



Modellierungsleitfaden

Klimaresilienz-Check - Regionalverband Ruhr

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	4
2	MODELLE	5
2.1	GIS-TOOL KLIMARESILIENZ-CHECK.....	5
2.2	OBERFLÄCHENABFLUSSBERECHNUNG.....	5
2.3	WASSERHAUSHALTSMODELLIERUNG.....	6
3	DATENGRUNDLAGE	8
3.1	ALKIS DATEN	8
3.2	DACHFLÄCHEN RVR.....	8
3.3	LIDAR DATEN (LIGHT DETECTION AND RANGING)	8
3.4	INKAS DATEN (INFORMATIONSPORTAL KLIMAAANPASSUNG IN STÄDTEN DES DWDs)	9
3.5	STARKREGENGEFAHRENHINWEISKARTE NRW.....	9
4	ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN GIS-TOOL KLIMARESILIENZ-CHECK	11
4.1	INSTALLATION DES PLUGINS	11
4.2	ANWENDUNG DES PLUGINS	13
4.2.1	<i>Bestimmung der Defizitflächen</i>	13
4.2.2	<i>Bestimmung der Fließwege</i>	14
4.2.3	<i>Bestimmung der Einflussbereiche</i>	15
4.2.4	<i>Potenzialanalyse Gründächer</i>	17
4.2.5	<i>Potenzialanalyse Entsiegelung</i>	18
4.2.6	<i>Potenzialanalyse dezentrale Retentionsbauwerke und multifunktionale Flächen</i>	19
5	ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN OBERFLÄCHENABFLUSSBERECHNUNG	20
5.1	DIGITALES GELÄNDEMOMODELL.....	20
5.2	DACHFLÄCHEN IN DER 2D SIMULATION.....	20
5.3	RAUHEIT UND ABBILDUNG DER FLÄCHEN.....	21
5.4	MODELLREGEN	22
5.5	MAßNAHMENMODELLIERUNG.....	23
5.5.1	<i>Dachbegrünung</i>	23
5.5.2	<i>Entsiegelungspotential befestigter Flächen</i>	24
5.5.3	<i>Dezentrale Retentionsbauwerke</i>	25
5.5.4	<i>Multifunktionale Flächen</i>	26
5.6	BEWERTUNGSKRITERIEN DER ÜBERFLUTUNGSSIMULATIONEN	27
5.6.1	<i>Überflutungsausmaß</i>	27
5.6.2	<i>Verteilung der maximalen Wasserstände im überfluteten Bereich</i>	28

5.6.3	Verteilung der maximalen Fließgeschwindigkeiten im überfluteten Bereich	29
5.6.4	Verteilung der Überflutungsdauer im überfluteten Bereich	29
6	ANWENDUNGSEMPFEHLUNGEN WASSERHAUSHALTSMODELLIERUNG	30
6.1	ERMITTLUNG DES POTENZIELLEN NATURNAHEN WASSERHAUSHALTS (NATURWB)	30
6.2	BERECHNUNG DES LOKALEN WASSERHAUSHALTS IM IST-ZUSTAND (WABILA)	31
6.3	MAßNAHMENMODELLIERUNG	33
6.3.1	Dachbegrünung (DB)	33
6.3.2	Entsiegelung (ST)	33
6.3.3	Dachbegrünung und Entsiegelung (DB+ST)	34
6.3.4	Mulden-Rigolen-Systeme (dez. MR)	34
6.3.5	Dachbegrünung, Entsiegelung und Mulden-Rigolen-Systeme (DB + ST + dez. MR)	37
6.3.6	Multifunktionale Flächen	38
6.4	BEWERTUNGSKRITERIEN DER WASSERHAUSHALTSMODELLIERUNG	38
7	ZUSAMMENFASSUNG	40

1 Einleitung

Dieser Leitfaden wurde entwickelt, um Anwender:innen eine umfassende Anleitung zur Modellierung und Analyse von klimaresilienten Maßnahmen im Rahmen der Starkregenvorsorge zur Verfügung zu stellen. Der Leitfaden ist in mehrere Abschnitte unterteilt, die Sie durch den gesamten Modellierungsprozess führen. Jeder dieser Abschnitte behandelt spezifische Aspekte und Werkzeuge, die von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung des Klimaresilienz-Checks sind. Im Folgenden erhalten Sie einen Überblick über die Struktur und den Inhalt dieses Leitfadens.

Abschnitt 2: Modelle: In diesem Abschnitt stellen wir Ihnen verschiedene Modelle vor, die im Kontext des Klimaresilienz-Checks entwickelt oder genutzt werden. Dazu gehören das GIS-Tool Klimaresilienz-Check, die 2D Oberflächenabflussmodellierung und die Wasserhaushaltsmodellierung.

Abschnitt 3: Datengrundlage: Dieser Abschnitt widmet sich der erforderlichen Datengrundlage und den entsprechenden frei verfügbaren Quellen.

Abschnitt 4: Anwendungsempfehlungen GIS-Tool Klimaresilienz-Check: Hier finden Sie ausführliche Anleitungen zur Installation und Nutzung des Plugins sowie zur Durchführung spezifischer Analysen, wie der Bestimmung von Defizit- und Potenzialflächen.

Abschnitt 5: Anwendungsempfehlungen Oberflächenabflussmodellierung: In diesem Abschnitt erhalten Sie Anleitungen zur Aufbereitung und Nutzung des Digitalen Geländemodells, zur Simulation von Dachflächen in einem 2D-Modell sowie zur Modellierung von Regen und zur Bewertung von Überflutungsergebnissen.

Abschnitt 6: Anwendungsempfehlungen Wasserhaushaltsmodellierung: Hier werden die Schritte zur Ermittlung des potenziellen naturnahen Wasserhaushalts, zur Berechnung des lokalen Wasserhaushalts im Ist-Zustand und zur Modellierung verschiedener Maßnahmen unter Verwendung unterschiedlicher Tools erläutert.

Wir hoffen, dass dieser Leitfaden Ihnen dabei hilft, den Klimaresilienz-Check effizient und präzise durchzuführen. Jeder Abschnitt ist detailliert beschrieben und enthält Anweisungen sowie Tipps zur erfolgreichen Modellierung. Bei Fragen oder Unklarheiten stehen Ihnen unsere Experten gerne zur Verfügung.

2 Modelle

2.1 GIS-Tool Klimaresilienz-Check

Dieses GIS-Tool zeigt eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für Kommunen, welche Potenziale Grüne Infrastruktur (GI) bei der Abmilderung der Folgen von Starkregenereignissen besitzt und erklärt, wie ihre Integration in die städtebauliche Entwicklung gelingen kann. Die Grundlage für das Tool sind Starkregengefahrenkarten, die entweder bei den Kommunen vorliegen oder die frei zugängliche Starkregengefahrenhinweiskarte des Landes NRW. Das Tool wurde in dem Geoinformationssystem QGIS als Werkzeugkasten (Plugin) erstellt. QGIS ist ein kostenfreies und plattformübergreifendes Geoinformationssystem. Die Anwendung bietet unterschiedliche Vorteile, unter anderem umfangreiche Funktionalitäten, eine handhabbare Benutzeroberfläche, eine große Community von Nutzer:innen und Entwickler:innen sowie eine Unterstützung für Plugins, was bedeutet, dass Benutzer:innen Funktionen und Tools hinzufügen können, die speziell auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind.

2.2 Oberflächenabflussberechnung

Als wesentliche Eingangsgröße für den Klimaresilienz-Check dient eine Oberflächenabflussberechnung. Die hieraus erhaltenen Informationen zur Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe gehen in die zu Beginn durchzuführende Betroffenheitsanalyse ein. Im Rahmen des Pilotvorhabens am Beispiel des Stadtgebiets von Bochum wurde in der Modellumgebung von Hystem-Extran mit einem digitalen Geländemodell (DGM) in Form eines unregelmäßigen Dreiecksnetzes (TIN) gearbeitet. Der aktuellen Empfehlungen der *Arbeitshilfe Kommunales Starkregenerisikomanagement* folgend, wird der Oberflächenabfluss ohne Kopplung mit dem Kanalnetz berechnet (**UnO**). Nachfolgend werden die Begriffe sowie Abbildungen zur Beschreibung der Abflussbildung aus dem Praxisleitfaden „Klima-Anpassungsstrategie extremer Regenereignisse“ **KLAS**¹ verwendet.

¹ <https://www.klas-bremen.de/>

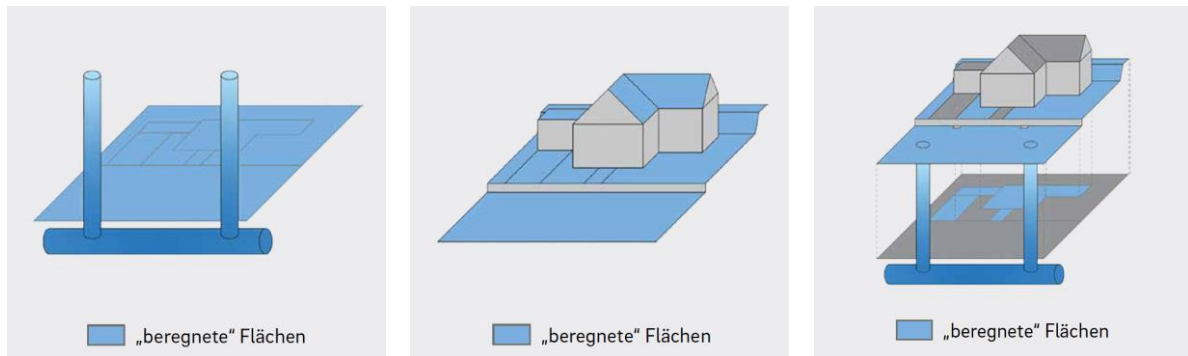


Abbildung 1: Arten der Abflussbildung: Ungekoppelt Kanal (UnK, links), Ungekoppelt Oberfläche (UnO, mitte) und Gekoppelt Kanal Oberfläche (GeKO, rechts)

Die Abflüsse werden anhand des Effektivniederschlags hydrodynamisch berechnet. Vorteil dieses Berechnungsansatzes ist zum einen der geringe Bedarf an Daten und deutlich kürzere Rechenzeiten im Vergleich zu einem gekoppelten Berechnungsansatz, bei dem das Oberflächenmodell mit einem Kanalnetzmodell kombiniert wird (**Gekoppelt Kanal Oberfläche, GeKO**). Für eine kombinierte Berechnung sind detaillierte Informationen zum Kanalnetz, den Kanaleinzugsgebieten und Bauwerken notwendig. Daher wird das Kanalnetz bei der vorliegenden Vorgehensweise nicht berücksichtigt. Der relative Anteil des Kanalnetzes am Niederschlags-Abflussgeschehen der urbanen Wasserbilanz reduziert sich systembedingt mit zunehmender Niederschlagsintensität bzw. -dauer. Das Kanalnetz selbst besitzt eine gegebene Leistungsfähigkeit, welche bei maximalem Einstau ausgeschöpft ist. Der Beitrag des Kanalnetzes bleibt konstant, der Abfluss auf der Oberfläche steigt analog zur Niederschlagsintensität an. Hierauf fußt die Empfehlung in der „*Arbeitshilfe Kommunales Starkregenerisikomanagement*“ die modelltechnische Betrachtung von Starkregenszenarien ohne Berücksichtigung des Kanalnetzes durchzuführen. Nichtsdestotrotz ist zu bedenken, dass in Bereichen, in denen das Kanalnetz Auswirkungen auf die Überflutungsvorgänge hat, die Überflutungsgefahr unter- bzw. überschätzt werden kann.

2.3 Wasserhaushaltsmodellierung

Die lokale Wasserhaushaltsbilanz kann mit dem vereinfachten Wasserbilanzmodell WABILA berechnet werden. WABILA wurde als Software zum Merkblatt DWA-M 102-4 entwickelt. Als Zielgröße für die Regenwasserbewirtschaftung wird für Neubaugebiete im Merkblatt der potenzielle naturnahe lokale Wasserhaushalt definiert. Dabei handelt es sich um den Wasserhaushalt, der bei einer nicht urbanen Landnutzung vorherrschen würde. Der naturnahe Zustand des Wasserhaushalts kann mit Hilfe des freiverfügbaren Webtools NatUrWB (www.naturwb.de) ermittelt werden. Dieser Zustand stellt die Vergleichsgröße bei der Bewertung des Wasserhaushaltes dar. Bei Neuerschließung von Quartieren ist gemäß

Merkblatt, durch eine gezielte Regenwasserbewirtschaftung, eine Abweichung von 5 – 10 % vom potenziellen naturnahen Wasserhaushalt erreichbar und als Ziel definiert. Bei einer Entwicklung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen im Bestand, ist es sinnvoll den lokalen Wasserhaushalt im Ist-Zustand als Benchmark heranzuziehen und mit dem Wasserhaushalt der Planvarianten gegenüberzustellen.

Der Vorteil des Bilanzmodells WABILA ist die niederschwellige Anwendung und der geringe Datenbedarf. Die Software ist kostengünstig und die notwendigen Eingabedaten sind frei verfügbar. Als Eingabegrößen werden u.a. die mittlere jährliche Niederschlagshöhe, sowie die mittlere jährliche potenzielle Evapotranspiration im Untersuchungsgebiet eingegeben. Der Niederschlag teilt sich in die Bilanzgrößen Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung auf. In Kapitel 6 sind weitere Informationen und Details zur Anwendung der lokalen Wasserhaushaltbilanz aufgeführt.

3 Datengrundlage

Nachfolgend werden die verwendeten und für die Übertragung auf andere Gebiete empfohlenen Grundlagendaten erläutert.

