

# Starkregenrisikomanagement

## *Schöckinger Weg, Hemmingen*



Erstellt von:  
geomer GmbH  
Im Breitspiel 11b  
69126 Heidelberg  
[www.geomer.de](http://www.geomer.de)

Erstellt für:  
mquadrat  
Badstraße 44  
73087 Bad Boll  
[www.m-quadrat.de](http://www.m-quadrat.de)

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>3</b>
1.1.	Starkregen: Definition .....	3
1.2.	Kontext Klimawandel.....	3
<b>2</b>	<b>Eingesetzte Hydraulische Modellsoftware</b> .....	<b>5</b>
2.1.	Grundlagen der Modellsoftware mit Version .....	5
2.2.	Rauheitsansatz und gewählte Rauheitswerte .....	5
<b>3</b>	<b>Modellaufbau</b> .....	<b>6</b>
3.1.	Geländemodell und vorgenommene Modifikationen.....	6
3.2.	Oberflächenabflusswerte (OAK).....	6
<b>4</b>	<b>Gebietsbeschreibung und Vorgehen</b> .....	<b>7</b>
4.1.	Simulation der Ausgangssituation .....	7
4.2.	Simulation der Maßnahme "Südlicher Graben" .....	8
4.3.	Integration der Vermessungsdaten aus dem April 2021 in das Geländemodell und weitere Maßnahmenplanung .....	9
4.4.	Anpassung der Oberflächenabflusskennwerte und der Rauheit an den städtebaulichen Entwurf im Baugebiet Schöckinger Weg .....	12
4.5.	Anpassung der OAK- und Rauheitswerte .....	13
4.6.	Ergebnis der Starkregensimulation mit angepassten Rauheits- und OAK-Werten.....	15

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Darstellung der für die Volumenberechnung verwendeten Flächen (rot). .....	7
Abb. 2:	Simulation der Ausgangssituation mit Volumenangaben in m <sup>3</sup> für die Überflutungsbereiche..	8
Abb. 3:	Simulation mit Integration der geplanten Häuser und einem 2 m breiten und 1.5 m tiefen Graben im Süden des Baugebiets. Darstellung der Volumina der überfluteten Flächen in m <sup>3</sup> .....	9
Abb. 4:	a) in der xml- Datei enthaltene, georeferenzierte Vermessungspunkte; b) das aus diesen Punkten generierte Höhenmodell.....	9
Abb. 5:	Ergebnis der Simulation mit dem von mquadrat gelieferten Höhenmodell. Das neue DGM wurde innerhalb der roten Markierung verwendet. Darstellung der für die Volumenberechnung verwendeten Flächen in gelb. ....	10
Abb. 6:	Ergebnis der Simulation mit dem von mquadrat gelieferten Höhenmodell und der im Süden eingebauten Mauer. Das neue DGM wurde innerhalb der roten Markierung verwendet. Darstellung der für die Volumenberechnung verwendeten Flächen in gelb .....	11
Abb. 7:	Die maximale Überflutungsausdehnung als Ergebnis der Simulation mit dem in das Ursprungs-DGM integrierten DGM von mquadrat und einer Mauer/Wall im Süden. Volumenangaben der Wassermengen (in m <sup>3</sup> ) in den gelb gestrichelten Bereichen.....	12
Abb. 8:	Anpassung der Oberflächenabflusskennwerte. Links: Ausschnitt eines original OAK-Rasters (AUS_V, Minute 35); Rechts: OAK-Raster mit den im Baugebiet angepassten OAK-Werten (rot umrandet, Gebäude, Straßen und Grünflächen). .....	13
Abb. 9:	Kartenausschnitt zur verwendeten, angepassten Rauheit (rechts) und der Originaldaten (links). In der Legende sind nacheinander die Rauheiten ( $k_{st}$ -Werte, Einheit: m <sup>1/3</sup> /s) bei	

Überflutungstiefen bis 2 cm (Dünnfilmabfluss), die Rauheiten ab 10 cm Überflutungstiefe und die jeweiligen Landnutzungen aufgeführt. .... 14

Abb. 10: Die maximale Überflutungsausdehnung als Ergebnis der Simulation mit den angepassten Rauheits- und OAK-Werten mit den dem in das Ursprungs-DGM integrierten DGM von mquadrat und einer Mauer/Wall im Süden. Volumenangaben der Wassermengen (in m<sup>3</sup>) in den gelb gestrichelten Bereichen..... 15

Abb. 11: (links) das von Süd nach Nord verlaufende Höhenprofil entlang dessen die Wasserspiegellagen und die Höhen des DGMs extrahiert wurden (rechts). .... 16

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der verwendeten Rauheiten für das Simulationsmodell..... 6

Tabelle 2: Volumen der in Abbildung 1 dargestellten Flächen für beide Simulationen..... 8

Tabelle 3: Ergebnisse der Durchflussberechnung der Simulation mit dem aus der xml-Datei generierten DGM..... 10

Tabelle 4: Ergebnisse der Durchflussberechnungen für die Simulation mit dem neuen DGM und der im Süden eingebauten Mauer. .... 11

## 1 Einführung

### 1.1. Starkregen: Definition

Niederschlagsereignisse, die lokal sehr begrenzt (kleinräumig) auftreten und in kurzer Zeit sehr große Niederschlagsmengen verursachen, werden als Starkregenereignisse bezeichnet. Diese können grundsätzlich in allen Regionen Deutschlands auftreten. Häufig entstehen diese Ereignisse durch Konvektion: Dabei führen Temperaturunterschiede zu starken Aufwärtsbewegungen von feuchtwarmen Luftmassen und damit zur Bildung von ergiebigen Regenwolken, die plötzlich und intensiv abregnen können. Belastbare meteorologische Vorhersagen von Ort und Intensität dieser Ereignisse sind nur kurz vor dem Auftreten möglich. Insbesondere in kleinen Einzugsgebieten können auch kleinere Gewässer wie Bäche durch die Regenmengen plötzlich anschwellen, ausufern und zu Überflutungen führen. Für wirksame Vorsorgemaßnahmen ist es dann häufig bereits zu spät (LfU Bayern 2022).

Bei Überflutungen durch Starkregen kann der Boden den Niederschlag nicht mehr oder nicht schnell genug aufnehmen. Das Wasser fließt auf der Geländeoberfläche in Richtung des nächstgelegenen Gewässers oder anderer Tiefpunkte des Geländes wie Gräben, Senken oder Kellerräume. Dabei können Überflutungen mit wenigen Zentimetern Tiefe insbesondere im Siedlungsbereich fast flächendeckend auftreten. Denn in Siedlungen sind die Böden größtenteils bebaut, also versiegelt. Über das Gebiet verteilt kann der Starkregen aber auch zu höheren Überflutungstiefen an unterschiedlichen Stellen führen. Da die großen Wassermengen zumeist über den Bemessungsgrenzen der Kanalnetze oder Dachentwässerungen liegen, kann das Wasser nicht abgeführt werden, wodurch Bebauung und Infrastruktur in den Senken erheblich geschädigt werden können (LUBW 2022).

Starkregen kann zwar nicht grundsätzlich verhindert werden, aber Betroffene können Maßnahmen treffen, um die Risiken und Schäden zu minimieren. Aufgrund der kurzen Vorwarnzeit ist die Vorsorge besonders wichtig.

### 1.2. Kontext Klimawandel

Der Klimawandel zeigt bereits Auswirkungen in Deutschland – allein in den letzten 135 Jahren ist es um durchschnittlich 1.4°C wärmer geworden (DWD). Doch wie wirkt sich der Klimawandel nun auf Starkregen aus?

