

Zwischenbericht

Starkregenrisikomanagement (SRRM)

Untersuchung der Auswirkungen von Überflutungen infolge von Starkregen auf dem Gebiet der Stadt Erkelenz



Auftraggeber

Stadt Erkelenz

Aachen, Juni 2024

Wir danken allen Beteiligten für die Hilfestellungen bei der Bearbeitung und die jederzeit freundliche und kooperative Zusammenarbeit.

Impressum

Verfasser	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH Bachstraße 62-64 52066 Aachen +49 241 94689 0 mail@hydrotec.de www.hydrotec.de
Auftraggeber	Stadt Erkelenz
Projektbetreuung	Bernhard Rembarz (Stadt Erkelenz)
Autoren	Leandro Mücke (Projektleitung, 2D-Hydraulik) Marc Überschär (Projektbearbeitung, 2D-Hydraulik) Susanne Friedeheim (Projektbearbeitung, GIS) Birgitt Charl (Redaktion)
Bildnachweis	Das Titelbild zeigt die Überflutungsflächen für das extreme Ereignis in Erkelenz. (Quelle: MapView-Webanwendung, Hydrotec)
Stand	Juni 2024
Projektnummer	P2659 (P2645)

© 2024 Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

Jegliche anderweitige, auch auszugsweise, Verwertung des Berichtes, der Anlagen und ggf. mitgelieferter Projekt-Datenträger außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Auftraggebers unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Vervielfältigung von Teilen des Werkes ist nur zulässig, wenn die Quelle genannt wird.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Anlagenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Veranlassung	7
2 Untersuchungsgebiet, Datenaufbereitung	8
2.1 Verwendete Daten	8
2.2 Verwendetes Koordinatensystem	10
2.3 Datenaufbereitung.....	10
2.3.1 Geländemodell (DGM1)	10
2.3.2 3D-Gebäudedaten (LoD2)	12
2.3.3 Tatsächliche Nutzung	14
2.3.4 Nacharbeiten Neubaugebiete	16
2.3.4.1 Geländemodell (DGM1) im Bereich von Neubaugebieten	16
2.3.4.2 3D-Gebäudedaten (LoD2) im Bereich von Neubaugebieten	16
3 Verwendete Software	17
3.1 Berechnungen mit HydroAS	17
4 Starkregengefahrenkarten – Hydraulische Gefährdungsanalyse	18
4.1 Modellaufbau	18
4.1.1 Aufteilung Untersuchungsgebiet	18
4.1.2 Gewässer und Gräben	19
4.1.3 Verrohrungen, Brücken, Unterführungen	19
4.1.4 Gebäude.....	20
4.1.5 Oberflächenrauheiten	20
4.1.6 Auslaufrandbedingung	21
4.1.7 Zuflussrandbedingung	22
4.1.8 Niederschlagsbelastung.....	22
4.1.9 Effektivniederschlag.....	22
4.1.10 Versickerung.....	23
4.1.11 Kanalisation	23
4.1.12 Besonderheiten.....	24
4.1.12.1 Tagebauproblematik.....	24
4.1.12.2 HRB Lövenich	25
4.1.12.3 HRB Katzem.....	25

4.1.12.4 HRB Ziegelweiher	25
4.1.12.5 HRB I Ophovener Mühlenweiher	26
4.1.12.6 HRB II Grenzlandring	26
4.1.12.7 HRB III Erkelenz.....	26
4.1.12.8 HRB Birther Graben	26
4.1.12.9 Versickerungsanlagen	26
4.2 Vorsimulation	26
4.3 Starkregensimulationen.....	27
4.4 Zusätzliche Starkregenuntersuchung für ein Modellregen	27
4.5 Darstellung der Modellergebnisse infolge Starkregen	28
4.6 Verifizierung der Modellergebnisse	32
4.7 Unterschiede zwischen Hochwassergefahrenkarten und Starkregengefahrenkarten.....	32
5 Ergebnisauslieferung	35
6 Literatur und verwendete EDV-Programmsysteme	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Untersuchungsgebiet Starkregenrisikomanagement Erkelenz	8
Abbildung 2-2:	Digitales Geländemodell 2020/2022 (schwarze Kontur: Stadtgebiet Erkelenz).....	10
Abbildung 2-3:	Aktualität DGM1 2022 (schwarze Kontur: Stadtgebiet Erkelenz; rote Konturen: angrenzende Kommunegebiete)	11
Abbildung 2-4:	Höhen der 3D-Gebäude als 3D-Shape (Multipatch) in Schräg-Ansicht (oben); aufbereitet als TIF-Raster hinterlegt mit dem DGM1 (unten)	13
Abbildung 2-5:	Übersicht „Tatsächliche Nutzung“ nach Klassen (schwarze Kontur: Stadtgebiet Erkelenz; rote Konturen: angrenzende Kommunegebiete) ...	14
Abbildung 2-6:	Klassen der „Tatsächlichen Nutzung“ und deren Anteil innerhalb des Modellgebietes.....	15
Abbildung 2-7:	Lage der Neubaugebiete im Stadtgebiet Erkelenz mit Befliegungsdaten (rote Linien); Hintergrundkarte © GeoBasis-DE / BKG 2023	16
Abbildung 4-1:	Visualisierung der dreidimensionalen Gebäude im Berechnungsnetz	18
Abbildung 4-2:	Übersicht der Teilmodelle für das gesamte Projektgebiet.....	19
Abbildung 4-3:	Ansatz zur Ermittlung von fließtiefenabhängigen Rauheiten mit $H_1 = 2$ cm, $H_2 = 10$ cm, k_{st_1} und k_{st_2} entsprechend Tabelle 4-1	20
Abbildung 4-4:	Lage Tagebau Garzweiler	25
Abbildung 4-5:	Euler Typ II Verteilung des Niederschlags N30	28
Abbildung 4-6:	Darstellung der maximalen Überflutungsausdehnung für alle Niederschlagsszenarien in einer Übersichtskarte	29
Abbildung 4-7:	Detaildarstellung der maximalen Überflutungsausdehnung und der maximalen Überflutungstiefe je Niederschlagsszenario, hier für das außergewöhnliche Szenario ($T_n = 100$ a; 50 mm/h).....	30
Abbildung 4-8:	Detaildarstellung der maximalen Fließgeschwindigkeiten je Niederschlagsszenario, hier für das außergewöhnliche Szenario ($T_n = 100$ a; 50 mm/h).....	31
Abbildung 4-9:	Beispiel für Abgleich Überflutungsflächen für das außergewöhnliche Ereignis aus den SRGK mit denen der BKG-Starkregenhinweiskarten	32
Abbildung 4-10:	Darstellung Überflutungsflächen der HWGK (HQ100) und der SRGK (außergewöhnliches Ereignis).....	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Übersicht Flächengrößen	8
Tabelle 2-2:	Parameter 3D-Gebäude Eingangsdaten	12
Tabelle 4-1:	Stricklerbeiwerte in Abhängigkeit der Realnutzung.....	21
Tabelle 4-2:	Anfangsverluste in Abhängigkeit der Realnutzung	23

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Rückmeldungen zu den Ergebnissen der Vorsimulation und Starkregensimulationen (SR)
Anlage 2:	Übersichtskarte mit der maximalen Überflutungsausdehnung je Niederschlagsszenario und für alle Niederschlagsszenarien überlagert (selten, außergewöhnlich und extrem)
Anlage 3:	Starkregengefahrenkarten mit der maximalen Überflutungsausdehnung, der maximalen Überflutungstiefe, der Fließrichtung und den maximalen Fließgeschwindigkeiten je Niederschlagsszenario
Anlage 4:	Detailkarten mit den maximalen Fließgeschwindigkeiten

Abkürzungsverzeichnis

ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographische Informationssystem
BK50	Bodenkarte im Maßstab 1:50.000
BW	Baden-Württemberg
DGM1	Digitales Geländemodell im 1x1 m Raster
DN	Nenndurchmesser
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GIS	Geografisches Informationssystem
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HWGK	Hochwassergefahrenkarte
ITWH	Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie
KA	Kläranlage
kf-Wert	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit des Bodens
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung (Starkregen-katalog) vom DWD
MULNV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
N20	statistisches Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrinter-vall von 20 Jahren
N100	statistisches Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrinter-vall von 100 Jahren
N500	statistisches Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrinter-vall von 500 Jahren
Nextrem	statistisches Niederschlagsereignis mit einem Wiederkehrinter-vall von ca. 20.000 Jahren
NRW	Nordrhein-Westfalen
RRB	Regenrückhaltebecken
RÜ	Regenüberlauf
RÜB	Regenüberlaufbecken
SRGK	Starkregengefahrenkarten
SRRM	Starkregenisikomanagement

1 Veranlassung

Die Stadt Erkelenz beabsichtigte, in Kooperation mit dem Schwalmverband, der Stadt Mönchengladbach, der Stadt Wegberg und dem Kreis Viersen eine Untersuchung zum Thema Starkregen und Sturzfluten durchführen zu lassen. Die Starkregenuntersuchung sollte in Anlehnung an die „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement – Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW“ (MULNV 2018) durchgeführt werden.

Die Arbeitshilfe formuliert Empfehlungen zur Durchführung von Gefährdungs- und Risikoanalysen für starkregenbedingte Überflutungen, die in einem integrierten Handlungskonzept münden. Die Leistungsanforderungen in diesem Projekt umfasste dabei folgende Aufgaben:

- Hydraulische Gefährdungsanalyse: Ergebnis sind die Starkregengefahrenkarten
- Risikoanalyse zur Starkregengefahrenkarte unter Einbindung der Stadtgemeinschaft, Risikobewertung kritischer Objekte und Bereiche
- Handlungskonzept zum Starkregenrisikomanagement erstellen und in der Stadtgemeinschaft präsentieren

Ende 2021 wurde Hydrotec von der Stadt Erkelenz mit der Durchführung der Starkregenuntersuchung beauftragt.

Ende 2021 haben ebenfalls der Schwalmverband, Mönchengladbach, Wegberg und Anfang 2022 der Kreis Viersen Hydrotec mit der Durchführung einer Starkregenuntersuchung beauftragt. Aufgrund der zeitgleichen Bearbeitung der Starkregenuntersuchungen sollten u. a. Synergieeffekte bei der Bearbeitung genutzt werden.

2 Untersuchungsgebiet, Datenaufbereitung

Das Untersuchungsgebiet entspricht dem Stadtgebiet von Erkelenz, vgl. hierzu Abbildung 2-1.

Tabelle 2-1: Übersicht Flächengrößen

Kommune	Fläche Kommune	Fläche innerhalb SV	Fläche außerhalb SV
Name	km ²	km ²	km ²
Erkelenz	117,3	26,6	90,7

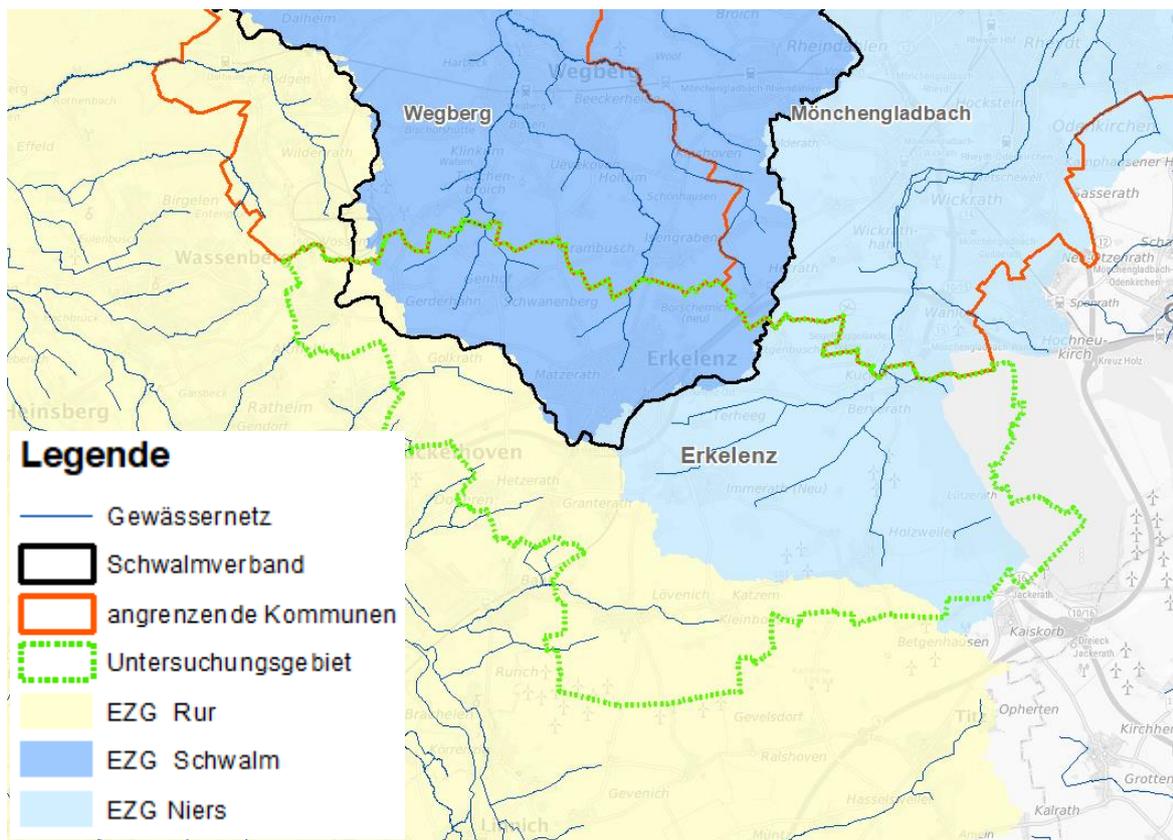


Abbildung 2-1: Untersuchungsgebiet Starkregenrisikomanagement Erkelenz

2.1 Verwendete Daten

Alle erforderlichen Daten wurden von den Auftraggebern (AG) bereitgestellt oder von Hydrotec eigenständig recherchiert. Übernommene Daten wurden gesichtet und bzgl. der weiteren Bearbeitung bewertet und aufbereitet.

