

Methodik – Papier zum Handlungsfeld Überflutungsschutz: Starkregengefahrenhinweiskarte des BKG für NRW

Grundlagen

Mit der Starkregengefahrenhinweiskarte für NRW des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) steht flächendeckend für Nordrhein-Westfalen eine Übersicht zur Verfügung, wie stark sich Starkregenereignisse außerhalb von Fließgewässern auswirken können. Hier werden zwei einstündige Szenarien dargestellt: Seltener Starkregen mit einer lokalen Wiederkehrzeit von 100 Jahren und Extremer Starkregen mit 90 mm Niederschlag in einer Stunde.

Es gilt jedoch:

Dort, wo kommunale Starkregengefahrenkarten bereits existieren, sollten diese konsultiert werden,

da örtliche Gegebenheiten auf der lokalen Skala wesentlich besser dargestellt werden können als auf der Skala von Nordrhein-Westfalen. Für Kommunen, in denen noch keine kommunalen Karten zur Starkregengefahr existieren, liefert die Starkregengefahrenhinweiskarte NRW des BKG erste



Starkregenereignisse können zu Überflutung führen
(©fotolia Brian Jackson)

valide Erkenntnisse, die im Rahmen der „Arbeitshilfe kommunales Starkregenerisikomanagement“ vertieft werden sollten.

Datenbasis und Kartenerstellung

Die Starkregengefahrenhinweiskarte NRW des BKG wurde von den Ingenieurbüros Reinhard Beck GmbH & Co.KG und Fischer Teampfan im Auftrag des Bundesamtes für Geographie und Kartographie berechnet. Die Datengrundlage zur Erstellung von Starkregengefahrenhinweiskarten liegt für Nordrhein-Westfalen nahezu vollständig als „open data“ vor.

Da das BKG die Starkregengefahrenhinweiskarte für Nordrhein-Westfalen (NRW) als Pilotprojekt für ganz Deutschland bzw. die anderen Bundesländer berechnen lassen hat, wurde darauf geachtet, dass möglichst einheitliche Datensätze als Basis verwendet wurden. Daher wurden die Daten des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems des Landes (ALKIS) bzw. die Daten des digitalen Landschaftsmodells (Basis-DLM) verwendet. Die zu verwendenden Datenpakete sind landesweit im gleichen Schema aufgebaut und ermöglichen so eine einheitliche Bearbeitung. Neben den oben genannten Hauptressourcen ALKIS und Basis-DLM wurden für die Erstellung der Starkregengefahrenhinweiskarten folgende Daten verwendet:

Gewässer/Einzugsgebiete

- Gewässerstationierungskarte GSK3C (Stand 30.11.2010, OpengeoData NRW)
- Risikogewässer/Hochwasserpolygonen (Download: 25.03.2020, OpengeoData NRW)

ALKIS Objektkatalog NRW

Auf Basis AFIS-ALKIS-ATKIS Fachschema 6.0.1 (Stand: 28.07.2020, Open Data NRW)

Nutzung des vereinfachten Schemas:

- Basis-DLM (Download: 28.07.2020)
- Gebäudedaten inkl. Bauteilen (ave_GebaeudeBauwerk) (Download: 30.07.2020)
- Landnutzungsdaten (ave_Nutzung) (Download: 30.07.2020)
- Bauwerke im Verkehrsbereich (Download: 07.09.2020)

KOSTRA (Niederschlagsdaten)

- KOSTRA-DWD 2010R(Stand 30.03.2020, Climate Data Center DWD)

Software

Für die Modellerstellung und die Bearbeitung des Projektes wurde hauptsächlich OpenSource-Software genutzt. Darunter stellt das Programm HiPIMS (Newcastle University, Liang und Smith 2015) das zentrale 2D-Berechnungsmodell (HiPIMS = high-performance integrated hydraulic and hydrological modelling software) dar, während die Vor- und Nachbereitung der Grundlagendaten, Modellaufbau und die Visualisierung mit QGIS durchgeführt wurde. Mittels Python als Programmierumgebung wurden GDAL – Bibliotheken (Geospatial Data Abstraction Library) für die Bearbeitung von Rasterdaten und zur DGM-Erstellung verwendet. Mit dem landeseigenen Programm LAsTools wurde die Konvertierung der binären DGM Daten in lesbare ASCII-Raster durchgeführt.

Modellgrundlagen

Das DGM1 des Landes NRW bildet die maßgebende topographische Datengrundlage, welches auf Laserscandaten von verschiedenen Befliegungskampagnen beruht. Die Befliegungsdaten wurden zu Projektbeginn gesammelt beschafft. Die Aktualität des DGM/der Ergebnisse geht auf den Stand des jeweiligen Befliegungszeitraums zurück (**Abbildung 1**).