Der DWD veröffentlichte 2016 ein Statement zur Entwicklung von Starkregenniederschlägen in Deutschland. Die Analyse von Niederschlagsmessstationen, um den derzeitigen Trend in Deutschland zu erfassen, ist nicht unbedingt aussagekräftig, da viele kleinräumige Ereignisse in der Vergangenheit nicht erfasst wurden. Neuere Entwicklungen können mittels flächendeckenden Radardaten analysiert werden.

Die Niederschlagsvariabilität im Sommer ist so hoch, dass sich hier kein verlässlicher Trend ablesen lässt. Nur für den Winter lässt sich statistisch belegen, dass in Deutschland von 1951 bis 2006 die Häufigkeit hoher täglicher Regenmengen um 25 % angestiegen ist (auf Basis von Daten mit 24-stündiger Auflösung). Radardaten und die koordinierten Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen (KOSTRA) vom DWD deuten darauf hin, dass in einigen Regionen die Starkniederschläge zugenommen haben – in anderen Regionen haben sie abgenommen.

„Wir beobachten eine Abnahme der Kältewellen und eine Zunahme der Hitzeperioden auf der gesamten Nordhalbkugel in den mittleren Breiten, aber auch speziell bei uns ins Europa. Diese Systematik lässt sich als Folge der globalen Erwärmung erklären. Neben der Temperatur bestimmt

die großräumige atmosphärische Dynamik, die durch die planetaren Wellen beschrieben wird, die Wetterlage. Die planetaren Wellen haben sich oberhalb unserer Wetterschicht bereits deutlich geändert, mit Folgen für das dortige Wetter. Derzeit gehen wir vorläufig davon aus, dass sich diese Änderungen in den unteren Höhenschichten der Atmosphäre in der Zukunft zeigen werden.“ Lisa Küchelbacher, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt bei der 7. Tagung der Meteorologischen Gesellschaften aus Deutschland, Österreich und der Schweiz (DACH2019) am 18. März 2019

Generell kann davon ausgegangen werden, dass ein Anstieg der Temperatur in Deutschland mehr Niederschläge als Konsequenz hat. Dies beruht darauf, dass die warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Bei gleichbleibender Luftfeuchtigkeit sind somit mehr Niederschläge zu erwarten. Weitere Einflussfaktoren, wie die weltweite Verteilung von Hoch- und Tiefdruckgebieten, Konvektion und Wolkenphysik auf der Zeitskala von Minuten, sind ebenfalls zu beachten.

Im Detail die Zunahme von Starkregenereignissen zu analysieren (im Vergleich zu Niederschlägen), ist wesentlich komplizierter:

Die Auswirkungen des Klimawandels werden aus Trends in Klimaprojektionen abgeleitet. Klimaprojektionen basieren auf Szenarien zur Entwicklung von Treibhausgasen in unserer Atmosphäre, den Veränderungen der Flächenversiegelung, der Bevölkerungsentwicklung oder dem Umgang mit den Energieressourcen für die kommenden Jahrzehnte. Es lassen sich nur großräumige Trends von Großwetterlagen betrachten, nicht kleinräumige Ereignisse (wie Starkregen). Der DWD hat Klimaprojektionen vom A1B-Emissionsszenario ausgewertet (Deutschländer und Dalelane, 2012 und Becker et al. 2016). Laut DWD kommt es nach diesem Szenario zu einer Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen im Winter (10 bis 50 % für die meisten Regionen). Für den Sommer zeigen die Projektionen, dass der Anteil der Starkniederschläge am Gesamtniederschlag zukünftig steigen wird – die Zunahme und Häufigkeit variiert je nach Klimaprojektion. Becker et al. 2016 ziehen folgendes Fazit für Daten mit 24-stündiger Auflösung: „Zum einen simulieren die Klimamodelle – wenn überhaupt – erst ab etwa 2020 eine leichte Zunahme. Zum anderen existieren zumindest für den süddeutschen Raum Anzeichen für einen geringfügigen Anstieg in den vergangenen rund 50 Jahren.“

Das Projekt KLIWA (Klimaveränderung und Wasserwirtschaft) der Länder Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz sowie des Deutschen Wetterdienstes kommen in der Broschüre Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern zu einem ähnlichen Fazit:

- Im hydrologischen Winterhalbjahr zeigen die Starkniederschlagshöhen des Zeitraums 1931–2000 deutliche Zunahmen.
- Im hydrologischen Sommerhalbjahr ist hingegen kein einheitlicher Trend bei den Starkniederschlägen festzustellen (1931–2000). Regionen mit einer Zunahme (z. B. Ostrand des Schwarzwaldes, Donautal, Teile Mittelfrankens) stehen große Gebiete mit einer Abnahme bei insgesamt geringer Signifikanz gegenüber.

Erst wenn Radardaten für einen längeren Zeitraum existieren, können die Effekte des Klimawandels signifikant nachgewiesen werden. Die Wissenschaftler sind sich dennoch einig, dass wir uns hierzulande auf die Zunahme von Extremwetter-Ereignissen vorbereiten müssen.

Verantwortungsvolles Handeln heißt auch, sich mit den daraus ergebenden Konsequenzen auseinanderzusetzen und sich vorzubereiten. Das gilt sowohl für die zuständigen Behörden als auch für jeden Einzelnen und ist in einem so dicht besiedelten Raum wie Deutschland besonders wichtig.

## 2 Eingesetzte Hydraulische Modellsoftware

Nach dem Leitfaden „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“ wird das Verfahren der zweidimensionalen, instationären, hydraulischen Berechnung mit definiertem Oberflächenabflusswerten für die Gefährdungsanalyse vorgegeben. Die Modelle (2D-HN-Modelle) können ein Gerinnesystem und abflussrelevante Strukturen erfassen und darstellen. Die zeitliche Entwicklung von Fließgeschwindigkeit und Überflutungstiefe sowie die Wirkung baulicher Vorsorgemaßnahmen können mit den 2D-NH-Modellen simuliert werden. Der Vorteil dieses Vorgehens ist eine detaillierte Darstellung der Strömungsverhältnisse, der Geschwindigkeiten, der Wasserspiegellagen und der Überflutungstiefen.

### 2.1. Grundlagen der Modellsoftware mit Version

Für die hydraulische Berechnung kommt das Modell FloodArea<sup>HPC</sup> (HPC - High Performance Computing - Version 11) zum Einsatz. Dieses wird seit 1999 durch die geomer GmbH entwickelt und vertrieben (Modellhandbuch unter [www.floodarea.de](http://www.floodarea.de)). Neben verschiedenen Hochwassergefahrenkartenprojekten, großen Atlasprojekten (z. B. Rheinatlas, Oderatlas, Elbeatlas) und operationeller Deichbruchmodellierung wird das Modell seit 15 Jahren im Bereich Starkregen und dezentraler Hochwasserschutz eingesetzt. Das in Baden-Württemberg als Pilot geltende Projekt an der Glems wurde ebenfalls mit FloodArea gerechnet. Auch verschiedene Kunden setzen FloodArea<sup>HPC</sup> für die Modellierung von Starkregen-Gefahrenkarten ein (z. B. geo7 für die gesamte Schweiz) oder die China Meteorological Association für operative Starkregen-Modellierung.

