

# Frühwarnsysteme für urbane Sturzfluten

Zu den Möglichkeiten und Herausforderungen

Starkregen und Überflutungen führen insbesondere in urbanen Gebieten (in Städten) zu massiven Schäden. Da bauliche und landschaftsplanerische Möglichkeiten, urbane Hochwasserereignisse zu vermeiden oder zu mindern, oft begrenzt sind, können Frühwarnsysteme geeignet sein, um urbane Überflutungen vorher zu sagen. Prognosen zu den Auswirkungen des Klimawandels lassen erwarten, dass extreme Niederschläge in Zukunft verstärkt auftreten werden. Daher ist eine Vorbereitung auf den Umgang mit stärkeren Wetterextremen notwendig.



Insbesondere in urbanen Gebieten sind es nicht nur die übertretenden Flüsse, sondern auch sogenannte pluviale Überflutungsereignisse, die ein großes Schadenspotenzial haben und in extremen Fällen Gefährdung von Menschenleben zur Folge haben. Solche Ereignisse treten auf, wenn Regenereignisse mit starker Intensität lokal eintreffen und die Regenkanalisation überlasten. Wasser staut dann, oft in kurzer Zeit, auf Straßen und Plätzen, und dessen Wassertiefe kann mit der Zeit schnell zunehmen. Neben den hohen Wasserstiefen kann die Fließgeschwindigkeit des Wassers sehr hoch sein. In der jüngeren Vergangenheit gab es auch in Hannover Schäden durch Starkregenereignisse (Abbildung 1). Im Juni 2017 wurde der Hauptbahnhof überflutet und einige Ge-

schäfte waren wochenlang außer Betrieb.

Existierende Infrastrukturen sind meist nicht mit Größen aus Klimaszenarien bemessen, sondern mit statistischen Größen aus der Vergangenheit. Die Entwicklung von zusätzlichen Strategien, diesen Auswirkungen entgegenzuwirken, ist also notwendig. Eine mögliche Strategie ist die Frühwarnung. Werden die Frühwarnungen für einen gezielten Objektschutz und die verbesserte Einsatzplanung von Hilfskräften genutzt, könnten Schäden verringert werden.

Seit einigen Jahren wird auf unterschiedlichen Ebenen die Entwicklung von Hochwasservorhersagesystemen vorangetrieben, die mit möglichst viel Vorwarnzeit vor pluvialen

Hochwassergefahren warnen sollen. Diese Systeme basieren auf Modellketten, die die Entstehung und Bewegung der Regenereignisse und die daran gekoppelten Strömungsprozesse und Wasserstände in der Stadt abbilden. Bei Überschreitung von Schwellenwerten kann eine Warnung entweder an die Bevölkerung oder an Feuerwehren abgegeben werden.

Ein Kernproblem bei der Entwicklung der Modellketten ist die Vorhersagezeit. Das betrifft insbesondere die Vorhersage des Regens selbst. Im Gegensatz zu langen Regenfällen, die zu Flusshochwassern führen können, entstehen gerade die extremen Starkregen oft in sehr dynamischen Wetterlagen und sehr schnell. Pluviale Überflutungen durch plötzliche Gewitter können

Abbildung 1  
Überflutete Straßen nach einem Starkregenereignis in Hannover.  
Fotos: Robert Sämman, mit Erlaubnis

sehr kurzfristig entstehen. Die Vorhersage eines solchen Niederschlagsereignisses hat also eine sehr kurze Vorlaufzeit und ist noch dazu meist sehr unsicher. Doch auch die aus dem Niederschlag entstehende Überflutung lässt sich nicht einfach schnell berechnen. Vereinfachte Ansätze wie zum Beispiel das simple Verteilen des Regenwassers auf der Oberfläche bieten keine gute Näherung. Denn je nach Füllstand der Kanalisation kann Wasser in die Straßenabläufe ein- oder ausfließen. Um die komplexen Fließprozesse abbilden zu können, gibt es hochaufgelöste physikalisch basierte (sehr realistische) Modelle. Diese erreichen jedoch nicht die notwendige kurze Rechenzeit für eine Frühwarnung. Datengetriebene Ersatzmodelle bieten hier eine Möglichkeit zur Rechenzeitverkürzung. Angesichts der Unsicherheit der Vorhersagen stellt sich die Frage, wie man Vorhersagen kontinuierlich, zum Beispiel durch die Einbeziehung von Informationen aus sozialen Medien (Handy-Fotos) verbessern kann.