3.1 ALKIS Daten

Das amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) führt alle Daten des Liegenschaftskatasters zusammen. Der Web Feature Service des Geoportals NRW ermöglicht das gezielte Herunterladen von in ALKIS geführten Geo-Objekten. Der Dienst stellt die Geo-Objekte beschränkt auf die wesentlichen Eigenschaften im Format eines vereinfachten Datenaustauschschemas („WFS NW ALKIS Grundrissdaten vereinfachtes Schema“) bereit. Für die Nutzung des GIS-Tools ist der Datensatz „Nutzung Flurstück“ erforderlich.

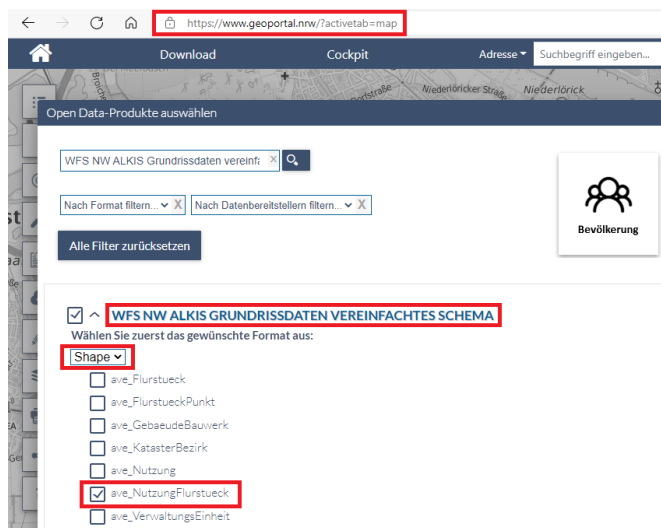


Abbildung 2: Download der ALKIS Daten über das Geo-portal NRW

3.2 Dachflächen RVR

Die Gebäudeinformationen, die im Rahmen dieser Studie verwendet wurden, werden durch den RVR zur Verfügung gestellt. Enthaltene Informationen sind unter anderem die Geometrie der Dachflächen, Eignung für den Einsatz von Photovoltaik sowie Dachbegrünung. Alternativ können Gebäudedaten aus ALKIS sowie Gründachkataster des Landes² verwendet werden.

3.3 LIDAR Daten (Light Detection and Ranging)

Ebenfalls über die Geoportale des Landes NRW können die Airborne-Laserscandaten der Geländeoberfläche heruntergeladen werden (Stand der verwendeten Daten: 29.07.2021). Ein

² <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/>

daraus abgeleitetes digitales Geländemodell (DGM) beschreibt die natürliche Geländeform der Erdoberfläche durch regelmäßig verteilte, georeferenzierte Höhenpunkte. Objekte wie z.B. Vegetation und Gebäude sind in den Daten zwar enthalten, werden im Kontext der Hotspot Analyse jedoch nicht verwendet. Das DGM wird zum einen als Grundlage für die hydrodynamische Oberflächen-Abfluss-Berechnung und zum anderen für die Fließwegeanalyse eingesetzt.

3.4 INKAS Daten (Informationsportal Klimaanpassung in Städten des DWDs)

Die Bebauungs- und Freiflächentypen wurden im Rahmen eines Kooperationsprojekts zur hitzeangepassten Quartiersplanung im Auftrag des Landes NRW erstellt. Die Erstklassifizierung wurde durch das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) erarbeitet (Hecht et al., 2017) und später verfeinert. Die Klassifizierung dient als Grundlage zur Ableitung der Wirkung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in unterschiedlich strukturierten Stadtquartieren. Insgesamt wurden 20 Landbedeckungs- und Landnutzungstypen bestimmt, von denen neun Bebauungstypen darstellen (z.B. Ein- und Zweifamilienhäuser, Doppelhaus und Zeilenbebauung, Blockrandbebauung usw.). Die Ergebnisse liegen auf Baublockebene entsprechend der ATKIS Basis-DLM vor (Müller et al., 2017). Die Bebauungs- und Freiflächentypen eignen sich vor allem für die Gruppierung von Siedlungsbereichen in baulich homogene Cluster, die als Grundlage für die Ableitung von strukturellen Eigenschaften eines Quartiers dienen können. Jedes Objekt enthält zusätzlich Aussagen zur gesamten Versiegelung bestehend aus Überbauungsanteil (Gebäude), Anteile der anderweitig befestigten Flächen sowie nicht befestigte Flächen. Die Befestigungsanteile wurden anhand des Datensatzes „Imperviousness“ des Copernicus Dienstes zur Überwachung der Landoberfläche (engl. Copernicus Land Monitoring Service – CLMS, stand 2018) mit einer Rasterweite von 10 m ermittelt. Durch die räumliche Auflösung der Daten ist mit einer Unsicherheit zu rechnen. Die Überbauungsanteile können in diesem Fall durch Gebäudedaten aus ALKIS oder des RVR ersetzt und damit korrigiert werden.

3.5 Starkregengefahrenhinweiskarte NRW

Die Starkregengefahrenhinweiskarte NRW stellt flächendeckend für das Land NRW eine Übersicht zur Verfügung, wie sich extreme Niederschlagsereignisse außerhalb von Fließgewässern auswirken. Die resultierenden Fließgeschwindigkeiten sowie Wasserstände werden in Rastern mit einer räumlichen Auflösung von einem Meter dargestellt. Die Daten stehen zur freien Verfügung und können über den Klimaatlas NRW heruntergeladen werden.

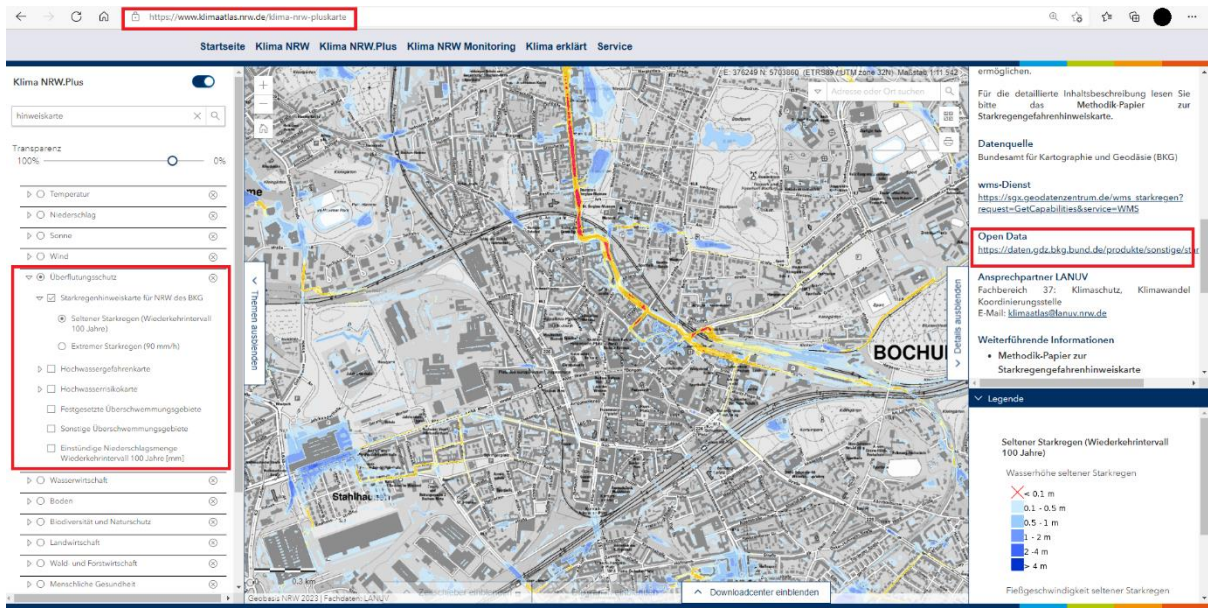


Abbildung 3: Klimaatlas NRW - Download der Starkregengefahrenhinweiserte

4 Anwendungsempfehlungen GIS-Tool Klimaresilienz-Check

4.1 Installation des Plugins

Für die Anwendung des Plugins wird eine aktuelle QGIS-Version (ab Version 3.16) vorausgesetzt. Für die Installation des Plugins sind keine Adminrechte auf dem eigenen Rechner erforderlich. Für die Installation muss der mitgelieferte Ordner des Plugins (module_name), lediglich in das richtige Verzeichnis abgelegt werden. Um die Installation vorzunehmen, wird das Verzeichnis mit den verfügbaren Plugins geöffnet.

Einstellung -> Benutzerprofile -> Aktuelles Profilverzeichnis öffnen

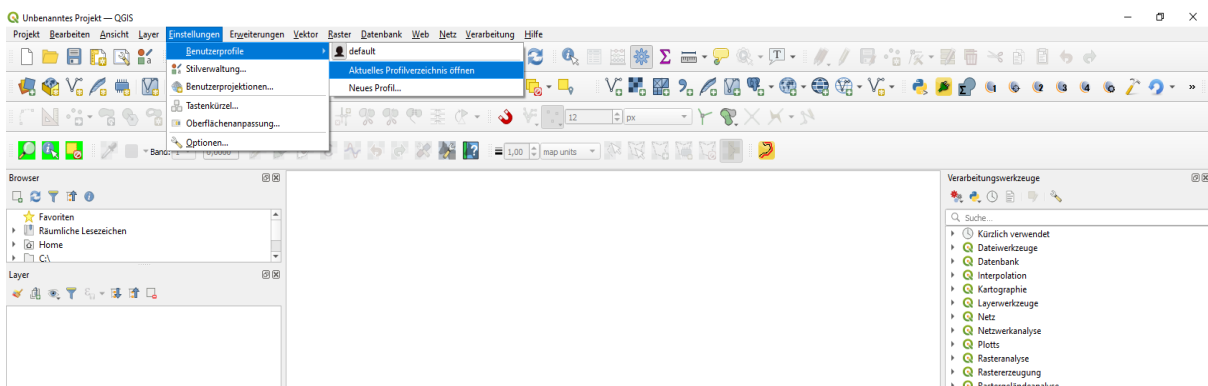


Abbildung 4: QGIS - Schaltfläche "Aktuelles Profilverzeichnis öffnen"

Sobald die Schaltfläche „Aktuelles Profilverzeichnis öffnen“ ausgewählt wurde, öffnet sich ein neues Fenster. Unter dem Verzeichnis „python“ und anschließend „plugins“ wird der mitgelieferte Ordner mit dem Plugin abgelegt. Nach dem Neustart der QGIS-Anwendung ist die Installation des Plugins abgeschlossen.

python -> plugins

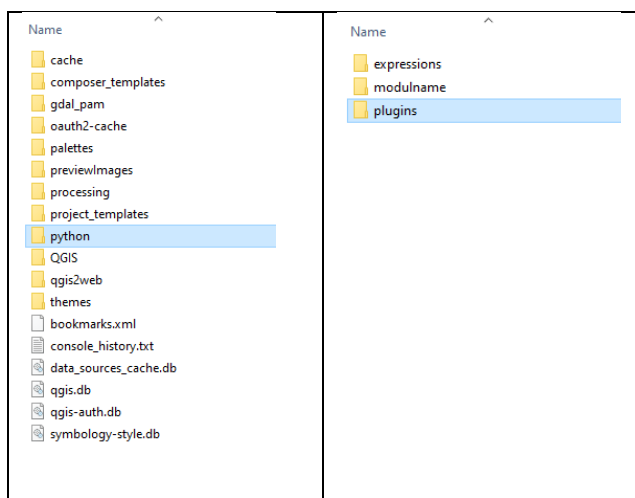


Abbildung 5: QGIS - Verzeichnis der installierten Plugins

Damit das Plugin in der Werkzeugleiste angezeigt wird, ist eine Aktivierung des Plugins erforderlich. Beim Anklicken der Schaltfläche „Erweiterungen verwalten und installieren“ öffnet sich ein neues Fenster. Unter den installierten Plugins befindet sich das Plugin Klimaresilienz-Check. Sobald das Häkchen gesetzt wurde, erscheint das Plugin in der Werkzeugleiste.

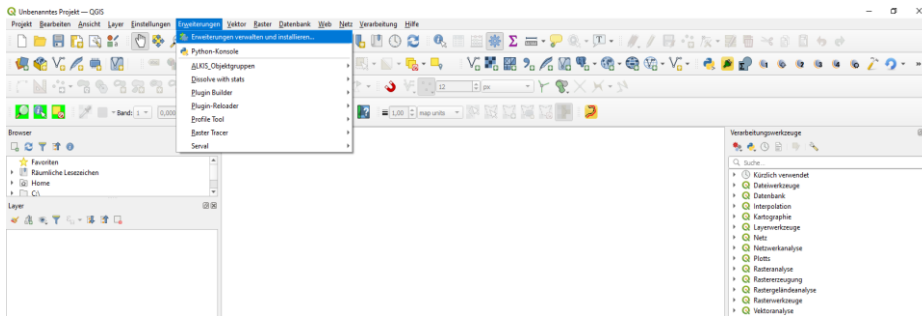


Abbildung 6: QGIS - Schaltfläche "Erweiterungen verwalten und installieren"

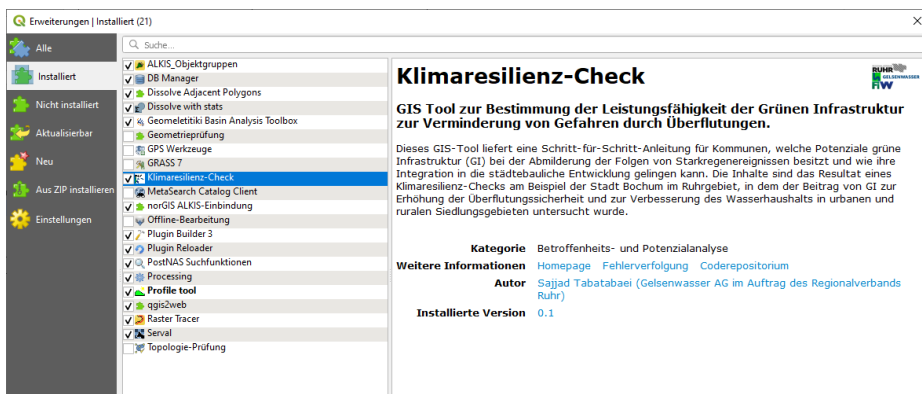


Abbildung 7: QGIS - Aktivierung des Plugins Klimaresilienz-Check

Das Plugin besteht aus den beiden Bestandteilen Betroffenheits- und Potenzialanalyse. Bei der Betroffenheitsanalyse werden die Einflussbereiche der Überflutungsschwerpunkte ermittelt. Die drei Schritte Defizitfläche, Fließwege und Einflussbereiche sind aufeinander aufbauend und müssen anhand der vorgegebenen Reihenfolge angewendet werden. Anschließend werden die Potenziale der Grünen Infrastruktur für die ermittelten Einflussbereiche bestimmt. Die Werkzeuge der Potenzialanalyse erfordern als Grundlage die ermittelten Einflussbereiche, können aber unabhängig voneinander angewendet werden.