Durch die Verwendung der für Parallelprozessierung ausgelegten Version FloodArea<sup>HPC</sup> ist es möglich, sehr hohe Datenmengen in einem Hydraulik-Modell zu verarbeiten. Zur Berechnung wird das Gesamtgebiet automatisch gekachelt, hierbei erfolgt der Fließübergang zwischen den einzelnen Kacheln vollautomatisch. Die Besonderheit ist, dass hier die komplexe Hydrodynamik des Oberflächenabflusses abgebildet wird, also flächiger Abfluss sowie Rückstaueffekte etc. miterfasst werden. Dies erhöht zwar den Rechenaufwand, ermöglicht jedoch erst eine Ausweisung der gefährdeten Bereiche und Objekte.

Die Gebietsgröße und die Auflösung sind von der Modellseite nicht limitiert, mit den aktuell bei geomer verfügbaren Rechnern sind Gebietsgrößen mit bis zu 2 Mrd. Rasterzellen in einer Simulation bearbeitbar.

FloodArea<sup>HPC</sup> basiert auf einem modifizierten Manning-Strickler-Verfahren in einer virtuellen 16-Nachbar-Umgebung. Trägheits- bzw. Beschleunigungseffekte werden durch eine Mitführung der Geschwindigkeitsvektoren über die Iterationsschritte abgebildet. Die Vereinfachung basiert auf einer Gleichsetzung von Energiespiegellinie mit der Wasserspiegellinie, die Kompressibilität und Temperatureinflüsse werden folglich nicht abgebildet.

Da FloodArea<sup>HPC</sup> eine Eigenentwicklung der geomer GmbH ist, steht das Modell immer in der aktuellsten Version und einer unbegrenzten Anzahl von Lizenzen in der höchsten Leistungsfähigkeit zur Verfügung, d. h. alle verfügbaren Rechenkerne können voll genutzt werden.

### 2.2. Rauheitsansatz und gewählte Rauheitswerte

Die Rauheitswerte gehen als ein linear in die Modellberechnung einwirkender Parameter bei FloodArea<sup>HPC</sup> ein. Die Rauheit erfolgt auf Basis des Fließansatzes nach Gauckler-Manning-Strickler mit den entsprechenden  $k_{st}$ -Beiwerten. Die verwendeten Rauheiten in ihrer flächigen Anwendung sind in den Abgabedaten enthalten.

Die Rauheitswerte wurden in Anlehnung an die Werte des Anhangs 1a, Kapitel 3.9 zum Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, Stand Juli 2020, gewählt. Die Rauheitswerte wurden für den Dünnfilmabfluss insbesondere bei vegetationsbehafteten Nutzungen angepasst. Dem empfohlenen Vorgehen folgend wurde bis zu einer Überflutungstiefe (ÜT) von 2 cm der „Dünnfilm“-Wert und ab einer ÜT von 10 cm der höhere Rauheitswert (für glattere Oberflächen) verwendet. Zwischen diesen Werten wird linear interpoliert.

In folgender Tabelle sind die zusammengefassten Rauheiten ( $k_{st}$ -Werte) auf Basis der übergebenen Landnutzungsdaten zusammengestellt. Versiegelte Flächen (Straßen, Häuser und Plätze) haben entsprechend ihrer glatten Oberfläche die geringste Rauheit und somit den höchsten  $k_{st}$ -Wert nach Gauckler-Manning-Strickler.

Tabelle 1: Zusammenfassung der verwendeten Rauheiten für das Simulationsmodell

Landnutzung	bis 2 cm ÜT	ab 10 cm ÜT
	$m^{1/3}/s$	
Wald und Gehölz, Laub- und Nadelhölzer	3	3
Offene Industrie- und Gewerbefläche	5	10
Offene Sport- und Erholungsfläche, Rasen	6	30
Fläche gemischter Nutzung, Streuobstwiesen, Grünland, Verkehrsbegeleitfläche, Bahnverkehr	10	15
Wohnbaufläche, Ackerland verschlämmt	15	20
Sport-, Freizeit-, Erholungsfläche, geschlossene Industrie und Gewerbefläche, Wege, Unland	40	40
Gebäude, Platz	60	60
Straßen	80	80

### 3 Modellaufbau

Das Pre- und Postprocessing der Daten wurde mit Esri ArcGIS durchgeführt. Viele dieser Arbeitsschritte liegen bereits automatisiert und erprobt vor, dies gilt insbesondere auch für die eigentliche Steuerung des Modellierungsprozesses mit den Spezifika der durch die LUBW bereitgestellten Abflussmengen (gemäß Anhang 3 des Leitfadens). Diese Automatisierung reduziert deutlich den Arbeitsaufwand und minimiert insbesondere Fehler bei der Abarbeitung. Alle Eingangs- und Ausgangsdaten werden im GeoTIFF Format erzeugt.

#### 3.1. Geländemodell und vorgenommene Modifikationen

Das digitale Geländemodell wird als Raster im Modell berücksichtigt, wodurch eine größtmögliche Detailtreue gewährleistet werden kann. Die räumliche Auflösung des DGM beträgt 100 cm und wird als solches im Modell eingelesen. Ggf. nicht enthaltene Strukturen, die einen abflusswirksamen Effekt haben z. B. Gebäude, werden im Rahmen der Geländemodifikation berücksichtigt. Maßnahmenvorschläge wie Gräben und Mulden werden ebenfalls in das Geländemodell eingebaut.

#### 3.2. Oberflächenabflusswerte (OAK)

Die Oberflächenabflusswerte (OAK) werden über die LUBW bereitgestellt. Die Daten werden mit dem bodenhydrologischen Modell RoGeR der Universität Freiburg generiert und basieren auf Daten zum Niederschlag, der Vorfeuchte, der Bodennutzung und Bodeneigenschaften. Die Modellbeschreibung befindet sich in Anhang 3 des Leitfadens, LUBW 2016.



## 4 Gebietsbeschreibung und Vorgehen

Nach dem Starkregen- und Hochwasserereignis am 04. Juli 2010 wurde die Firma geomer GmbH von den Glemsanliegerkommunen mit der Erstellung von Starkregengefahrenkarten beauftragt. 2019 entschlossen sich die Kommunen erneut in Sachen Starkregen zusammenzuarbeiten. Die geomer GmbH wurde beauftragt, eine leitfadiskonforme Risikoanalyse, basierend auf den 2011 erstellten Starkregengefahrenkarten, durchzuführen und daran anschließend ein Handlungskonzept zu erstellen. Das Projekt wurde im Oktober 2020 erfolgreich abgeschlossen.

Seit Januar 2021 existieren neue, aktualisierte Oberflächenabflusskennwerte (OAK) und es erfolgte der Auftrag für eine erneute Gefährdungsanalyse eines außergewöhnlichen Starkregeneignisses mit anschließender Fließweganalyse im Baugebiet Schöckinger Weg auf Gemarkung der Gemeinde Hemmingen.

Es wurde zunächst die Ausgangssituation mit einem unveränderten Geländemodell und den neuen OAKs für das außergewöhnliche Starkregenszenario simuliert. Auf Basis dieser Simulation wurden verschiedene weitere Simulationen mit unterschiedlichen Maßnahmen simuliert. Für die verschiedenen Maßnahmensimulationen wurden jeweils die Volumina größerer Überflutungsflächen berechnet.

### 4.1. Simulation der Ausgangssituation

In der simulierten Ausgangssituation (Abb. 2) wurden die im Januar 2021 erhaltenen neuen Oberflächenabflusskennwerte verwendet. Für diese Simulation wurde das Geländemodell nicht verändert und die im Baugebiet geplanten Häuser auch nicht in die Simulation mit integriert.



Abb. 1: Darstellung der für die Volumenberechnung verwendeten Flächen (rot).