Es existieren bereits einige operative Systeme zur Frühwarnung. Diese basieren oftmals auf vorab berechneten Überflutungsszenarien für ausgewählte Regenereignisse. Bisherige Frühwarnsysteme operieren häufig mit vereinfachten Ansätzen, die für komplexe Entwässerungssysteme einer Stadt wie Hannover nicht ausreichend sind. An der LUH wurde in einem Forschungskonsortium eine Modellkette entwickelt, die zur Echtzeitvorhersage von pluvialen Sturzfluten in der Stadt geeignet ist.

Startpunkt der Modellkette ist die Kürzestfrist-Regenvorhersage (Nowcasting). Dazu werden Daten des Wetterradars von Hannover zusammen mit Niederschlagsmessgeräten

verwendet. Die Radardaten werden zunächst mit den Bodenmessungen optimal kombiniert. Die Vorhersage erfolgt dann durch Extrapolation beobachteter Niederschlagszellen in die Zukunft. Dies wird bereits von Wetter-

Hochwassermodell verwendet. Dieses Modell nutzt eine Methode des maschinellen Lernens, um die Rechenzeit zu verkürzen und wurde vorab mit zeitaufwändigen physikalisch basierten Überflutungsszenarien antrainiert.

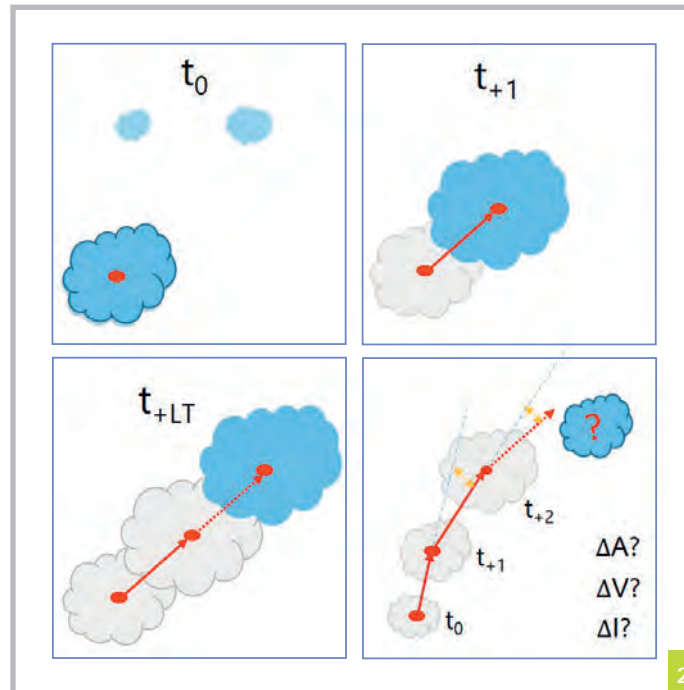


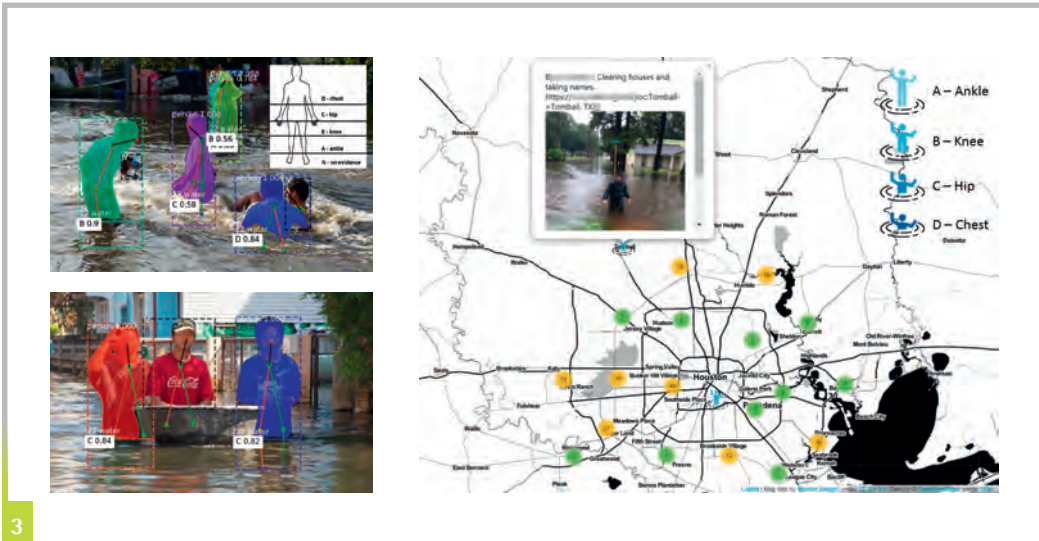
Abbildung 2  
Radar Tracking Verfahren.  
Quelle: Bora Shehu, mit Erlaubnis

