CORA Cork Open Research Archive
Cartlann Taighde Oscailte Chorcaí

Title	Kartierung und Simulation von Überschwemmungsflächen in urbanen Räumen nach Starkregenereignissen
Authors	Schütze, Anna Alina;Banning, Andre;Bender, Steffen
Publication date	2021-01-12
Original Citation	Schütze, A.A., Banning, A. and Bender, S. (2021) 'Kartierung und Simulation von Überschwemmungsflächen in urbanen Räumen nach Starkregenereignissen', Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 26, pp. 87–97. doi: 10.1007/s00767-020-00470-y
Type of publication	Article (peer-reviewed)
Link to publisher's version	https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00767-020-00470-y - 10.1007/s00767-020-00470-y
Rights	© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2021. This version of the article has been accepted for publication, after peer review and is subject to Springer Nature's AM terms of use, but is not the Version of Record and does not reflect post-acceptance improvements, or any corrections. The Version of Record is available online at: http://dx.doi.org/10.1007/s00767-020-00470-y
Download date	2026-11-06 18:39:00
Item downloaded from	https://hdl.handle.net/10468/12340



UCC
University College Cork, Ireland
Coláiste na hOllscoile Corcaigh

Kartierung und Simulation von Überschwemmungsflächen in urbanen Räumen nach Starkregenereignissen
Mapping and simulation of urban flooding after heavy rain events

Header: Simulation urbaner Überschwemmungsflächen nach Starkregenereignissen

Anna Alina Schütze [1], Andre Banning [2], Steffen Bender [3]

[1] Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum, Deutschland
Tel.: +49 (0) 15256180761
E-Mail: anna.schuetze@rub.de

[2] Lehrstuhl Angewandte Geologie, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum, Deutschland
Tel.: +49 (0) 234 32-23298
E-Mail: andre.banning@rub.de

[3] Climate Service Center Germany (GERICS), Fischertwiete 1, 20095 Hamburg, Deutschland
Tel.: +49 (0) 40 226 338 432
E-Mail: steffen.bender@hzg.de

Schlüsselwörter

Starkregen, Überschwemmungsgebiete, Hydrologische Modellierung, Gefahrenkarten, Klimawandel, Hec-Ras, Flood-Area

Keywords

Heavy rain, Inundation areas, Hydrological modelling, Hazard maps, Climate change, Hec-Ras, Flood-Area

Zusammenfassung

In vielen Regionen werden Extremniederschlagsereignisse im Zuge des Klimawandels an Anzahl und Intensität zunehmen, was insbesondere für urbane Gebiete große Herausforderungen im Oberflächen- und Grundwassermanagement bedeutet.

Vor diesem Hintergrund wurden für ein Untersuchungsgebiet im Ruhrgebiet hydrodynamische Modellierungen mit unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten durchgeführt, basierend auf einer Kartierung abflussrelevanter Fließhindernisse und einem digitalen Geländemodell. Zur Geodatenverarbeitung und Kartenproduktion dienten die Simulationsprogramme FloodArea und Hec-Ras. Ziel war die Erstellung szenarienbasierter Gefahrenkarten, darauf basierend wurden Optimierungsvorschläge für die Anpassung an Starkregenereignisse erarbeitet.

Die Modellierungen mit beiden Programmen zeigen Ähnlichkeiten bei der Lage der Hot Spots. Allerdings sind Unterschiede bei den Wasserspiegellagen zu beobachten: die FloodArea-

Modelle zeigen, vermutlich durch limitierte Randbedingungsoptionen, deutlich höhere Werte als die Hec-Ras-Modelle. Dennoch liefern sie eine realistische Visualisierung überschwemmungsgefährdeter Gebiete. Die gezeigte Vorgehensweise kann genutzt werden, um Auswirkungen zukünftiger Starkregenereignisse zu simulieren, sie liefert für die Stadtplanung Entscheidungshilfen zu Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. So lassen sich beispielsweise Standorte für Retentionsflächen bestimmen.

Abstract

In many regions, the number and intensity of extreme precipitation events will increase as a result of climate change, which will pose major challenges for spatial planning and climate adaptation, particularly for metropolitan regions.

Based on a digital terrain model and on a mapping of the flow obstacles relevant for precipitation flow, hydrodynamic modelling with different precipitation intensities was carried out for an investigation area in the Ruhr area. The simulation tool FloodArea and Hec-Ras were used for geodata processing and the production of hazard maps.

The results of the modelling with both programs show similarities in the distribution of the areas with highest flood levels. However, differences can be observed in absolute heights. The approach shown can be used to simulate the effects of future heavy rainfall events and provides urban planning (location of retention areas) decision support for adaptation measures to climate change.

Veranlassung und Zielsetzung

Starkregenereignisse stellten schon in der Vergangenheit eine große Herausforderung für viele Städte und Gemeinden dar. Nach Einschätzungen des Weltklimarates (IPCC) soll die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen in Deutschland als Folge des Klimawandels weiter zunehmen (Geisel 2016). Ein vorausschauender und verantwortungsbewusster Umgang mit diesen Extremereignissen ist demnach entscheidend für das Ausmaß der Folgen.

Die Auswirkungen von Starkregen sind insbesondere in urbanen Räumen zu spüren, wobei nicht selten Sachschäden in Millionenhöhe entstehen. Ein steigender Versiegelungsgrad, die fortschreitende Urbanisierung einschließlich der Vernetzung der kritischen Infrastruktur und das Voranschreiten des Klimawandels führen jeweils und insbesondere in der Summe zu einer Verschärfung der Problematik. Zudem führt eine schwierige Vorhersage in Form von Zeitpunkt

und Dimension eines Starkregenereignisses zu einem geringen Handlungsspielraum für Betroffene und Hilfskräfte (BBK 2015).