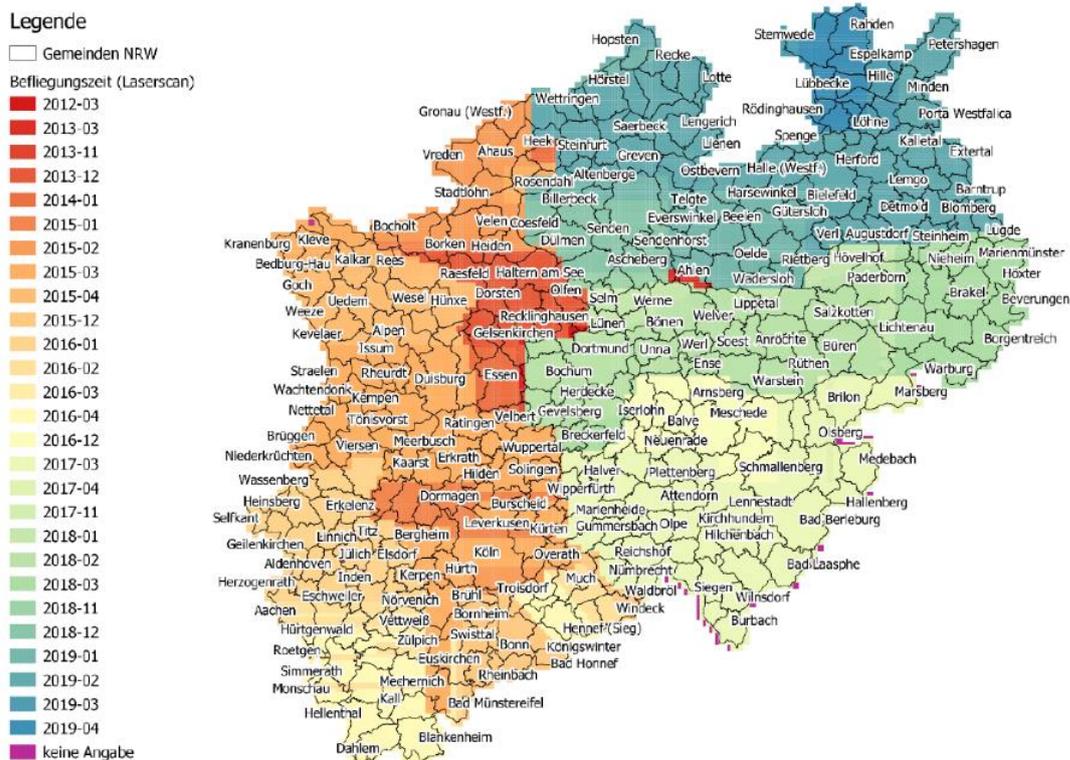


Abbildung 1: Befliegungszeiträume der DGM-Daten. Datenquelle: Geobasis NRW, Bezirksregierung Köln.
Kartengrundlage: Land NRW (2021) Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0.

An den Grenzen von NRW wurden außerhalb liegende, hydrologische Einzugsgebiete, soweit die Datengrundlage NRWs dies ermöglicht, mitberücksichtigt. Topografisch betrachtet hat NRW ein Süd-Nord-Gefälle. Im Nordwesten fällt das Gelände parallel zu Rhein und Ems ab. Die Einzugsgebiete entwässern aus NRW hinaus. Auch an den Südhängen von Rothaargebirge, Westerwald und Eifel fällt das Gelände aus NRW in benachbarte Gebiete ab. Der hauptsächliche Zufluss von Außengebieten nach NRW erfolgt über die Rheinebene. Durch die Einteilung in hydrologische Teileinzugsgebiete fallen nur sehr kleine Bereiche außerhalb von NRW an, die für die Berechnungen zu berücksichtigen sind. Diese sind größtenteils über die Open-Data-Kacheln des DGM1 abgedeckt. Für die Bereiche im Südosten, aus denen Wasser nach NRW zufließen kann, wurde ein DGM (5 m-Raster) übergeben. Die Aktualität dieser Daten variiert je nach Bundesland von 04.2016 bis 06.2016.

Weitere Datengrundlage für das Oberflächenmodell sind die digitalen Hausumringe. Dabei werden die Gebäude als Fließhindernisse in das Geländemodell übernommen. Die Schräge der Dachflächen wurde ebenfalls im DGM abgebildet, sodass bei direkter Beregnung das Wasser entsprechend der Dachneigung abfließen kann.

Modellaufbau

Als Grundlage für die 2D-Berechnung wird ein digitales Geländemodell erstellt. Dieses besteht zum einen aus dem Bodenmodell (DGM1-Kacheln/OpenGeoData NRW) und zum anderen aus einem Dachflächenmodell. Letzteres wird aus den 3dm-Laserscanpunkten des DGM1L und den Hausumringen der ALKIS-Daten erstellt. Hierbei wurden nur bodenberührende Bauteile als Fließhindernis berücksichtigt. Beide Modelle werden in einem Oberflächenmodell im 1 × 1 m-Raster zusammengeführt. Die verschiedenen Oberflächenparameter bestimmen die Abflussmenge und -geschwindigkeit. Orientierend an der „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement – Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW“ (im Folgenden „Arbeitshilfe NRW“ genannt) wird von einem vorgesättigten Boden ausgegangen. Die Versickerung kann somit vernachlässigt werden. Im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung kommt daher der gesamte Niederschlag zum Abfluss.