Folgende Grundlagendaten wurden von den Auftraggebern bereitgestellt:

Schwalmeverband (2022 und 2023):

- Geobasisdaten im Schwalmeverbandsgebiet, wie Gewässer, Deiche, Durchlässe, Stauräume im Shape-Format
- bekannte Schadensereignisse im Shape-Format
- Lageplan Ryther Graben im DWG-Format

Brüggen (2022):

- a) Geobasisdaten im Shape-Format: Gewässerthema
- b) Angaben zur Lage von Neubaugebieten im Shape-Format
- c) Informationen zu Bauwerken aus der Kanalisation
- d) Kanalnetzdaten im dxf-Format

Erkelenz:

- a) Geobasisdaten im Stadtgebiet Erkelenz, wie Gewässer, Deiche, Durchlässe, Stauräume im Shape-Format bzw. über die TerraWeb Plattform (Erkelenz 2022)
- b) Befliegungsdaten zu Neubaugebieten (Erkelenz 2022)
- c) Kanalnetzdaten aus Hystem-Extran (Achten und Jansen 2023a)
- d) Überstauganglinien aus der Kanalisation (Achten und Jansen 2023b)

Mönchengladbach (NEW 2022):

- a) Landnutzungsdaten für das Stadtgebiet MG (Feature Class in ESRI File GDB)
- b) Durchlassdaten (EXCEL-Format)
- c) Bauwerksdaten (EXCEL-, Shape-, pdf-Format)
- d) Regenschreiberdaten im Stadtgebiet (mdx-Format)
- e) Kanalnetzdaten (Shape-, EXCEL-Format)
- f) Beschwerdelisten vergangener Starkregenereignisse (EXCEL-Format)
- g) Angaben zu Neubaugebieten (Shape-Format)

Niederkrüchten (2022 und 2023):

- a) Geobasisdaten im Shape-Format: Gewässerthema
- b) Überflutungsmeldungen und Liste mit Feuerwehreinsätze 2020/2021
- c) Angaben zur Lage von Neubaugebieten im Shape-Format
- d) Kanalnetzdaten - GEP Stand 2013
- e) Daten zum RHB am Ryther Graben

Schwalmtal (2022):

- a) Angaben zur Lage von Neubaugebieten im dwg-Format
- b) Kanalnetzdaten - GEP Stand 2017
- c) Überflutungsmeldungen

Wegberg (2022):

- a) Geobasisdaten im Shape-Format: Thema zu Durchlässen und Verrohrungen
- b) Angaben zur Lage von Neubaugebieten im dwg-Format
- c) Kanalnetzdaten - GEP Stand 2021

Folgende Grundlegendaten wurden von Hydrotec recherchiert und beschafft:

- a) Digitales Geländemodell (DGM1), Stand 2020/2022 (xyz-ASCII)
 - daraus abgeleitetes Raster (TIFF-Format) (GeobasisNRW 2023)
- b) Gebäudedaten LoD2 (gml-Format), Stand 03.01.2023 (GeobasisNRW 2023)
- c) ALKIS Gebäude- und Nutzungsdaten NRW (Shape-Export aus WFS-Dienst), Stand 13.03.2023 (GeobasisNRW 2023)

- d) Verschiedene WMS-Dienste von GeobasisNRW (Digitales Orthofoto (DOP), ALKIS, ABK, Starkregengefahrenhinweiskarte, Hochwasser-Gefahrenkarte, Gewässerstationierungskarte (GSK3E))
- e) Daten der Niederschlagsbelastung (KOSTRA-DWD 2010R)
(Junghänel et al. 2017, Datensatz: KOSTRA-DWD 2010R, hrsg. vom DWD)

2.2 Verwendetes Koordinatensystem

In dieser Starkregenuntersuchung wurde folgendes Koordinatensystem verwendet:

Lage / Lageangabe: ETRS89/UTM32 (EPSG 25832)

Höhe / Höhenangabe: DHHN2016 (EPSG 7837)

Alle Grundlagendaten, die in anderen Koordinatensystemen geliefert wurden, wurden auf das oben erwähnte Koordinatensystem transformiert.

2.3 Datenaufbereitung

Die Grundlagendaten (wie z.B. ALKIS-, LoD2-Daten, DGM1 etc.) für die hier durchgeführte Starkregenuntersuchung besitzen unterschiedliche Aktualitäten. Es ist zu beachten, dass Änderungen in den Grundlagendaten nach der hier verwendeten Aktualität in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Diese müssen im Rahmen einer Fortschreibung der Starkregengefahrenkarte berücksichtigt werden.

2.3.1 Geländemodell (DGM1)



Abbildung 2-2: Digitales Geländemodell 2020/2022 (schwarze Kontur: Stadtgebiet Erkelenz)

Die Landesvermessung von Nordrhein-Westfalen stellt flächendeckend Geländemodelldaten zur Verfügung. Erfasst werden die Daten mit dem Verfahren des Airborne Laserscanning. Die 3D-Messdaten liegen als unregelmäßig verteilte Punktwolke vor. Aus diesen Daten leitet GeobasisNRW ein Geländemodell mit regelmäßig verteilten Punkten und einem Punktabstand von 1 m ab, das sogenannte DGM1. Das DGM1 wird als Grundlage zur Abbildung der Geländeinformation im Modellaufbau verwendet.

Nachfolgend sind die wichtigsten Kennparameter in Stichworten aufgeführt.

Erfassungsmethode: Airborne Laserscanning (ALS)

Die Airborne Laserscanning-Befliegung erfolgte hierbei:

- 2022: 27.02.2022 und 18.03.2022
- 2020: 21.03.2020

Bezugssysteme:

- Lage: ETRS89/UTM32 (EPSG 25832)
- Höhe: DHHN2016 (EPSG 7837)

Genauigkeit:

- Lage: +/- 0 cm
- Höhe: +/- 20 cm
- Punktdichte: >= 4 Punkte / m²

Aktualität

Für das Schwalmverbandsgebiet und die angrenzenden Kommunen ist die Aktualität des DGM zweigeteilt. Im Süden für die Kommunen Wegberg, Erkelenz und den überwiegenden Anteil von Mönchengladbach stammen die Erhebungsdaten für das DGM von 2022. Im Norden für die Kommunen Niederkrüchten, Brüggen, Schwalmatal und ein kleiner Anteil von Mönchengladbach stammen die Daten aus 2020, vgl. hierzu Abbildung 2-3.



Abbildung 2-3: Aktualität DGM1 2022 (schwarze Kontur: Stadtgebiet Erkelenz; rote Konturen: angrenzende Kommunengebiete)

Die DGM1-Daten wurden als Einzeldateien (Kacheln 1 x 1 km) im XYZ-ASCII-Format aus dem OpenData-Bereich von GeobasisNRW abgerufen und zu einem Raster im TIFF-Format aufbereitet.

2.3.2 3D-Gebäudedaten (LoD2)

Die 3D-Gebäudedaten in der Detaillierungsstufe 2 (LoD2) stehen im OpenData-Bereich von GeobasisNRW zur Verfügung (https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/3dq/lod2_gml/lod2_gml/).

Anfang Januar 2023 erfolgte die Beschaffung durch Hydrotec.

Tabelle 2-2: Parameter 3D-Gebäude Eingangsdaten

Anzahl Kacheln	Kachel Größe	Format	Aktualität	Nicht verwendete Klassen (Objektart_Funktion)
1150	1x1 km	CityGML	12/2021 bis 02/2022 (lt. Attribute CreationDate) 10/2021 bis 12/2021 (lt. Attribute GrundrissAkt)	14x Sende_Funkturm_Fernmeldeturm (51001_1008) 8x Windrad (51002_1220) 2x Solarzellen (51002_1230) 14x Mast (51002_1250) 15282 Freileitungsmast (51002_1251) 2x Funkmast (51002_1260) 12x Schornstein Schlot Esse (51002_1290) 53x Zuschauertribüne (51006_1430) 15x Zuschauertribüne_ueberdacht (51006_1431) 1x Zuschauertribüne_nicht_ueberdacht (51006_1432) 10x Befestigung_(Burgruine) (51007_1400) 8x Burg_(Fliehbürg_Ringwall) (51007_1410) 1x Stadtmauer (51007_1510) 57507x Überdachung (51009_1610) 4333x Carport (51009_1611) 10x Mauer (51009_1700) 21x Gedenkstätte Denkmal Denkstein Standbild (51009_1750) 17642x Brücke (53001_1800) 67x Hochbahn_Hochstrasse (53001_1830) 2x Sperrwerk (53009_2080)

Die Daten wurden nach Objektart und Funktion analysiert und eine Auswahl von Objekten festgelegt, die nicht in die Konvertierung als 3D-Objekt eingehen sollen. Die nicht verwendeten Klassen sind Tabelle 2-2 zu entnehmen.

Die CityGML-Daten wurden mit ihrer Dachhöhe (RoofSurface) in ein Raster im TIF-Format konvertiert (siehe Abbildung 2-4). Kleinstflächen < 10 m² wurden gefüllt. Weiterhin erfolgte ein Abgleich mit den ALKIS-Gebäudedaten. Fehlende Gebäude im LoD2-Datensatz wurden im Klötzchen-Format aufgefüllt, d.h. der Gebäudeumriss wurde aus den ALKIS-Daten übernommen und mit einer allgemeinen Gebäudehöhe (z.B. 5 m) versehen.

Abschließend wurde das LoD2-Raster in das DGM-Raster übernommen.

Es ist zu beachten, dass die Angaben in Tabelle 2-2 das gesamte Untersuchungsgebiet (ca. 1.000 km²) für die Starkregenrisikomanagement-Projekte des Schwalmverbands mit den angrenzenden Kommunen und des Kreises Viersen abdecken, die zeitgleich die Erstellung von Starkregengefahrenkarten durch Hydrotec haben durchführen lassen.

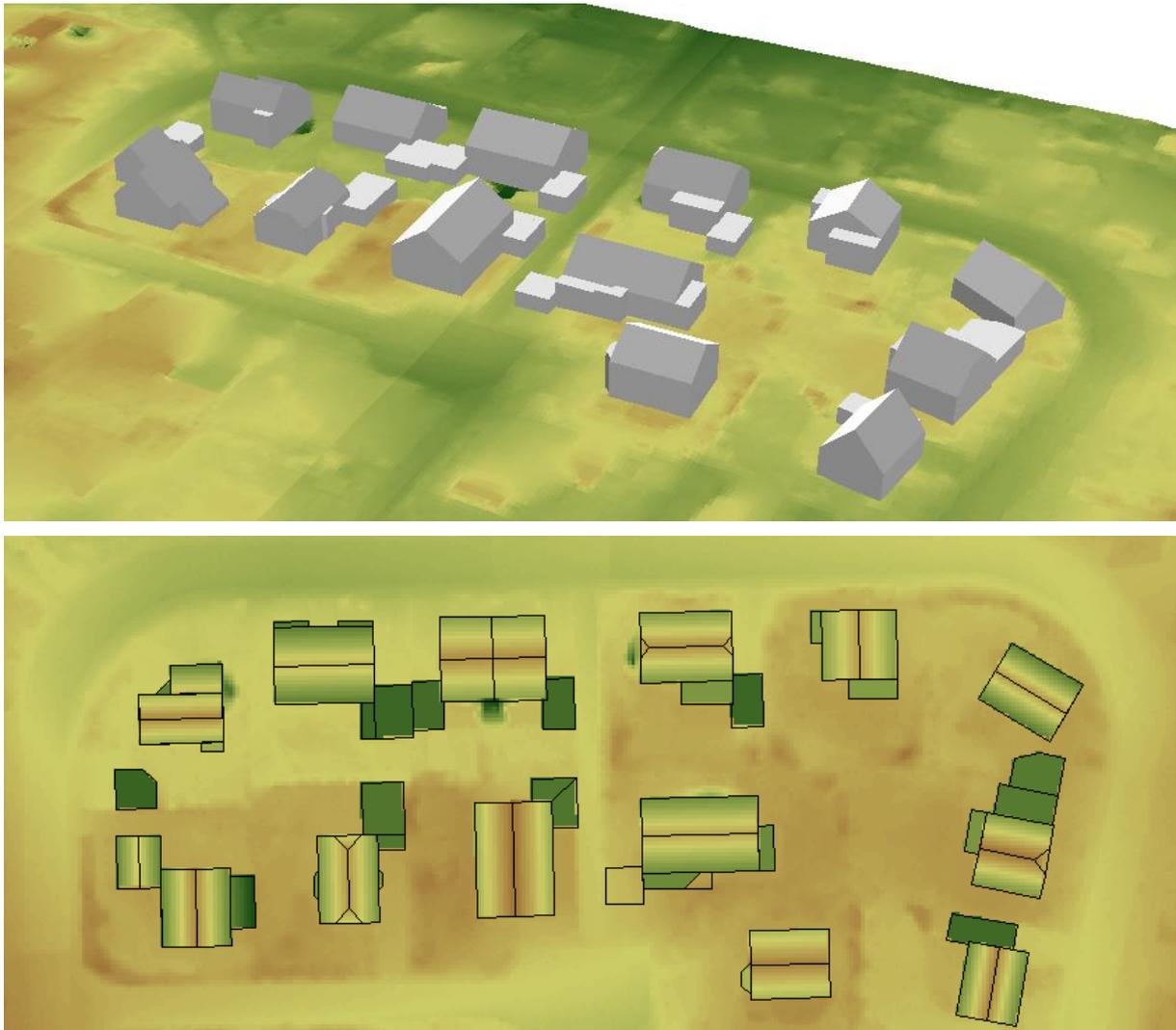


Abbildung 2-4: Höhen der 3D-Gebäude als 3D-Shape (Multipatch) in Schräg-Ansicht (oben); aufbereitet als TIF-Raster hinterlegt mit dem DGM1 (unten)

2.3.3 Tatsächliche Nutzung

Die „Tatsächliche Nutzung“ liegt flächendeckend als ALKIS-Datensätze von GeobasisNRW vor. Der Abruf der Daten erfolgte durch Hydrotec im März 2023 als Shape-Export aus dem WFS-Dienst von GeoBasisNRW (ALKIS – Vereinfachtes Verfahren https://www.wfs.nrw.de/geobasis/wfs_nw_alkis_vereinfacht). Die Daten wurden hinsichtlich Redundanzen und kleineren Fehlbereichen aufbereitet, Attributfelder homogenisiert und zu einem Gesamtdatensatz zusammengeführt.