Die verheerenden Auswirkungen der Überschwemmungen in urbanen Räumen zwingen zunehmend die Verwaltungen von Städte und Kommunen sich mit dem Thema „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ auseinander zu setzen. Zur Minimierung der Risiken und Auswirkungen von Starkregen sind geeignete Schutz- und Vorsichtsmaßnahmen zu treffen (Porth und Schüttrumpf 2017). Dabei spielen Retentionsflächen eine wichtige Rolle. Sie dienen im Falle eines Ereignisses zur Zwischenspeicherung des Niederschlagswassers und damit zur Entlastung des öffentlichen Kanalnetzes (Stadt Köln 2017). Eine an Starkregen angepasste Stadtentwicklung und zukünftige Raumplanung bildet ebenfalls die Grundlage eines erfolgreichen Handelns um die Folgen eines Starkregenereignisses möglichst gering zu halten (Stadt Dortmund, Stadtentwässerung 2014).

Ein weiteres durch den Klimawandel bedingtes Problem, welches auf die prognostizierte Intensivierung der Niederschlagsereignisse sowie eine Abnahme der Schneefälle zurückzuführen ist, ist bei gleichbleibender Niederschlagsmenge auf kurze Sicht eine Zunahme des oberflächigen Abflusses (Mosbrugger et al. 2014).

In diesem Rahmen ist das Ziel der hier präsentierten Studie, mit Hilfe von Gefahrenkarten die unmittelbaren Auswirkungen von Starkregenereignissen in einem urbanen Raum zu visualisieren. Die modellierten Starkregengefahrenkarten können dazu genutzt werden, gefährdete Bereiche zu lokalisieren, um vor Ort geeignete Vorsichtsmaßnahmen einzuleiten. Besonders mit Blick auf die sich in Zukunft voraussichtlich häufenden Starkregenereignisse bilden die Methoden zur Gestaltung von Gefahrenkarten die Möglichkeit, Präventionsmaßnahmen einzuleiten und Schäden so zu minimieren.

Hintergrund

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet für die exemplarische Durchführung der Simulation von Überschwemmungsflächen bildet der Stadtteil Witten-Annen im urban geprägten südöstlichen Teil des Ruhrgebietes des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen. Die Stadt Witten zählt mit rund 99.000 Einwohnern zur größten Stadt des Ennepe-Ruhr-Kreises. Insgesamt weist sie eine Fläche von 72 km^2 auf, was eine Einwohnerdichte von 1.367 je km^2 entspricht. Die höchste Siedlungsdichte befindet sich im zentralen Bereich des Stadtzentrums von Witten (Stadt Witten 2016). Die versigelte Fläche pro Einwohner der Stadt liegt mit rund 17,1 % (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. 2012). Das Untersuchungsgebiet befindet sich im

südlichen Teil des größten der insgesamt sieben Stadtgebiete Wittens. Es erstreckt sich über eine Breite von 1,2 km in ost-westlicher Richtung sowie eine Länge von 1,5 km in nord-südlicher Richtung mit einer Gesamtfläche von ungefähr 1,8 km^2. Begrenzt wird es durch die Städte Dortmund, Herdecke, Wetter, Sprockhövel, Hattingen und Bochum.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Grenzbereich zwischen der Münsterländischen Tieflandsbucht im Norden und dem Sauerland im Süden. Das Stadtgebiet von Witten kann hinsichtlich seiner Topographie in drei Sektoren eingeteilt werden. Im nördlichen Teil liegen die Stockumer Höhen, die Höhen von 120 bis 160 m ü. NN aufweisen. Südlich davon schließt die Witten-Hörder-Mulde an, die den westlichen Ausläufer der Hellwegbörde darstellt. In diesem Bereich treten typische Höhen von um die 100 m ü. NN auf. Der südliche Teil grenzt an die Niederbergisch-Märkische-Hügellandschaft mit dem Ardeygebirge an. In dieser Region erreichen die Höhen bis zu 250 m ü. NN (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 1980). Die höchsten Erhebungen des Untersuchungsgebietes sind im Süden und Südosten zu finden sind. In nördlicher Richtung sowie in zentraler Richtung nimmt die Höhe kontinuierlich ab. Die niedrigsten Höhen werden somit ganz im Norden sowie im Zentrum des Untersuchungsgebietes angetroffen. Der zentrale Bereich bildet eine Senke mit einem Höhenunterschied von ungefähr 10 m zur östlichen und westlichen Flanke (Abb. 1).

Geologisch befindet sich das Gebiet im Grenzbereich zwischen dem Rheinischen Schiefergebirge im Süden und dem Münsterländer Kreidebecken im Norden (Henningsen 1986). Charakteristisch für den nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes sind an der Oberfläche anstehende quartäre Ablagerungen, bestehend aus Löss und Auelehm. Der südliche Teil ist überwiegend geprägt durch paläozoische Ablagerungen aus dem Oberkarbon mit schwach tonig bis tonigen Sandsteinen und vereinzelten Steinkohleflözen (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 1980).
Die Region liegt in den Einzugsgebieten der Ruhr und der Emscher. Zur Entwässerung der Region wird der im zentralen Bereich verlaufende Steinbach genutzt. Die Grundwasserleiter sind vorwiegend mäßig bis sehr gering durchlässige Kluftgrundwasserleiter mit einem k_f-Wert von $1\text{-}2*10^{-5}$ m/s, welche ein geringes nutzbares Porenvolumen aufweisen, was zu einer Ansammlung des Grundwassers an den Klüften und Schichtflächen führt (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 1980).