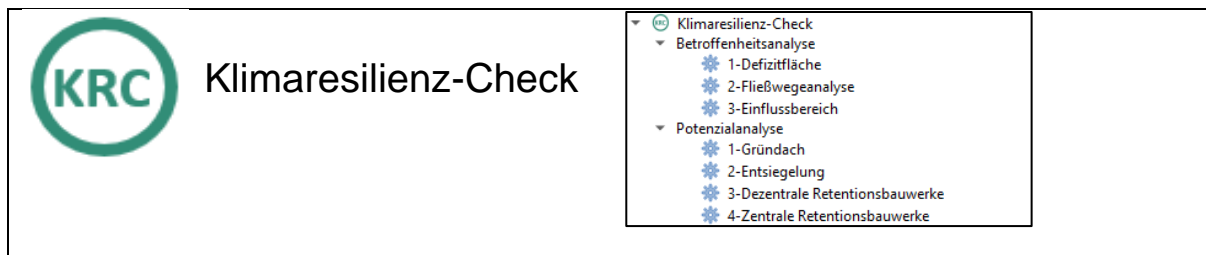


Abbildung 8: Aufbau des QGIS-Plugins Klimaresilienz-Check

4.2 Anwendung des Plugins

4.2.1 Bestimmung der Defizitflächen

Für die Bestimmung der Defizitflächen sind die Eingangsdaten Starkregengefahrenkarte sowie Gebäudeumringe erforderlich, die beide als Vektordaten (Polygone) vorliegen müssen. Überflutungsflächen mit einem kritischen Wasserstand, die eine geometrische Überlagerung mit Gebäudeumringe aufweisen, werden als Defizitflächen ausgegeben.

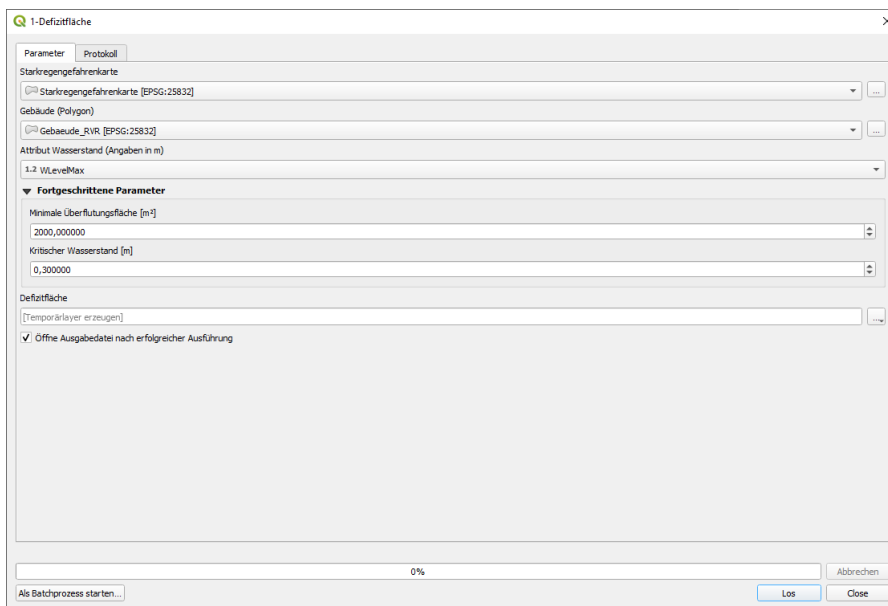
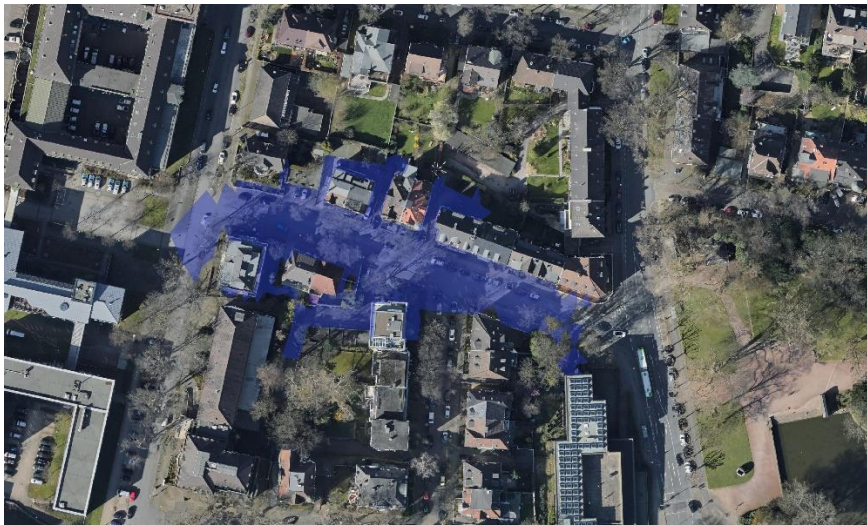


Abbildung 9: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Bestimmung der Defizitflächen

Unter dem Reiter „Attribut Wasserstand“ wird das Attribut ausgewählt, indem die Wasserstände (Angaben in m) der Starkregengefahrenkarte hinterlegt sind. Bei der Starkregengefahrenhinweiskarte NRW liegen die Wasserstände bereits als Meterangaben vor. Zusätzlich besteht die Möglichkeit unter „Fortgeschrittene Parameter“ weitere Anpassungen vorzunehmen. Mit der Angabe „Minimale Überflutungsfläche [m²]“ besteht die Möglichkeit zu bestimmen, ab welche Ausdehnung eine Überflutungsfläche als Defizitfläche kategorisiert wird. Standardmäßig beträgt dieser Wert 2000 m². Zudem besteht die Möglichkeit den kritischen Wasserstand anzupassen. In der Anwendung ist standardmäßig der Wert 0,3 m hinterlegt. Als Ergebnis werden Überflutungsflächen geliefert. Die ermittelten Defizitflächen bilden die Grundlage für die Ermittlung der dazugehörigen Einflussbereiche. Daher ist eine kritische Überprüfung der ermittelten Defizitflächen vorzunehmen. Sollten die Ergebnisse nicht zufriedenstellend sein, können die räumliche Auflösung der Starkregenkarte sowie die fortgeschrittenen Parameter angepasst werden, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis entsteht. Zudem sollten die Defizitflächen auf Relevanz überprüft werden. Beispielsweise können Defizitflächen im Gewässerbereich mit höheren Wasserständen vernachlässigt werden.



Überflutungsschwerpunkt

Abbildung 10: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Ergebnisse der Ermittlung der Defizitflächen
Anpassungsmöglichkeiten:

- Auswahl der relevanten Defizitflächen
- Auflösung der Starkregengefahrenkarte: Die Starkregengefahrenhinweiskarte liegt mit einer räumlichen Auflösung von einem Meter pro Raster vor. Für die Anwendung des Klimaresilienz-Check Plugins wird eine räumliche Auflösung von 2,5 m empfohlen. Die Auflösung kann je nach Fragestellung, Rechenkapazität sowie Größe des Betrachtungsraums individuell angepasst werden.
- Ausmaß der kritischen Ausdehnung (standardmäßig 2000 m²)
- Kritischer Wasserstand (standardmäßig 0,3 m)

4.2.2 Bestimmung der Fließwege

Für die Bestimmung der Fließwege ist ein Digitales Geländemodell als Eingangsdatei erforderlich. Je nach Größe des Untersuchungsgebietes kann die räumliche Auflösung des DGMS variieren. Für Fragestellungen in Kommunen wird eine räumliche Auflösung von 2,5 m pro Rasterzelle empfohlen. Zudem besteht die Möglichkeit die Dichte der erzeugten Fließwege über den Parameter „Einleitungsschwelle“, unter fortgeschrittene Parameter anzupassen. Standardmäßig ist die Zahl 10.000 eingestellt und orientiert sich an der Auflösung des DGMS. Die Einleitungsschwelle ist die minimale Anzahl von Zellen (Rasterpixeln), die durch eine bestimmte Zelle A abfließen, damit A als Teil eines Fließweges gekennzeichnet wird. Der Standardwert ist 10.000 und wurde angegeben, um ein ausreichend dichtes Fließnetz auf einem 2 km x 4 km großen DGM mit einer räumlichen Auflösung von 2,5 m zu erzeugen.

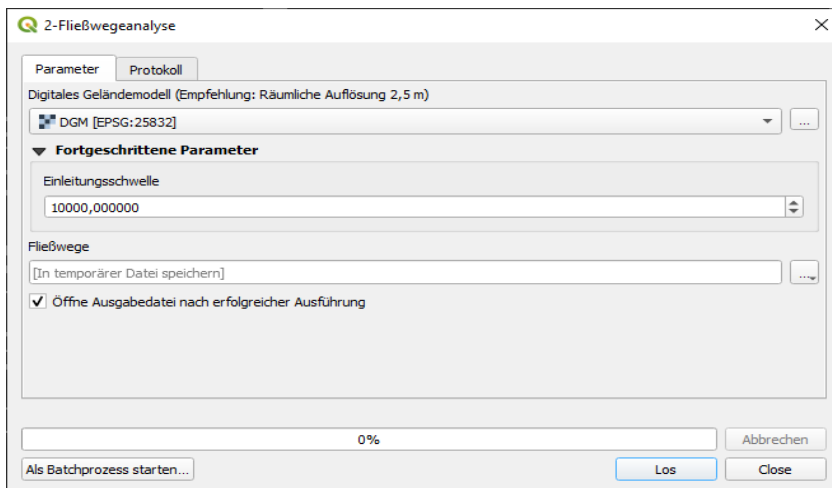
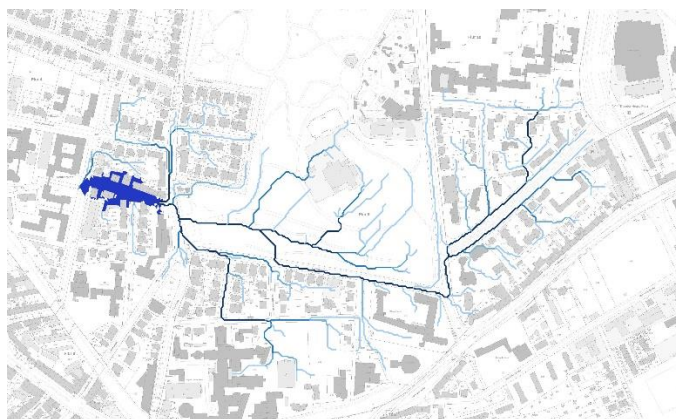


Abbildung 11: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Bestimmung der Fließwege

Ziel ist eine ausreichende Abdeckung des Untersuchungsgebietes durch Fließwege, wobei von einer zu großen Vermaschung der Fließwege abgesehen werden sollte. Das Ergebnis kann anhand des Attributs „order“ (Reihenfolge) visualisiert werden. Die Anfangsfließwege haben die Reihenfolge 1. Sobald zwei Fließwege zusammenfließen, wird die Reihenfolge erhöht (Siehe Abbildung 12). Durch die erzeugten Fließwege wird bestimmt, bis zu welcher Entfernung und auf welchen Wegen die Überflutungsflächen beeinflusst werden.



Überflutungsschwerpunkt

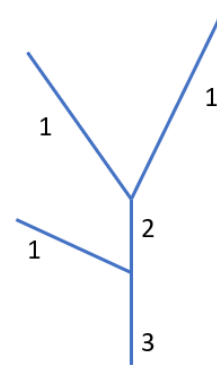


Abbildung 12: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Ergebnisse der Ermittlung der Fließwege

Anpassungsmöglichkeiten:

- Auflösung des Digitalen Geländemodells
- Anpassung der Einleitungsschwelle (standardmäßig 10.000)

4.2.3 Bestimmung der Einflussbereiche

Im Nächsten Schritt werden mit Hilfe der erzeugten Fließwege die maximalen Einflussbereiche der Defizitflächen bestimmt. Als Eingangsdaten werden die erzeugten Defizitflächen und Fließwege sowie zusätzlich die Flurstücke als Eingangsdaten benötigt. Um den maximalen

Einflussbereich zu bestimmen, erfolgt die Implementierung eines Puffers um die Fließwege und eine Überlagerung mit den Flurstücken. Unter den fortgeschrittenen Parameter können weitere Anpassungen erfolgen, um den optimalen Einflussbereich zu bestimmen.