Die Abflussgeschwindigkeit ist abhängig von der Oberflächenrauheit. Diese wurde anhand der Landnutzungsdaten (ALKIS) vergeben. Die Werte orientieren sich dabei an Literatur- und Erfahrungswerten. Folgende Rauheitsparameter, wie in Tabelle 1 ersichtlich, wurden angesetzt:

Tabelle 1: Rauheitsdaten nach Landnutzung. Übernommen aus: Fischer Teamplan und Ingenieurbüro Reinhard Beck 2021

AX Tatsächliche Nutzung nach ALKIS		k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Objektartengruppe: Siedlung	AX_Wohnbaufläche	45
	AX_Industrie und Gewerbefläche	40
	AX_Halde	25
	AX_Bergbaubetrieb	25
	AX_Tagebau Grube Steinbruch	25
	AX_Fläche gemischte Nutzung	18
	AX_Fläche besonderer funktionaler Prägung	18
	AX_Sport Freizeit und Erholungsfläche	20
	AX_Friedhof	36
Objektartengruppe: Verkehr	AX_Straßenverkehr	75
	AX_Weg	75
	AX_Platz	50
	AX_Bahnverkehr	45
	AX_Flugverkehr	75
	AX_Schiffsverkehr	33
Objektartengruppe: Vegetation	AX_Landwirtschaft	36
	AX_Wald	15
	AX_Gehölz	5
	AX_Heide	36
	AX_Moor	36
	AX_Sumpf	36
	AX_Umland vegetationslose Fläche	36
Objektartengruppe: Gewässer	AX_Fließgewässer	33
	AX_Hafenbecken	33
	AX_stehendes Gewässer	33
	AX_Meer	nicht vorhanden
	Dachflächen	72

Damit sind die Grundlagen für die Erstellung des Oberflächenabflussmodells vollständig erfasst und bilden die Basis für die verschiedenen Szenarien zur Berechnung des Modells.

Ansatz zur Verwendung der Niederschlagsdaten

Es wurden zwei jeweils einstündige Niederschlagsszenarien verwendet.

- Szenario 1: Seltener Starkregen mit einer Wiederkehrzeit von $T_N = 100$ a (T_N steht für Time als Jahre (a), N für Anzahl)

- Szenario 2: Extremer Starkregen mit pauschalem Blockregen von 90 mm/h

Beide Szenarien werden für eine Dauerstufe $D = 60$ min und eine Nachlaufzeit von 60 min berechnet (Berechnungsdauer: 120 min). Die Berechnung des Szenarios 1 erfolgt entsprechend der Kacheln aus dem Datensatz KOSTRA DWD 2010R, wie in Abbildung 2 ersichtlich. Bei Überlagerung mehrerer Kacheln aus dem KOSTRA DWD wurde die für das Modellgebiet größere Niederschlagsbelastung verwendet.