Klimatischer Überblick

Makroklimatisch betrachtet, wird das Untersuchungsgebiet dem nordwestdeutschen Klimabereich zugeordnet. Diese Klimazone erstreckt sich von der Küste bis zur Eifel und zum Westerwald sowie bis zur Ostseite des Sauerlandes. Somit befindet es sich im Einflussbereich maritimer Luftmassen, was sich in den relativ kühlen Sommern und milden Wintern widerspiegelt. Örtlich können kontinentale Hochdrucklagen mit Winden aus östlicher und südöstlicher Richtung in den Sommermonaten zu extrem trockenen Perioden führen. In den Wintermonaten führt diese Wetterlage zu anhaltenden Kälteperioden. Mesoklimatisch betrachtet befindet sich das Untersuchungsgebiet im Grenzbereich des Klimabezirkes des Bergischen Landes und dem Klimabezirk des Sauerlandes (Regionalverband Ruhr 2017). Die Jahresdurchschnittstemperatur – gemessen zwischen den Jahren 1981 und 2010 – liegt bei 10,2 °C. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 949 mm. Die mittleren Monatsniederschläge zeigen ein Maximum im Januar und Dezember sowie in den Sommermonaten Juni, Juli und August. Der geringste Niederschlag fällt mit 57 mm im April (LANUV NRW 2018). Die zukünftige Entwicklung der mittleren Jahressumme des Niederschlages sowie der Temperatur für Deutschland im kurzfristigen Horizont (2021-2050) zeigt keine deutlichen Änderung. Das Szenario, bei dem wie zum jetzigen Zeitpunkt weiter verfahren wird, zeigt über das Jahr hinaus einen Anstieg der Niederschlagssumme von 5,0 % sowie einen Anstieg der Jahrestemperatur von 1,3 °C. Die Prognose für die Jahre 2051 bis 2100 (DWD 2017) sagt einen Anstieg der Niederschlagssummen von 9,0 % sowie einen Anstieg der Jahrestemperatur von 3,7 °C voraus. Neben weiteren Faktoren übt die Flächennutzung einen wichtigen Einfluss auf das regionale Klima aus. Unterschiedliche Flächennutzungen haben verschiedene Rauhigkeiten zur Folge, die das bodennahe Windfeld und den Oberflächenabfluss beeinflussen. Das gesamte Untersuchungsgebiet ist durch eine hohe Bebauungsdichte geprägt. Es herrscht demzufolge in dem gesamten Untersuchungsgebiet Innenstadt-, Stadt-, und Stadtrandklima. Lediglich entlang des Steinbaches sind Grünflächen zu finden, wodurch diese Bereiche durch Park- und Waldklima geprägt sind. Der Versiegelungsgrad steuert darüber hinaus die lokalen Wasserhaushaltskomponenten einschließlich der Grundwasserneubildung sowie durch die Materialeigenschaften die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit (Regionalverband Ruhr 2017).

Starkregenereignisse

Eine allgemeine Definition für Starkregenereignisse kann nicht gegeben werden, da die Niederschlagsmenge an die zutreffende Klimazone gebunden ist (Heyer 1963). Definierte Grenzwerte eines Niederschlagsereignisses können auf festgelegten Größen, Perzentilwerten oder auf deskriptiver Statistik basieren (Manton et al. 2001). Grundlegend kann ein

Starkregenereignis jedoch als ein selten auftretender Niederschlag mit zerstörerischer Wirkung definiert werden. Es kann infolge dessen zu einem schnellen Anstieg und Abfließen des Hochwassers oder zu Überschwemmungen kommen. Letztere gehen häufig mit Bodenerosion einher (Bender et al. 2012). Die Auswirkungen sind dabei abhängig von der Siedlungsdichte, der Infrastruktur, der Bodenbeschaffenheit, Topographie sowie Geometrie des Einzugsgebietes, der vorhandenen Fließwege und Retentionsräume. Gebiete mit einer höheren Siedlungsdichte sind daher öfter von verheerenden Auswirkungen betroffen als Gebiete, die naturbelassen sind. Zwischen 2002 und 2017 verursachten Starkregenereignisse in Deutschland Schäden von insgesamt 6,7 Milliarden Euro. Am stärksten betroffen waren die Städte Münster, Herne, Passau und Steinfurt (GDV 2019).

Allgemein gilt jedoch, dass Starkregenereignisse nach ihrer Intensität in verschiedenen Zeitintervallen über einen bestimmten Zeitraum definiert werden. Die unterschiedlichen Niederschlagsmengen werden entweder in l/m^2 oder in mm angegeben. Dabei gilt: 1 l/m^2 entspricht 1 mm (Bender et al. 2012). Der Deutsche Wetterdienst (DWD) definiert Starkregenereignisse in drei verschiedenen Kategorien, die in der Tabelle 1 aufgelistet sind (DWD 2020).

Starkregenereignisse können verheerende Auswirkungen haben, da sowohl die Intensität als auch der Ort des Auftretens nur kurzfristig vorhersehbar sind. Teilweise kann eine genaue Eingrenzung des Auftretens sogar erst im Nachhinein getroffen werden. Eine andere Möglichkeit der Vorhersage ist mit Hilfe von Gefahrensimulationen möglich (BBK 2015).