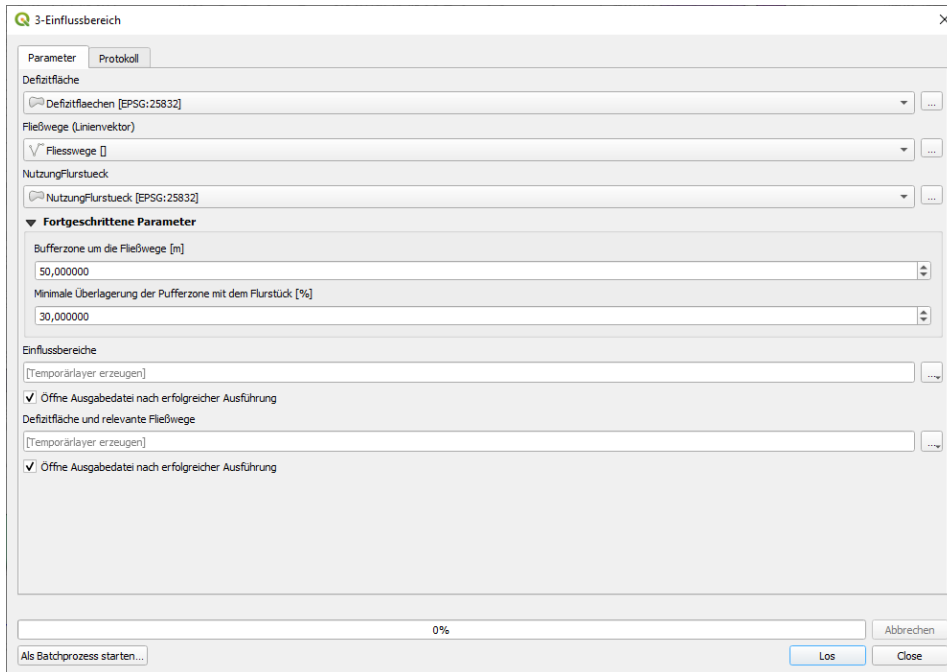


Abbildung 13: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Bestimmung der Einflussbereiche

Zum einen kann die Pufferzone um die Fließwege angepasst werden. Die Verkehrsflächen bilden im urbanen Bereich die Hauptfließwege. Mit diesem Parameter „Pufferzone um die Fließwege“ können der Anwender:innen bestimmen, inwieweit die umliegenden Gebäude und Verkehrsflächen in den Einflussbereich integriert werden. In dicht besiedelten städtischen Räumen befinden sich Gebäude in der Regel unmittelbar am Straßenrand, daher ist eine Ausdehnung von 25 m links und rechts vom Fließweg bzw. der Straßenfläche ausreichend. In locker bebauten Siedlungsbereichen existieren grundsätzlich größere Abstände zu umliegenden Gebäuden. Standardmäßig ist der Wert 50 m angegeben und kann bis 100 m erweitert werden. Aus Erfahrung der Entwickler dieses Tools wird davon abgeraten Abstände größer 100 m zu berücksichtigen. Zusätzlich kann bestimmt werden, ab welcher prozentualen Überlagerung ein Flurstück berücksichtigt wird. Als Standardwert wurde 30 % festgelegt, was bedeutet, dass ein Flurstück mindestens zu 30 % in der Pufferzone liegen muss, um als Einflussbereich berücksichtigt zu werden. Bei 0 % würden auch Flurstücke berücksichtigt werden, die die Pufferzone berühren, auch wenn keine Überlagerung vorhanden ist. Bei 100 % werden nur Flurstücke berücksichtigt, die vollständig in der Pufferzone liegen.

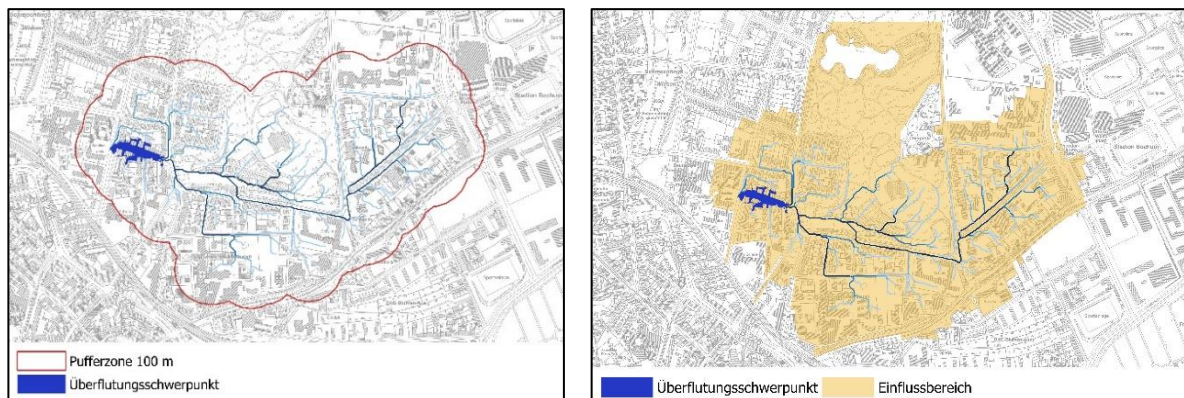


Abbildung 14: Eingrenzung des Einflussbereiches einer Defizitfläche durch Verschneidung der Fließwege mit ALKIS-Flurstücken. Als Ergebnis werden zum einen die Defizitflächen sowie die dazugehörigen Fließwege zu Visualisierungszwecke und zum anderen die Einflussbereiche ausgegeben. Die Einflussbereiche können anhand des Attributs „EB“ unterschieden und visualisiert werden. Eine Überlagerung von Einflussbereichen ist möglich, d.h. es existieren auch Flurstücke, die als Einflussbereich von mehreren Defizitflächen gelten.

Damit ist die Betroffenheitsanalyse abgeschlossen. In den folgenden Schritten werden die Potenziale innerhalb der ermittelten Einflussbereiche bestimmt.

Anpassungsmöglichkeiten:

- Anpassung der Zwischenergebnisse (Defizitflächen und Fließwege)
- Pufferzone um die Fließwege
- Minimale Überlagerung der Pufferzone mit den Flurstücken

4.2.4 Potenzialanalyse Gründächer

Für die Bestimmung der Potenziale der Dachbegrünung sind die ermittelten Einflussbereiche sowie die Gebäudepolygone des RVR als Eingangsdaten erforderlich. Die Eignung der Gebäudeflächen für eine Dachbegrünung ist im Datensatz bereits enthalten.

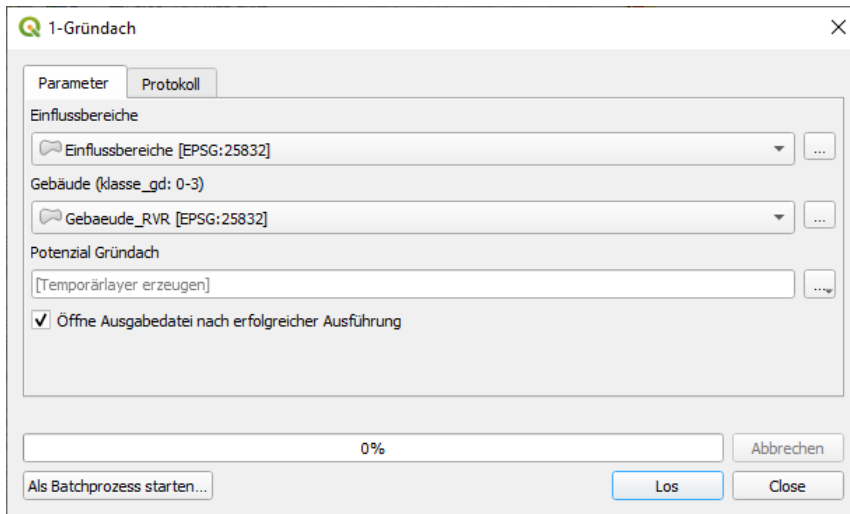


Abbildung 15: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Potenzialanalyse Gründach

Das Attribut „Klasse_gd“ unterscheidet vier unterschiedliche Zustände:

- 0 = ungeeignet,
- 1 = bedingt geeignet,
- 2 = geeignet,
- 3 = gut geeignet.

Ziel dieses Tools ist die Bestimmung der maximalen Potenziale. Daher werden die Dachflächen der Kategorie eins bis drei vereinfacht als geeignet berücksichtigt. Der neue Datensatz enthält ausschließlich Gebäude, die als geeignet eingestuft werden. Zusätzlich kann anhand des neu erzeugten Attributs „EB“ die Zugehörigkeit der Gebäudepolygone zu den Einflussbereichen entnommen werden. Gebäudepolygone, die in mehrere Einflussbereiche liegen, werden doppelt geführt und können dementsprechend extrahiert werden.

4.2.5 Potenzialanalyse Entsiegelung

Für die Ermittlung der Entsiegelungspotenziale sind als Eingangsdaten die Einflussbereiche, Flurstücke, Gebäudedaten sowie die INKAS-Daten erforderlich. Als Ergebnis werden Flurstücke ausgegeben, die für eine Entsiegelung geeignet sind. Wobei die Flurstücke nur eine räumliche Abgrenzung darstellen und nicht vollständig entsiegelt werden können. Die potenzielle Fläche, welche für eine Entsiegelung geeignet ist, wurde anhand der INKAS Daten in vereinfachter Form abgeleitet und hat keine eigene Geometrieangaben (Siehe Methodenbeschreibung Handlungsleitfaden). Die Angaben zum Entsiegelungspotenzial auf einem Flurstück sind im Attribut „Zuwegung“ in Quadratmeter angegeben. Das Attribut „EB“ enthält die Zugehörigkeit der Flurstücke zu Einflussbereichen. Flurstücke, die in mehreren

Einflussbereichen liegen, werden doppelt geführt und können anhand dieses Attributs extrahiert werden.

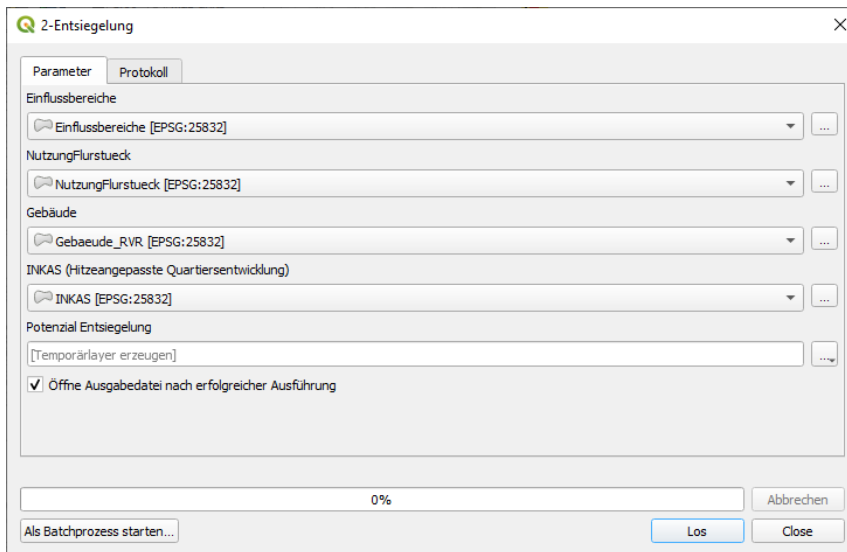


Abbildung 16: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Potenzialanalyse Entsiegelung

4.2.6 Potenzialanalyse dezentrale Retentionsbauwerke und multifunktionale Flächen

Für die Bestimmung der Potenziale der dezentralen Retentionsbauwerke und Multifunktionalen Flächen sind die Einflussbereiche sowie die Flurstücke als Eingangsdaten erforderlich. Als Ergebnis werden die geeigneten Flurstücke mit dem Attribut „EB“ ausgegeben, die die Zugehörigkeit der Flurstücke zu den Einflussbereichen wiedergeben.