Apps als Regenradar angeboten, wobei hier im Forschungsprojekt neue Vorhersageverfahren entwickelt wurden (Abbildung 2). Aufgrund der hohen Dynamik und kurzen Lebenszeit der Gewitterzellen ist der Vorhersagezeitvorsprung gering und auf maximal zwei Stunden beschränkt (deshalb Nowcasting). Der Unsicherheit der Vorhersage wird Rechnung getragen, indem ein ganzes Ensemble von Vorhersagen erstellt wird. Dies erlaubt am Ende der Vorhersagemodellkette Wahrscheinlichkeitsaussagen hinsichtlich des Überschreitens von Schwellenwerten von Wasserständen und damit objektive Entscheidungen hinsichtlich Warnungen für die Bevölkerung.

Die Regenvorhersage wird als Eingabe für ein Echtzeit-

Aus mehreren Stunden Rechenzeit mit dem physikalisch basierten Modell werden damit wenige Sekunden. Dabei wird der Informationsgehalt der Ausgabe auf das Wesentliche reduziert: den maximalen Wasserstand. Somit können Regenereignisse als Eingabe genutzt werden, die nicht vorberechnet waren, und die Rechenzeit ist kurz. Zur Prüfung wurden Bilder und Meldungen aus der Presse oder Einsatzmeldungen der Feuerwehr verwendet.

Wenn Starkregen und Hochwasser auftreten, erscheinen in den sozialen Medien viele Texte und Fotos. Anhand automatischer Interpretation mit Deep Learning können neben der Klassifizierung von Beiträgen als hochwasserrelevant oder nicht, auch Informationen über den Wasserstand



3

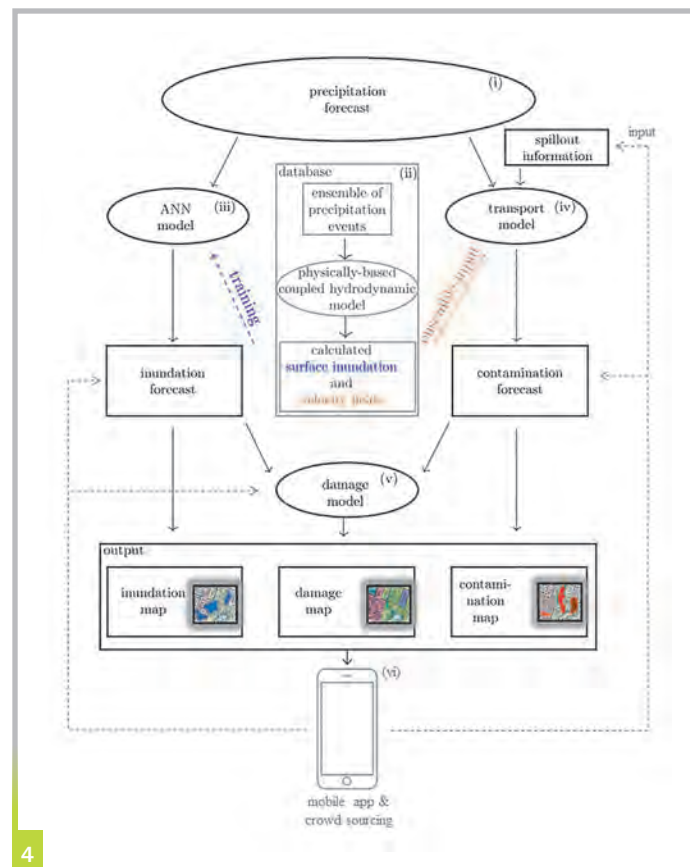
Abbildung 3  
Klassifikationsergebnisse zur Wasserstandsschätzung (links) und ein Überblick über die Hochwasserstärke für Hurrikan Harvey in Houston, USA 2017. Quellen: rechts, Hintergrundkarte: OpenStreetMap; Grafik: ©ebvimages on Flickr unter CC BY-NC-SA 2.0 <https://www.flickr.com/photos/ebvimages/6356700649/in/album-72157628033411293/>