Grundlegend lässt sich festhalten, dass Starkregenereignisse überall, in jeder Region, auftreten können. Hinsichtlich der Verteilung von Starkregenereignissen lassen sich jedoch innerhalb von Deutschland Unterschiede erkennen. Ein erhöhtes Gefährdungspotential durch Starkregen liegt insbesondere in den südlichen Teilen der Bundesländer Baden-Württemberg und Bayern. Hier sind besonders das Alpenvorland und die Region entlang des Oberrheingrabens hervorzuheben. Außerdem zeigen die Regionen im Osten Deutschlands rund um das Bundesland Sachsen und südliche Teile von Brandenburg größere Niederschlagshöhen. Hervorzuheben ist außerdem ein erhöhtes Gefährdungspotential von Ballungsräumen wie dem Ruhrgebiet, Hamburg oder Frankfurt am Main (BBK 2015).

Als ein Grund für die beobachtete Häufung von Starkregenereignissen kann die durch den Klimawandel steigenden Durchschnittstemperaturen genannt werden. Diese Hypothese ist dadurch begründet, dass bei höheren Temperaturen der Sättigungsdampfdruck des Wasserdampfes zunimmt und so ein erhöhtes Wasserdampfvorkommen für die Bildung von

Niederschlag zur Verfügung steht. Der Zusammenhang zwischen Temperaturanstieg und erhöhtem Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre ist nach Clausius-Clapeyron (Stocker et al. 2013) erwiesen. Ob ein erhöhter Wasserdampfgehalt auch zeitgleich zu erhöhter Niederschlagsbildung führt, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht eindeutig nachgewiesen werden, da der Zusammenhang dieser beiden Aspekte wesentlich komplexer ist. Eine bedeutende Rolle spielt dabei vor allem, ob es überhaupt zur einer Niederschlagsbildung kommt (DWD 2017).

In den letzten Jahren waren viele Städte und Gemeinden von Starkregenereignissen betroffen. Besonders in urbanen Räumen besteht ein erhöhtes Gefährdungspotential. Ein erhöhter Versiegelungsgrad und immer weniger unbebaute Flächen können zukünftig zu einem immer größer werdenden Problem führen. Ein Vergleich zwischen den Abflussverhältnissen versiegelter und unversiegelter Flächen zeigt eine deutlich messbare Diskrepanz und ein Ungleichgewicht zwischen Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss. Bei einem anthropogen unbeeinflussten Wasserkreislauf herrscht ein Gleichgewicht zwischen Verdunstung, Versickerung und Oberflächenabfluss, 40 % des Niederschlages verdunsten, 50 % versickern (25 % Oberflächenversickerung und 25 % Tiefenversickerung) und tragen so zur Grundwasserneubildung bei und nur 10 % des gesamten Niederschlages fließen ab. Bei versiegelten Flächen ist das Verhältnis deutlich verschoben. Hier sind es 30 % Verdunstung, 15 % Versickerung (10 % Oberflächenversickerung und 5 % Tiefenversickerung) und 55 % Oberflächenabfluss (Benden 2014).

Methodik

Die Modellierung der oberirdischen Abflüsse von Starkregenereignissen basiert auf einem digitalen Geländemodell des Untersuchungsgebietes mit einer Rasterweite von 1 m bereitgestellt durch das Amt für Bodenmanagement und Wirtschaftsförderung der Stadt Witten. Im Zuge einer im Gebiet durchgeführten Kartierung konnten Fließhindernisse wie beispielsweise Mauern, Hofeinfahrten und Bordsteine aufgenommen werden, die die Fließwege des Niederschlagswassers beeinflussen und im Geländemodell nur unzureichend berücksichtigt werden. Für die weitere Verwendung der Daten wurde daraus ein eingabefähiges Raster erzeugt. Alle Datensätze sind in dem Koordinatensystem ETRS 1989 UTM Zone 32N dargestellt. Als Referenzwert für eine Niederschlagsganglinie dient das Niederschlagsereignis vom 20. Juni 2013 mit einer Gesamtniederschlagsmenge von 73 l/m^2 in zwei Stunden. Daraus wurde die Niederschlagsmenge von 36 l/m^2 für eine Stunde interpoliert und als Referenzwert benutzt. Dieser Wert wurde mit den Niederschlagsmengen für die Dauerstufe von einer Stunde

der Rasterdatensätze des Starkregenkatalog Kostra des Deutschen Wetterdienstes verglichen. Nach den Angaben von 38,3 l/m^2 aus dem Starkregenkatalog KOSTRA des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2018) entspricht dies in etwa einem Ereignis vom 20. Juni 2013, weshalb er in den folgenden Simulationen verwendet wurde. Außerdem wurde eine weitere Simulation mit einem Niederschlagswert von 50,6 l/m^2 für ein Wiederkehrintervall von 100 Jahren nach KOSTRA durchgeführt, um die Auswirkungen eines starken Niederschlagsereignisses zu zeigen. Die Gangliniendateien wurden extern mit einem Editor erzeugt und sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Die Modellierung der Niederschlagsereignisse erfolgte mit dem für Esri ArcGIS entwickelten Erweiterungsprogramm FloodArea (Geomer GmbH 2017) sowie dem vom US-Verteidigungsministerium entwickelten Modellierungsprogramm Hec-Ras (U.S. Army Corps of Engineers 2015). In dieser Studie wurden auf Basis des beschriebenen Datenmaterials insgesamt jeweils vier verschiedene Szenarien modelliert. Zum einen zwei Modellierungen mit unterschiedlichen Niederschlagsganglinien mit den bestehenden Gebäuden und zum anderen zwei Modellierungen mit unterschiedlichen Niederschlagsganglinien mit einem zusätzlichen Gebäude im Retentionsraum. Die Bezeichnungen der unterschiedlichen Szenarien sind in Tabelle 3 erläutert.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der mit FloodArea und Hec-Ras modellierten Überschwemmungsflächen. Alle Gefahrenkarten zeigen – zur verbesserten Visualisierung der Wasserstände nach einem Starkregenereignis – die maximal erreichten Überschwemmungstiefen in Metern über der Geländeoberkante. Die Überschwemmungshöhen werden in acht Kategorien unterteilt, die in den Farben hellgrün bis dunkelblau dargestellt sind. Die Aufteilung erfolgt dabei manuell mit Hilfe des Histogramms, um eine möglichst detaillierte Karte darstellen zu können.