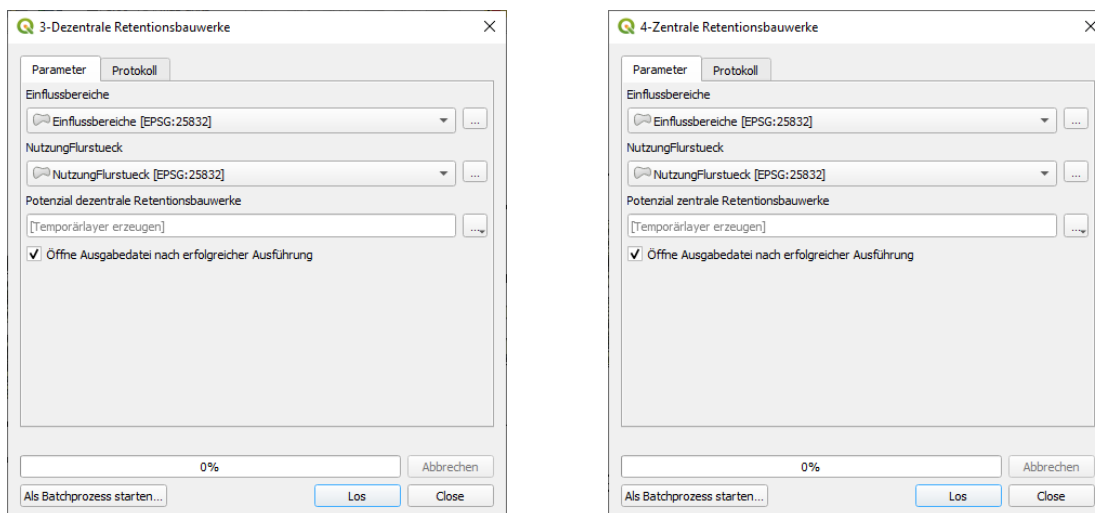


Abbildung 17: QGIS Plugin Klimaresilienz-Check: Potenzialanalyse Dezentrale Retentionsbauwerke und Multifunktionale Flächen

5 Anwendungsempfehlungen Oberflächenabflussberechnung

5.1 Digitales Geländemodell

Das zugrundeliegende Digitale Geländemodell sollte bevorzugt eine hohe räumliche Auflösung aufweisen und aufbereitet werden. Die Bearbeitung des DGM ist ein wichtiger Baustein und sollte nicht vernachlässigt werden. In der *Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement* wird empfohlen darauf zu achten, dass hydraulisch relevante Strukturen, wie z.B. Brücken, Durchlässe, Verrohrungen und Unterführungen durchgängig gestaltet werden. Genauso kann es nötig sein, in siedlungsdichten Bereichen abflusshindernde Strukturen abzubilden. Die Grundlage dafür bilden Orthophotos oder örtliche Begehungen. Die erhobenen Strukturen sollten als Linien (inkl. Angaben zur Höhe) oder Flächenpolygone bereitgestellt werden. Die Anpassung des DGMs kann sowohl manuell als auch automatisiert erfolgen. Im Rahmen des Projektes „Klimaresilienz-Check“ wurde ein Digitales Geländemodell vom Auftraggeber mit einer Auflösung von 1x1 m verwendet. Die Minderung der räumlichen Auflösung auf gröbere Strukturen ist problemlos möglich. Wichtig ist eine repräsentative Nachbildung der Fließwege. In Abbildung 18 ist beispielhaft die Öffnung einer Unterführung dargestellt. Im vorliegenden Fall wurden die Mittelachsen und die Breiten der Unterführungen mit übergeben. Für die DGM-Bearbeitung wurden die Mittellinien um die Breite der Unterführung gepuffert, im Anschluss wurde der niedrigste Höhenwert unterhalb des entstandenen Polygons gesucht. Die im original DGM vorhandenen Höhen wurden mit der neuen Höhe im Unterführungsbereich überschrieben.

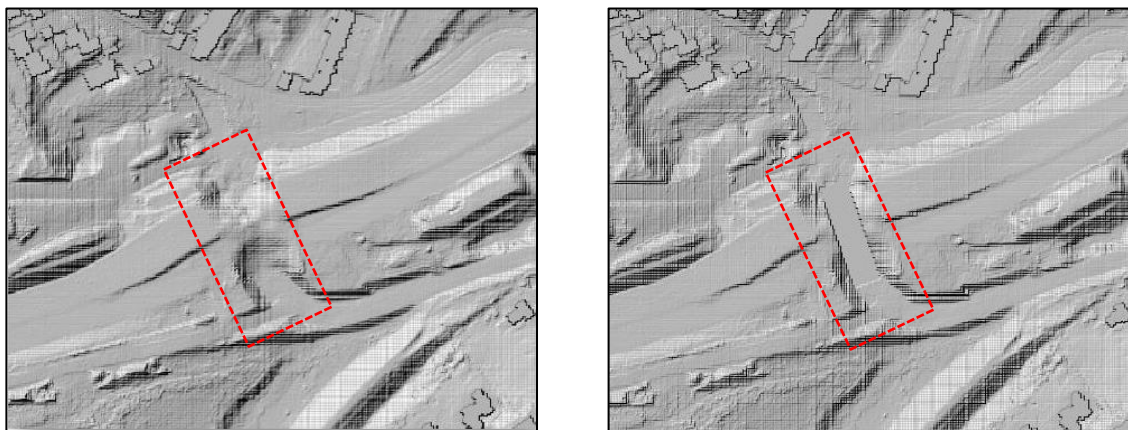


Abbildung 18: Bearbeitung des digitalen Geländemodells

5.2 Dachflächen in der 2D Simulation

Bei Starkregenereignissen, die über der Bemessungsregenspende der Dachentwässerung gemäß DIN 1986 liegen, fließt Niederschlagswasser wild ab. Für die Dimensionierung der Dachentwässerung ist eine Regenspende der Jährlichkeit $T_n = 5$ a und einer Dauerstufe von

5 min ($r_{5,5}$) maßgebend. Im Pilotgebiet des Projektes Klimaresilienz-Check (Bochum) liegt die Bemessungsregenspende laut KOSTRA DWD 2010R³ bei $r_{5,5}^4 = 283,3 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ (Bemessungsregenhöhe 8,5 mm). Da die Kanalinfrastruktur in der Simulation nicht berücksichtigt wird, erfolgt die Berechnung der Dachflächen mit einem modifizierten Modellregen. Bei diesem Ansatz wird davon ausgegangen, dass eine Regenspende die gleich oder geringer der Bemessungsregenhöhe von $r_{5,5} = 283,3 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ ist, vollständig über die Dachentwässerung in den Kanal gelangt und schadlos abgeführt wird. Liegt die Regenspende darüber, kommt es zu wild abfließendem Niederschlagswasser auf die Oberfläche.

Die vorhandene Bebauung wird als relative Erhöhung des Geländemodells abgebildet. Die separate Abbildung von Dachflächen mittels Gebäudeumring entfällt. In Abbildung 19 sind beispielhaft die Niederschlagshöhen für ein 100-jährliches Ereignis (60 Minuten, Euler II Modellregen) mit Bemessungsregenhöhe für Bochum dargestellt.

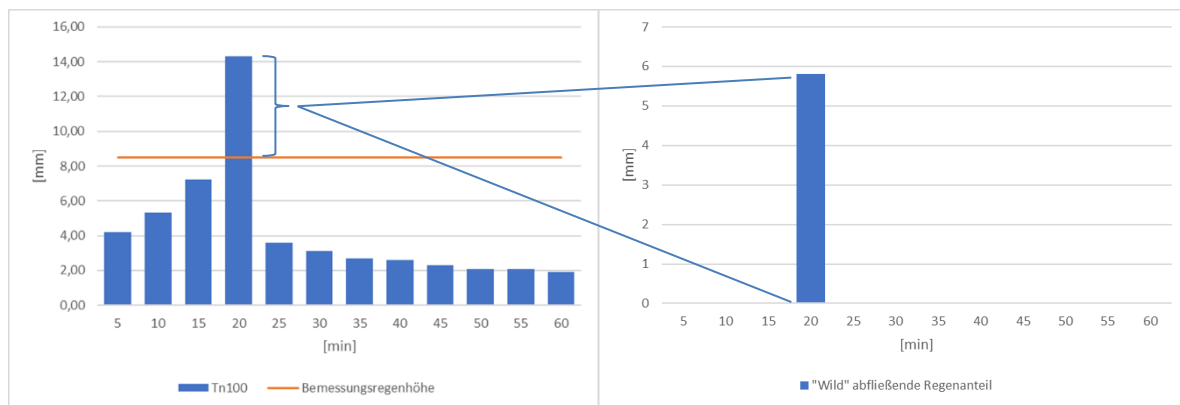


Abbildung 19: 100-jährlicher 60 Minuten Euler II Modellregen (links) und „wild“ abfließender Teil (rechts)

Der in Abbildung 19 dargestellte Modellregen wird in der Simulation für alle Flächen verwendet, die nicht vom Typ Gebäude sind. Da nur das vierte Intervall oberhalb der Bemessungsregenspende (orange Linie) liegt, werden die Flächen vom Typ Gebäude explizit mit dem in der rechten Abbildung 19 dargestellten Modellregen als abfließendes Niederschlagswasser von Dächern auf die Oberfläche simuliert. Dieser Modellregen weist ebenfalls die Dauerstufe 60 min auf, alle Intervalle, außer das vierte, sind jedoch mit 0 mm Niederschlag angelegt.

5.3 Rauheit und Abbildung der Flächen

Um die Fließgeschwindigkeiten realitätsnah abbilden zu können werden je nach Flächennutzung verschiedenen Rauheiten verwendet. Dabei wird die Rauheit konstant und

³ Gültig zum Zeitraum der Projektbearbeitung. Seit 01.01.2023 liegt eine aktualisierte Fassung vor.

⁴ KOSTRA DWD 2020, Rasterfeld 128105, $r_{5,5} = 336,7 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$, $h_n = 10,1 \text{ mm}$.

unabhängig vom Wasserstand angenommen. In Tabelle 1 ist die Flächenkategorisierung und die entsprechende Rauheit dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass je niedriger der Wert ist, desto höher ist der Fließwiderstand. Die Flächennutzung kann den ALKIS Daten entnommen werden.

Tabelle 1: Manning-Strickler Beiwerte als Rauheit

Nutzungsart	kst [m ^{1/3} /s]
Wohnbauflächen	30
Weg	30
Straßenverkehr	50
Stehendes Gewässer	20
Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	40
Platz	50
Industrie- und Gewerbefläche	40
Gehölz	20
Friedhof	30
Fläche gemischte Nutzung	40
Fläche besonderer funktionaler Prägung	40
Bahnverkehr	30
Landwirtschaft	30
Unland	30
Wald	30
Fließgewässer	20
Sumpf	20

Für die Entstehung von Oberflächenabfluss wird gemäß Empfehlung der *Arbeitshilfe kommunales Starkregenisikomanagement* keine Abminderung des Niederschlags infolge Versickerung berücksichtigt.

5.4 Modellregen

Um die Wirksamkeit der Maßnahmen quantifizieren zu können, sollten unterschiedliche Niederschlagsintensitäten eingesetzt werden. Der Modellregen kann der Charakteristik eines Euler Typ II Modellregens entsprechen oder die Regenbelastung mittels Blockregen abbilden. Die angenommenen Jährlichkeiten können zwischen $T_n = 10$ a und $T_n = 100$ a ausgewählt werden. Empfohlen wird in einem ersten Schritt die Auswirkung eines 10-jährlichen und eines 100-jährlichen Modellregens gegenüberzustellen. Im Falle relevanter Unterschiede können auch Zwischenstufen simuliert werden. Alle Modellregen sollten laut *Arbeitshilfe kommunales Starkregenisikomanagement* eine Dauer von 60 Minuten aufweisen. Die Nachlaufzeit, nach Ende des jeweiligen Modellregens sollte sich an der Fließzeit orientieren. Es ist zu gewährleisten, dass die Simulationsdauer mindestens den Zeitraum bis zu maximalen Senkenfüllung umfasst. In Abbildung 20 sind die Regenhöhen der Jährlichkeiten $T_n = 10$ a, 20 a, 30 a, 50 a und 100 a dargestellt.

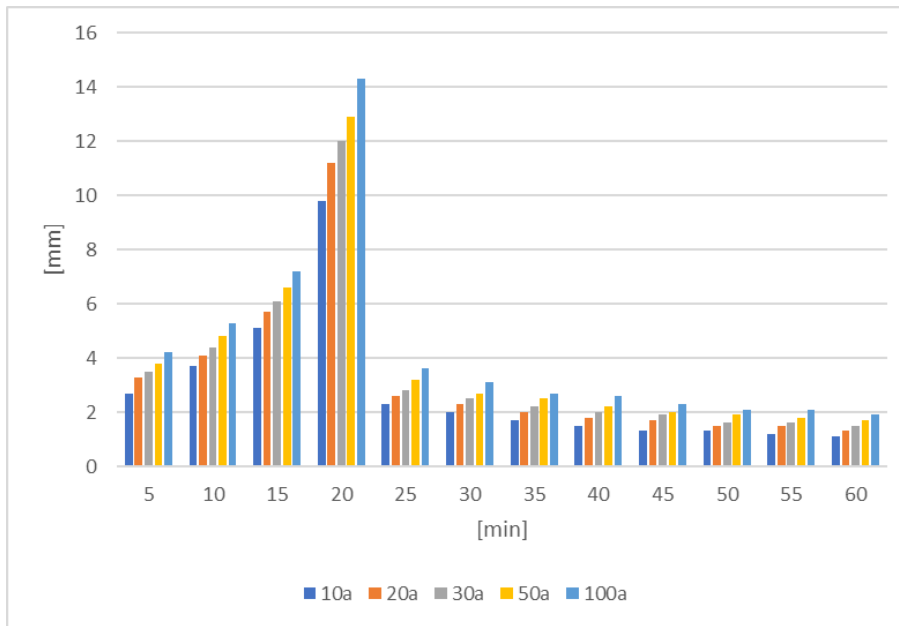
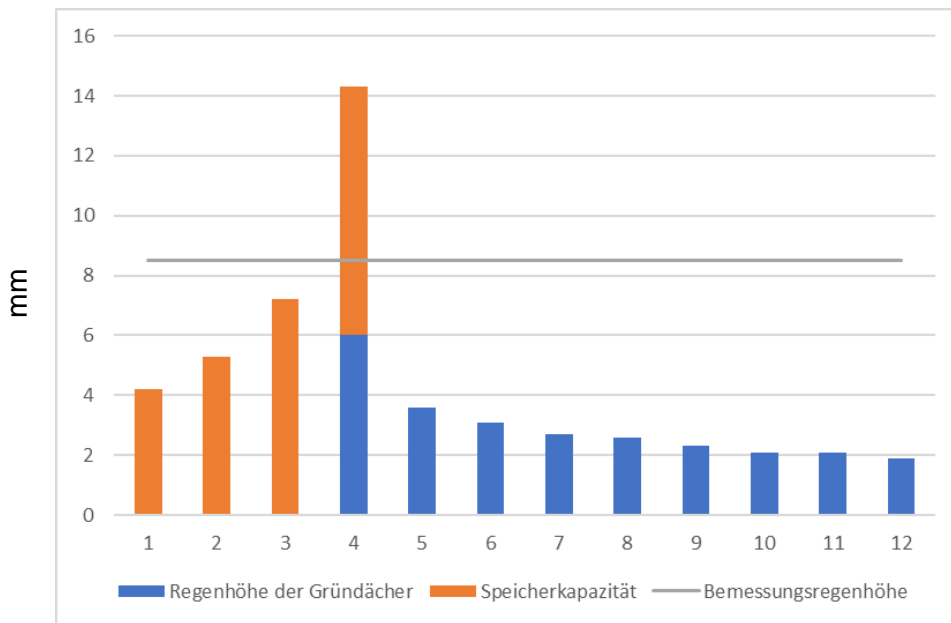