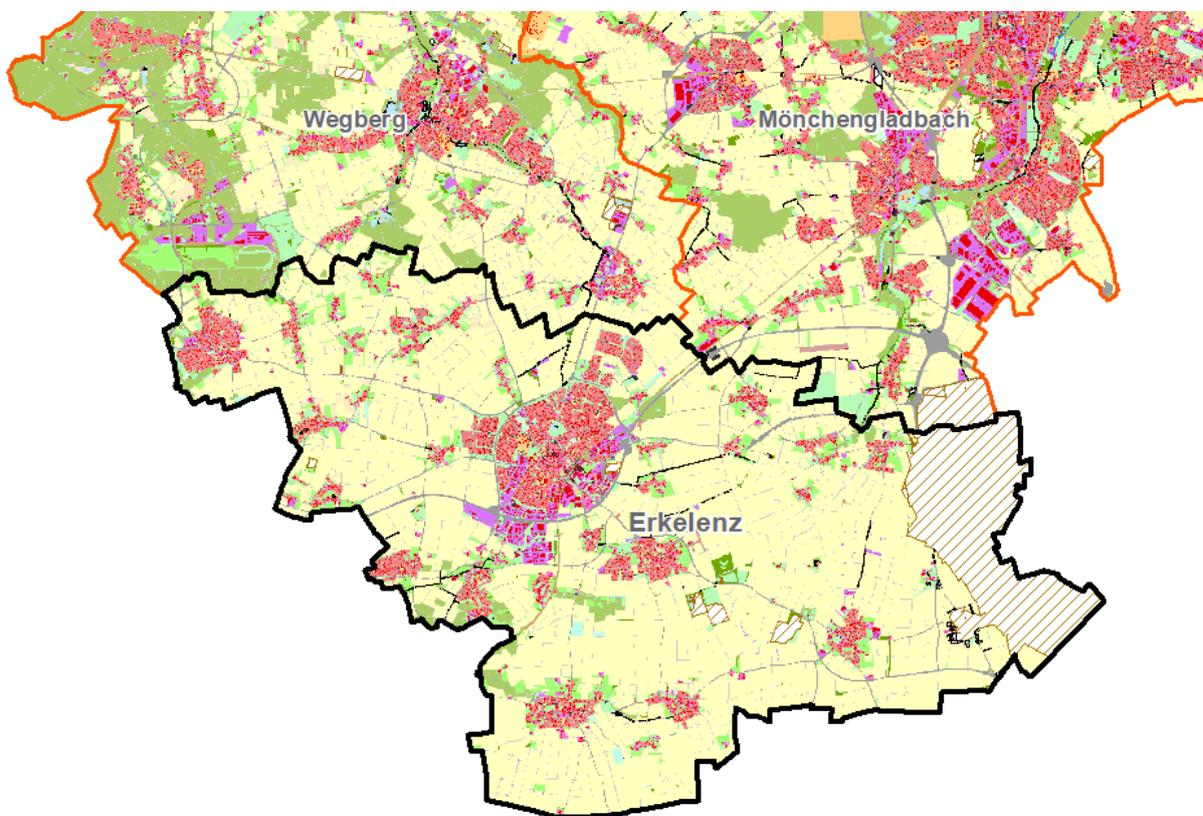


Abbildung 2-5: Übersicht „Tatsächliche Nutzung“ nach Klassen (schwarze Kontur: Stadtgebiet Erkelenz; rote Konturen: angrenzende Kommunegebiete)

Die Abbildung 2-5 zeigt die räumliche Verteilung entsprechend den Klassen der „Tatsächlichen Nutzung“. Im Stadtgebiet Erkelenz entfallen die größten Anteile auf Ackerland und Tagebau gefolgt von Flächen mit Wohnbebauung. Im Detail sind die Anteile der Abbildung 2-6 zu entnehmen.

Entsprechend den Nutzungsklassen werden dem Modell die Oberflächenrauheiten zugewiesen, siehe Kapitel 4.1.5.

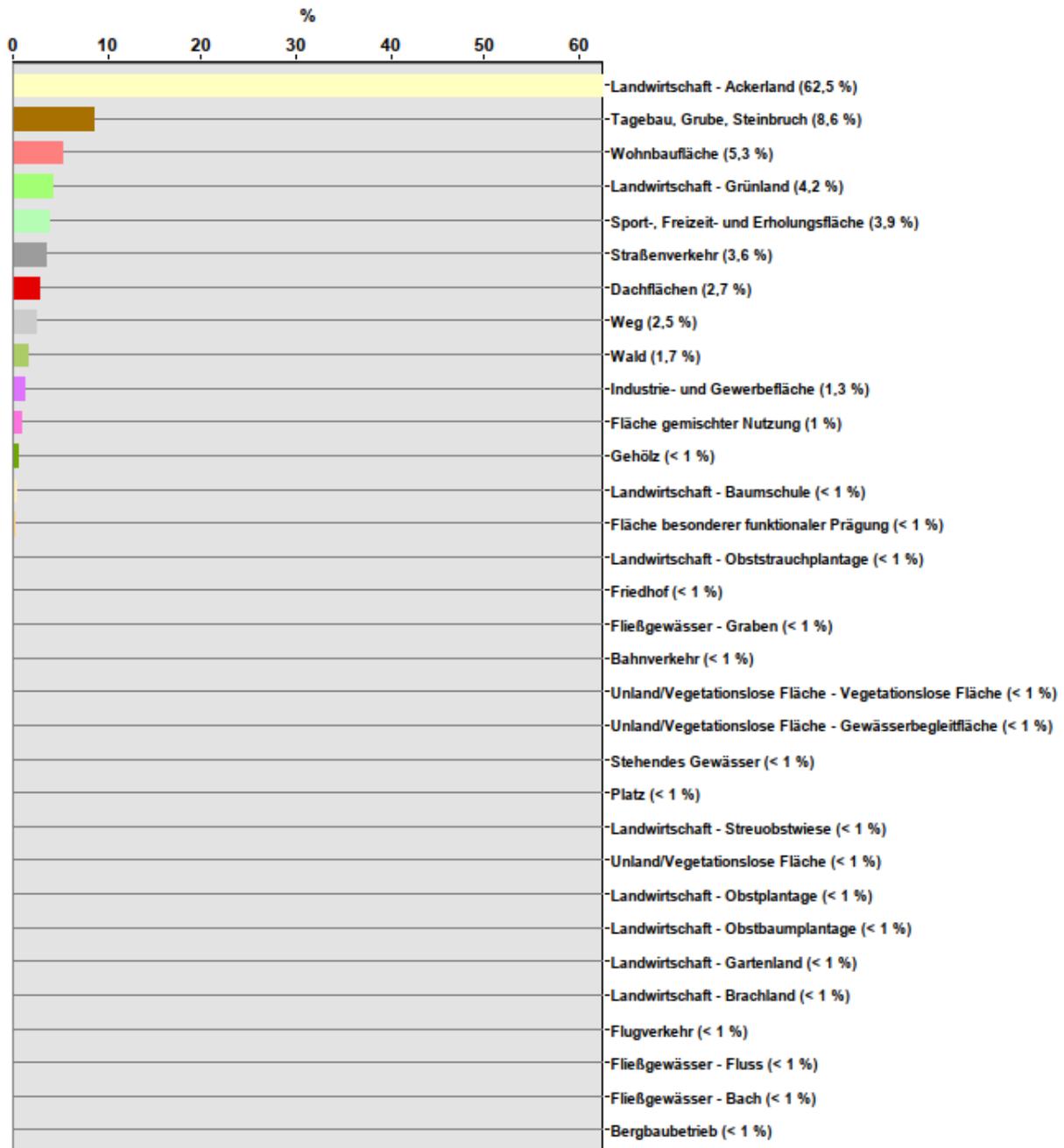


Abbildung 2-6: Klassen der „Tatsächlichen Nutzung“ und deren Anteil innerhalb des Modellgebietes

2.3.4 Nacharbeiten Neubaugebiete

2.3.4.1 Geländemodell (DGM1) im Bereich von Neubaugebieten

Die verfügbaren Geländemodelldaten der Landesvermessung stammen, wie in Kapitel 2.3.1 beschrieben, aus dem Jahr 2022. Alle Neubaugebiete in Erkelenz, die bis einschließlich März 2022 fertiggestellt wurden, sind im Geländemodell erfasst. Eine weitere Geländeanpassung mithilfe von z. B. Entwurfsplanungen erfolgte nicht.

Weiterhin wurden von der Stadt Erkelenz Befliegungsdaten vom April 2022 zur Verfügung gestellt. Die Geländeinformationen aus den Befliegungsdaten wurden mit denen aus dem DGM1 abgeglichen und bei Bedarf in das DGM1 übernommen. In Abbildung 2-7 sind die Neubaugebiete, für die Befliegungsdaten vorlagen, dargestellt.

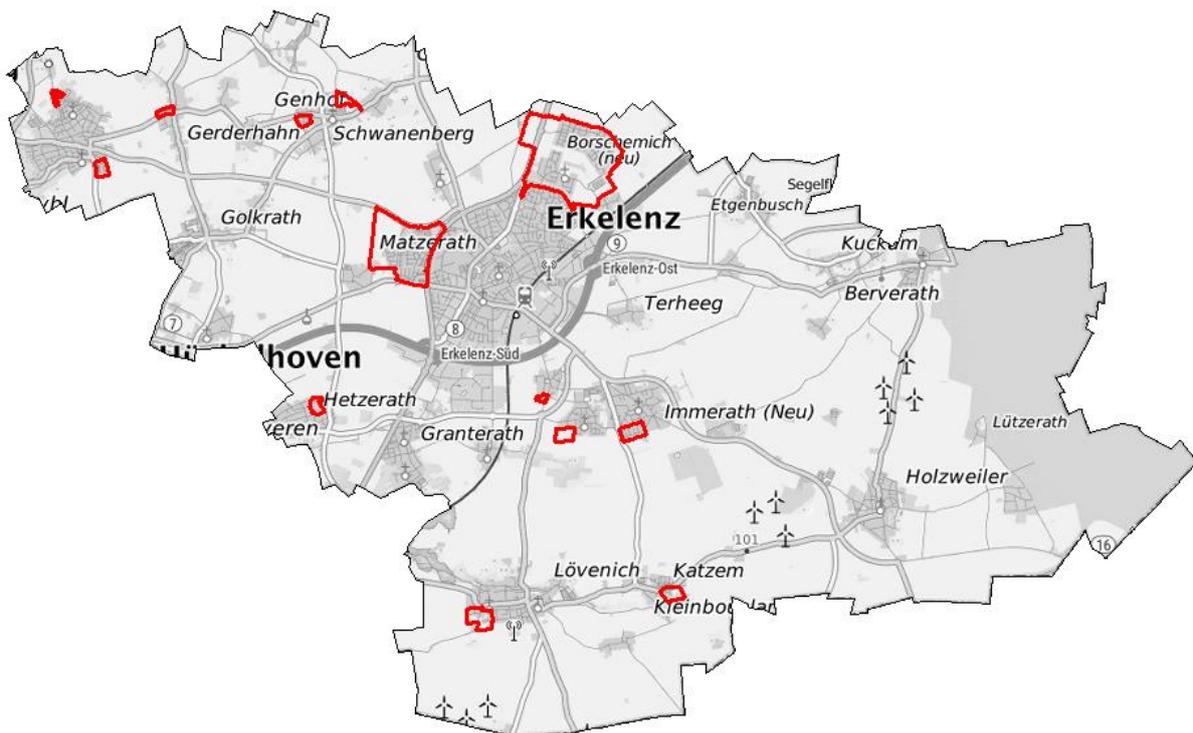


Abbildung 2-7: Lage der Neubaugebiete im Stadtgebiet Erkelenz mit Befliegungsdaten (rote Linien); Hintergrundkarte © GeoBasis-DE / BKG 2023

2.3.4.2 3D-Gebäudedaten (LoD2) im Bereich von Neubaugebieten

Fehlende Gebäude im LoD2-Datensatz im Bereich der Neubaugebiete wurden im Klötzchen-Format aufgefüllt, d. h. der Gebäudeumriss wurde mithilfe von Orthobilder erfasst und mit einer allgemeinen Gebäudehöhe (5 m) versehen.

3 Verwendete Software

Berechnungen mit HydroAS

Die zweidimensionalen hydrodynamischen Berechnungen der Oberflächenabflüsse infolge von Starkregen werden mit dem Simulationsmodell HydroAS¹ durchgeführt. Dieses Modell wird u. a. in Bayern und Baden-Württemberg als Standardwerkzeug zur zweidimensionalen Modellierung von Gewässern und zur Simulation von Oberflächenabflüssen eingesetzt.

Das in HydroAS integrierte Verfahren basiert auf der numerischen Lösung der 2D-tiefengemittelten Strömungsgleichungen mit der Finite-Volumen-Diskretisierung. Das explizite Zeitschrittverfahren sorgt für eine zeitgenaue Simulation des Wellenablaufs. Potenzielle Fließhindernisse in der Modellierung können als Sonderbauwerke oder in Form eines verfeinerten Netzes abgebildet werden. Bauwerke können dabei als durchströmt oder umströmt angenommen werden. In HydroAS werden folgende, für die Modellierung von Strömungs- und Abflussvorgängen wesentliche Eigenschaften berücksichtigt:

- Massen- und Impulserhaltung,
- hohe Stabilität und Genauigkeit für ein breites Spektrum an Fließverhältnissen und
- zeitgenaue Simulation des Wellenablaufs.

Eine detaillierte Programmbeschreibung kann unter www.hydrotec.de/software/hydroas/ eingesehen werden.

Für die Modellanwendung wird zunächst ein Berechnungsnetz erstellt. Der Aufwand dieser Netzerstellung hängt im Wesentlichen von der Qualität des zur Verfügung stehenden DGMs sowie den zusätzlich zu erfassenden und in das Netz einzubauenden Informationen ab.

Die Niederschlags- bzw. Abflusseingabe in das Modell zur Berechnung der Fließwege kann über die flächendifferenzierte Zuordnung von Effektivniederschlägen und/oder über die Ein- oder Ausleitung von Ganglinien an beliebigen Stellen des Netzes in beliebiger zeitlicher Diskretisierung erfolgen.

Mit den gewählten Belastungsdaten und Zeitschritten werden Simulationen durchgeführt. Die Berechnungszeiten werden maßgeblich von der Netzdichte (Anzahl Berechnungselemente), der Berechnungsart (konstante Zuflüsse oder ungleichförmige Berechnung) und der Zeitschrittweite bestimmt.