Allgemein lässt sich auf allen Karten – unabhängig von dem verwendeten Programm und der Niederschlagsmenge – erkennen, dass sich der Bereich mit der größten Überschwemmungshöhe im Steinbachtal befindet. Weitere Bereiche mit erhöhten Wasserständen von über 1,5 m ü. GOK liegen im westlichen und nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes.

Ein Vergleich der modellierten Überschwemmungshöhen zeigt jedoch deutliche programmspezifische Unterschiede. Die mit FloodArea erstellten Gefahrenkarten zeigen allgemein höhere Wasserstände im Vergleich zu der Modellierung mit Hec-Ras. Bei einem

einstündigen Niederschlag von 38,3 mm sind maximale Überschwemmungshöhen von 8,0 m ü. GOK in den mit FloodArea modellierten Karten (Szenario F1) zu finden, während die mit Hec-Ras modellierten Gefahrenkarten (Szenario H1) maximale Wasserstände von nur 5,8 m ü. GOK aufweisen. Auch bei einem einstündigen Starkregenereignis von 50,6 mm sind die maximalen Wasserstände in der Modellierung mit FloodArea höher (Szenario F2). Die modellierten Ergebnisse mit FloodArea mit Überschwemmungshöhen von teilweise bis zu 8 m (F1), bzw. 10 m (F2) ü. GOK entsprechen in etwa der Höhe eines 3- bis 4-stöckigen Hauses. In der Realität sind Überschwemmungshöhen eines solchen Ausmaßes nur schwer vorstellbar. Die erhöhten Wasserstände können darauf zurückgeführt werden, dass FloodArea nicht in dem Maße wie Hec-Ras, die Möglichkeit bietet, Randbedingungen zu setzen. Zusätzlich ist auch eine Eingabe der Durchlässigkeit des Untergrundes nicht möglich. Bei der Eingabe von Randbedingungen könnten Zu- und Abflüsse in bzw. aus dem Untersuchungsgebiet berücksichtigt werden. Ohne diese genauen Angaben liefert das Modell keine sinnvollen Ergebnisse, da sich das gesamte Niederschlagswasser im Gebiet akkumuliert. Die mit Hec-Ras modellierten Wasserstände zeigen Werte von maximal 5,8 m. Auch Überschwemmungshöhen dieser Höhe entsprechen einem 2-stöckigen Haus. Da es sich bei dem zentralen Bereich allerdings um einen morphologisch wesentlich tiefer gelegenen Bereich handelt, sind Wasserstände einer solchen Größenordnung durchaus vorstellbar. Die Senke zeigt Höhenunterschiede zu den östlichen und westlichen Flanken von 10 m. Die Berücksichtigung eines Ausflusses im Norden des Gebietes führt demnach zu einem realitätsnahen Modell. Das Beispiel der Gemeinden Simbach am Inn, Anzenkirchen und Untertürken im Landkreis Rottal-Inn zeigt, dass solche Werte keinesfalls unrealistisch sind. Am 31. Mai und am 01. Juni 2016 kam es in Folge von Starkregenereignissen zu einem maximalen Wasserstand des Simbachs von 5,1 m (Hübl et al. 2017).

Die Modellierungen mit einem zusätzlichen Gebäude im zentralen Bereich (Szenario F1G und F2G) zeigen bei den simulierten Ergebnissen mit FloodArea keinen wesentlichen Unterschied in den Überschwemmungshöhen im Vergleich zu den Modellierungen ohne Bebauung (Szenario F1 und F2). Die Wasserstände weisen in beiden Szenarien die gleichen Höhen auf. Zu erwarten wäre hingegen eine Anstauung des Wassers entlang der Außenwände.
Eine Ansammlung des Wassers lässt sich jedoch in den Modellierungsergebnissen des Programms Hec-Ras erkennen. Bei einer Niederschlagsmenge von 38,3 l/m^2 (Szenario H1G) liegen die Überschwemmungshöhen bei bis zu 8,2 Metern, bei einer Niederschlagsmenge von 50,6 l/m^2 (Szenario H2G) sogar bei 9,5 Metern.

Diese Unterschiede zwischen den verwendeten Programmen zeigen sich auch bei einer genaueren Betrachtung der Fließrichtung entlang des zusätzlichen Gebäude, welches impliziert wurde um potentielle Fließwege und deren Auswirkung sowie den Effekt der Innenraumverdichtung von Städten zu verdeutlichen. Wie in Abbildung 3 sichtbar wird, ist lediglich eine Veränderung der Fließrichtung bei der Verwendung des Programm Hec-Ras erkennbar.

Generell kann man festhalten, dass sowohl FloodArea als auch Hec-Ras wirksame Simulationswerkzeuge zur Auswertung und Darstellung unterschiedlicher Starkregenereignisse sind. Zudem können Fließwege dargestellt werden, die Auswirkung von Fließhindernissen erstellt werden sowie eine Bewertung von Retentionsflächen, die zur Versickerung und somit auch zur Grundwasserneubildung beitragen können, modelliert werden. Besonders zu empfehlen sind diese Techniken nicht nur bei der Durchführung von Hochwasserschutzstudien in europäischen Klimagebieten. GIS-Techniken eignen sich besonders in ariden Gebieten, in denen keine geeigneten hydrometeorologischen Daten verfügbar sind (EZZ 2017). Auch für kleine Kommunen, die nur wenige Informationen besitzen, bietet diese Methode den Vorteil einen schnellen Überblick über potentielle Hot-Spots zu erhalten.