Im Baugebiet können in der Ausgangssituation vier Flächen (Abb. 1) mit größerer Wasserausdehnung und höheren Überflutungstiefen ausgemacht werden. Für diese Flächen wurde das Volumen der maximalen Wasserbedeckung im m<sup>3</sup> ausgegeben (Tabelle 1).

Tabelle 2: Volumen der in Abbildung 1 dargestellten Flächen für beide Simulationen.

Fläche	Volumen Ausgangssituation	Volumen Graben
1	556.535 m <sup>3</sup>	424.569 m <sup>3</sup>
2	78.223 m <sup>3</sup>	44.09 m <sup>3</sup>
3	327.545 m <sup>3</sup>	462.54 m <sup>3</sup>
4	31.976 m <sup>3</sup>	34.752 m <sup>3</sup>
Summe	994.276 m <sup>3</sup>	956.951 m <sup>3</sup>

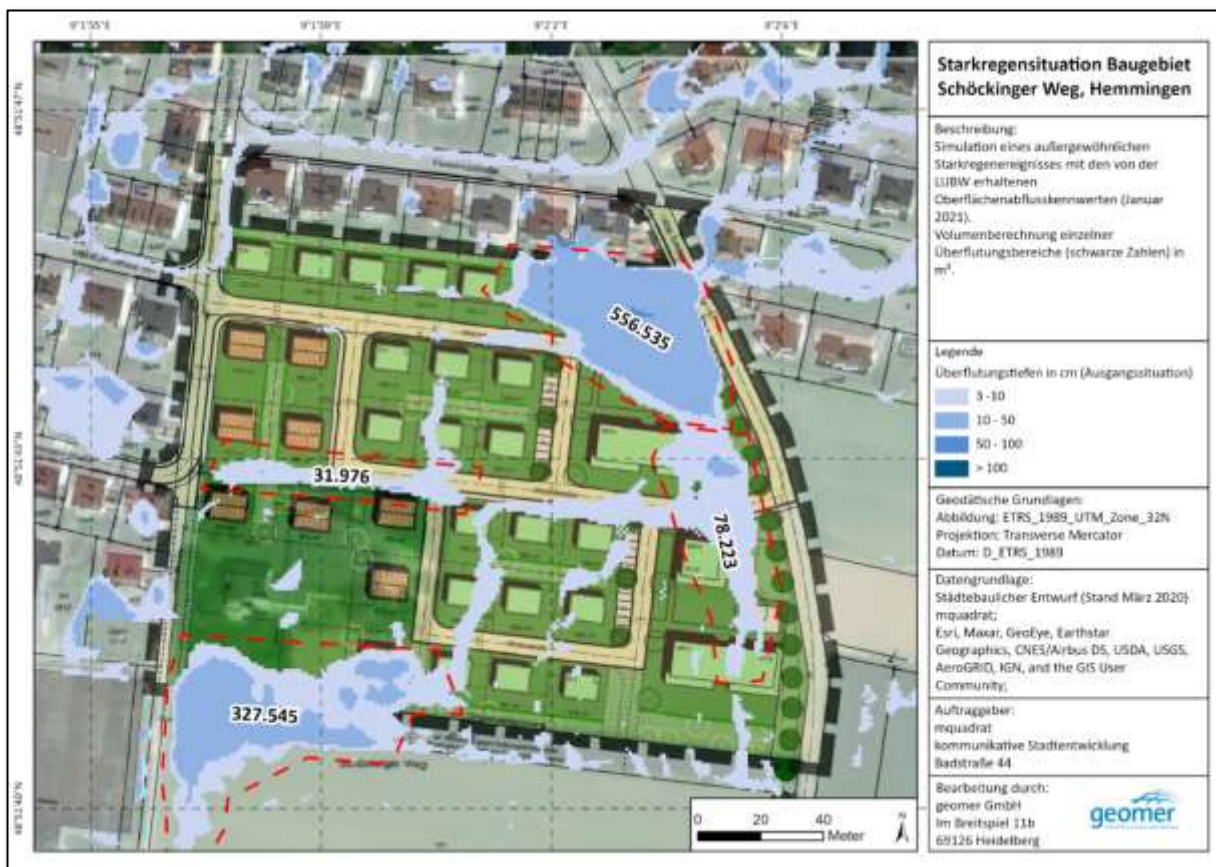


Abb. 2: Simulation der Ausgangssituation mit Volumenangaben in m<sup>3</sup> für die Überflutungsbereiche.

#### 4.2. Simulation der Maßnahme "Südlicher Graben"

In einer zweiten Simulation (Abb. 3) wurden die geplanten Gebäude in das Geländemodell integriert. Zusätzlich wurde über die gesamte südliche Grenze des Baugebiets ein 2 m breiter und 1,5 m tiefer Graben eingetieft, um zu testen, ob die Überflutungssituation entschärft werden kann.

Die Berechnung der Volumina zeigt deutlich, dass sich durch die Anlage eines Grabens im Süden hier mehr Wasser sammelt (Fläche 3, Abb. 3 und Tab. 1). Der Fläche 1 und 2 fließt jedoch kein Wasser mehr zu, sodass sich hier die Menge des Wassers verringert.



Abb. 3: Simulation mit Integration der geplanten Häuser und einem 2 m breiten und 1,5 m tiefen Graben im Süden des Baugebiets. Darstellung der Volumina der überfluteten Flächen in m<sup>3</sup>.

### 4.3. Integration der Vermessungsdaten aus dem April 2021 in das Geländemodell und weitere Maßnahmenplanung

Das Baugebiet wurde für die weitere Planung vermessen und es wurde beschlossen, mit den Vermessungsdaten eine erneute Ausgangssituation zu simulieren. Die Daten wurden im April als georeferenzierte .xml-Datei an geomer übergeben. Die in der Datei enthaltenen Punkte (Abb. 4a) konnten über die dazugehörigen Höhenwerte in ein Raster (Abb. 4b) umgewandelt werden und in das bestehende Höhenmodell eingebaut werden.

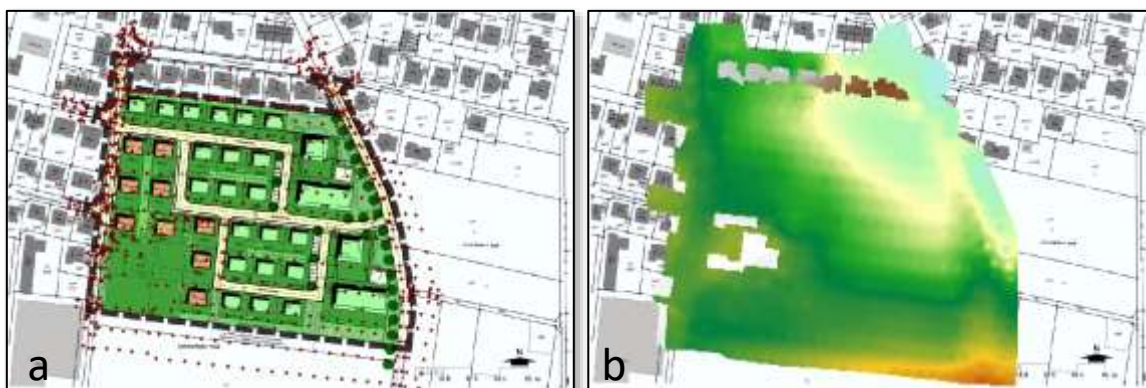


Abb. 4: a) in der xml- Datei enthaltene, georeferenzierte Vermessungspunkte; b) das aus diesen Punkten generierte Höhenmodell



Mit dem integrierten DGM wurde erneut ein außergewöhnliches Starkregenszenario simuliert. Da sich durch das veränderte Geländemodell die Ausdehnungen der überfluteten Flächen verändert haben, mussten die zur Volumenbilanz herangezogenen Flächen abgeändert werden. Zusätzlich wurde an den neu entstandenen Fließwegen Durchflussprofile (rote Linien in Abb. 5)) angelegt.