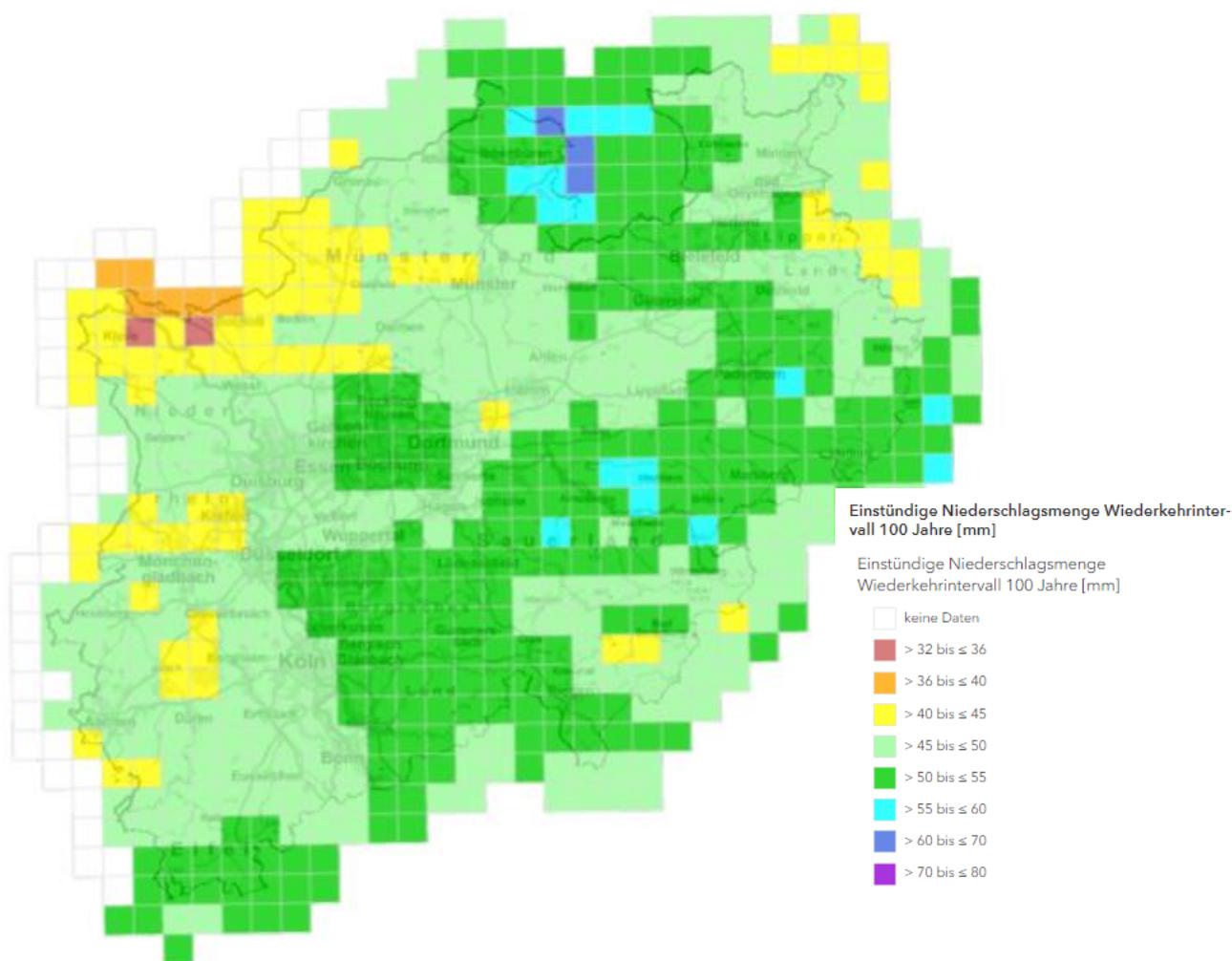


Abbildung 2: Auswertung Niederschlagsmengen für Niederschläge $D = 60$ min und $T_N = 100$ a.
 Datenquelle: KOSTRA-DWD-2010R, DWD. (Malitz & Ertel 2015, Junghänel et al. 2017).

Die Niederschlagsverteilung bei Szenario 1 erfolgt nach dem Ansatz des Blockregens nach den regionalen Gegebenheiten. Die Belastung beim Szenario 2 erfolgt ebenfalls als Blockregen mit pauschal 90 mm Niederschlag innerhalb einer Stunde unabhängig von der regionalen Lage.

Einteilung der Modellgebiete

Die Einteilung der Modellgebiete erfolgt anhand von hydrologischen Teileinzugsgebieten. Die Teilmodelle werden anhand von Gewässereinzugsgebieten (GSK3c), großen Gewässern und Wasserscheiden festgelegt. Dabei ergeben sich landesweit 495 Teileinzugsgebiete. Die mittlere Größe der Teileinzugsgebiete beträgt dabei ca. 72 km². Das kleinste Gebiet ist rund 4,5 km², das größte rund 120 km² groß. Abbildung 3 stellt die hydrologischen Teileinzugsgebiete für NRW auf der folgenden Seite dar.

Die Erfassung der Oberflächenabflüsse von Außengebieten (außerhalb von NRW) wurde über die Ausdehnung der hydrologischen Teileinzugsgebiete über Landesgrenzen hinaus berücksichtigt. Folglich ist das berechnete hydrologische Modell (mit 35.600 km²) rund 5 % größer als die Gesamtfläche von NRW (mit 34.110 km²). Die folgende Abbildung 3 stellt die hydrologischen Teileinzugsgebiete für NRW dar.