Empfehlungen

Da besonders urbane Räume ein großes Problem bei Starkregenereignissen darstellen und sich das Untersuchungsgebiet mitten im Stadtgebiet von Witten-Annen befindet, könnten enorme Wassermengen großen Schaden anrichten. Die Auswirkungen eines Starkregenereignisses sind abhängig von der Topographie, Morphologie sowie Flächennutzung, Versiegelung und Art der Bebauung im Einzugsgebiet. Auf unbebauten, unversiegelten und ebenen Flächen hat Starkregen kaum negative Auswirkungen. Tritt ein Starkregenereignis hingegen in urbanen Räumen auf, sind enorme Folgen zu erwarten.

Mit Hilfe der erstellten Gefahrenkarten und der in der Kartierung dokumentierten starkregengefährdeten Objekte im Untersuchungsgebiet, lassen sich potentiell stark gefährdete Bereiche charakterisieren und mögliche Empfehlungen zur Anpassung an die Folgen eines Starkregenereignisses geben. Besonders betroffen sind in dem Untersuchungsgebiet die angrenzenden Gebäude des Retentionsraumes, was darauf zurückzuführen ist, dass diese sich unmittelbar in der Senke angrenzend an den Steinbach befinden. Darüber hinaus zeigt im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes das Gebiet ein erhöhtes Potential für Schadensfälle, die dieses Gebiet eine dichte Bebauung aufweist. Gefährdete Objekte sind

vorrangig Gebäude mit ebenerdigen Kellerfenstern und -türen und Garageneinfahrten mit starkem Gefälle in Richtung von Gebäuden.

Die modellierten Szenarien mit FloodArea zeigen maximale Wasserstände von 10 m (F2), die modellierten Szenarien mit Hec-Ras eine maximale Überschwemmungshöhe von 5,8 m (H2). Die geschätzte Speicherfläche der Retentionsfläche liegt bei ungefähr 130.000 m^2. Bei einem Wasserstand von 10 m (F2) ist das eine Wassermenge von 1.300.000 m^3, bei einer Wasserhöhe von 5,8 m (H2) von 754.000 m^3. Eine mögliche Lösung zur Entlastung des öffentlichen Kanalnetzes und des privaten Grundwasserentwässerungssystems (Mulden, Gründächer etc.) bieten Retentionsflächen. Im Untersuchungsgebiet stellt der zentrale Bereich um das Steinbachtal die Eigenschaften eines Retentionsraumes (Bodenstruktur, hydraulische und transportrelevante Eigenschaften) dar. Die durchgeführten Modellierungen zeigen in diesem Senkenbereich eine erhöhte Akkumulation des Niederschlagswassers. Der zentrale Bereich bietet den Vorteil fehlender Bebauung. Bei großen Überschwemmungsflächen könnten jedoch auch an den angrenzenden Gebäuden Schäden entstehen. Da viele Gebäude nahe des Retentionsraumes ebenerdige Kellerfenster und -türen aufweisen, sollten dort Anpassungsmaßnahmen getroffen werden. Eine solche könnte beispielsweise der Einbau wasserdichter und druckwiderstehender Fenster und Türen sein. Ebenso zu empfehlen ist eine vollständige Abdichtung der Außenwände des Gebäudes sowie der Einbau einer Rückstausicherung mit einer regelmäßigen Wartung, sollten sich die angeschlossenen Hausanschlüsse unterhalb der Rückstauebene befinden (BBSR 2018). Außerdem können schon kleine Senken, in denen das Niederschlagswasser gesammelt werden kann auf privaten Grundstücken in Kombination mit weiteren Maßnahmen zur Minimierung des Niederschlagswassers beitragen. Die durchgeführten Modellierungen zeigen allerdings, dass in dem zentralen Bereich die Wasserstände so hoch sind, dass kleine Senken in diesem Gebiet nicht ausreichen würden. Auch der vorhandene Retentionsraum reicht je nach Intensität und Dauer des Starkregenereignisses möglicherweise nicht aus. Demzufolge müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden. In erster Linie sollte bei der zukünftigen Raum- und Bauplanung stets auf eine auf Starkregen angepasste Stadtentwicklung geachtet werden. Dabei spielt der Versiegelungsgrad eine große Rolle. Eine Verminderung der abflusswirksamen Flächen durch geeignete Dachkonstruktionen ist ebenso zu empfehlen. Dabei sollten Grün- oder Retentionsdächer als Zwischenspeicher des Niederschlagswassers dienen. Das verwendete Substrat wirkt dabei als Puffer für den Niederschlag, wodurch der direkte Abfluss in die Kanalisation bei Gründächern um bis zu 50 %, bei Retentionsdächern sogar bis zu 100 % reduziert werden kann (BBSR 2018). Dafür müsste man allerdings abschätzen, wie viele der

vorhandenen Dächer sich als Grün- bzw. Retentionsdächer eignen. Die gesamte Fläche des Untersuchungsgebietes beläuft sich auf 1,8 km^2. Der geschätzte prozentuale Anteil der Dächer in dem Gebiet liegt bei 30 %, was einer Fläche von 540 m^2 entspricht. Geht man nun davon aus, dass sich 25 % der vorhandenen Gebäude dafür eignen und eine Wasserhöhe von 20 cm speichern, könnte ein Niederschlagsvolumen von 27 m^3 von den Grün- und Retentionsdächern aufgenommen werden. Dies entspricht allerdings nur 0,02 % des Speichervolumens des gesamten Retentionsraumes und würde demnach nicht wesentlich zur Reduktion des Niederschlagwassers beitragen. Zudem stellen Grün- und Retentionsdächer lediglich eine Komponente da. Es werden darüber hinaus temporäre Notwasserwege sowie Retentionsräume benötigt, um einen Beitrag zur Abpufferung der Abflussspitze zu leisten.