Als Ergebnis werden Überflutungsflächen, die Höhe des Wasserspiegels sowie die Fließgeschwindigkeit und -richtung an allen Netzknoten für jeden Zeitschritt innerhalb des gesamten Simulationszeitraums berechnet und ausgegeben. Die Berechnungsergebnisse lassen sich nach verschiedenen Aspekten auswerten und darstellen.

¹ HYDRO_AS-2D wurde im September 2022 mit der Version 5.5.0 in HydroAS umbenannt. In diesem Projekt wurde die Version 5.5.4 verwendet.

4 Starkregengefahrenkarten – Hydraulische Gefährdungsanalyse

4.1 Modellaufbau

Mithilfe des DGM1 wurde ein regelmäßiges 2D-Rechennetz mit einer Zellgröße von ebenfalls 1x1 m erstellt. Dadurch konnte eine flächendeckende Abbildung der für die Fließwege relevanten Topografie im hydraulischen 2D-Modell sichergestellt werden.

Hydraulisch relevante Strukturen wie Unterführungen und Brücken, die im DGM1 nicht korrekt abgebildet sind, wurden bei Bedarf im DGM1 freigeschnitten. Kleinere Strukturen, wie Verrohrungen und Durchlässe, sind über sogenannte 1D-Elemente in das 2D-Modell eingefügt worden.

Weitere Fließhindernisse, die nicht im DGM1 enthalten sind, waren Gebäudestrukturen. Diese wurden im 2D-Rechennetz auf Basis von LoD2-Daten dreidimensional in das Berechnungsnetz übernommen (siehe Abbildung 4-1). Somit konnten realitätsnahe Fließwege insbesondere in urbanen Räumen gewährleistet werden.

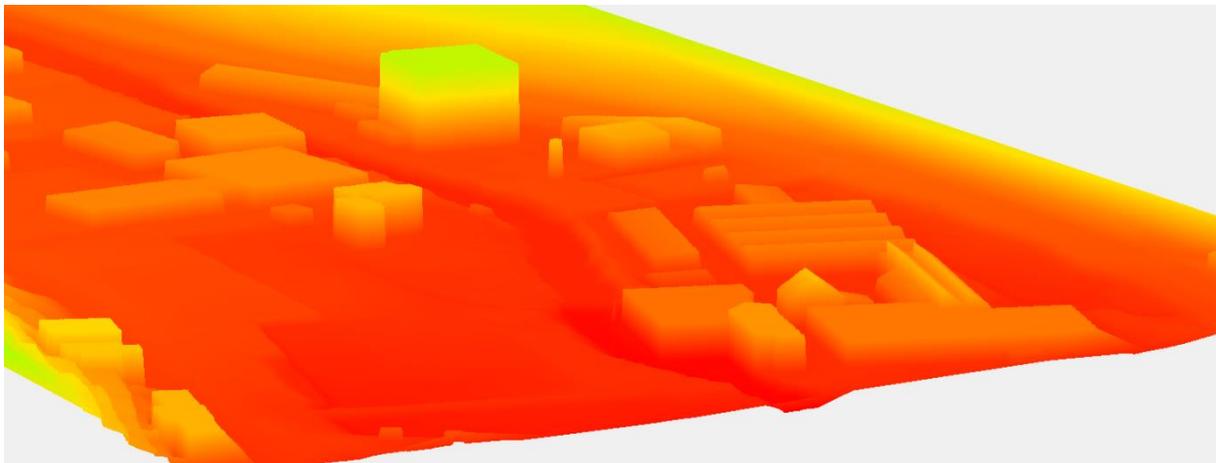


Abbildung 4-1: Visualisierung der dreidimensionalen Gebäude im Berechnungsnetz

4.1.1 Aufteilung Untersuchungsgebiet

Wie in Kapitel 1 erwähnt, wurden Starkregenuntersuchungen nicht nur für Erkelenz, sondern auch für die Städte Mönchengladbach, Wegberg und den Kreis Viersen durchgeführt. Die Bearbeitung erfolgte parallel, um Synergieeffekte auszunutzen, aber auch um die gesamten hydrologischen Einzugsgebiete zu berücksichtigen. Aufgrund der Größe des gesamten Projektgebietes von ca. 1.000 km² und dem Detaillierungsgrad des 2D-Rechennetzes (siehe Kapitel 4.1) musste für die Starkregenuntersuchungen das Untersuchungsgebiet auf mehrere Modelle aufgeteilt werden. Insgesamt wurde das gesamte Projektgebiet mit sieben Teilmodellen abgedeckt. Das Untersuchungsgebiet für Erkelenz wird durch drei Teilmodelle abgedeckt.

- 1_ERK_WG_NK
- 2_ERK_MG
- 3_ERK_WG

Die Lage der Teilmodelle ist in Abbildung 4-2 dargestellt.

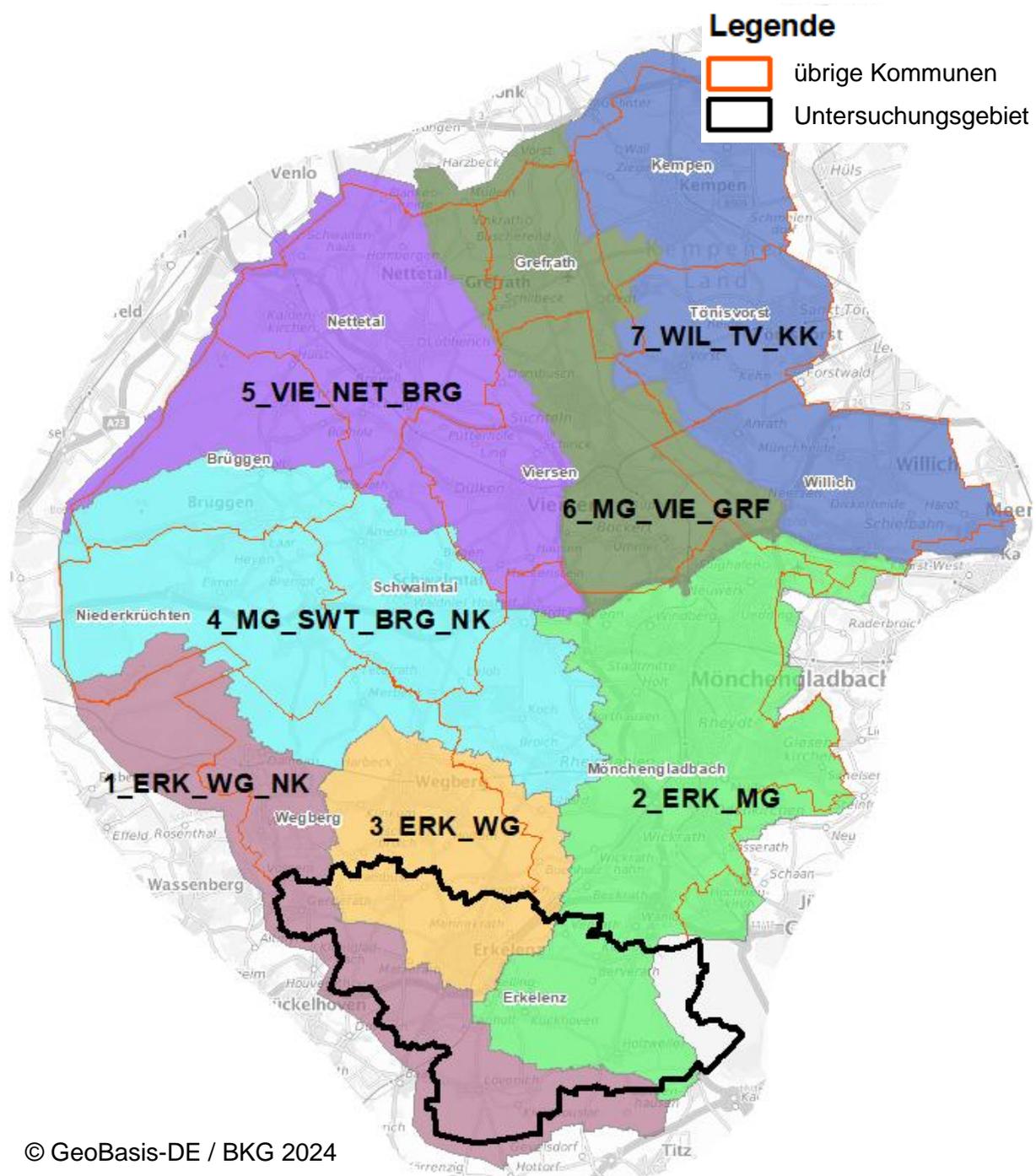


Abbildung 4-2: Übersicht der Teilmodelle für das gesamte Projektgebiet

4.1.2 Gewässer und Gräben

Die im Untersuchungsgebiet liegenden Gewässer und Gräben wurden auf Basis des vorliegenden DGM1 abgebildet. Im Verlauf der Gewässer und Gräben befindliche Durchlässe wurden mit 1D-Elementen abgebildet (siehe Kapitel 4.1.3). Ebenfalls wurde mit 1D-Elementen die Gewässerdurchgängigkeit aufgrund von Ungenauigkeiten im DGM1 sichergestellt.

4.1.3 Verrohrungen, Brücken, Unterführungen

Abflussrelevante Durchlässe, Verrohrungen etc. in Gewässern und Gräben werden im Modell in der Regel mit sogenannten 1D-Elementen abgebildet. Die Berechnung des Abflusses

erfolgt dabei in Abhängigkeit vom Unter- und Oberwasserstand. Die Geländeoberfläche zwischen Ein- und Auslauf des Durchlasses bzw. der Brücke bleibt dabei geometrisch unbeeinflusst und kann somit auch Wasser abführen.

Informationen zu den Nennweiten der Durchlässe, Verrohrungen, Brücken etc. stammen von den Kommunen, den Wasserverbänden oder aus Ortsbegehungen. Für Bauwerke, deren Nennweite nicht vorlag, wurde eine Standardnennweite von DN500 festgelegt.

4.1.4 Gebäude

Im hydraulischen 2D-Modell wurden die Gebäude auf Basis von LoD2-Daten (siehe Kapitel 2.3.2) dreidimensional nicht-durchströmbar abgebildet. Im Rahmen der Plausibilisierung der Vorsimulationsergebnisse wurde der Gebäudedatensatz im Untersuchungsgebiet überarbeitet. Fehlende Gebäude wurden berücksichtigt und bereits abgerissene Gebäude sind im LoD2-Datensatz gelöscht worden.

Grundlage für die Überprüfung der Aktualität der LoD2-Daten waren die digitalen Orthofotos des WMS-Dienstes von GeobasisNRW (Stand 2021-02 / 2022-05 und -06) sowie die Rückmeldungen der Kommunen aus der Plausibilisierung.

4.1.5 Oberflächenrauheiten

Neben der Geometrie wirkt sich auch die Oberflächenbeschaffenheit des Untersuchungsgebiets auf die Abflussbildung aus. Diese wurde in Form von Oberflächenrauheiten im Starkregenmodell abgebildet. Die Rauheitsbeiwerte wurden auf Grundlage der Realnutzung aus den ALKIS Daten abgeleitet.

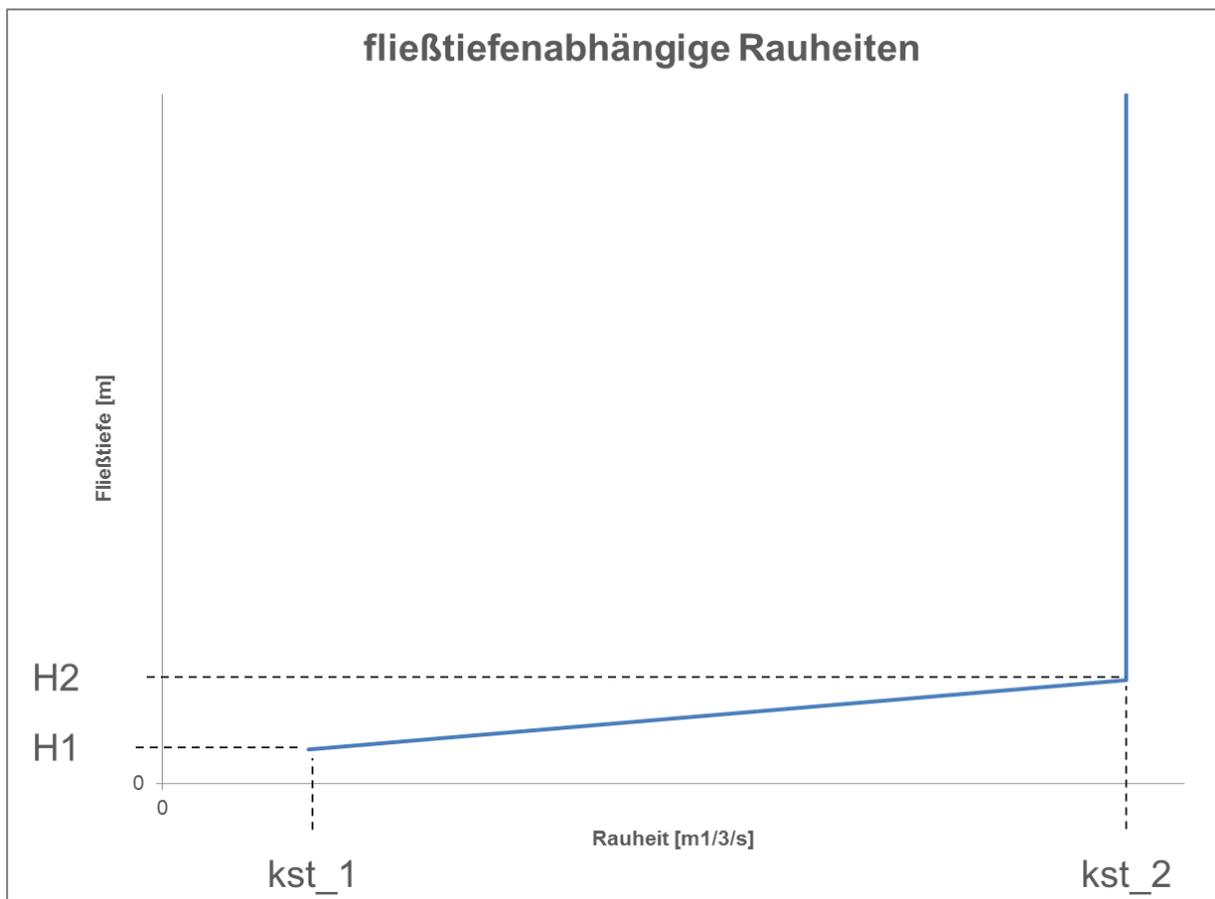


Abbildung 4-3: Ansatz zur Ermittlung von fließtiefenabhängigen Rauheiten mit H1 = 2 cm, H2 = 10 cm, kst_1 und kst_2 entsprechend Tabelle 4-1

Die Rauheitsbeiwerte wurden, gemäß dem Ansatz in Abbildung 4-3, fließtiefenabhängig definiert, um möglichst realistische Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten zu erzielen. Im Einzelnen bedeutete dies, dass bis zu einer Wassertiefe (H1) von 2 cm der Strickler-Wert k_{st_1} und ab einer Wassertiefe (H2) von 10 cm der Strickler-Wert k_{st_2} entsprechend den Materialrauheiten aus Tabelle 4-1 verwendet wurde. Zwischen H1 und H2 wurde der Strickler-Wert linear interpoliert.