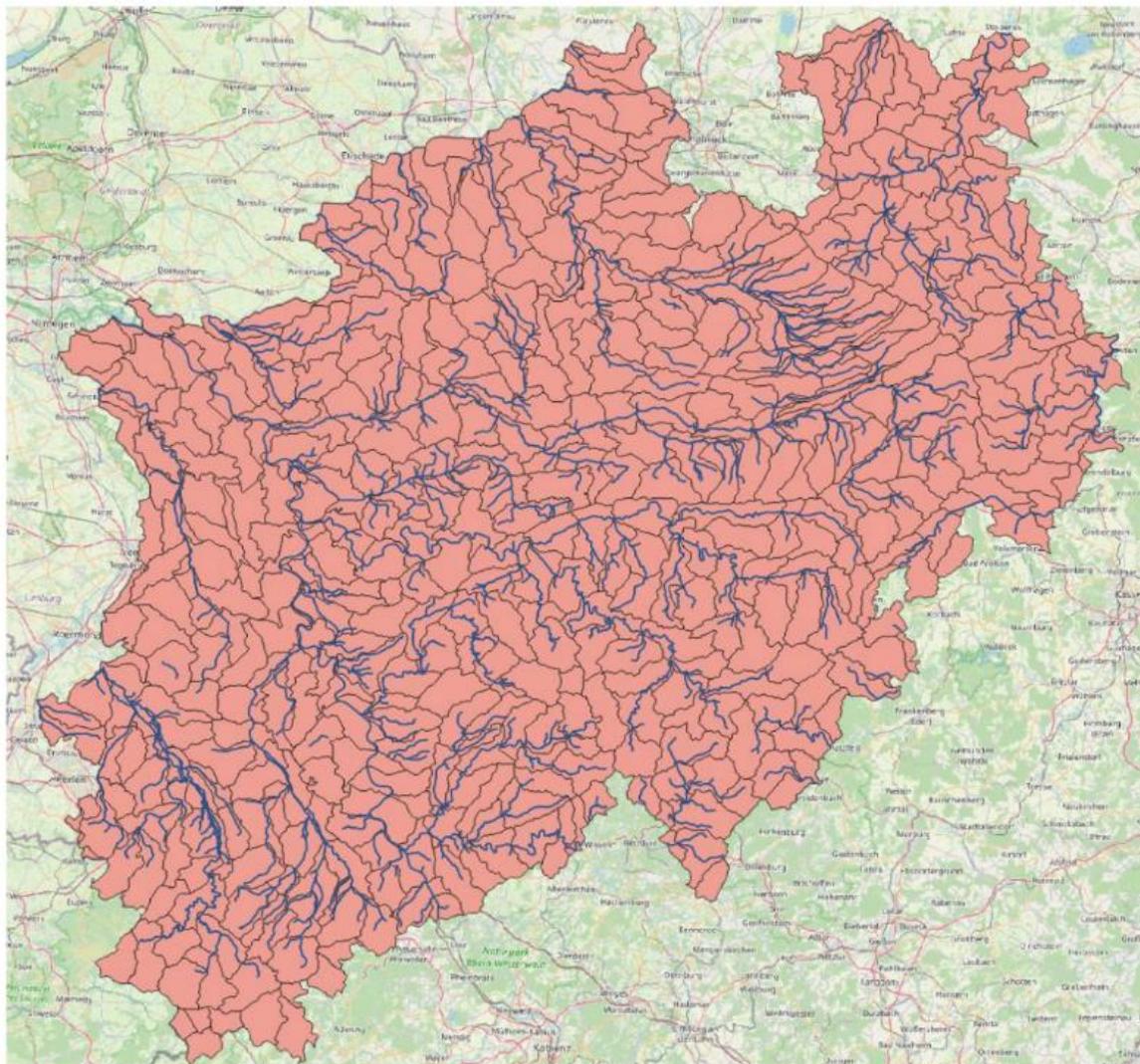


Abbildung 3: Teileinzugsgebiete in NRW. Datenquelle: Geobasis NRW, Bezirksregierung Köln.
Kartengrundlage: Land NRW (2021) Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0

Die Berechnungen der beiden Szenarien werden separat in den jeweiligen Teilmodellen, also in den Einzugsgebieten, durchgeführt. Durch die oben beschriebene Einteilung bilden die Teilmodelle hydrologisch abgeschlossene Einheiten, die nur über eine gemeinsame Vorflut mit dem ober- oder unterliegenden Modellgebiet verbunden sind. Um das Phänomen der Sturzflut durch Starkregen isoliert abzubilden und von dem Phänomen des Flusshochwassers zu trennen, wird die Weitergabe von Abfluss über die Vorfluter explizit vernachlässigt. Folglich lassen sich alle Teilmodelle separat berechnen und auswerten.

Modellverbesserungen anhand vorliegender Daten (automatische und manuelle Korrekturen)

Das Oberflächenmodell für die 2D-Berechnung besteht aus einem Boden- und einem Dachflächenmodell, die aus den Befliegungsdaten erstellt wurden. Um hydraulisch plausible Ergebnisse bei einer Starkregensimulation zu erhalten, muss das Bodenmodell neben der Implementierung des Gebäudebestandes entsprechend nachgearbeitet werden. Hierbei gilt es, Fließwege plausibel abbilden zu können, indem Fließhindernisse wie Brücken und Dämme oder große Gewässerdurchlässe im Modell berücksichtigt werden.

Es wird davon ausgegangen, dass im Bereich des Gewässernetzes entsprechende Durchlässe vorliegen, die die Fließwege erheblich beeinflussen. Neben Anpassungen des DGM zur realitätsnahen Abbildung von Fließwegen haben auch Gewässer und Pumpwerke einen erheblichen Einfluss auf die später zu berechnenden Überflutungen im Starkregenfall. Auf Basis der vorhandenen Datengrundlage und der Erfahrungen aus den Testberechnungen wurden daher folgende Kriterien für die Korrektur des DGMs festgelegt:

- Durchlässe (< 100 m)
- Gewässerverrohrungen (> 100 m)
- Hochwasserpumpwerke
- Risikogewässer (HWRM)

Eine genaue Beschreibung der nachträglichen Anpassung des für die Modellierung verwendeten Oberflächenmodells wird detailliert im Bericht zur Erstellung der Starkregengefahrenhinweiskarte für NRW des BKG aufgeführt (Fischer Teamplan und Ingenieurbüro Reinhard Beck 2021). Durchlässe und Gewässerverrohrungen bis 100 m Länge wurden nachträglich in das Oberflächenmodell mit 2 m Breite „geschlitzt“. Gewässerverrohrungen mit einer Länge über 100 m wurden im Modell als Auslass (Schluckbrunnen) behandelt. Pumpwerke in Poldergebieten werden im Modell ebenfalls als Schluckbrunnen bzw. Auslass behandelt. Bei Fließgewässern werden alle Abschnitte als sogenannte „Lochgewässer“, also Senken, angenommen, die im Rahmen der Europäischen Hochwasserrahmenrichtlinie (EU-HWRM RL, Europäisches Parlament und Rat 2007) als Risikogewässer eingestuft worden sind. Dadurch sollen die Fließgewässer von dem Abflussgeschehen der modellierten Starkregenereignisse abgekoppelt werden. Zusätzlich zu diesen Modellanpassungen, die auch im oben genannten Bericht kritisch gewürdigt werden, wurden zusätzliche Validierungen mit Hilfe von bereits bestehenden Starkregengefahrenkarten in einzelnen Kommunen vorgenommen. Darüber hinaus wurden für ganz NRW Vor-Ort-Recherchen durchgeführt, um das Modell örtlich plausibler zu machen. Insgesamt wurden ca. 320 Punkte angefahren und vor Ort überprüft. Entsprechend der vorgefundenen Situation wurde das Oberflächenmodell nochmals angepasst. In Abbildung 4 werden die von den Auftragnehmern

durchgeführten Vor-Ort-Recherchen in der Karte dargestellt. Dort ist eine deutliche Verdichtung der Recherche-Punkte im Umfeld des Ruhrgebiets zu sehen. Neben der starken Urbanisierung sind es hier vor allem die Bergsenkungen in Folge des intensiven Kohleabbaus, die zu der hohen Dichte wasserbaulich relevanter Strukturen führen.