Abbildung 20: Niederschlagshöhen von Modellregen für unterschiedliche Wiederkehrzeiten

5.5 Maßnahmenmodellierung

5.5.1 Dachbegrünung

Für die Darstellung der Extensivbegrünung von Dachflächen im Oberflächenmodell wurde eine Speicherkapazität von 25 l/m^2 (25 mm) angenommen. Diese setzt sich aus dem Speichervermögen der Granulatschicht, der Kapazität der Drainageschicht und dem Freibord bis zum unkontrollierten Überlauf zusammen. In der Realität dürften die 25 mm je nach Dachaufbau variieren. Für die Modellsimulation werden die 25 mm in der maßgeblichen Dauerstufe von der Modellregenhöhe abgezogen. In Abbildung 21 ist der durch das Gründach retardierte Anteil eines 100-jährlichen Modellregens dargestellt. Die Bemessungsregenhöhe der Dachflächen ist als waagerechte Linie dargestellt. Die verbliebene Niederschlagshöhe liegt deutlich unterhalb der Bemessungsregenspende, sodass der Niederschlag durch die Dachentwässerung in die Kanalisation geleitet wird und dort schadlos abfließt. Modeltechnisch führt dies dazu, dass die Maßnahme *Gründach* keinen Beitrag zum Oberflächenabfluss liefert (vgl. Abbildung 21).



5-Minuten Schritte

Abbildung 21: Regenhöhen in mm und Speicherkapazität der Gründächer

5.5.2 Entsiegelungspotential befestigter Flächen

Es wird eine modelltechnische Vereinfachung zur Implementierung von versickerungsfähigen Oberflächen empfohlen. Die Speicherkapazität eines versickerungsfähigen Aufbaus kann durch den Anfangsverlust des Modellregens im Modell abgebildet werden. Da es im 2D Modell aber nicht möglich ist jede Fläche mit einer individuellen Regenspende zu berechnen, wird die Abminderung über den Anteil der befestigten an der Gesamtfläche vorgenommen. Das maximale erzielbare Potential wird auf einer im Bestand zu 100% versiegelten Fläche wirksam.

Die INKAS Daten liefern Hauptkenngrößen als Durchschnittswerte für die Bebauungstypen. In der Tabelle werden Potentiale ausgewiesen, die bei Aggregation von Entsiegelungsmaßnahmen erzielt werden können. Dort sind neben den im Fokus stehenden Verkehrsflächen die Anteile der maximal möglichen Entsiegelung dargestellt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Hauptkenngrößen der einzelnen Klassen des Aggregationsvorschlags auf Basis der vorgenommenen Bebauungsstrukturklassifizierung

Bebauungstypen	Versiegelungs-	Überbauungs-	Mögliche max.	Anfangs-
	grad [%]	grad [%]	Entsiegung [%]	verlust [mm]
Ein- und Zweifamilienhäuser	37,3	14,3	23,0	9,2
Doppelhaus- und Zeilenbebauung	54,6	18,7	35,9	14,4
Mehrfamilien- und Reihenhäuser	66,7	21,4	45,2	18,1
Blockrandbebauung	87,6	36,1	51,5	20,6
Dörfliche Bebauung	30,2	18,2	12,0	4,8
Flächen mit geringer baulicher Nutzung und hohem Grünanteil	24,4	5,5	18,9	7,6
Hochverdichtete Bebauung	93,1	49,0	44,1	17,6
Verkehrsflächen	100	0	100	40

Eine Fläche hohen Versiegelungsgrades weist im Umkehrschluss ein hohes Entsiegelungspotential aus. Diesem wird in der Modellumgebung mit einem entsprechend hohen Anfangsverlust Rechnung getragen.

In Tabelle 2 sind die jeweiligen Verlusthöhen für acht unterschiedliche Bebauungstypen zusammengefasst.

5.5.3 Dezentrale Retentionsbauwerke

Bei der Modellierung der dezentralen Retentionsbauwerke (Mulden, Gräben etc.) wird keine modelltechnische Unterscheidung getroffen. Im Oberflächenmodell werden diese ausschließlich über die Retentionswirkung der Muldenfüllung berücksichtigt. Sie werden durch Absenken des digitalen Geländemodells abgebildet. Die Auswahl der Potenzialflächen erfolgt anhand der Flächennutzung (z.B. Straßenbegleitflächen) und der erforderlichen räumlichen Nähe zum Hauptfließweg. Die Modellierung des Geländemodells erfolgt im ersten Schritt durch Puffern der Flächenumringe nach innen. Die Manipulation der Höheninformation innerhalb des Puffers führt anschließend zur Bildung einer Böschung. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da das resultierende Trapezprofil am ehesten einer praktischen Umsetzung entspricht. In Abbildung 22 ist die Pufferung und die so entstandene Retentionsfläche dargestellt. Die Absenkung der Muldensohle (innerer Puffer, grün) entspricht 0,2 m.



Abbildung 22: Dezentrale Mulde in rot und die vereinfachte Abbildung (negativer Puffer) der dezentralen Mulde in grün

Um die dezentralen Retentionsbauwerke zu aktivieren, ist es je nach Gefällesituation erforderlich Bruchkanten einzufügen, damit das Niederschlagswasser eindringen kann. Dieser Prozess sollte individuell und anhand der örtlichen Gegebenheiten erfolgen. Die eingepflegten Bruchkanten verlaufen im 45° Winkel zur Gefällerichtung und haben eine Höhe von 0,2 m. In Abbildung 22 sind die manuell hinzugefügten Bruchkanten in blau gestrichelt dargestellt. In der Praxis würde die Aktivierung der Mulden durch Anlage von z.B. Bergeinläufen und verrohrte Ableitung zur Mulde, oder Änderung des Straßen-Querprofils erfolgen.

5.5.4 Multifunktionale Flächen

Auch bei der Modellierung der zentralen Retentionsbauwerke wird im Oberflächenmodell ausschließlich die Retentionswirkung der Bauwerke berücksichtigt. Sie werden durch Absenken des digitalen Geländemodells abgebildet. Die Auswahl der Potenzialflächen orientiert sich an der Arbeitshilfe MURIEL und kann dem im Rahmen dieser Studie gelieferten Handlungsleitfaden entnommen werden. Die Manipulation des Geländemodells erfolgt analog zur Vorgehensweise bei den dezentralen Retentionsbauwerken.

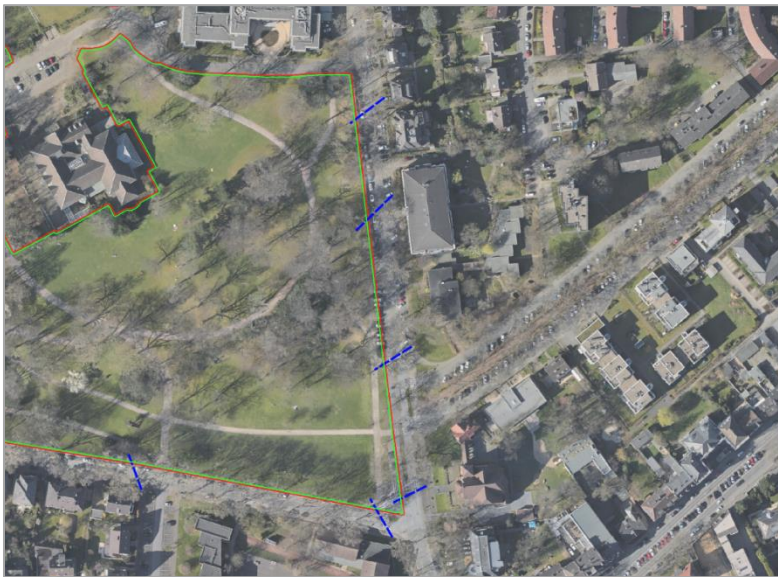


Abbildung 23: Zentrale Mulden mit Bruchkanten (Notwasserwege)

5.6 Bewertungskriterien der Überflutungssimulationen

Es gibt diverse Möglichkeiten Überflutungssimulationen zu bewerten und zu vergleichen. Oft werden die Überflutungsfläche (ermittelt anhand der maximalen Wassertiefen pro Kachel), der maximale Wasserstand und die maximale Fließgeschwindigkeit im Einzugsgebiet als Bewertungsindikatoren hinzugezogen. Alle drei Kriterien ermöglichen jedoch keine Aussage zur Überflutungsdynamik. Vor diesem Hintergrund sollten zur Beurteilung von Veränderungen Indikatoren angewendet werden, die sowohl die Verteilung der Wasserstände- und Fließgeschwindigkeiten im überfluteten Bereich besser darstellen, zugleich aber auch den zeitlichen Verlauf eines Überflutungsereignisses verdeutlichen. Im Folgenden wird exemplarisch ein Überflutungsschwerpunkt anhand der Überflutungssimulation für den Ist-Zustand (Bestand) und die beiden Modellregen $T_n = 10$ a und $T_n = 100$ a verglichen (vgl. Abbildung 20).

5.6.1 Überflutungsausmaß

Hierbei handelt es sich um die Gesamtfläche der Zellen, die als gefährdend eingeschätzt werden. In Abbildung 25 werden die Überflutungsflächen gegenübergestellt. Bei $T_n = 10$ a werden ca. 10 % weniger Flächen mit einem kritischen Wasserstand überflutet als $T_n = 100$ a. Der überflutete Bereich besteht in Wahrheit aus vielen einzelnen Rasterzellen oder Dreiecken, die bei dieser Betrachtung vernachlässigt werden.



Abbildung 24: Vergleich der eingestauten Fläche (ab 30cm) für den $T_n = 10a$ (hellblau) und $T_n = 100a$ (dunkelblau)

5.6.2 Verteilung der maximalen Wasserstände im überfluteten Bereich

Bei der Betrachtung der einzelnen Zellen können zusätzliche Informationen zum Überflutungsverhalten extrahiert werden. Im folgenden Vergleich zwischen einem 10-jährlichen und einem 100-jährlichen Ereignis werden die maximalen Wasserstände innerhalb des überfluteten Bereiches dargestellt. Die weißen Flächen stehen für den kritischen Wasserstand von 30 cm. Je kräftiger die Farben werden, umso höher ist der maximale Wasserstand in einer Zelle. Auch wenn sich die überflutete Fläche nur geringfügig voneinander unterscheiden, ist eine veränderte Verteilung der maximalen Wasserstände im überfluteten Bereich zu erkennen. Bei einem 100-jährlichen Ereignis überschreiten deutlich mehr Zellen den kritischen Wert von 30 cm.

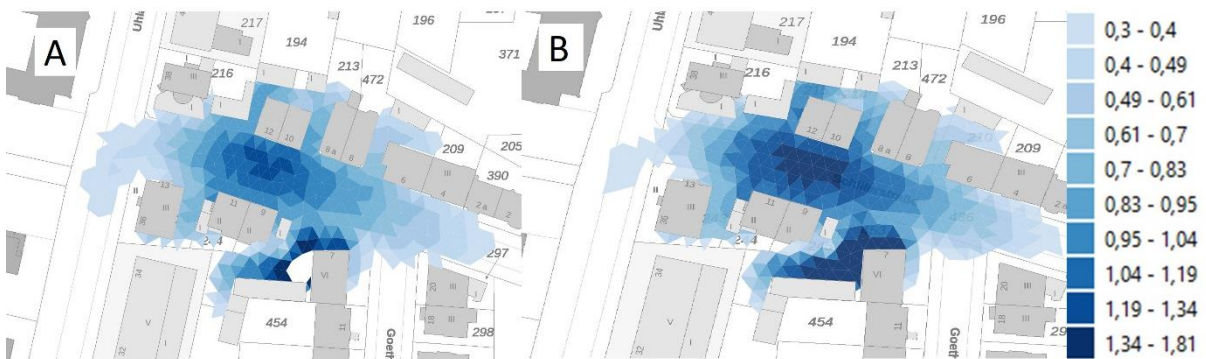


Abbildung 25: Verteilung der maximalen Wasserstände im überfluteten Bereich für $T_n = 10a$ (A) und $T_n = 100a$ (B)

5.6.3 Verteilung der maximalen Fließgeschwindigkeiten im überfluteten Bereich

Analog zu den Wasserständen kann die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten untersucht werden. Dies gibt Aufschluss darüber, ob Maßnahmen unabhängig von dem Grad der Senkenfüllung die Fließgeschwindigkeiten und damit die Gefährdung von Verkehrsteilnehmenden reduzieren. Für Verkehrsteilnehmer:innen sind insbesondere hohe Fließgeschwindigkeiten gefährlich (Sturzgefahr, mitgerissene Gegenstände und Äste)



Abbildung 26: Verteilung der maximalen Fließgeschwindigkeiten im überfluteten Bereich für $T_n = 10a$ (A) und $T_n = 100a$ (B)

5.6.4 Verteilung der Überflutungsdauer im überfluteten Bereich

Aus der Analyse der maximalen Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten im überfluteten Bereich, ergibt sich noch keine Aussage über die Dynamik bzw. den zeitlichen Verlauf der Senkenfüllung. Bei der Gefährdungsanalyse vulnerabler Strukturen und insbesondere bei der Auslegung von Objektschutzmaßnahmen ist es neben der Kenntnis über maximale Wasserstände relevant, über welchen Zeitraum ein kritischer Wasserstand besteht. Bei der Betrachtung von Maximalwerten handelt es sich um eine Momentaufnahme. Es ist daher auch wichtig zu untersuchen, über welchen Zeitraum jede Zelle einen kritischen Zustand beibehält. Die nachfolgenden Abbildungen stellen von Weiß bis Rot die Dauer des kritischen Einstaus qualitativ dar.



