregen“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.olfen.de/de/umwelt-klimaschutz/klimafolgeanpassung/forschungsprojekt-starkregen.html>.
- „Forschungsprojekt Starkregen“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.gdv.de/gdv/themen/klima/forschungsprojekt-starkregen-52866>.
- Guerke, S. „Projekt SiSSi (Simulation von Starkniederschlägen Im Stadtgebiet Siegen)“. S. Guerke. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.bau.uni-siegen.de/fwu/wb/starkregen-siegen/projekt/?lang=de>.
- „KIWaSuS | Hochschule Ruhr West“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.hochschule-ruhr-west.de/kiwasus/>.
- „KLIMPRAX Starkregen“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen>.
- LAWA. „LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement“. LAWa, o. J.
- madameWu. „projekt-i-quadrat.de“, 28. August 2017. <https://www.projekt-i-quadrat.de/>.
- Öffentlichkeitsarbeit, Referat Kommunikation und. „RAINMAN – Integriertes Starkregenrisikomanagement - Wasser - sachsen.de“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.wasser.sachsen.de/rainman-5352.html>.
- „Projekt HiOS (Hinweiskarten Oberflächenabfluss und Sturzflut) - LfU Bayern“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. https://www.lfu.bayern.de/wasser/starkregen_und_sturzfluten/hios/index.htm.

- „Projekt RESI-Extrem II | Universität Stuttgart“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.project.uni-stuttgart.de/resi-extrem/>.
- „RISA Hamburg“. Zugegriffen 23. Dezember 2023. <https://www.risa-hamburg.de/index.html>.
- „Starkregen-Gefahrenkarten“. Zugegriffen 11. Oktober 2023. <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen/starkregen-gefahrenkarten>.
- Stoll, Jonas. „Wie gelingt wirksame Starkregenvorsorge?“ Text. Umweltbundesamt. Umweltbundesamt, 15. Juli 2021. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wie-gelingt-wirksame-starkregenvorsorge>.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konzept des Projektes "eRisikomanagement-Starkregenfrühalarmsystem"	6
Abbildung 2: Kartographische Darstellung der Abflusspfade und überschwemmungsgefährdeter Bereiche (Quelle: Spekter GmbH)	16
Abbildung 3: Konzeptioneller Aufbau des Starkregen-Frühalarmsystems (Quelle: Spekter GmbH).....	16
Abbildung 4: Sensorik im Einzugsgebiet (Quelle: Spekter GmbH).....	17
Abbildung 5: Alarmierung und Warnung unterschiedlicher Zielgruppen (Quelle: Spekter GmbH).....	18
Abbildung 6: Warnstufen der Warnapp (Quelle: Spekter GmbH)	19
Abbildung 7: Online-Karte und System zur Verwaltung des Sensornetz (Quelle: Spekter GmbH).....	21
Abbildung 8: Einbindung der Bürgerschaft z. B. durch Citizen Science (Quelle: Landkreis Fulda).....	21
Abbildung 9: Einteilung der Gemeinden des Landkreises Fulda in Teilprojektregionen sowie Pilotkommunen (Quelle: Landkreis Fulda)	22
Abbildung 10: Pilotkommunen sowie vorhandene und relevante Pegel im Landkreis (Quelle: Landkreis Fulda)	23