Mit Hilfe der Durchflussprofile konnte die Summe und die durchschnittliche und maximale durchfließende Wassermenge berechnet werden (Tabelle 2).

Tabelle 3: Ergebnisse der Durchflussberechnung der Simulation mit dem aus der xml-Datei generierten DGM.

Durchflussprofil	Durchschnitt [m³/s]	Maximum [m³/s]	Summe [m³]
1	0.002	0.012	23.263
2	0.000	0.003	1.575
3	0.018	0.141	190.436
4	0.047	0.344	504.227

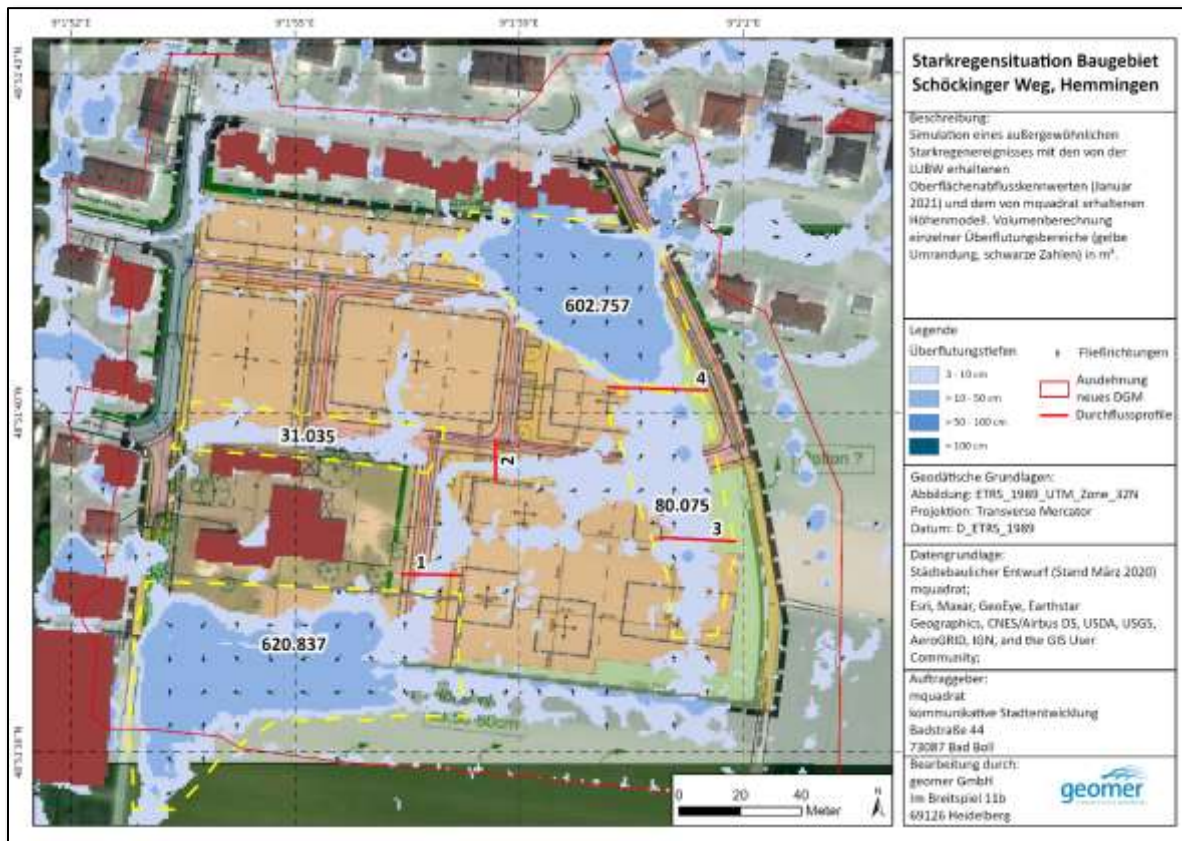


Abb. 5: Ergebnis der Simulation mit dem von mquadrat gelieferten Höhenmodell. Das neue DGM wurde innerhalb der roten Markierung verwendet. Darstellung der für die Volumenberechnung verwendeten Flächen in gelb.

Da aus der Simulation mit dem eingebauten Graben hervorging, dass im Süden relativ viel Wasser zurückgehalten werden kann, wurde nun anstatt des Grabens eine Mauer im Süden des Baugebiets in das Geländemodell integriert. Für die Mauer wurde zunächst eine Höhe von 340,5 m ü. NN angenommen. Das Ergebnis dieser Simulation zeigt, dass sich ein Großteil des Wassers vor der Mauer aufstaut. Im Bereich des Durchflussprofils 1 (Abb. 6) kommt es jedoch zu einem Überfließen der Mauer.

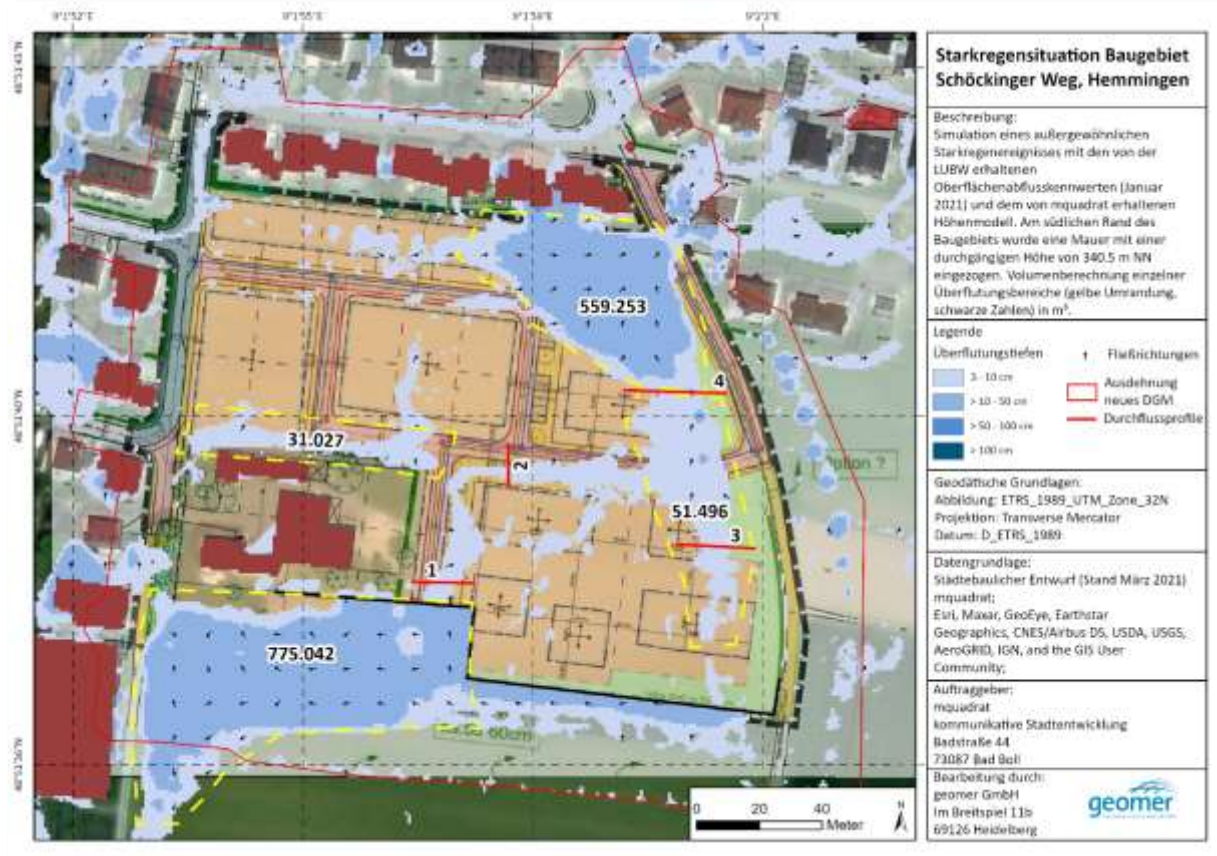


Abb. 6: Ergebnis der Simulation mit dem von mquadrat gelieferten Höhenmodell und der im Süden eingebauten Mauer. Das neue DGM wurde innerhalb der roten Markierung verwendet. Darstellung der für die Volumenberechnung verwendeten Flächen in gelb