Abbildung 27: Verteilung der Einstaudauer im überfluteten Bereich für $T_n = 10a$ (A) und $T_n = 100a$ (B), Simulierte Zeit beträgt zwei Stunden

6 Anwendungsempfehlungen Wasserhaushaltsmodellierung

Innerhalb der Einflussbereiche wird der lokale Wasserhaushalt für folgende Szenarien berechnet:

- Potenzieller naturnaher Zustand
- Ist-Zustand
- Grün-Blaue-Maßnahmenkombinationen

Durch Gegenüberstellung des Wasserhaushaltes im bebauten und potenziellen naturnahen Zustand können Defizite quantifiziert werden. Dies bildet eine Grundlage, um mit Hilfe der grün-blauen Infrastruktur eine Annäherung an den potenziellen naturnahen Wasserhaushalt zu erreichen (z.B. Dachbegrünung, Entsiegelungsmaßnahmen etc.). Die Potenzialflächen und grün-blauen-Maßnahmen werden in WABILA abgebildet und deren Einfluss auf die Wasserhaushaltsbilanz errechnet. Somit können im Betrachtungsraum Planvarianten mit dem IST-Zustand und dem potenziellen naturnahen Zustand gegenübergestellt und in Bezug auf den lokalen Wasserhaushalt bewertet werden.

6.1 Ermittlung des potenziellen naturnahen Wasserhaushalts (NatUrWB)

Bei dem potenziellen naturnahen Wasserhaushalt handelt es sich um den Wasserhaushalt, der bei einer nicht urbanen Landnutzung vorherrschen würde. Der naturnahe potenzielle Wasserhaushalt ist nicht als fixer Wert zu verstehen, sondern als Zielbereich, welcher vor allem bei Neuplanungen, angestrebt werden sollte. Er wird mit Hilfe des frei verfügbaren Online-Tools „NatUrWB“ auf Grundlage der im Einflussbereich vorliegenden Bodengesellschaften und Naturraumeinheiten ermittelt. Die Niederschlagsdaten werden im NatUrWB-Verfahren auf Grundlage der Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes ermittelt und, bei bestehenden Datenlücken, durch Regionalisierung von benachbarten Stationen aufgefüllt und auf die langjährigen Stationswerte normiert. Bei der Ermittlung der Wetterdaten wird der Zeitraum vom 01.01.2009 bis zum 31.12.2019 berücksichtigt. Im NatUrWB-Verfahren erfolgt die Berechnung der potenziellen naturnahen Wasserhaushaltsbilanz mit dem Wasserbilanzmodell RoGeR_WB_1D, welches an der Universität Freiburg entwickelt wurde. Eine genaue Beschreibung der Methodik findet sich auf www.naturwb.de/method/.

Der mit dem NatUrWB-Verfahren ermittelte potenzielle naturnahe Wasserhaushalt in einem beispielhaften Einflussbereich ist in Abbildung 28 dargestellt.

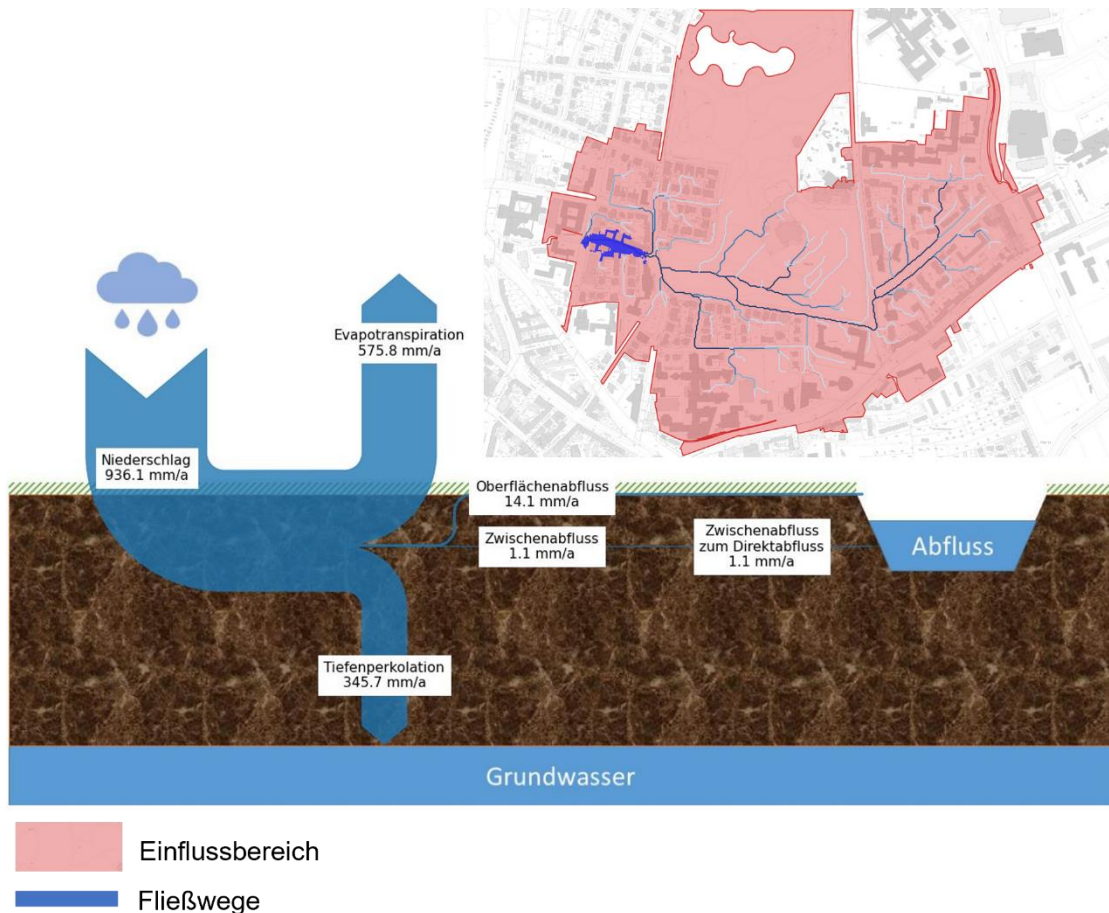


Abbildung 28: Potenzielle naturnaher Wasserhaushaltsbilanz im Einflussbereich, erstellt mit NatUrWB

Der langjährige mittlere Niederschlag von 936,1 mm/a teilt sich demnach zu 575,8 mm/a in Evapotranspiration, 345,7 mm/a Grundwasserneubildung und 15,2 mm/a Direktabfluss auf. Diese Bilanzgrößen werden in WABILA als Wasserhaushalt im unbebauten Zustand definiert.

6.2 Berechnung des lokalen Wasserhaushalts im Ist-Zustand (WABILA)

Für die WABILA-Berechnung des Ist-Zustandes im jeweiligen Einflussbereich sind folgende Eingangsdaten erforderlich:

- mittlere jährliche Niederschlagshöhe sowie die mittlere jährliche potenzielle Verdunstung
- Versickerungseignung des Bodens (kf-Wert)
- Summe der Dachflächen (Alle Dachformen)
- unversiegelte Flächen (Garten, Grünflächen)
- anderweitig versiegelte Flächen (Asphalt, Fugenloser Beton)

Es wird bei der Berechnung des Wasserhaushaltes im Ist-Zustand angenommen, dass der Niederschlag konventionell über die Kanalisation abgeleitet wird. Die mittlere jährliche

Niederschlagshöhe wird aus der NatUrWB Bestimmung übernommen (vgl. Abbildung 28). Die potenzielle Verdunstung E_{Tp} wird anhand des hydrologischen Atlases Deutschland (HAD) abgeschätzt. Der HAD ist auf dem Geoportal der Bundesanstalt für Gewässerkunde frei zugänglich (<https://geoportal.bafg.de/ggina-portal/>). Die Versickerungseignung des Bodens ist sowohl für den Ist-Zustand als auch für die Planvarianten relevant. Sollten Bodengutachten vorliegen, so sind diese Werte zu übernehmen. Im Zuge dieses Projektes wird die Versickerungseignung stadtwweit anhand der Bodenkarte 50 ermittelt. Die Bodenkarte 50 kann beispielsweise auf dem Geoportal TIM Online aufgerufen werden ([TIM-online \(nrw.de\)](http://TIM-online.nrw.de)). Die notwendigen Flächendaten werden aus den frei verfügbaren INKAS-Daten abgeleitet (vgl. Kapitel 3.4). In den INKAS Daten werden je nach Bebauungsstrukturen prozentuale Flächenaufteilungen angegeben. Es wird unterschieden zwischen Überbauung, anderweitig versiegelt und unversiegelt. Bei der Berechnung in WABILA werden die Flächenaufteilungen wie folgt abgebildet:

Tabelle 3: Abbildung der INKAS Flächenaufteilungen in WABILA.

INKAS	Bedeutung	Abbildung in WABILA
Überbauung	Dächer	Steildach, alle Deckungsmaterialien
Anderweitig versiegelt	Straßen, Zuwegungen	Asphalt, fugenloser Beton
Unversiegelt	Grünflächen	Garten, Grünflächen

Beispielhaft werden die Flächenaufteilungen für den Einflussbereich aus der Eingabemaske in WABILA in Abbildung 29 dargestellt.

Basisdaten																	
Bruttobauland (m ²)		705650	P (mm/a)		936	ET _p (mm/a)		575	kf-Wert (mm/h)		3,600						
Unbebauter Zustand																	
a (-)		0,016	g (-)		0,370	v (-)		0,615	RD (mm/a)		15	GWN (mm/a)		346	ET _a (mm/a)		576
Bebauter Zustand																	
a (-)		0,415	g (-)		0,171	v (-)		0,414	RD (mm/a)		388	GWN (mm/a)		160	ET _a (mm/a)		388
Variante: IST																	
Elemente: 1 of 3																	
Typ	Name	Element Typ	Parameter	Größe (m ²)	a (-)	g (-)	v (-)	Entnahme (-)	Zufluss (m ³ /a)	RD (m ³ /a)	GWN (m ³ /a)	ET _a (m ³ /a)	Entnahme (m ³ /a)				
Fläch	Dächer	Steildach, alle Deckungsmaterialien		125143	0,919	0,000	0,081	0,000	117133,8	107666,2	0,0	9467,6	0,0				
Fläche	unvers.	Garten, Grünflächen		401943	0,100	0,300	0,600	0,000	376218,6	37621,9	112865,6	225731,2	0,0				
Fläche	andew. vers.	Asphalt, fugenloser Beton		178563	0,771	0,000	0,229	0,000	167135,0	128814,7	0,0	38320,3	0,0				

Abbildung 29: Ist-Zustandes im Einflussbereich mit WABILA.

Die Gesamtfläche von 705.650 m² im Einflussbereich teilt sich in Dächer (125.143 m²), unversiegelte Fläche (401.943 m²) und anderweitig versiegelte Fläche (178.563 m²) auf. Die Versickerungseignung liegt gemäß der Bodenkarte 50 bei kf = 3,6 mm/h.

6.3 Maßnahmenmodellierung

6.3.1 Dachbegrünung (DB)

Die Potenzialflächen werden anhand des Gründachkatasters, welches durch den RVR zur Verfügung gestellt wurde, ermittelt. Innerhalb eines Einflussbereiches werden diese Flächen aufsummiert und in WABILA als „Gründach mit Extensivbegrünung“ definiert. Damit sich die Gesamtfläche nicht ändert wird die Fläche „Steildach, alle Deckungsmaterialien“ um die Fläche der extensiven Gründächer reduziert (vgl. Abbildung 30).

Basisdaten														
Bruttobauland (m ²)		705650	P (mm/a)	936	ETp (mm/a)	575	kf-Wert (mm/h)	3,600						
Unbebauter Zustand														
a (-)	0,016	g (-)	0,370	v (-)	0,615	RD (mm/a)	15	GWN (mm/a)	346	ETa (mm/a)	576			
Bebauter Zustand														
a (-)	0,375	g (-)	0,171	v (-)	0,454	RD (mm/a)	351	GWN (mm/a)	160	ETa (mm/a)	425			
Variante		DB		Elemente 4 of 4										
Typ	Name	Element Typ	Parameter	Größe (m ²)	a (-)	g (-)	v (-)	Entnahme (-)	Zufluss (m ³ /a)	RD (m ³ /a)	GWN (m ³ /a)	ETa (m ³ /a)	Entnahme (m ³ /a)	Ziel
Fläche	Dächer	Steildach, alle Deckungsmaterialien		35821	0,919	0,000	0,081	0,000	33528,5	30818,4	0,0	2710,0	0,0	Ableitung
Fläche	unvers.	Garten, Grünflächen		401943	0,100	0,300	0,600	0,000	376218,6	37621,9	112865,6	225731,2	0,0	Ableitung
Fläche	anderw. vers.	Asphalt, fugenloser Beton		178563	0,771	0,000	0,229	0,000	167135,0	128814,7	0,0	38320,3	0,0	Ableitung
Fläche	DB	Gründach mit Extensivbegrünung		89322	0,605	0,000	0,395	0,000	83605,4	50564,4	0,0	33041,0	0,0	Ableitung

Abbildung 30: Planvariante Dachbegrünung (DB) im Einflussbereich mit WABILA.