Unter anderem für befestigte Verkehrsflächen (Straßenverkehr), Dachflächen und Gewässer wurde ein konstanter Rauheitsbeiwert angesetzt.

Aus Tabelle 4-1 sind die im 2D-Modell angesetzten Rauheiten zu entnehmen.

Tabelle 4-1: Stricklerbeiwerte in Abhängigkeit der Realnutzung

Nutzung	kst (konstant) m ³ /s	kst_1 m ³ /s	kst_2 m ³ /s
Bahnverkehr	40		
Dachflächen	50		
Fläche besonderer funktionaler Prägung		6	20
Fläche gemischter Nutzung		6	15
Fließgewässer - Altwasser	30		
Fließgewässer - Bach	20		
Fließgewässer - Fluss	30		
Fließgewässer - Graben	15		
Flugverkehr	40		
Friedhof		6	20
Gehölz		5	10
Halde		6	20
Industrie- und Gewerbefläche		6	20
Landwirtschaft - Ackerland		10	20
Landwirtschaft - Baumschule		5	10
Landwirtschaft - Brachland		10	20
Landwirtschaft - Gartenland		6	15
Landwirtschaft - Grünland		8	20
Landwirtschaft - Obstbaumplantage		6	15
Landwirtschaft - Obstplantage		6	15
Landwirtschaft - Obststrauchplantage		6	15
Landwirtschaft - Streuobstacker		10	20
Landwirtschaft - Streuobstwiese		8	20
Platz	40		
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche		6	20
Stehendes Gewässer	30		
Straßenverkehr	40		
Tagebau, Grube, Steinbruch		6	20
Unland/Vegetationslose Fläche		6	20
Unland/Vegetationslose Fläche - Gewässerbegleitfläche		6	15
Unland/Vegetationslose Fläche - Vegetationslose Fläche		6	20
Wald		5	10
Weg	30		
Wohnbaufläche		6	15

4.1.6 Auslaufrandbedingung

Um den Abfluss des Wassers auch an den Modellrändern nicht zu behindern, wurden in Bereichen, in denen Wasser über die Modellränder tritt, Auslaufrandbedingungen verwendet. Diese garantieren eine ungehinderte Fließwegeausprägung ohne modelltechnisch bedingten Aufstau.

4.1.7 Zuflussrandbedingung

Um die Überflutungssituation korrekt abzubilden, wurden Zuflussrandbedingungen definiert. D. h. an Modellübergängen wurden bei Bedarf die Abflussmengen vom Oberliegermodell an das Unterliegermodell übergeben.

Aus hydrologischen Einzugsgebieten außerhalb des Untersuchungsgebiets war eine Übernahme von Zuflüssen nicht erforderlich.

4.1.8 Niederschlagsbelastung

Mit dem AG wurden folgende Niederschlagsbelastungen für die hier untersuchten Szenarien abgestimmt:

- Seltenes Niederschlagsereignis (Szenario 1): ein seltenes Ereignis, welches regional differenziert durch ein statistisches Niederschlagsereignis (Dauer 1 Stunde) mit einer Jährlichkeit von 20 Jahren generiert wird und zu einem seltenen Oberflächenabflussereignis führt.
- Außergewöhnliches Niederschlagsereignis (Szenario 2): ein außergewöhnliches Ereignis, welches regional differenziert durch ein statistisches Niederschlagsereignis (Dauer 1 Stunde) mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren generiert wird und zu einem außergewöhnlichen Oberflächenabflussereignis führt.
- Extremes Niederschlagsereignis (Szenario 3): ein extremes Ereignis, welches durch ein extremes Niederschlagsereignis (festgelegt zu 90 mm in 1 Stunde) generiert wird und zu einem extremen Oberflächenabflussereignis führt.
- Seltenes Niederschlagsereignis (Szenario 4): ein seltenes Ereignis, welches regional differenziert durch ein statistisches Niederschlagsereignis (Dauer 1 Stunde) mit einer Jährlichkeit von 30 Jahren generiert wird und zu einem seltenen Oberflächenabflussereignis führt.

Der Bemessungsniederschlag wurde aus den Starkniederschlagshöhen KOSTRA-DWD-2010R (Junghänel et al. 2017, Datensatz: KOSTRA-DWD 2010R, hrsg. vom DWD) abgeleitet. Für die Belastungsszenarien ergaben sich somit Niederschläge von:

- Niederschlagsszenario 1: N20, mit 38,1 mm/h über 60 min
- Niederschlagsszenario 2: N100, mit 50,0 mm/h über 60 min
- Niederschlagsszenario 3: Nextrem, mit 90,0 mm/h über 60 min
- Niederschlagsszenario 4: N30, mit 41,1 mm/h über 60 min

Die Niederschlagsverteilung für die hier untersuchten Szenarien 1 bis 3 wurden im Starkregenmodell als Blockregen angesetzt. Für Szenario 4 wurde eine Euler Typ II Verteilung verwendet.

4.1.9 Effektivniederschlag

Die hier durchgeführten Starkregensimulationen wurden mit sogenannten Effektivniederschlägen belastet. Das ist der Anteil des Niederschlags, der tatsächlich für den Oberflächenabfluss zur Verfügung steht. Der Effektivniederschlag wird maßgeblich durch die Versickerung des Niederschlagswassers in den Boden (Infiltration) sowie den Rückhalt in Mulden und durch die Vegetation (Interzeption) bestimmt.

Gemäß den Empfehlungen der NRW-Arbeitshilfe (MULNV 2018) wurde die Annahme getroffen, dass der Boden hydraulisch gesättigt ist und keine Infiltrationsprozesse mehr stattfinden. Für die Ermittlung des Effektivniederschlags wurde somit lediglich der Muldenrückhalt und die Interzeptionskapazität der Landschaft berücksichtigt und im Folgenden als Anfangsverlust bezeichnet.

Hierzu wurde der Anfangsverlust vom Bemessungsniederschlag abgezogen. Dabei wurde die Niederschlagsmenge am Anfang reduziert. Die Niederschlagsintensität bleibt gleich. Der

Anfangsverlust wurde in Abhängigkeit der tatsächlichen Nutzung angesetzt und ist somit räumlich variabel (vgl. Tabelle 4-2). Auf Dachflächen und Gewässern wurde kein Anfangsverlust angesetzt.

Tabelle 4-2: Anfangsverluste in Abhängigkeit der Realnutzung

Nutzung	Anfangsverlust in mm
Ackerland	3
Bahnverkehr	2,5
Dachflächen	0
Fläche besonderer funktionaler Prägung	2,5
Fläche gemischter Nutzung	2,5
Fließgewässer	0
Flugverkehr	2,5
Friedhof	2,5
Gartenland	3
Gehölz	6
Grünland	2,5
Hafenbecken	0
Halde	2,5
Industrie und Gewerbefläche	2
Platz	1,5
Schiffsverkehr	1
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	2
Stehendes Gewässer	0
Straßenverkehr	1
Sumpf	4
Tagebau, Grube & Steinbruch	2,5
Vegetationslose Fläche	2
Wald	7
Weg	1,5
Wohnbaufläche	2,5

4.1.10 Versickerung

Gemäß den Empfehlungen der NRW-Arbeitshilfe (MULNV 2018) wurde in dieser Untersuchung keine Infiltrationskapazität des Bodens berücksichtigt.

4.1.11 Kanalisation

Für das Stadtgebiet Erkelenz wurden für die hier untersuchten Szenarien 1, 2 und 4 Überstauganglinien aus der Kanalisation ermittelt. In den Kanalnetzberechnungen wurden an ausgewählten Einlaufstellen der Außengebietszufluss aus dem Starkregenmodell berücksichtigt. Die von der Stadt Erkelenz zur Verfügung gestellten Überstauganglinien wurden in den Starkregensimulationen berücksichtigt.

Mit der Stadt Erkelenz wurde vereinbart, dass die innerörtlichen Haltungsflächen der Kanalisation im Stadtgebiet Erkelenz nicht berechnet werden und die Modellbelastung ausschließlich aus den Überstauganglinien erfolgt. Dadurch wurde vermieden, dass der Niederschlag doppelt berücksichtigt wurde.

In der Ortschaft Hoven im Stadtgebiet Erkelenz liegt eine reine Schmutzwasserkanalisation vor. Für diese Ortschaft wurden demnach keine Überstauganglinien aus der Kanalisation ermittelt. Somit erfolgte die Modellbelastung in Hoven aus der Berechnung der innerörtlichen Flächen.

Bei Szenario 3 (extremes Niederschlagsereignis) spielt die Kanalisation keine Rolle mehr und wurde demnach in der Simulation vernachlässigt

4.1.12 Besonderheiten

4.1.12.1 Tagebauproblematik

Südlich des Stadtgebiets von Mönchengladbach und östlich des Stadtgebiets von Erkelenz befindet sich das Tagebaugebiet Garzweiler, vgl. hierzu Abbildung 4-4. Die Aktualität des Geländes am Tagebau im hydraulischen Starkregenmodell entspricht dem Stand des DGM1 aus dem Jahr 2022. Aufgrund des fortlaufenden Braunkohleabbaus und der anschließenden Verfüllung des Tagebaulochs wird sich das Gelände noch deutlich verändern. Das Gelände am Tagebau Garzweiler kann in einer späteren Fortschreibung der Starkregengefahrenkarten aktualisiert werden.

Während der Projektbearbeitung wurde darüber diskutiert, inwieweit die Absenkung des Grundwasserspiegels Einfluss auf die Versickerungsprozesse des Bodens innerhalb des Grundwasserabsenkungstrichter des Tagebaus hat.

Frau Dr. Jaritz vom Erftverband erläuterte bei einem Abstimmungstermin hierzu, dass für die Grundwasserneubildung die Wasserscheide im Boden entscheidend ist. Die Lage der Bodenwasserscheide ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit und der Vegetation. Unterhalb der Bodenwasserscheide hat der Grundwasserspiegel keinen Einfluss mehr auf die Versickerungsprozesse im Oberboden. Weiterhin erläuterte Frau Dr. Jaritz, dass die Flurabstände im Bereich des Tagebaus auch schon vor Beginn der Abbauaktivitäten hoch waren. Daher stuft sie den Einfluss der Grundwasserabsenkung durch den Bergbau auf die Versickerungsprozesse als gering ein.

Daraufhin wurde beschlossen, Versickerungsprozesse im Bereich des Tagebaus weiterhin nicht zu berücksichtigen.

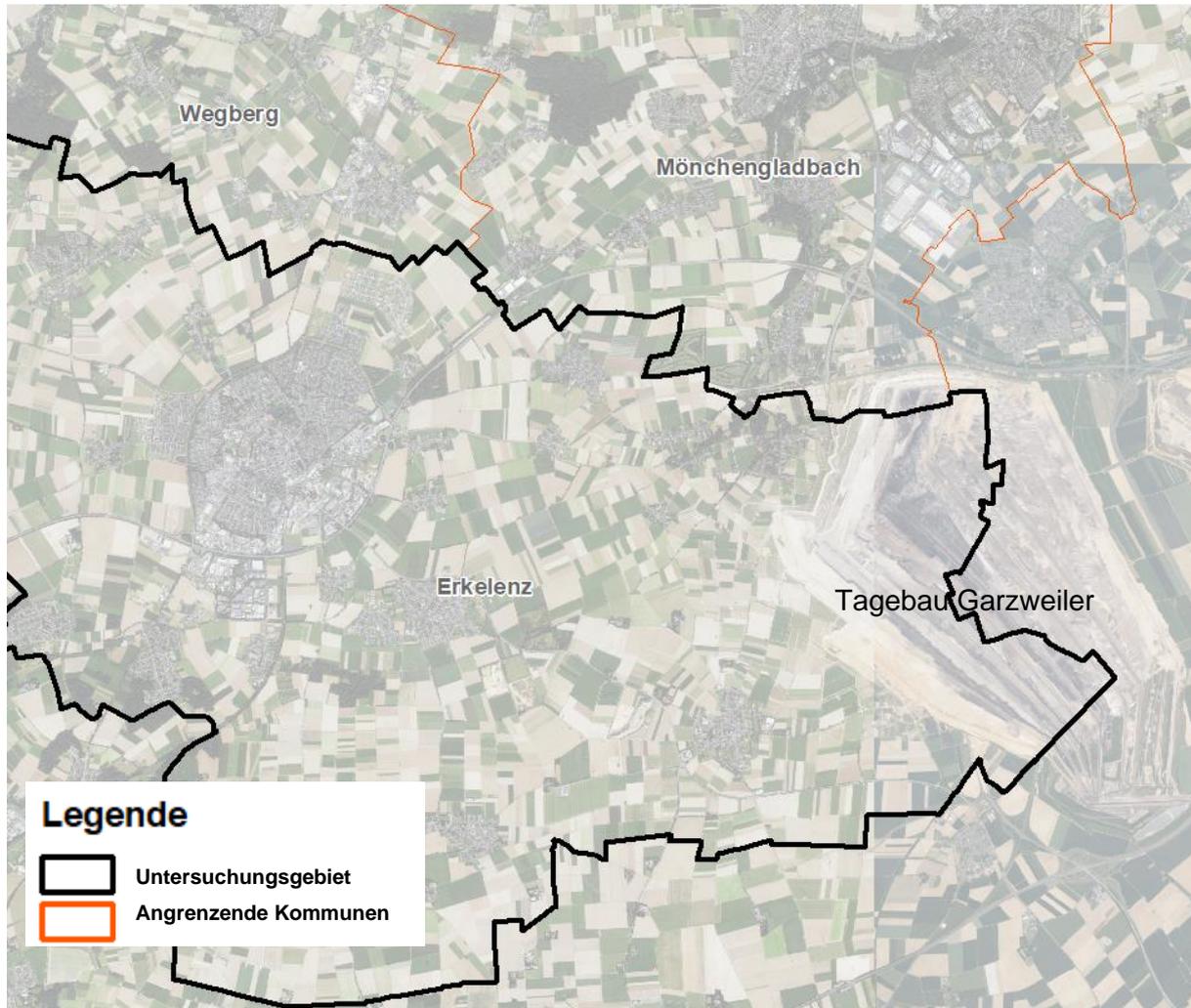


Abbildung 4-4: Lage Tagebau Garzweiler

4.1.12.2 HRB Lövenich

Das HRB Lövenich ist ein ungesteuertes Becken am Baaler Bach. Gemäß dem Begehungsergebnis erfolgt die Abflussdrosselung über einen Rechteckdurchlass 0,4 m x 0,4 m. Die Hochwasserentlastung (HWE) erfolgt über eine Überlaufschwelle neben dem Drosselbauwerk. Die Abflussdrosselung wurde in das Starkregenmodell übernommen und die HWE wurde mit den Höhenangaben aus dem DGM1 abgebildet.