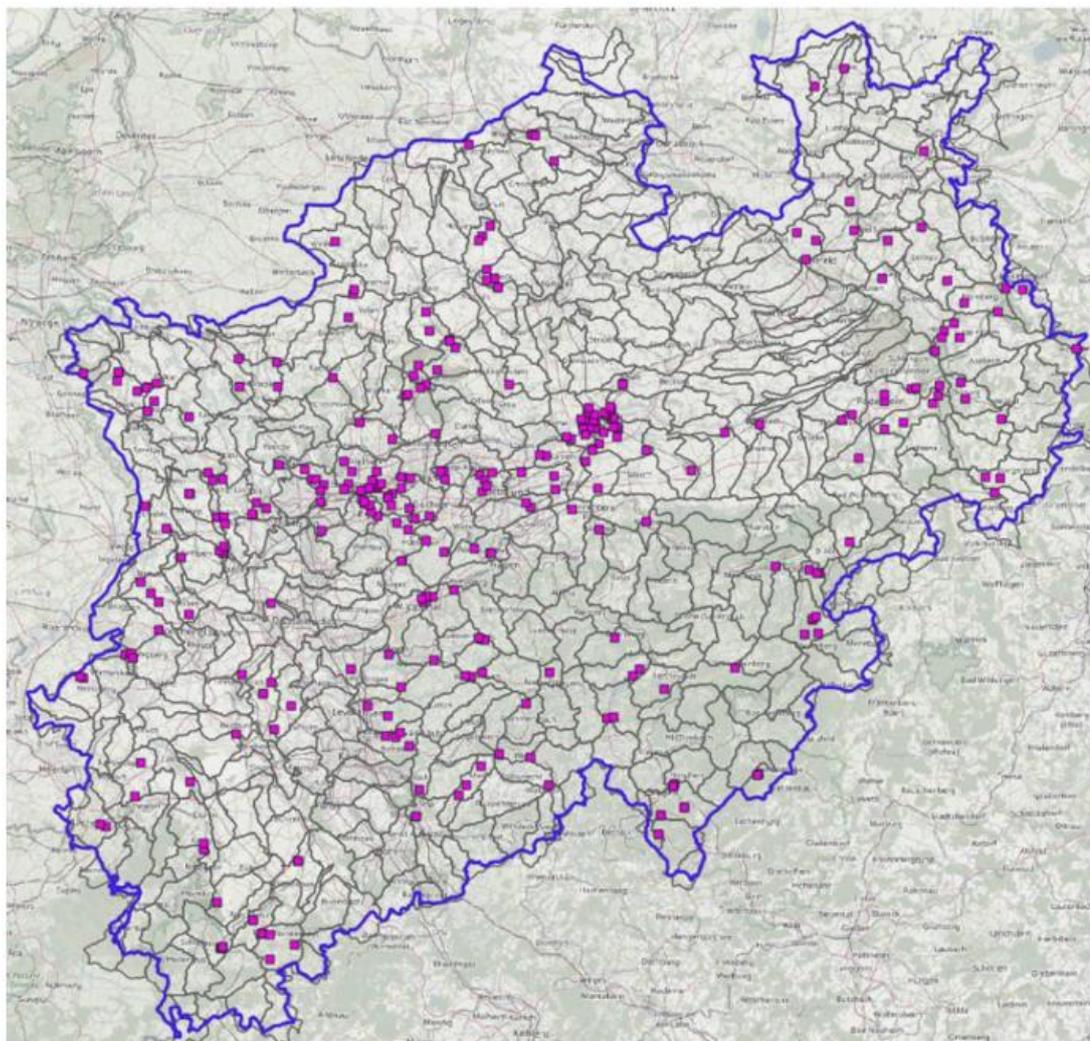


Abbildung 4: Darstellung der durchgeführten Vor-Ort-Recherchen. Quelle: Fischer Teamplan und Ingenieurbüro Reinhard Beck 2021. Kartengrundlage: Land NRW (2021) Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0.

Abschließende Berechnungen des 2D-Modells für das Gesamtgebiet mit 2 Szenarien

Nach der erfolgten DGM-Plausibilisierung, den Testberechnungen und Vor-Ort-Recherchen wurde das eigentliche Modell für jedes Teileinzugsgebiet berechnet. Anschließend wurden diese Daten zu einem gesamten Kartenwerk für das jeweilige Szenario zusammengefügt.