Als zusätzliche Maßnahme sollte eine Errichtung weiterer Retentionsflächen in Betracht gezogen werden. Abbildung 4 zeigt die Standorte möglicher weiterer Retentionsräume sowie deren Einzugsgebiete. Die Richtungen des Oberflächenabflusses sind zudem mit Pfeilen gekennzeichnet. Es eignen sich besonders multifunktionale Retentionsflächen, weil sie sowohl als temporärer Speicher des Niederschlagswassers dienen, als auch weitere Nutzungsmöglichkeiten bieten. Ein möglicher Bau eines multifunktionalen Retentionsbereiches könnte, wie in Abbildung 4 dargestellt, umgesetzt werden. Die Auswahl dieser Bereiche erfolgte nach der Möglichkeit einer temporären Speicherung des Niederschlagswassers sowie deren weitere Nutzungsmöglichkeiten. Da sich für solche Retentionsräume besonders Grün- und Sportflächen sowie Parkplätze und Freizeitanlagen eignen, könnte das Gewerbegebiet im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes als multifunktionaler Retentionsraum genutzt werden (Abb. 4, Retentionsraum 1). Der Zulauf kann über die bereits existierenden Straßen erfolgen. Die Speicherkapazität dieser Fläche liegt bei einer Anstauhöhe von 1,5 m bei ungefähr 90.000 m^3. Die modellierten Gefahrenkarten zeigen in diesem Gebiet zudem größere Überschwemmungshöhen, was diesen Bereich als Standort eines Retentionsraumes hervorhebt. Die Errichtung eines weiteren Retentionsraumes in Form eines Senkungsbereiches könnte nördlich des Steinbachtales auf der Halde der ehemaligen Zeche Hamburg errichtet werden (Abb. 4, Retentionsraum 2). Die Speicherkapazität dieser Fläche liegt bei einer Anstauhöhe von 1,5 m bei ungefähr 95.000 m^3. Empfehlenswert wäre zudem die Errichtung einer weiteren Retentionsfläche im nordöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes (Abb. 4, Retentionsraum 3). Da in diesem Bereich eine hohe Gebäudedichte vorzufinden ist, kann die Errichtung einfacher Retentionsbereiche in Form von Senken im großen Format nicht umgesetzt werden. Hier ergibt sich lediglich die Möglichkeit, auf privaten Grundstücken Senken, in denen sich das Niederschlagswasser sammeln kann, zu

errichten. Geht man davon aus, dass insgesamt 20 Mulden errichtet werden mit einer Speicherkapazität von 10 m^3, kommt man in diesem Bereich auf ein zusätzliches Speichervolumen von 200 m^3.

Der Vergleich mit den geschätzten Wassermengen von 1.300.000 m^3 (Szenario F2), bzw. von 754.000 m^3 (Szenario H2) zeigt, dass auch bei Errichtung von weiteren Retentionsflächen nicht das gesamte Niederschlagswasser gespeichert werden kann, ein verzögernder Puffereffekt kann allerdings auf diese Art erreicht werden.

Eine weitere Möglichkeit können unterirdische Speicherbecken sein. Ein Vorteil dieser Becken ist, dass das gespeicherte Wasser beispielsweise zur Gartenbewässerung genutzt werden kann (BBSR 2018).

Die in dieser Studie verwendeten Methoden lassen sich auch auf andere Gebiete übertragen und bilden so mit Blick auf die sich in Zukunft häufenden Starkregenereignisse eine geeignete Möglichkeit, vorab Vorsichtsmaßnahmen einzuleiten und Schäden so zu minimieren. Besonders zu empfehlen sind diese Techniken nicht nur bei der Durchführung von Hochwasserschutzstudien in europäischen Klimagebieten – GIS-Techniken eignen sich besonders in ariden Gebieten, in denen keine geeigneten hydrometeorologischen Daten verfügbar sind (Ezz 2017). Für zukünftige Überlegungen sollte außerdem die Grundwasserneubildung in Betracht gezogen werden. Eine Absenkung der Grundwasseroberfläche würde großen Einfluss auf die angrenzenden Ökosysteme haben (Mosbrugger et al. 2014). Eine zukünftige Verschärfung des Problems ist mit Blick auf die steigende Urbanisierung zu erwarten (Miller et al. 2017).