4.1.12.3 HRB Katzem

Das HRB Katzem ist ein ungesteuertes Becken am Baaler Bach. Gemäß dem Begehungsergebnis erfolgt die Abflussdrosselung über einen Rechteckdurchlass 0,25 m x 0,25 m. Die Hochwasserentlastung (HWE) erfolgt über eine Überlaufschwelle am Drosselbauwerk. Vom Drosselbauwerk wird das Wasser durch einen Kreisdurchlass DN800 verrohrt unter der Ortslage im Baaler Bach weitergeleitet.

Die Abflussdrosselung und die Geländehöhe der Überlaufschwelle der HWE (H = 92,1 m NHN) wurden in das Starkregenmodell übernommen.

4.1.12.4 HRB Ziegelweiher

Das HRB Ziegelweiher ist ein ungesteuertes im Dauerstau betriebenes Becken am Ziegelweiherfließ. Die Dauerstauhöhe des Beckens ist im DGM1 erfasst. Der max. Drosselabfluss

beträgt 0,45 m³/s. Die Hochwasserentlastung (HWE) erfolgt über eine Überlaufschwelle am Drosselbauwerk. Vom Drosselbauwerk wird das Wasser durch einen Kreisdurchlass DN800 verrohrt unter der Ortslage im Ziegelweiherfließ weitergeleitet.

Die Abflussdrosselung und die Geländehöhe der Überlaufschwelle der HWE (H = 88,89 m NHN) wurden in das Starkregenmodell übernommen.

4.1.12.5 HRB I Ophovener Mühlenweiher

Das HRB I Ophovener Mühlenweiher ist ein ungesteuertes im Dauerstau betriebenes Becken am Beeckbach. Die Dauerstauhöhe des Beckens ist im DGM1 erfasst. Die Abflussdrosselung erfolgt über den Grundablass DN600. Zur Einhaltung des Stauziels gibt es im Regelbetrieb weiterhin am Drosselbauwerk eine Überlaufschwelle (Höhe = 60,75 m NHN). Das Wasser wird anschließend im Drosselbauwerk über ein DN800 zum Ablaufschacht DN1600 weitergeleitet. Die HWE erfolgt über eine weitere Überlaufschwelle am Drosselbauwerk (Höhe = 62,03 m NHN) und das abgeschlagene HW landet direkt in den Ablaufschacht.

Die Verrohrung im Drosselbauwerk DN800 und die HWE waren für die Starkregenmodellierung relevant und wurden in das Starkregenmodell übernommen.

4.1.12.6 HRB II Grenzlandring

Das HRB II Grenzlandring ist ein ungesteuertes Becken am Beeckbach. Die Abflussdrosselung erfolgt über den Grundablass DN450. Die Hochwasserentlastung (HWE) erfolgt über eine Überlaufschwelle am Drosselbauwerk. Vom Drosselbauwerk wird das Wasser durch einen Kreisdurchlass DN1000 im Beeckbach weitergeleitet.

Die Abflussdrosselung und die Geländehöhe der der Überlaufschwelle der HWE (H = 67,6 m NHN) wurden in das Starkregenmodell übernommen.

4.1.12.7 HRB III Erkelenz

Das HRB III Erkelenz ist ein ungesteuertes im Dauerstau betriebenes Becken am Beeckbach. Die Dauerstauhöhe des Beckens ist im DGM1 erfasst. Die Abflussdrosselung erfolgt über den Grundablass DN600. Der max. Drosselabfluss beträgt 0,45 m³/s. Die Hochwasserentlastung (HWE) erfolgt über eine Überlaufschwelle am Drosselbauwerk.

Die Abflussdrosselung und die Geländehöhe der Überlaufschwelle der HWE (H = 77,5 m NHN) wurden in das Starkregenmodell übernommen.

4.1.12.8 HRB Birther Graben

Das HRB Birther Graben ist ein ungesteuertes Becken am Birther Graben. Die Abbildung der Zu- und Abläufe des Beckens im Starkregenmodell erfolgte gemäß den zur Verfügung gestellten Angaben des Schwalmverbands.

4.1.12.9 Versickerungsanlagen

An Versickerungsanlagen wurden Infiltrationsprozesse in den Starkregensimulationen berücksichtigt. Da keine Infiltrationsraten zu diesen Anlagen vorlagen, wurden für alle Anlagen eine einheitliche Infiltrationsrate gemäß den Angaben im DWA Arbeitsblatt A 138 (DWA 2005) von $5 \cdot 10^{-5}$ m/s verwendet.

4.2 Vorsimulation

Mit der definierten Niederschlagsbelastung für das extreme Szenario (90 mm in 1 Stunde, Blockregen) erfolgte zunächst die Berechnung der Vorsimulation. Die hydraulischen Simulationen wurden hydrodynamisch und zweidimensional mit HydroAS in der Version 5.5.4 durchgeführt. Die gesamte Simulationszeit variierte in Abhängigkeit der Teilmodelle zwi-

schen 2 bis 4 Stunden. In allen Vorsimulationsberechnungen betrug die Berechnungszeit 1 Stunde gefolgt von einer Nachlaufzeit ohne Niederschlag von 1 bis 3 Stunden.

Anschließend wurden die Ergebnisse der Vorsimulation ausgewertet und die erforderlichen Änderungen in das hydraulische 2D-Modell übernommen.

Die Ergebnisse der Vorsimulation wurden ebenfalls dem AG und Wasserverbänden zur Plausibilisierung zur Verfügung gestellt. Die Rückmeldungen wurden gesichtet, geprüft und bei Bedarf in den Starkregenmodellen berücksichtigt. In Anlage 1-1 sind die Rückmeldungen aufgelistet und von Hydrotec bezüglich der weiteren Bearbeitung kommentiert.

4.3 Starkregensimulationen

Mit der definierten Niederschlagsbelastung für die jeweiligen Szenarien erfolgten dann die Berechnungen der fertig aufbereiteten Starkregenmodelle. Die hydraulischen Simulationen wurden hydrodynamisch und zweidimensional mit HydroAS in der Version 5.5.4 durchgeführt.

Die gesamte Simulationszeit für die hier untersuchten Szenarien betrug insgesamt zwei Stunden. Dabei wurde die Simulation in zwei Phasen gegliedert: In der ersten Phase von 60 min. wurde das Modell mit dem Bemessungsniederschlag als Blockregen belastet. Die zweite Phase von ebenfalls 60 min. diente als Nachlaufzeitraum für das Wasser, in dem sich die entstehenden Fließwege voll ausprägen konnten.

Es wurden insgesamt drei Belastungsszenarien für die Gefährdungsanalyse im Rahmen des SRRM gemäß der NRW-Arbeitshilfe simuliert:

- Seltenes Ereignis (Szenario 1 - Blockregen): N20, mit 38,1 mm/h über 60 min
- Außergewöhnliches Ereignis (Szenario 2 - Blockregen): N100, mit 50,0 mm/h über 60 min
- Extremes Ereignis (Szenario 3 - Blockregen): Nextrem, mit 90,0 mm/h über 60 min

Die Ergebnisse der Starkregensimulationen wurden erneut dem AG und Wasserverbänden zur Plausibilisierung zur Verfügung gestellt. Die Rückmeldungen wurden gesichtet, geprüft und bei Bedarf in den Starkregenmodellen berücksichtigt. In Anlage 1-2 sind die Rückmeldungen aufgelistet und von Hydrotec bezüglich der weiteren Bearbeitung kommentiert.

4.4 Zusätzliche Starkregenuntersuchung für ein Modellregen

Mit Szenario 4 wurde zusätzlich ein Modellregen für ein 30-jähriges Niederschlagsereignis untersucht. Im Gegensatz zu den Szenarien 1 bis 3 wurde die Niederschlagsverteilung nicht als Blockregen, sondern mit einer Euler Typ II Verteilung angesetzt. Bei der Euler Typ II Verteilung bleibt die (gesamte) Regenmenge gleich, die Intensität variiert aber über die Zeit. In der Spitze liegt die Regenintensität des Euler Typ II Regens signifikant über dem Wert der Blockverteilung. Die Niederschlagsverteilung kann der Abbildung 4-5 entnommen werden.

Modellregen: Euler-II
 Dauerstufe: 60
 Wiederkehrzeit: 30

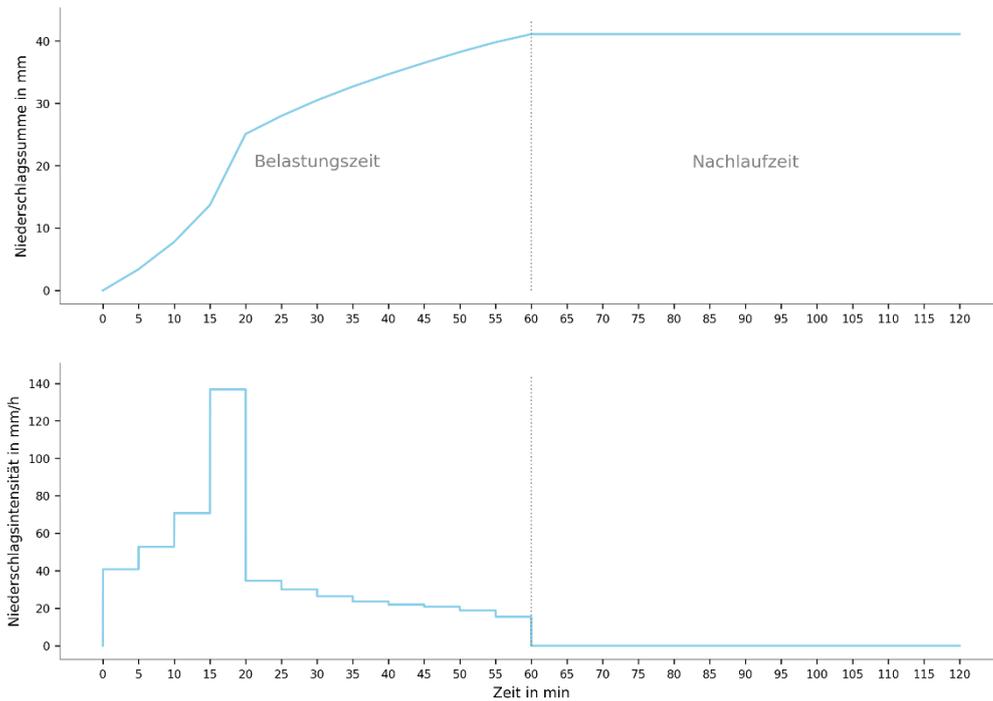


Abbildung 4-5: Euler Typ II Verteilung des Niederschlags N30

Auch für dieses Szenario wurde der Effektivniederschlag in Abhängigkeit der Landnutzung verwendet (vgl. Kapitel 4.1.9).

Zur Berücksichtigung der Kanalisation wurden die Daten der Kanalnetzberechnung, die vom AG zur Verfügung gestellt wurden, ins Modell übernommen. Im Oberflächenmodell wurden die Haltungsflächen der Kanalisation nicht berechnet, da diese bereits über das Kanalnetzmodell berücksichtigt waren. Das Kanalnetz wurde durch eine offline Kopplung mittels Überstauganglinien aus den Kanalschächten an den überlasteten Kanalbereichen abgebildet.

4.5 Darstellung der Modellergebnisse infolge Starkregen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der 2D-Simulationen für die hier untersuchten Starkregenszenarien zusammengefasst und die Simulationsergebnisse in verschiedenen Kartendarstellungen präsentiert (s. Anlagen).

In Anlage 2 sind die maximale Überflutungsausdehnung je Niederschlagsszenarien (selten, außergewöhnlich und extrem) und für alle Niederschlagsszenarien in einer Übersichtskarte für das gesamte Untersuchungsgebiet im Maßstab 1:20.000 dargestellt, vgl. hierzu Abbildung 4-6.