Die hydrodynamische Simulation des Oberflächenabflusses wird durch das Lösen der Flachwassergleichungen mit dynamischen Zeitschritten durchgeführt. Als CFL-Limit (Courant-Zahl) wird 0,5 festgeschrieben. Diese Grenze legt fest, um wie viele Zellen sich das Wasser je Rechenschritt fortbewegen kann. Die Differenzierung basiert auf einem stabilen Finite-Volumen-Schema erster Ordnung nach Godunov. Die Randbedingungen der Simulation sind durch die Berechnungsmenge der Teilgebiete und einer freien Auslaufbedingung mit fortlaufendem Gelände und Wasserstand an den Modellgrenzen gegeben. Als Ergebnisdaten werden der maximale Wasserstand sowie die maximale Fließgeschwindigkeit mitgeschrieben. Die angewendete Software löst die Flachwassergleichung direkt im 1 m-Raster für jede 1 m²-Zelle.

Nochmalige nachträgliche Qualitätsüberprüfungen wurden stichprobenartig bei den Berechnungen durchgeführt. Dabei wurden nachträglich die Positionen von Verrohrungen oder Brücken angepasst, um die örtlichen Gegebenheiten möglichst exakt wiederzugeben.

Kartenbeschreibung

Die für das Bundesamt für Geographie und Geodäsie hergestellte Starkregengefahrenhinweiskarte für NRW stellt für die jeweils einstündigen Starkregenszenarien

- Szenario 1: Seltener Starkregen ($T_N = 100$ a)
- Szenario 2: Extremer Starkregen (90 mm/h)

überflutete Flächen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten dar. Die Klassifikation der Wassertiefen sowie der Fließgeschwindigkeiten ist ursprünglich nach der Arbeitshilfe Kommunales Starkregenrisikomanagement durchgeführt worden. Mittlerweile wurden die Klassen der Wassertiefen sowie der Fließgeschwindigkeit in den höheren Wertebereichen etwas diversifiziert. Abbildung 5 zeigt die Klassifikation der modellierten Wassertiefen in einer Beispielkarte, wobei die Klasse der geringsten Wassertiefe (< 10 cm) als transparent dargestellt wird. Abbildung 6 stellt die Klassifikation der Fließgeschwindigkeiten im gleichen Ausschnitt der Beispielkarte dar. Dabei kann in der Kartenanwendung zwischen der Starkregenategorie „Seltener Starkregen ($T_N = 100$ a)“ und „Extremer Starkregen (90 mm/h)“ umgeschaltet werden.

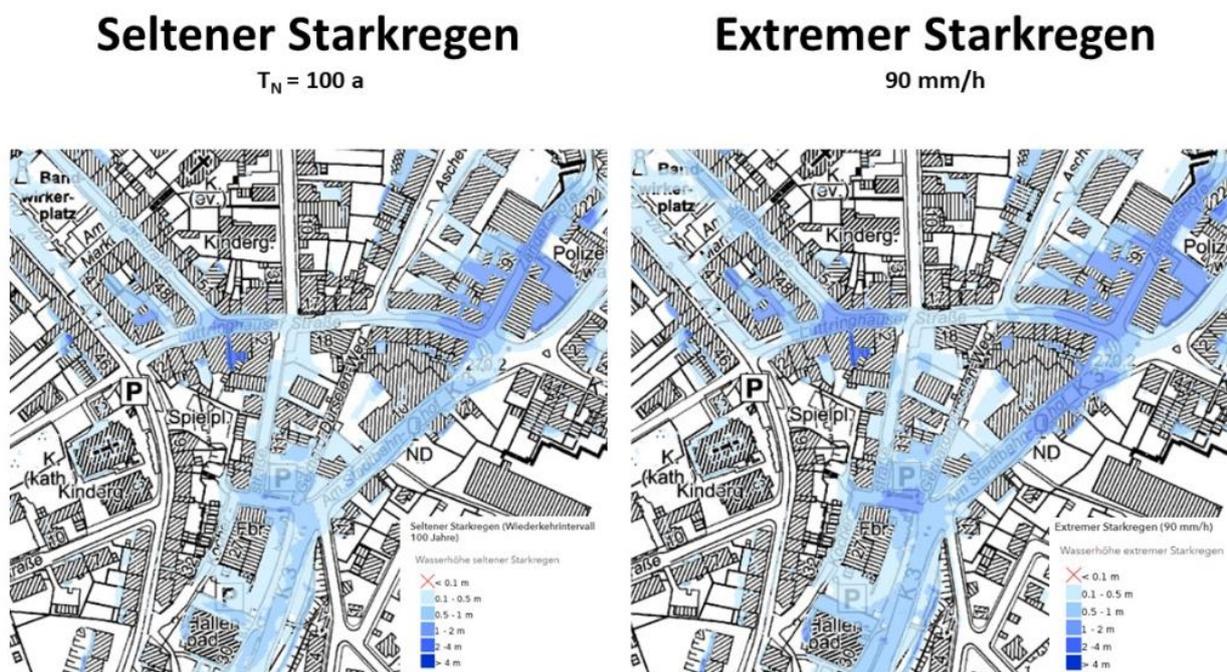


Abbildung 5: Beispielkarte für Wassertiefen aus der Starkregengefahrenhinweiskarte für NRW des BKG.
Kartengrundlage: Land NRW (2021) Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0.