Die Ergebnisse der erneuten Durchflussberechnung sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Ergebnisse der Durchflussberechnungen für die Simulation mit dem neuen DGM und der im Süden eingebauten Mauer.

Durchflussprofil	Durchschnitt [m³/s]	Maximum [m³/s]	Summe [m³]
1	0.002	0.016	21.533
2	0.000	0.002	1.162
3	0.005	0.044	51.065
4	0.020	0.169	218.702

Durch den Einbau der Mauer sammelt sich hier zwar mehr Wasser, auf dem Baugrundstück an sich fließt und staut sich jedoch weniger Wasser an. In einer erneuten Simulation wurde eine Mauer mit einer Höhe von 340,70 m NN eingebaut, die dann alles von Süden kommende Wasser vom Baugebiet fernhält.



#### 4.4. Anpassung der Oberflächenabflusskennwerte und der Rauheit an den städtebaulichen Entwurf im Baugebiet Schöckinger Weg

Bislang erfolgten die Starkregensimulationen im Baugebiet Schöckinger Weg mit den unveränderten Oberflächenabflusskennwerten und Rauheitsdaten, da es noch keine genaue Planung zu Straßenverläufen und Gebäuden gab. Um die Änderung der Volumenbilanz der Überflutungsbereiche innerhalb des Baugebiets zu analysieren, die mit Anpassung der OAK- und Rauheitswerte einhergeht, wurde der vorläufige städtebauliche Entwurf von März 2021 herangezogen.

Zusätzlich wurde erneut ein Geländemodell (1536\_DGM\_V1\_2021-08-05) als .tin-Datei, durch mquadrat bereitgestellt. Hier war bereits eine Mauer, deren Höhe durch die vorangegangenen Simulationen bestimmt wurde, im Süden des Baugebiets integriert.

Aufgrund des neuen Geländemodells wurde erneut eine „Ausgangssituation“ ohne angepasste OAK-Werte generiert, um die Ergebnisse später vergleichen zu können.

Nach der Simulation ohne Anpassung der OAK- und Rauheitswerte wurden für bereits ausgewählte Flächen das Volumen des angestauten Wassers berechnet (gelbe Bereiche in Abb. 7, die schwarzen Zahlen sind das Wasservolumen in m<sup>3</sup>). Der von West nach Nordost verlaufende Entwässerungsstrang resultiert aus der .tin-Datei. Hier werden die vorhandenen Höhenpunkte über eine Dreiecksvermaschung miteinander interpoliert. Aufgrund der Interpolation ist an dieser Stelle eine Tiefenlinie zu sehen, die so in der Realität nicht ausgebildet ist.

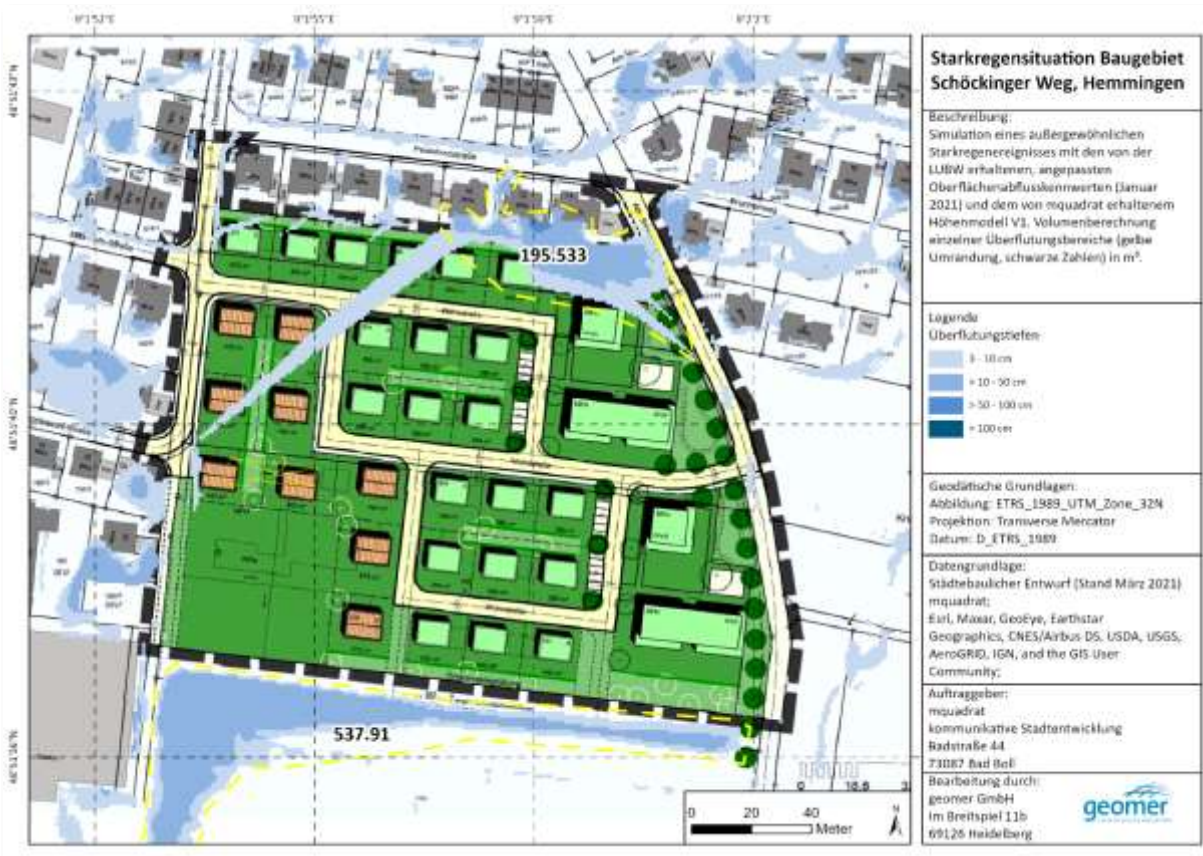


Abb. 7: Die maximale Überflutungsausdehnung als Ergebnis der Simulation mit dem in das Ursprungs-DGM integrierten DGM von mquadrat und einer Mauer/Wall im Süden. Volumenangaben der Wassermengen (in m<sup>3</sup>) in den gelb gestrichelten Bereichen

#### 4.5. Anpassung der OAK- und Rauheitswerte

Um die Situation weiterhin der Realität anzunähern, wurden die Oberflächenabflusskennwerte (Abb. 8) und Rauheitswerte (Abb. 9) angeglichen.