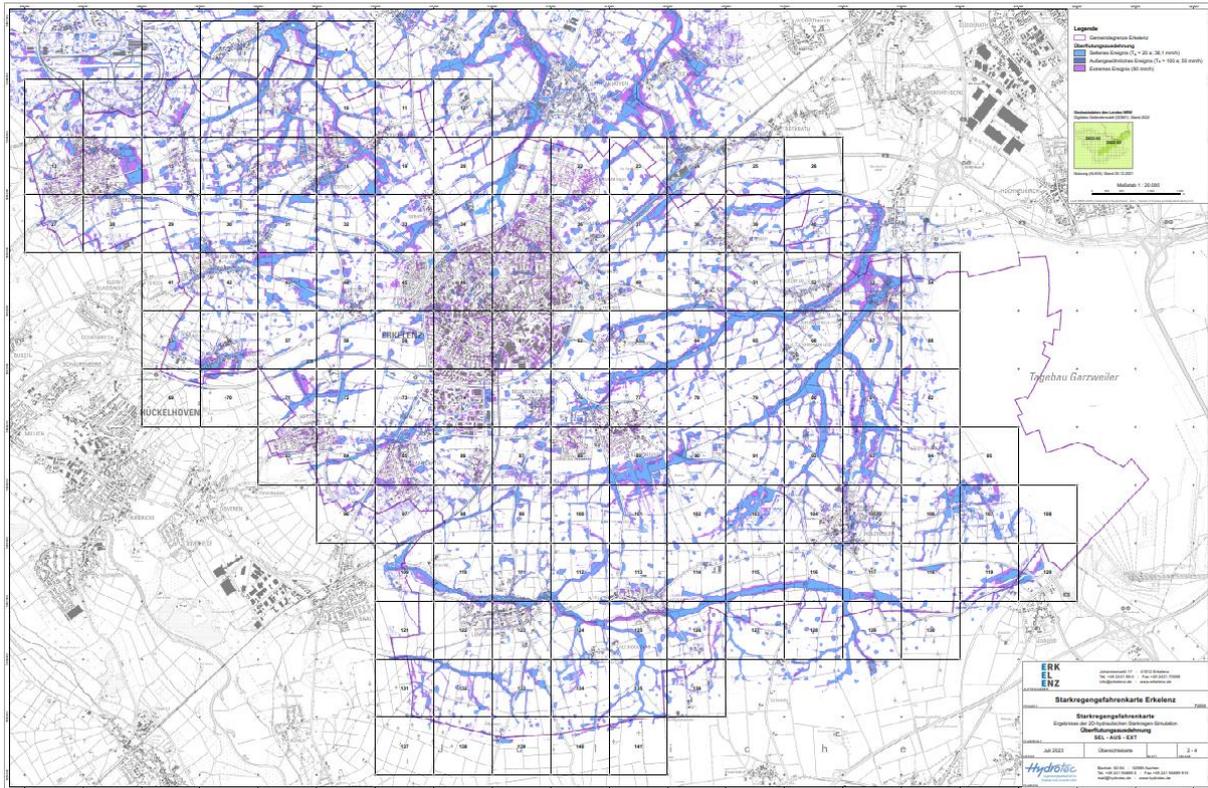


Abbildung 4-6: Darstellung der maximalen Überflutungsausdehnung für alle Niederschlagszenarien in einer Übersichtskarte

Darüber hinaus sind die nummerierten Blattschnitte für die Starkregengefahrenkarten (SRGK) bzw. Detailkarten in der Übersichtskarte dargestellt. Mithilfe der Blattschnitte können die erforderlichen SRGK schnell gefunden und aufgerufen werden.

In den SRGK in Anlage 3 sind die maximale Überflutungsausdehnung, die maximale Überflutungstiefe, die Fließrichtung und die maximalen Fließgeschwindigkeiten je Niederschlagszenario im Maßstab 1:2.500 dargestellt:

Abbildung 4-7 zeigt beispielhaft einen Blattschnitt der SRGK.

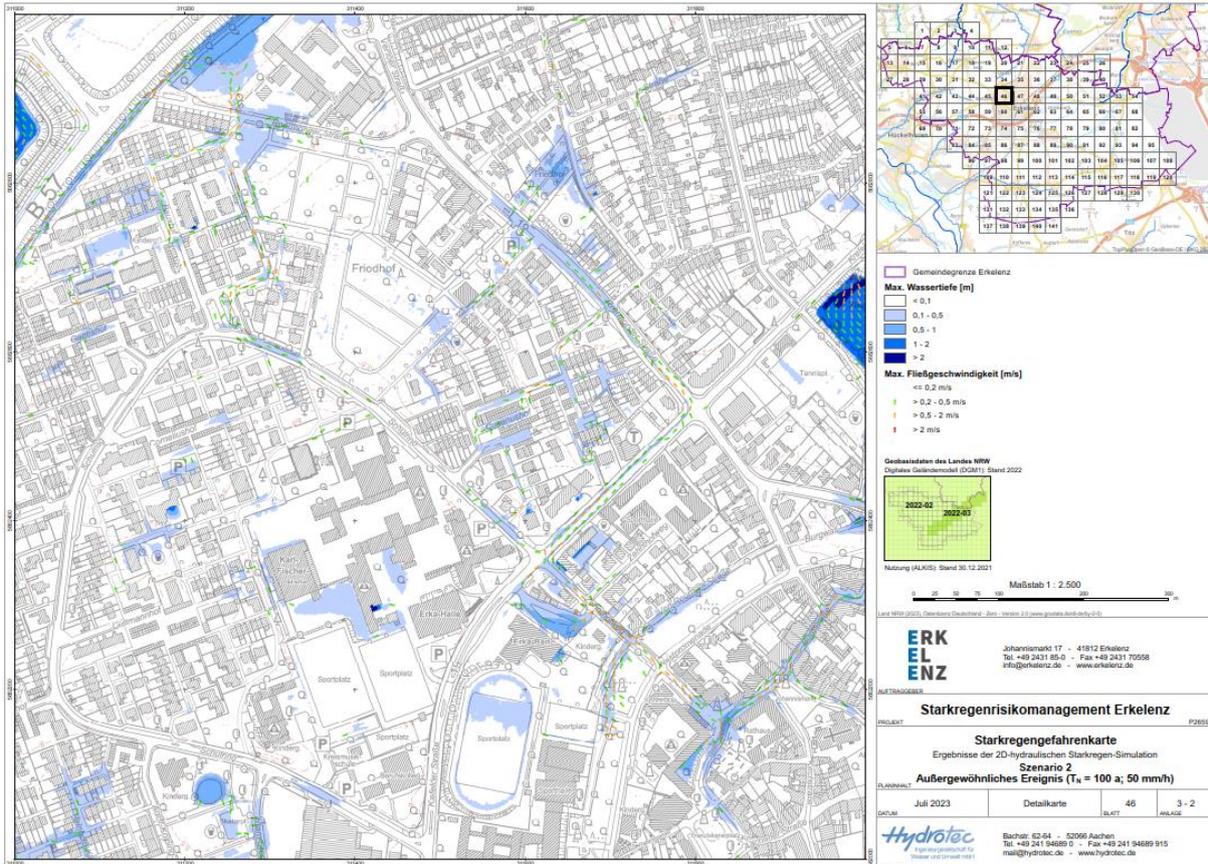


Abbildung 4-7: Detaildarstellung der maximalen Überflutungsausdehnung und der maximalen Überflutungstiefe je Niederschlagszenario, hier für das außergewöhnliche Szenario ($T_n = 100$ a; 50 mm/h)

Es ist zu beachten, dass in den SRGK die bei einem Starkregenereignis auftretenden maximalen Wassertiefen dargestellt sind. Die simulierten Überschwemmungen können im Bereich der Gewässer aufgrund der getroffenen Annahmen (Boden vollkommen gesättigt, zeitliches Auftreten etc.) und verwendeten Grundlagendaten sowie durch Überlagerungseffekte größer oder auch kleiner ausfallen als die gesetzlich festgesetzten Überschwemmungsflächen. Die SRGK dienen darum hier nicht unmittelbar zur Information vor Gewässerhochwasser, sondern vielmehr zur Beurteilung der seitlichen Zuflüsse, Hangabflüsse und der urbanen Fließwege (siehe auch Kapitel 4.7).

In Anlage 4 sind in den Detailkarten die maximalen Fließgeschwindigkeiten im Maßstab 1:2.500 dargestellt, vgl. hierzu Abbildung 4-8.

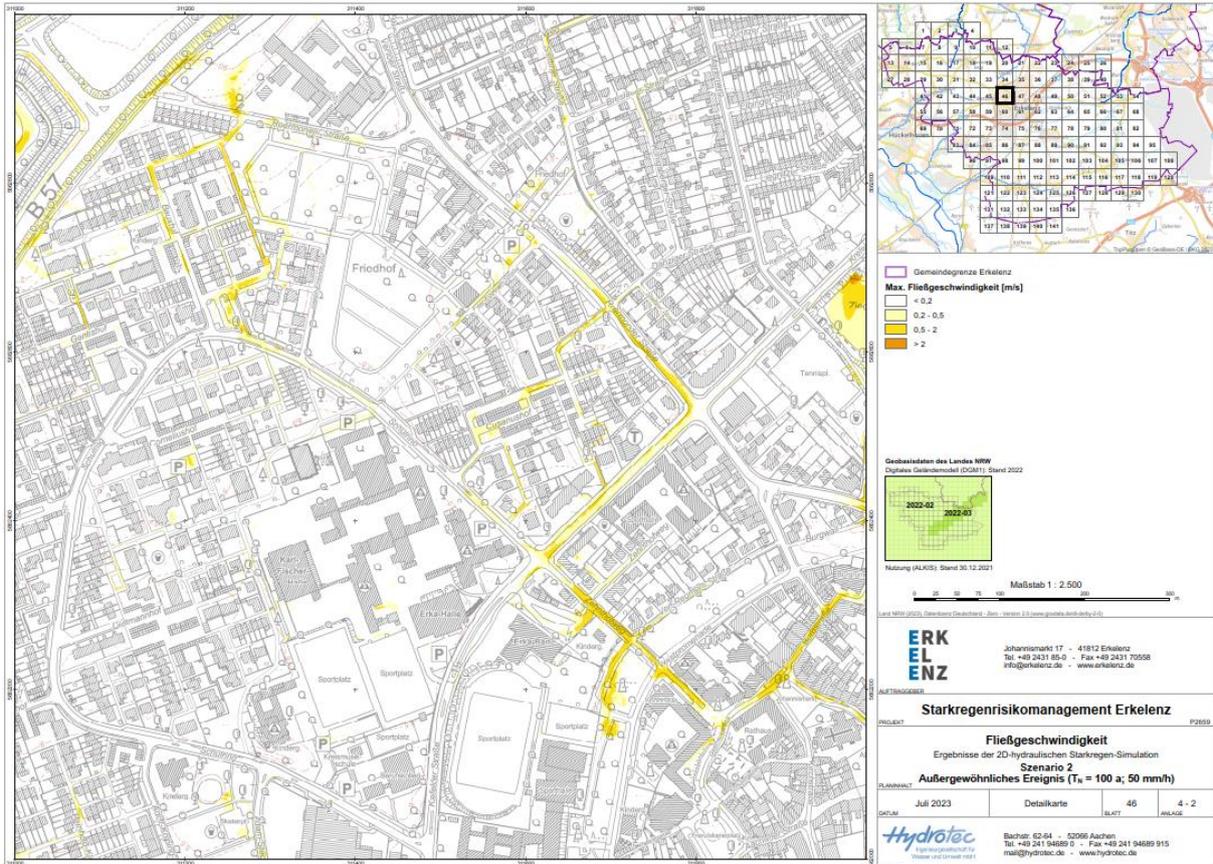


Abbildung 4-8: Detaildarstellung der maximalen Fließgeschwindigkeiten je Niederschlags-szenario, hier für das außergewöhnliche Szenario ($T_n = 100$ a; 50 mm/h)

Für die Erstellung der SRGK bzw. Detailkarten wurden die vorhandenen Blattschnitte im Maßstab 1:2.500 von GeobasisNRW verwendet und eine zusätzliche Nummerierung für die Blattschnitte eingefügt, weil die vorhandene Blattschnittnummerierung zu lang war.

Zusätzlich wurden zur analogen Kartendarstellung der Ergebnisse die Überflutungstiefen und die Überflutungsausdehnung mit Fließwegen je Niederschlagsszenario auch im zeitlichen Verlauf mit dem von Hydrotec entwickelten Starkregen MapView als Web-Anwendung animiert dargestellt. Unter folgenden Links waren die zugangsgeschützten SRGK erreichbar.

Szenario 1 (seltenes Niederschlagsszenario - Blockregen):

<https://mapview.hydrotec.de/models/Starkregengefahrenkarte-Erkelenz-seltenes-Ereignis/>

Szenario 2 (außergewöhnliches Niederschlagsszenario - Blockregen):

<https://mapview.hydrotec.de/models/Starkregengefahrenkarte-Erkelenz-aussergewoehnliches-Ereignis/>

Szenario 3 (extremes Niederschlagsszenario - Blockregen):

<https://mapview.hydrotec.de/models/Starkregengefahrenkarte-Erkelenz-extremes-Ereignis/>

Szenario 4 (seltenes Niederschlagsszenario – Modellregen)

<https://mapview.hydrotec.de/models/Starkregengefahrenkarte-Erkelenz-seltenes-Ereignis-Modellregen/>

Nach Fertigstellung des Projekts, ist es möglich, diese Animationen der Ergebnisse dauerhaft im sog. MapView auf einem Server für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

4.6 Verifizierung der Modellergebnisse

Zur Verifizierung der Berechnungsergebnisse der SRGK wurden die Ergebnisse mit den Überflutungsflächen der BKG-Starkregenhinweiskarten und Hochwassergefahrenkarten, wo es möglich war, verglichen, siehe hierzu beispielhaft Abbildung 4-9.