Seltener Starkregen

$T_N = 100 \text{ a}$

Extremer Starkregen

90 mm/h

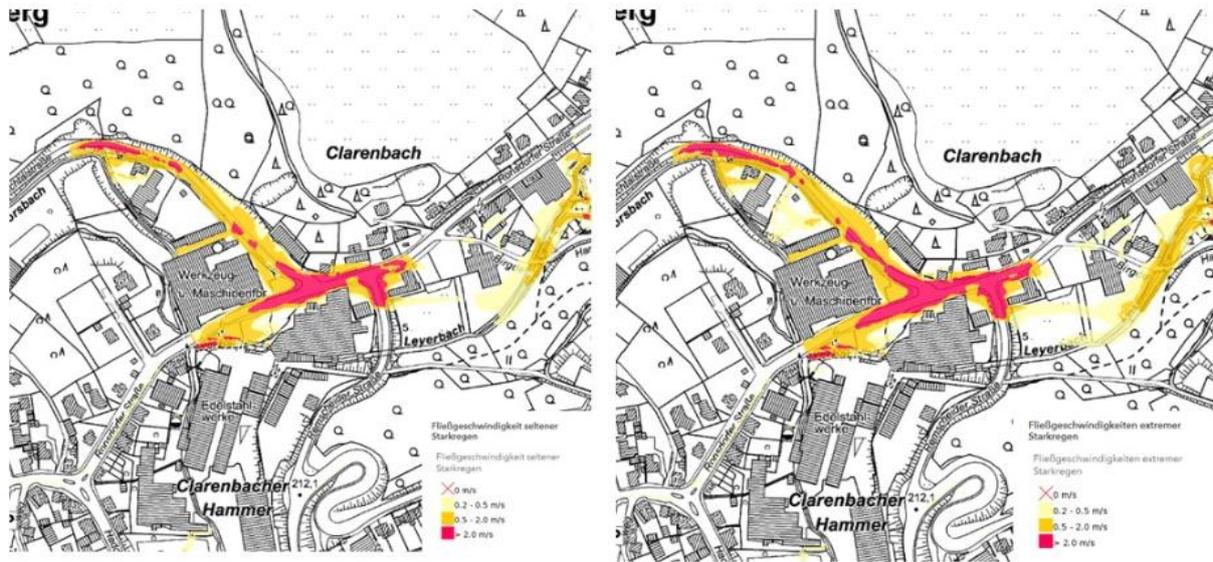


Abbildung 6: Beispielkarte für Fließgeschwindigkeiten aus der Starkregengefahrenhinweiskarte des BGK.
Kartengrundlage: Land NRW (2021) Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0.

Die Ergebnisse ermöglichen es, flächige Hotspots zu bestimmen, aber auch die Gefährdung einzelner Gebäude grob zu bewerten. Mögliche Schutzmaßnahmen und die genauen Strukturen auf den Grundstücken sind im Modell nur auf Basis der Laserscanbefliegung vorhanden. Die Gefährdung muss daher immer auch vor Ort bewertet werden. Die hier erstellten Karten sollen einen Hinweis auf mögliche Gefährdungen geben, im kommunalen Rahmen sind die Ergebnisse und Modellannahmen zu hinterfragen und ggf. anzupassen.

Fazit

Die Aufgabenstellung des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie war es, eine Starkregengefahrenhinweiskarte für die Gesamtfläche des Bundeslandes NRW auf Basis des DGM1 zu erstellen. Leistungsfähige Soft- und Hardware, sowie die Unterteilung des Gebietes in Teilgebiete haben es ermöglicht, auch die Berechnungen in dieser hohen Auflösung durchzuführen (1 × 1 m-Raster). Damit liegt der Starkregengefahrenhinweiskarte ein hoch aufgelöstes DGM zu Grunde, welches bei



XL-Hochwasser ©fotolia Jürgen Fälchle

stadtgebietsweiten Betrachtungen selten feiner genutzt wird. Dennoch sind bei einer solch großflächigen Bearbeitung Annahmen zu treffen, die nur stichprobenartig auf Realität geprüft werden können. Dort wo lokale Starkregenkarten existieren, sind diese genauer an lokale Gegebenheiten angepasst und somit vorzuziehen. Für die Abbildung des Gesamtgebietes und Hinweise zur Starkregengefährdung für größere Gebietseinheiten ist die BKG Starkregengefahrenhinweiskarte jedoch ausreichend und liefert gute Ergebnisse, insbesondere die Möglichkeit, im Klimaatlas die Hochwassergefahrenkarten zu der Starkregengefahrenhinweiskarte hinzufügen zu können, bietet einen guten Überblick über eine mögliche Gefährdungslage durch Sturzfluten und Flusshochwässer, gerade in kleinen Einzugsgebieten.

Literatur

- Europäisches Parlament und Rat (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. RICHTLINIE 2007/60/EG.
- Fischer Teamplan und Ingenieurbüro Reinhard Beck (2021): Starkregengefahrenhinweiskarten NRW. Erläuterungsbericht. (Vorabzug, verfügbar über das BKG). Unter Mitarbeit von Maren Hellmig und Uwe Ross. Beauftragt v. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt a. M., Solingen.
- MULNV (2018): Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement. Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW. Unter Mitarbeit von Kleingruppe „Starkregen“. Hg. v. MULNV.
- Liang, Qihua; Smith, Luke S. (2015): A high-performance integrated hydrodynamic modelling system for urban flood simulations. In: Journal of Hydroinformatics 17 (4), S. 518–533. DOI: 10.2166/hydro.2015.029