Bei der Modifikation wurde gemäß den Empfehlungen der LUBW für die Übertragung von OAK-Werten vorgegangen. Die OAK-Werte wurden aus direkt angrenzenden Grundstücken mit gleicher Landnutzung extrahiert und für die neu bebauten Gebiete in die OAK-Raster übertragen.

Für Gebäude und Straßen wurden Werte aus benachbarten gleichartigen Landnutzungen übernommen. Für den Rest der Fläche wurde der Wert aus angrenzenden Gartenflächen angenommen.

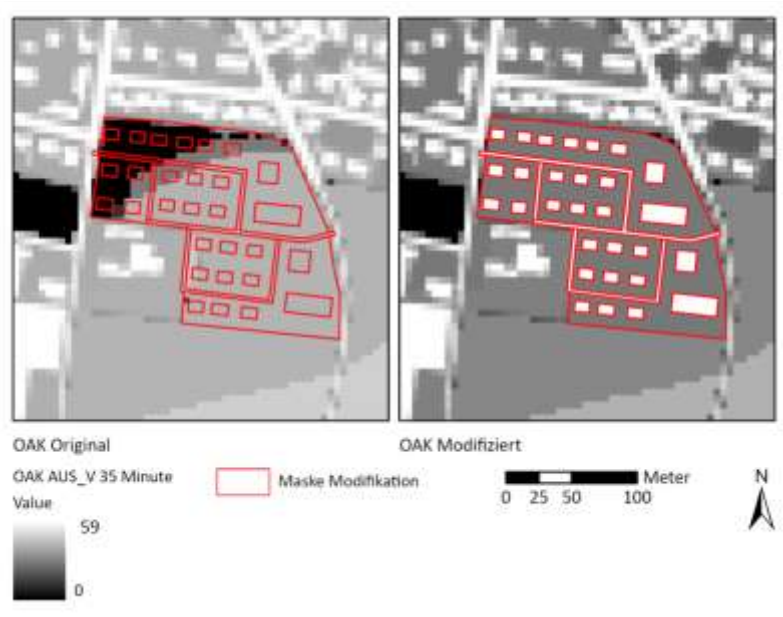


Abb. 8: Anpassung der Oberflächenabflusskennwerte. Links: Ausschnitt eines original OAK-Rasters (AUS\_V, Minute 35); Rechts: OAK-Raster mit den im Baugebiet angepassten OAK-Werten (rot umrandet, Gebäude, Straßen und Grünflächen).



Die Rauheitswerte gehen als ein linear in die Modellberechnung einwirkender Parameter bei FloodArea<sup>HPC</sup> ein. Die Rauheit erfolgt auf Basis des Fließansatzes nach Gauckler-Manning-Strickler mit den entsprechenden  $k_{St}$ -Beiwerten.

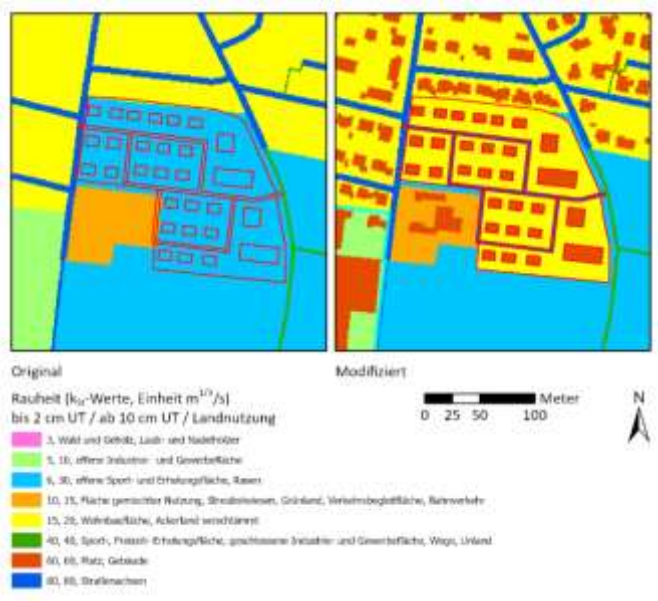


Abb. 9: Kartenausschnitt zur verwendeten, angepassten Rauheit (rechts) und der Originaldaten (links). In der Legende sind nacheinander die Rauheiten ( $k_{St}$ -Werte, Einheit:  $m^{1/3}/s$ ) bei Überflutungstiefen bis 2 cm (Dünnsfilmabfluss), die Rauheiten ab 10 cm Überflutungstiefe und die jeweiligen Landnutzungen aufgeführt.

Die Rauheitswerte wurden in Anlehnung an die Werte im Anhang 1a, Kapitel 3.9 zum Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, Stand Juli 2020, gewählt. Die Rauheitswerte (Abb. 9) wurden für den Dünnsfilmabfluss insbesondere bei vegetationsbehafteten Nutzungen angepasst. Dem empfohlenen Vorgehen folgend wurde bis zu einer Überflutungstiefe (UT) von 2 cm der „Dünnsfilm“-Wert und ab einer UT von 10 cm der höhere Rauheitswert (für glattere Oberflächen) verwendet. Zwischen diesen Werten wird linear interpoliert.

## 4.6. Ergebnis der Starkregensimulation mit angepassten Rauheits- und OAK-Werten

Das Ergebnis der Simulation mit der Integration der Rauheitswerte und den angepassten OAK ist in Abb. 10 dargestellt. Es wurden für die gleichen Bereiche wie in Abb. 7 die Volumenberechnungen erstellt. Im südlichen Bereich, vor der Mauer, ist auch nach Anpassung der OAK keine Änderung ersichtlich. Im nordöstlichen Bereich kommt es jedoch zu einer etwas größeren Wasseransammlung.