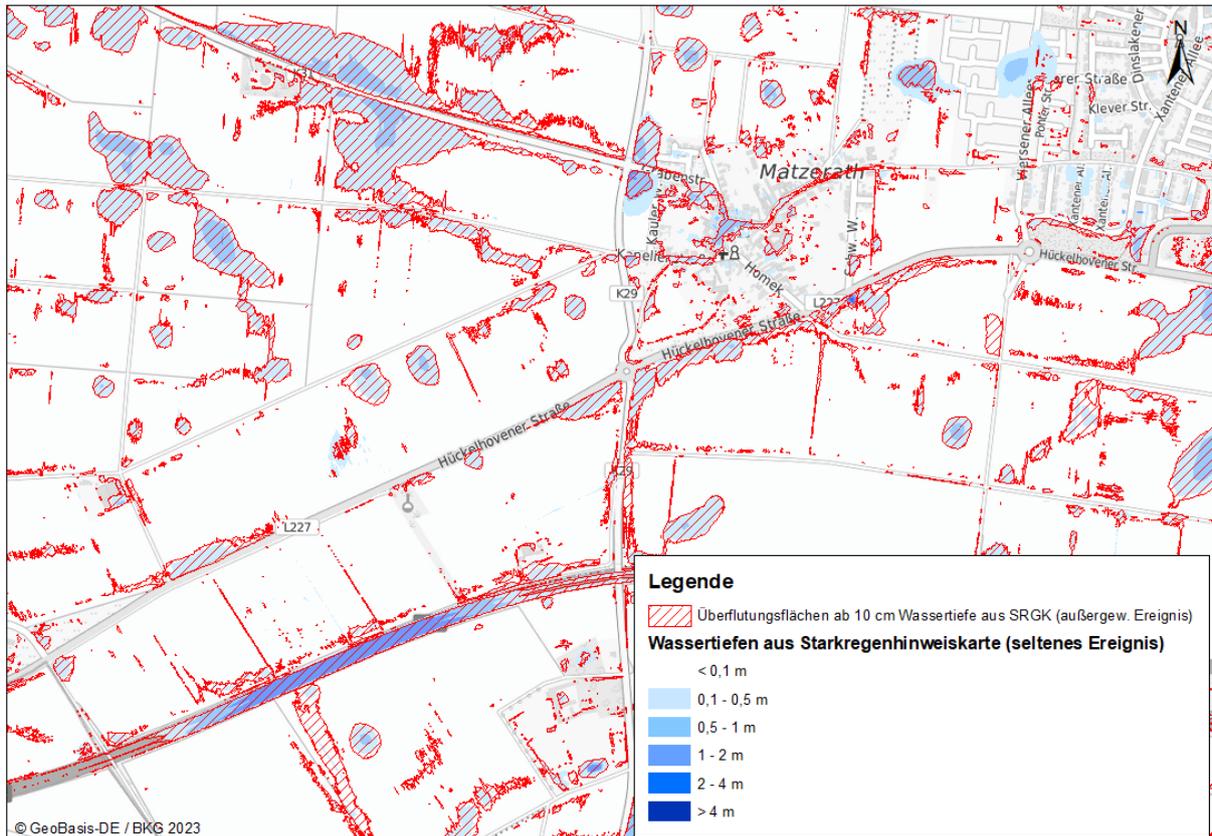


Abbildung 4-9: Beispiel für Abgleich Überflutungsflächen für das außergewöhnliche Ereignis aus den SRGK mit denen der BKG-Starkregenhinweiskarten

Insgesamt wurde eine gute Übereinstimmung mit den Überflutungsflächen der BKG-Starkregenhinweiskarten festgestellt. Abweichungen konnten plausibel nachvollzogen werden. In der Regel basieren die Abweichungen auf der Verwendung von aktuelleren Grundlagedaten für die Erstellung der SRGK.

4.7 Unterschiede zwischen Hochwassergefahrenkarten und Starkregengefahrenkarten

Im Teilmodell „3_ERK_WG“ liegen Überflutungsflächen aus den Hochwassergefahrenkarten für den Beeckbach vor.

Ein Vergleich der Überflutungsflächen am Beeckbach in Wegberg zeigt, dass die Überflutungsbereiche am Gewässer, die sich infolge der Starkregensimulation mit einem 100-jährlichen Niederschlag einstellen, größer sind als die Überflutungsflächen der HW-Gefahrenkarte für ein HQ100, vgl. hierzu Abbildung 4-10.

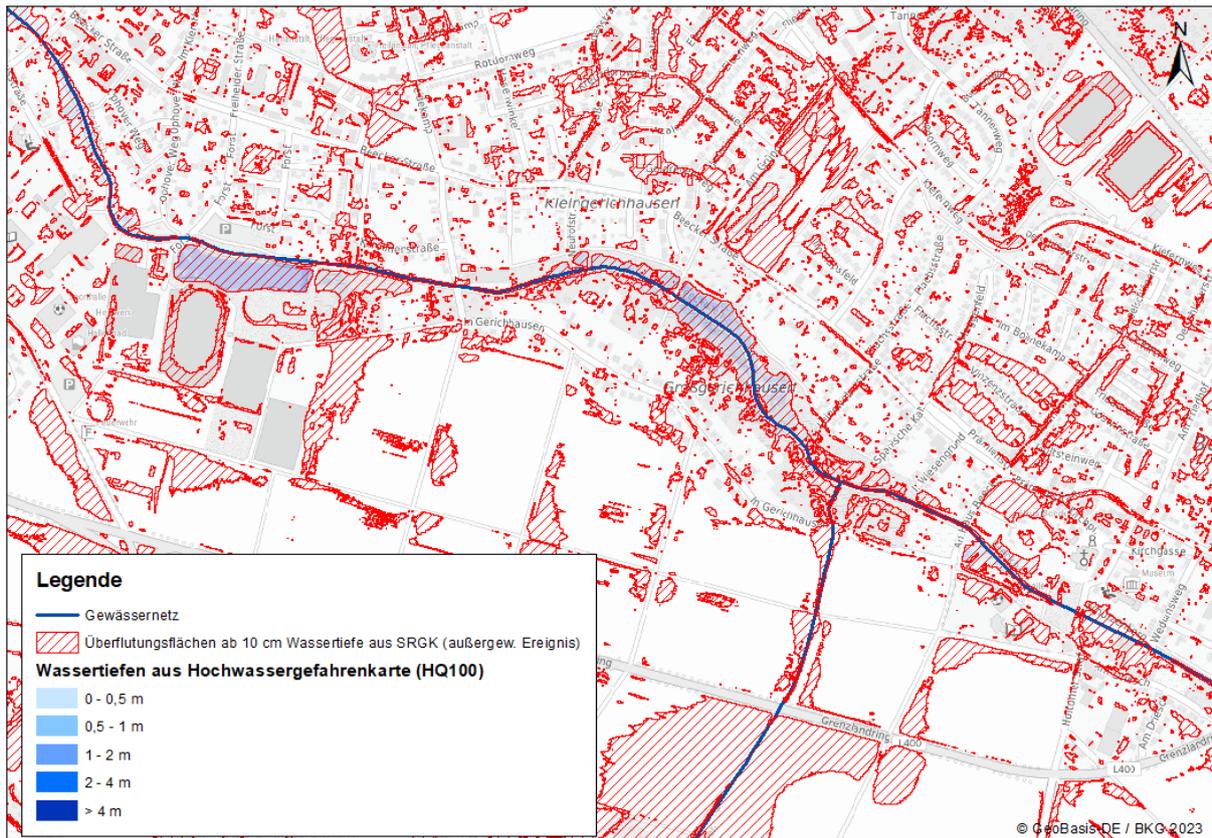


Abbildung 4-10: Darstellung Überflutungsflächen der HWGK (HQ100) und der SRGK (außergewöhnliches Ereignis)

Die Gründe für die Unterschiede liegen in der unterschiedlichen Modell- und Simulationstechnik, wobei jede Vorgehensweise für sich plausibel, erprobt und fachlich begründet ist sowie auf den anerkannten Regeln der Technik beruht.

Das Vorgehen zur Erstellung der Hochwassergefahrenkarten beinhaltet im ersten Schritt eine hydrologische Modellierung als

- Langfristsimulation über mehrere Jahrzehnte, die extremwertstatistisch ausgewertet wird oder
- eine Einzelereignissimulation mit einem Bemessungsniederschlag einer gewählten Jährlichkeit.

Im zweiten Schritt werden die Abflusswerte der so erzeugten hydrologischen Längsschnitte an den zugehörigen Gewässerpunkten als stationäre Maximalwerte oder instationäre Ganglinien (mit gleichem Spitzenabfluss) in das 2D-Modell des Gewässers mit angeschlossener Aue eingegeben.

Ist die Leistungsfähigkeit des Flussschlauches überschritten, üfern die Abflüsse im Modell aus.

In der Regel wird das hydrologische Modell an vorliegenden Pegelganglinien kalibriert und mit Beobachtungen realer ausufernder Ereignisse validiert. Die gemessenen und vom hydrologischen Modell reproduzierten langjährigen Abflüsse sind das Resultat der zugehörigen Niederschlagsereignisse, die nicht immer das Einzugsgebiet komplett überregen und von unterschiedlicher Dauer und Intensität sind. Eine extremwertstatistische Auswertung eines solchen „mittleren“ Abflussspektrums liefert HQ100-Werte die niedriger sind als bei einer Auswertung von Reihen, in denen tatsächlich Extremereignisse verstärkt beobachtet wurden.

Ein hydrologisches Modell, das dieses „mittlere“ Abflussverhalten reproduziert, weist in der Regel Parameter auf, z. B. der Abflusskonzentration (Retentionskonstanten), die nicht repräsentativ für extreme Ereignisse sind. In der Hydrologie ist bekannt, dass extreme Ereignisse in der Regel schneller und mit steileren Wellen abfließen, die bei gleichem Wellenvolumen höhere Abflussspitzen erzeugen als gedämpftere Wellen, die von einem Modell erzeugt werden, das an einem mittleren Abflussspektrum angeeicht wurde.

Bei der Starkregensimulation wird ein flächiges, räumlich hoch aufgelöstes hydraulisches 2D-Modell mit Effektivniederschlägen belastet, die als Oberflächenabfluss über das Relief gesteuert über sich ausbildende Fließpfade dem Gewässer zuströmen. Dort füllen sie den Gewässerschlauch bis zu seiner Leistungsfähigkeit und strömen als Talabfluss weiter, wenn die Leitungsfähigkeit des Gerinnes überschritten ist. Bei der Starkregensimulation wird das Modell vollständig flächig sehr intensiv und kurz beregnet, was damit ein extremes Ereignis darstellt.

Die 2D-hydrodynamischen Modelle sind aufgrund der zugrunde liegenden Strömungsgleichungen physikalisch basierter als hydrologische Modelle. Mit differenzierten, fließtiefenabhängigen Rauheitsansätzen bilden sie die Oberflächenströmung gut ab. Mikroreliefeinflüsse unterhalb des Meterrasters werden nicht berücksichtigt. Die Starkregenmodelle werden nicht geeicht. Auch eine Validierung von Starkregenmodellen anhand realer Ereignisse in Bezug auf Gewässerabflüsse wird in der Regel nicht gemacht und ist in den zugrunde liegenden Arbeitshilfen (NRW) oder Leitfäden (BW) nicht gefordert.

In Baden-Württemberg hat man die bestehenden Unterschiede beider Modell- und Simulationstechniken so gelöst, dass bei der Starkregensimulation der Abfluss im Gewässer dem Modell künstlich entzogen wird. So verbleiben auch in Ufernähe nur die oberflächigen Abflussanteile. Diese Technik wurde auch bei der Starkregenübersichtskarte des BKG angewandt. Der Nachteil dieses Vorgehens ist, dass in kleinen Einzugsgebieten, wo naturgemäß beide Prozesse (flächiger Starkregenabfluss und überlastete Gewässer) nicht voneinander zu trennen sind, nur die „halbe Wahrheit“ gezeigt wird.

In der hydrologischen Fachwelt ist anerkannt, dass die Jährlichkeit des Abflussereignisses nicht mit der Jährlichkeit des Niederschlagsereignisses gleichzusetzen ist. Diesem Fakt tragen die Starkregen-Leitfäden und Arbeitshilfen Rechnung, in dem von Niederschlagsszenarien gesprochen wird und nicht von Abflussszenarien wie in den Hochwassergefahrenkarten Modellierungen (s. auch Kapitel 4.1.8 dieses Berichtes).

Auf diesen Umstand sollte man in möglichen Diskussionen mit den Adressaten der Starkregengefahrenkarten hinweisen. Zudem liegt der Fokus der Starkregengefahrenkarten in der Darstellung der flächigen und gewässerfernen Risiken, die in den klassischen Hochwassergefahrenkarten nicht enthalten sind.

5 Ergebnisauslieferung

Neben den in Kapitel 4.5 vorgestellten Kartendarstellungen wurden folgende Ergebnisdaten ausgeliefert:

1. Ergebnisdaten im Raster-Format Tiff

- Maximale Überflutungstiefen in m (UT)
- Maximale Wasserspiegellagen in m ü. NHN (WSP)
- Maximale Fließgeschwindigkeiten in m/s (FG)
- Fließrichtungen für die maximalen Fließgeschwindigkeiten (FR)
- DGM1 ohne Geländemodifikationen (DGM1_ori)
- DGM1 mit Geländemodifikationen und LoD2-Gebäuden (DGM1_mod)

2. Modelleingangsdaten in einer File-Geodatenbank (gdb)

6 Literatur und verwendete EDV-Programmsysteme

- Achten und Jansen 2023a: Digitale Daten zum Kanalnetz im Stadtgebiet Erkelenz. Aachen
- Achten und Jansen 2023b: Digitale Daten zum Überstau aus der Kanalisation im Stadtgebiet Erkelenz für N20 (38,1 mm/h), N100 (50 mm/h) und NExtrem (90 mm/h). Aachen
- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. 2005: Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef
- Gemeinde Brüggen 2022: Digitale Grundlagendaten wie Geobasisdaten, Kanalnetzdaten, Neubaugebiete. Brüggen
- Gemeinde Niederkrüchten 2022: Digitale Grundlagendaten wie Geobasisdaten, Kanalnetzdaten, Neubaugebiete, Überflutungsmeldungen. Niederkrüchten
- Gemeinde Niederkrüchten 2023: Digitale Daten zum Rückhaltebecken am Ryther Graben. Niederkrüchten
- Gemeinde Schwalmtal 2022: Digitale Grundlagendaten Kanalnetzdaten, Neubaugebiete, Überflutungsmeldungen. Schwalmtal
- Gemeinde Wegberg 2022: Digitale Grundlagendaten wie Geobasisdaten, Kanalnetzdaten, Neubaugebiete. Wegberg
- GeobasisNRW 2023: Open-Source Geoportal NRW, Digitales Geländemodell (DGM1), LoD2-Gebäudedaten, ALKIS Gebäude- und Landnutzungsdaten, Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf
- ITWH Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH 2017: Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2010R Version 3.2.2. Hannover
- Junghänel, T.; Ertel, H. & Deutschländer, T. 2017: KOSTRA-DWD 2010R. Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main
- MULNV Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) 2018: Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement - Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW. Düsseldorf
- NEW AG 2022: Digitale Grundlagendaten wie Geobasisdaten, Niederschlagsmessung, Kanalnetzdaten, Neubaugebiete, Überflutungsmeldungen. Mönchengladbach
- Schwalmverband 2022: Digitale Grundlagendaten wie Geobasisdaten, Überflutungsmeldungen. Brüggen
- Schwalmverband 2022: Lageplan zur Gewässerverlegung am Ryther Graben. Brüggen
- Stadt Erkelenz 2022: Digitale Grundlagendaten wie Geobasisdaten, Befliegungsdaten Neubaugebiete. Erkelenz

Verwendete EDV-Programmsysteme

- ArcGIS Desktop®, Version 10.6 - ESRI, Redlands (CA), USA
- ArcGIS Pro®, Version 2.8 - ESRI, Redlands (CA), USA
- HydroAS, Version 5.5.4 - Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen
- QGIS, Version 3.22 - Open-Source-Geographisches-Informationssystem