Literatur

Benden, J.(2014): Möglichkeiten und Grenzen einer Mitbenutzung von Verkehrsflächen zum Überflutungsschutz bei Starkregenereignissen, Diss., RWTH Aachen. S. 60-63, 80-90. https://publications.rwth-aachen.de/record/459468/files/5248.pdf, Zugegriffen: 20. Mai 2019

Bender, S., Schaller, M. (2012): Vergleichendes Lexikon, Wichtige Definitionen, Schwellenwerte, Kenndaten und Indices für Fragestellungen rund um das Thema „Klimawandel und seine Folgen“. https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/lexikon_definitionen_mit_cover.pdf, Zugegriffen: 21. April 2020

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (2015): Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“. Ein Handbuch für Bürger und Kommunen. https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk_starkregen.pdf, Zugegriffen: 2. März 2019

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2018): Starkregeneinflüsse auf die bauliche Infrastruktur. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Sonderveroeffentlichungen/2018/starkregeneinfluesse-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3, Zugegriffen: 18. Mai 2019

Deutscher Wetterdienst (2020): Niederschlag. https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html Zugegriffen: 18. Februar 2019

Deutscher Wetterdienst (2017): Erste hydro-klimatologische Einordnung der Starkregen und Dauerregen in Deutschland zum Ende eines sehr nassen Juli 2017. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20170728_hintergrundbericht_dauerregenjulideutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Zugegriffen: 9. Mai 2019

Deutscher Wetterdienst (2017): Nationaler Klimareport https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimareport/download_report_auflage-3.pdf?__blob=publicationFile&v=5, Zugegriffen: 20. April 2020

Deutscher Wetterdienst (2018): KOSTRA-DWD. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/return_periods/precipitation/KOSTRA/KOSTRA_DWD_2010R/ Zugegriffen: 2. März 2019

Ezz, H.: Integrating GIS and HEC-RAS to model Assiut plateau runoff. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 21, p. 219-227 (2017)

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. GDV (2019): Von 2002 bis 2017: Deutschlandweit 6,7 Milliarden Euro Starkregen-Schäden. https://www.gdv.de/de/themen/news/von-2002-bis-2017--deutschlandweit-6-7-milliarden-euro-starkregen-schaeden--52762, Zugegriffen: 21. April 2020

Geisel, A. (2016): Ergebnisprotokoll der 86. Umweltministerkonferenz am 17. Juni 2016 in Berlin. Seite 64. https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/umk-protokoll_juni_2016_1522236592.pdf, Zugegriffen: 7. Mai 2019

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen: Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000 - Erläuterungen 4510 Witten. S. 13-17, Krefeld (1980)

GEOMER GMBH (2017): Flood-Area^{HPC}-Desktop https://www.geomer.de/produkte/software/floodarea/index.html, Zugegriffen, 28. Mai 2019

GERICS (Climate Service Center Germany) (2018): Starkregen und Sturzfluten. Gut vorbereitet – besser geschützt. https://www.gerics.de/imperia/md/content/csc/gerics/gerics_bleckede_flyer_starkregen_druckversion_4-seitig.pdf, Zugegriffen: 2. Juli 2019

Henningsen, D.: Einführung in die Geologie der Bundesrepublik Deutschland. 3., neu bearbeitete Aufl., Stuttgart (1986)

Heyer, E.: Witterung und Klima. Eine allgemeine Klimatologie. S. 174-175; B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig (1963)

Hübl, J., Heiser M., Braito, S., Tscharner, S., Kuntner, K., Prenner, D., Falkensteiner, M., Rabanser, E.: Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse 2016 Rottal-Inn, IAN Report 180, Band 2: Ereignisana- lyse Simbach; Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien (2017)

LANUV NRW (2018): Klimaatlas NRW. http://www.klimaatlas.nrw.de/karte-klimaatlas, Zugegriffen: 18. Februar 2019

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (2012): Wie viel Fläche ist versiegelt?. https://www.ioer-monitor.de/ergebnisse/analyseergebnisse/bodenversiegelung/ Zugegriffen: 6. Mai 2019

Manton, M. J., Della-Marta, P. M., Haylock, M. R., Hennessy, K. J., Nicholls, N., Chambers, L. E., Collins, D.A., Daw, G., Finet, A., Gunawan D., Inape, K., Isobe, H., Kestin, T. S., Lefale, P., Leyu, C. H., Lwin, T., Maitrepierre, L., Ouprasitwong, N., Page, C. M., Pahalad, J., Plummer, N., Salinger, M. J., Suppiah, R., Tran, V. L., Trewin, B., Tibig, I. & Yee, D.: Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the South Pacific: 1961–1998, p. 269-284. International Journal of Climatology (2001)

Miller, J. D., Hutchins, M.: The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom, p. 346. Journal of Hydrology: Regional Studis (2017)

Mosbrugger, V.. Brasseur, G., Schaller, M., und Stirnbrny, B.: Klimawandel und Biodiversität: Folgen für Deutschland. S. 432.; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (2014)

Porth, M., Schüttrumpf, H.: Wasser, Energie und Umwelt. Aktuelle Beiträge aus der Zeitschrift Wasser und Abfall I. S. 21 ff.; Springer Verlag, Wiesbaden (2017)

Regionalverband Ruhr (2017): Klimaanalyse Stadt Witten. https://www.witten.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/sta61/Klimaanalyse_Stadt_Witten_Nov2007_-_Erlaeuterungsbericht.pdf, Zugegriffen: 18. Februar 2019

Stadt Dortmund, Stadtentwässerung (2014): Handlungsstrategie für den Umgang mit Starkregenereignissen. https://www.dortmund.de/media/p/stadtentwaesserung/downloads_stadtentwaesserung/Handlungsstrategie_Starkregen.pdf, Zugegriffen: 18. Mai 2019

Stadt Köln (2017): MURIEL – Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb. https://www.steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Broschüren-Veröffentlichungen/Gebäudeschutz/MURIEL-Multifunktionale-Retentionsflächen.pdf, Zugegriffen: 23. Mai 2019

STADT WITTEN (2016): Bevölkerung. https://www.witten.de/wirtschaftsstandort/der-standort/strukturdaten/bevoelkerung/ Zugegriffen: 18. Februar 2019

Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauel, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M.: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 224. Cambridge University Press, Cambridge, United King- dom and New York, NY, USA (2013)

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2015): HEC-RAS. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/, Zugegriffen: 30. Mai 2019