herausgelesen werden. Dafür werden zur weiteren Analyse die hochwasserrelevanten Bilder herangezogen, die Personen zeigen, die im Wasser stehen. Diese Bilder werden anhand des Wasserstands in Bezug auf verschiedene Körperteile –Knöchel, Knie, Hüfte, Brust – klassifiziert

und in vier Wasserstände eingestuft (Abbildung 3). Zusammen mit den Standortangaben der Bilder wird eine Karte der geschätzten Hochwasserstärke erstellt. Dies dient nicht nur als Validierung von Hochwasservorhersagen, sondern erhöht auch die Risikowahrnehmung der Bewohner.

Auf das Echtzeit-Hochwassermodell baut ein Schadensmodell auf, das aus den Überflutungsvorhersagen die resultierenden Schäden ableitet. Das Strömungsmodell ist an ein Grundwassermodell gekoppelt. Des Weiteren wurde ein Transportmodell zur Vorhersage von Transportwegen und -zeiten von Schadstoffen nach einem Schadensfall entwickelt und eingebunden. Diese Modellumgebung wurde an einem Teilgebiet von Hannover erfolgreich getestet (Abbildung 4, Rözer et al., 2021).

Es bleiben Fragen, für die Lösungskonzepte gefunden werden müssen. Eine der wichtigsten ist, wie man mit großen Unsicherheiten der Modellvorhersagen umgeht. Das involviert: Evaluierung der Unsicherheiten, oder Aussagen dazu mit welchen Zusatzinformationen man sie verringern könnte. Wie kommuniziert man unsichere Informationen und welche Handlungsempfehlungen leitet man daraus ab, oder wie kommuniziert man, dass keine Prognose alle Möglichkeiten abdecken kann und daher eine komplette Vorhersehbarkeit nicht möglich ist? Es bleibt ein spannendes Forschungsfeld mit vielen offenen Fragen.



4

Abbildung 4  
Ablaufkette des Überflutungsvorhersagemodells. Quelle: Rözer et al., 2021

Literatur

Rözer V., A. Peche, S. Berkahn, Y. Feng, L. Fuchs, T. Graf, U. Haberlandt, H. Kreibich, R. Sämann, M. Sester, B. Shehu, J. Wahl, I. Neuweiler (2021): Impact-Based Forecasting for Pluvial Floods, Earth's Future 9(2)





**Simon Berkhahn M.Sc.**

Jahrgang 1990, ist seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen. Sein Forschungsschwerpunkt liegt in der Echtzeitvorhersage urbaner Hochwasser. Kontakt: [berkhahn@hydromech.uni-hannover.de](mailto:berkhahn@hydromech.uni-hannover.de)

**Dr.-Ing. Yu Feng**

Jahrgang 1989, ist seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kartographie und Geoinformatik. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Extraktion von Hochwasserbeobachtungen aus Social-Media-Daten und die Identifizierung von hochwasserbezogenen Objekten aus Laserscan-Daten. Kontakt: [yu.feng@ikg.uni-hannover.de](mailto:yu.feng@ikg.uni-hannover.de)

**Prof. Dr.-Ing. Uwe Haberlandt**

Jahrgang 1964, ist Leiter des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Seine Arbeitsschwerpunkte sind Modellierung und Prognosen von Hochwasser, Niedrigwasser und Niederschlag. Kontakt: [haberlandt@iww.uni-hannover.de](mailto:haberlandt@iww.uni-hannover.de)

**Prof. Dr. Insa Neuweiler**

Jahrgang 1969, ist seit 2008 Leiterin des Instituts für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Sie arbeitet zu Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen mit Schwerpunkt auf porösen Medien. Kontakt: [neuweiler@hydromech.uni-hannover.de](mailto:neuweiler@hydromech.uni-hannover.de)

**apl.-Prof. Dr. Thomas Graf**

Jahrgang 1974, ist seit 2009 in den Funktionen als Juniorprofessor, Emmy-Noether-Nachwuchsgruppenleiter und apl. Professor am Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik im Bauwesen der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie. Er beschäftigt sich mit der numerischen Modellierung nicht-linearer Strömungs- und Transportprozesse. Kontakt: [graf@hydromech.uni-hannover.de](mailto:graf@hydromech.uni-hannover.de)