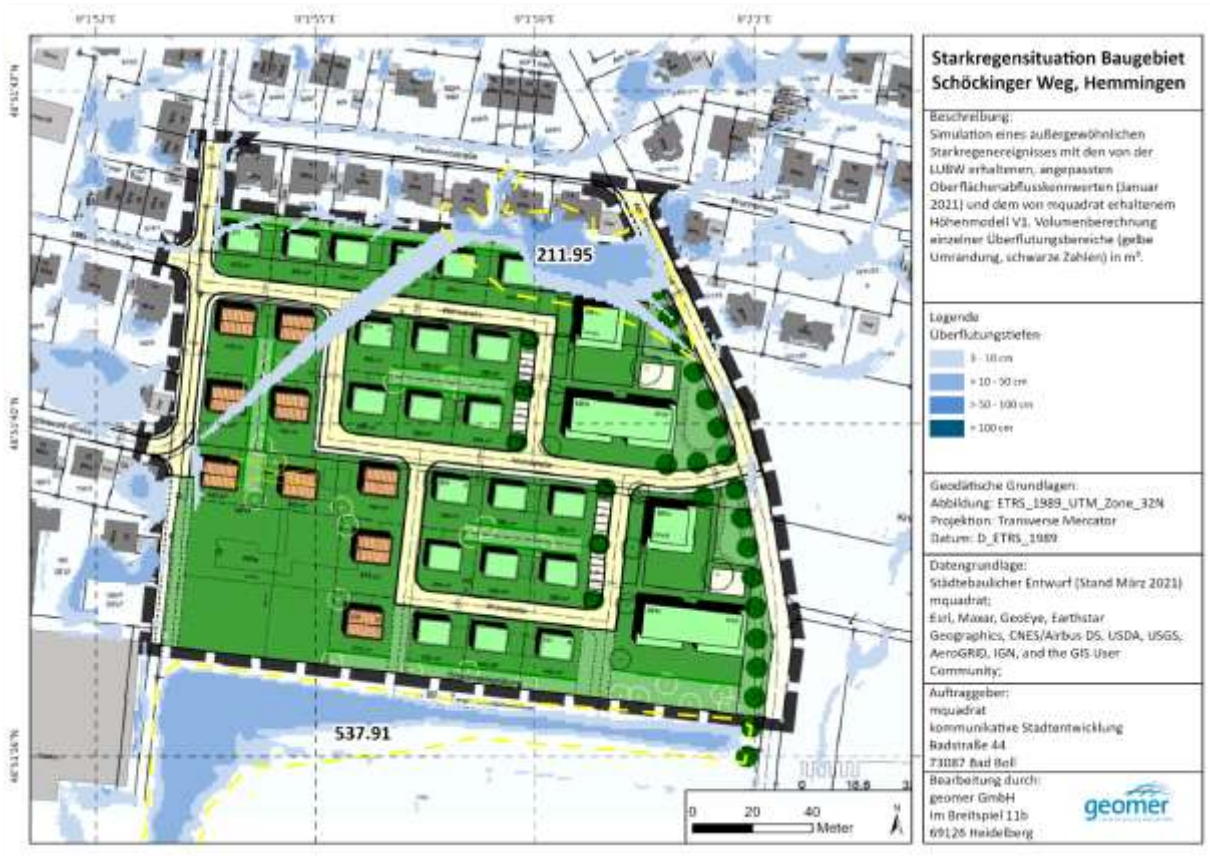


Abb. 10: Die maximale Überflutungsausdehnung als Ergebnis der Simulation mit den angepassten Rauheits- und OAK-Werten mit den dem in das Ursprungs-DGM integrierten DGM von mquadrat und einer Mauer/Wall im Süden. Volumenangaben der Wassermengen (in m³) in den gelb gestrichelten Bereichen.

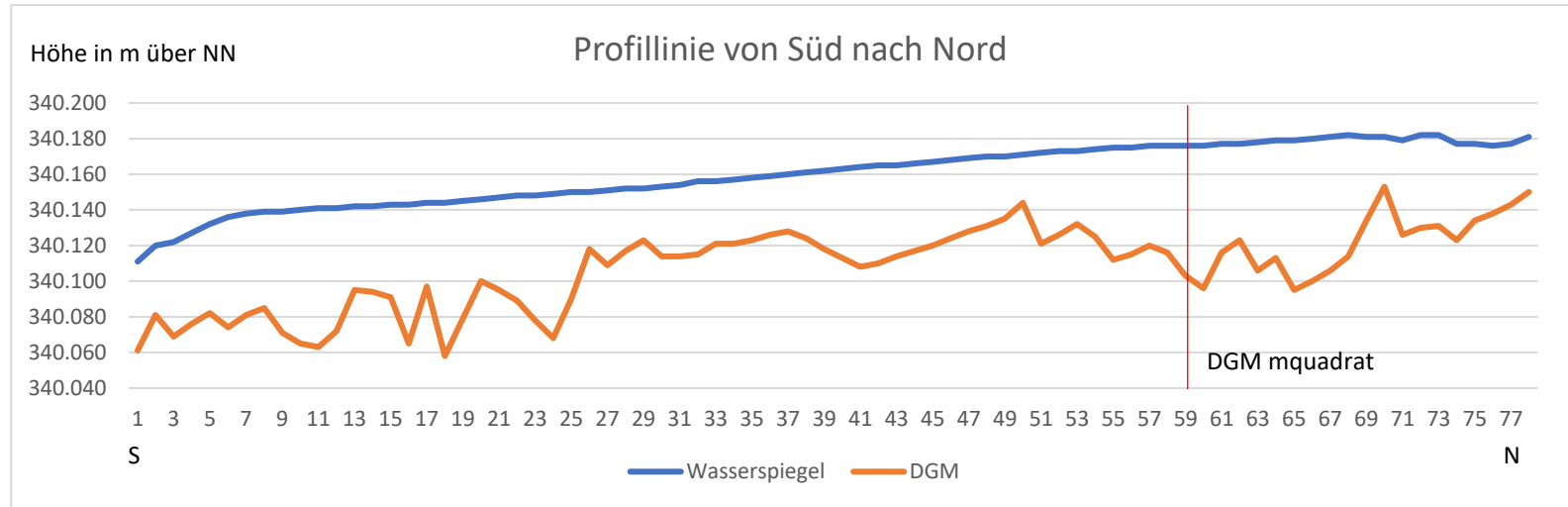
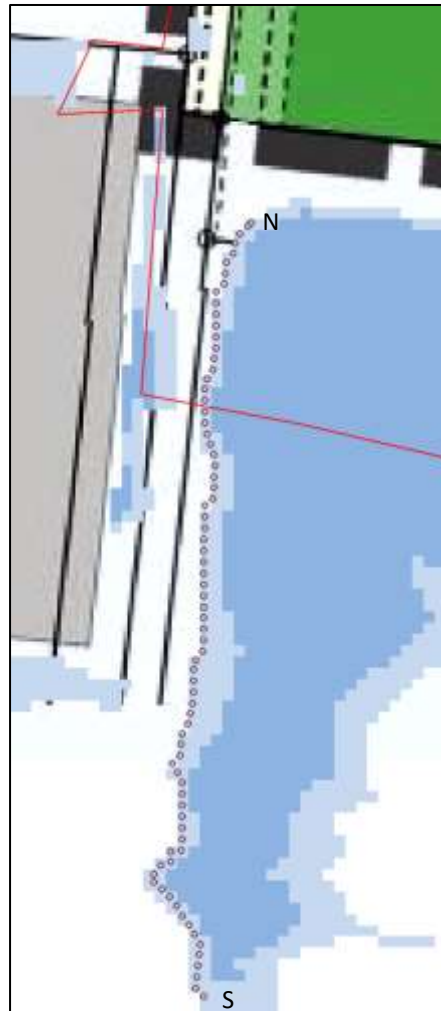


Abb. 11: (links) das von Süd nach Nord verlaufende Höhenprofil entlang dessen die Wasserspiegellagen und die Höhen des DGMs extrahiert wurden (rechts).

Für die Bestimmung der genauen Höhe der Mauer und der Höhe der Straße wurden die Wasserspiegellagen (blau) und die Höhen des DGM (orange) entlang der von Süd nach Nord (Abb. 11b) und von West nach Ost (Abb. 11a) verlaufenden Kante der Überflutungsmulde im Süden des Baugebiets extrahiert (letzte überflutete Pixel). Die Abstände der Punkte betragen ~ 1m, sodass die jeder Punkt den Höhenwert für ein Pixel wiedergeben kann. Die Werte für jeden Punkt sind in der Exceltabelle Höhenprofile\_Schöckinger\_Weg.xls aufgelistet. Die Profile starten mit Punkt 1 im Süden bzw. Westen des jeweiligen Profils. Um die benötigte Höhe für die Mauer festzulegen wurde die Differenz zwischen den DGM und dem Wasserspiegel berechnet und das Maximum extrahiert (Profil W-E = 0,101m; Profil S-N= 0,086m). Die geplante Mauer sollte somit mindestens 15 cm hoch sein. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich um die Modelldarstellung eines 100 jährlichen Starkregenszenarios handelt und die Situation in der Realität durch z. B. stärkere Niederschläge anders aussehen kann. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Vorgenommenen Berechnungen auf Basis eines veränderten Geländemodell mit bereits integriertem Wall vorgenommen wurden.