In der Modellierung ist das Gründach ebenfalls an die konventionelle Kanalisation angeschlossen. Dies wird in der letzten Spalte „Ziel“ („Ableitung“) deutlich. Das Wasser, welches von dem Gründach abfließt, wird über die Dachrinnen in die Kanalisation geführt. In Bezug auf die lokale Wasserhaushaltsbilanz bedeutet dies, dass die Grundwasserneubildung durch diese Maßnahme nicht erhöht wird (vgl. Abbildung 36).

6.3.2 Entsiegelung (ST)

Entsiegelungspotenziale gibt es auf versiegelten, wenig befahrenen Flächen. Zu diesen gehören beispielsweise Zuwegungen und Parkplätze. Die Potenzialflächen innerhalb eines Einflussbereiches werden in WABILA als teildurchlässige Beläge (Porensteine, Sickersteine) abgebildet. Die teildurchlässigen Beläge werden von der Fläche „anderweitig versiegelte Fläche“, die in WABILA als „Asphalt, fugenloser Beton“ modelliert wird, abgezogen. Auf diese Weise bleibt die Flächenbilanz konstant. Die teildurchlässigen Beläge haben Einfluss auf alle drei Bilanzgrößen. Das Wasser, welches nicht durch die Sickersteine versickert, fließt in die konventionelle Kanalisation ab.

Basisdaten																	
Bruttobauland (m ²)		705650	P (mm/a)		936	ETp (mm/a)		575	kf-Wert (mm/h)		3,600						
Unbebauter Zustand																	
a (-)		0,016	g (-)		0,370	v (-)		0,615	RD (mm/a)		15	GWN (mm/a)		346	ETa (mm/a)		576
Bebauter Zustand																	
a (-)		0,306	g (-)		0,261	v (-)		0,432	RD (mm/a)		287	GWN (mm/a)		245	ETa (mm/a)		405
Variante		ST		Elemente		4		of 4									
Typ	Name	Element Typ	Parameter	Größe (m ²)	a (-)	g (-)	v (-)	Entnahme (-)	Zufluss (m ³ /a)	RD (m ³ /a)	GWN (m ³ /a)	ETa (m ³ /a)	Entnahme (m ³ /a)	Ziel			
Fläche	Dächer	Steldach, alle Deckungsmaterialien		125143	0,919	0,000	0,081	0,000	117133,8	107666,2	0,0	9467,6	0,0	Ableitung			
Fläche	unvers.	Garten, Grünflächen		401943	0,100	0,300	0,600	0,000	376218,6	37621,9	112865,6	225731,2	0,0	Ableitung			
Fläche	anderw. vers.	Asphalt, fugenloser Beton		78730	0,771	0,000	0,229	0,000	73691,3	56795,5	0,0	16895,7	0,0	Ableitung			
Fläche	ST	teildurchlässige Beläge (Porensteine, Sickersteine)		99833	0,003	0,640	0,357	0,000	93443,7	272,3	59800,8	33370,5	0,0	Ableitung			

Abbildung 31: Planvariante Entsiegelung durch Sickersteine (ST) in Einflussbereich mit WABILA.

6.3.3 Dachbegrünung und Entsiegelung (DB+ST)

Die Kombination aus Dachbegrünung und Entsiegelung wird analog zu den Einzelmaßnahmen modelliert. Die Potenzialflächen innerhalb eines Einflussbereiches für jede Maßnahme werden aufsummiert und nach dem gleichen Muster berücksichtigt. Die entsprechende Flächenaufteilung für den Einflussbereich ist in untenstehender Abbildung aufgeführt.

Basisdaten																	
Bruttobauland (m ²)		705650	P (mm/a)		936	ETp (mm/a)		575	kf-Wert (mm/h)		3,600						
Unbebauter Zustand																	
a (-)		0,016	g (-)		0,370	v (-)		0,615	RD (mm/a)		15	GWN (mm/a)		346	ETa (mm/a)		576
Bebauter Zustand																	
a (-)		0,267	g (-)		0,261	v (-)		0,472	RD (mm/a)		250	GWN (mm/a)		245	ETa (mm/a)		442
Variante		DB+ST		Elemente		4		of 5									
Typ	Name	Element Typ	Parameter	Größe (m ²)	a (-)	g (-)	v (-)	Entnahme (-)	Zufluss (m ³ /a)	RD (m ³ /a)	GWN (m ³ /a)	ETa (m ³ /a)	Entnahme (m ³ /a)	Ziel			
Fläche	Dächer	Steldach, alle Deckungsmaterialien		35821	0,919	0,000	0,081	0,000	33528,5	30818,4	0,0	2710,0	0,0	Ableitung			
Fläche	unvers.	Garten, Grünflächen		401943	0,100	0,300	0,600	0,000	376218,6	37621,9	112865,6	225731,2	0,0	Ableitung			
Fläche	anderw. vers.	Asphalt, fugenloser Beton		78730	0,771	0,000	0,229	0,000	73691,3	56795,5	0,0	16895,7	0,0	Ableitung			
Fläche	DB	Gründach mit Extensivbegrünung		89322	0,605	0,000	0,395	0,000	83605,4	50564,4	0,0	33041,0	0,0	Ableitung			
Fläche	ST	teildurchlässige Beläge (Porensteine, Sickersteine)		99833	0,003	0,640	0,357	0,000	93443,7	272,3	59800,8	33370,5	0,0	Ableitung			

Abbildung 32: Planvariante Dachbegrünung und Entsiegelung (DB + ST) in Einflussbereich mit WABILA.

6.3.4 Mulden-Rigolen-Systeme (dez. MR)

Bei den Potenzialflächen für dezentrale Retentionsbauwerke handelt es sich hauptsächlich um Verkehrsbegleitflächen. Die Umsetzung und Modellierung von dezentralen Versickerungsmaßnahmen ist abhängig von der Versickerungsleistung des anstehenden Bodens. Der kf-Wert gemäß Bodenkarte 50 lässt im Modellierungsraum keine Flächenversickerung zu. Bei den geringen Versickerungsleistungen sind technische Lösungen in Form von Mulden-Rigolen-Systemen mit gedrosselter Ableitung notwendig. Diese Empfehlung kann auch in der Bodenkarte 50 abgerufen werden.

Tabelle 4: Klassifikation von Böden, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen

Klassifikation, Bewertung, Beschreibung von Böden zur Eignung für eine vollständige dezentrale Versickerung oder für den Einsatz von Niederschlags-Bewirtschaftungsmaßnahmen durch Versickerung (V), Speicherung (S) und Ableitung (A) sowie die Farbzueweisung in der Karte
Für die Farben werden zur Nachvollziehbarkeit auch die RGB-Farbwerte angegeben, für die Schraffuren gilt: 168 0 0.

Code	Klasse	Beschreibung	Bewertung für die vollständige Versickerung	Bewertung für den Einsatz von Bewirtschaftungsmaßnahmen	Farbzueweisung in der Karte
sic_8	über 86	Wasserleitfähigkeit über $1 \cdot 10^5$ m/s (über 86 cm/d) Stauhöhe ohne	geeignet	V Flächen- und Muldenversickerung, auch Sickerbecken	165 245 122
sic_7	über 86 und schwach stauass	Wasserleitfähigkeit über $1 \cdot 10^5$ m/s (über 86 cm/d) Stauhöhe schwach	geeignet und schwach stauass	V Flächen- und Muldenversickerung, auch Sickerbecken	165 245 122
sic_6	43 bis 86	Wasserleitfähigkeit $5 \cdot 10^6$ bis $1 \cdot 10^5$ m/s (43 bis 86 cm/d) Stauhöhe ohne	bedingt geeignet	VS Mulden-Rigolen-Elemente (Versickerung mit unterirdischem Stauraum)	245 245 122
sic_5	43 bis 86 und schwach stauass	Wasserleitfähigkeit $5 \cdot 10^6$ bis $1 \cdot 10^5$ m/s (43 bis 86 cm/d) Stauhöhe schwach	ungeeignet und schwach stauass	VSA Mulden-Rigolen-Systeme (Bewirtschaftung mit gedrosselter Ableitung)	255 211 127
sic_4	unter 43	Wasserleitfähigkeit unter $5 \cdot 10^6$ m/s (unter 43 cm/d) Stauhöhe ohne	ungeeignet	VSA Mulden-Rigolen-Systeme (Bewirtschaftung mit gedrosselter Ableitung)	255 211 127
sic_3	zu flach	Lockergestein *) unter 1 m mächtig	zu flach	keine Versickerung möglich (kein unterirdischer Stauraum verfügbar)	232 190 255
sic_2	stauass	Stauhöhe im 2 m-Raum mittel, stark oder sehr stark	stauass	VSA Mulden-Rigolen-Systeme (Bewirtschaftung mit gedrosselter Ableitung)	202 122 245
sic_1	grundnass	Grundwasserflurabstand weniger als 1 m	grundnass	keine Versickerung möglich (kein unterirdischer Stauraum verfügbar)	190 232 255

*) Lockergestein ist hier definiert als unter 75 Vol.-% Festgestein und Grobboden
Wenn über 75 Vol.-% Festgestein und Grobboden vorliegen und darin
a) mehr Grobboden als Festgestein, dann gilt das Material als Schutt und zählt auch noch zum Lockergestein
b) mehr Festgestein als Grobboden, dann gilt das Material als Festgestein

Bei der Berechnung der Wasserhaushaltsbilanz wird vereinfacht angenommen, dass die Verkehrsbegleitflächen vollständig in Mulden-Rigolen-Systeme umfunktioniert werden. Es handelt sich hier um eine stark vereinfachte Annahme, die das maximale Potenzial zur Ausbildung von Mulden-Rigolen-Systemen innerhalb eines Einflussbereiches ermittelt.

Zur Abbildung der Mulden-Rigolen-Systeme in WABILA sind folgende weitere Daten notwendig:

- Drosselabflussspende der Mulden-Rigolen-Systeme
- Abschätzung der an die Mulden-Rigolen-Systeme angeschlossenen Fläche

Die Drosselabflussspende wird bei der Berechnung auf 1 l/(s·ha) festgelegt. Dieser Wert kann vom Bearbeiter je nach Projekt und Gegebenheit angepasst werden.

Mulden-Rigolen-Systeme stellen in WABILA eine Maßnahme zur Regenwasserbewirtschaftung dar. Typisch für Maßnahmen ist, dass eine Fläche angeschlossen werden kann. Das Niederschlagswasser von diesen Flächen wird dann den Maßnahmen zugeführt und behandelt. Zur Abschätzung der anzuschließenden Fläche wird das Merkblatt DWA-M 102 Teil 4 herangezogen. Die an das Mulden-Rigolen-System angeschlossene Fläche wird anhand untenstehender Tabelle aus dem Anhang B.5 des Merkblattes abgeschätzt:

Parameter	Zeichen	Einheit	Gültigkeit		Standardwert
			min	max	
Anteil der Fläche der Versickerungsfläche einer Mulde bezogen auf die angeschlossene befestigte Fläche	$f_{S,M}$	%	-	-	$11,79 - 3,14 \cdot \ln q_{Dr} - 0,18594 \cdot k_f^{(1)}$
Drosselabflussspende	q_{Dr}	l/(s·ha)	1	10	-
Durchlässigkeitsbeiwert	k_f	mm/h	0,36	3,6	-
ANMERKUNG (1) Die Gleichung berechnet einen Flächenanteil der Versickerungsmulde des Mulden-Rigolen-Systems, welcher bezogen auf den Gültigkeitsbereich dem oberen Quartil entspricht. Sie stellt keine Dimensionierung gemäß Arbeitsblatt DWA-A 138 dar, sondern ist als Orientierungswert für den Flächenbedarf der Versickerungsanlage anzusehen. Der k_f -Wert wird in der Einheit mm/h eingegeben.					

Abbildung 33: Tabelle aus Anhang B.5 des Merkblattes DWA-M 102 Teil 4

Entscheidend ist hierbei der Parameter $f_{S,M}$, der das Verhältnis aus Versickerungsfläche einer Versickerungsmulde und der angeschlossenen befestigten Fläche darstellt:

$$f_{S,M} = \frac{A_{S,M}}{A_{b,a}}$$

Formel 1

$A_{S,M}$ = Versickerungsfläche einer Versickerungsmulde

$A_{b,a}$ = Angeschlossene befestigte Fläche

Die Berechnung erfolgt hierbei mit Formel 2 und wird exemplarisch für den Einflussbereich durchgeführt:

$$f_{S,M} = 11,79 - 3,14 \cdot \ln q_{Dr} - 0,18594 \cdot k_f \quad \text{Formel 2}$$

$$f_{S,M} = 11,79 - 3,14 \cdot \ln 1 - 0,18594 \cdot 3,6 = 11,12 \% \quad \text{Formel 3}$$

Somit entspricht die Versickerungsfläche 11,12 % der an die Mulde anschließbaren Fläche im Einflussbereich. Es wird vereinfacht angenommen, dass die Potenzialfläche der Versickerungsfläche entspricht. Die Potenzialfläche ist bekannt, so dass die anschließbare Fläche durch Umstellung von Formel 1 berechnet werden kann.

$$A_{b,a} = \frac{A_{S,M}}{f_{S,M}} = \frac{19446 \text{ m}^2}{0,1112} = 174\,874 \text{ m}^2 \quad \text{Formel 4}$$

An die Potenzialfläche in Einflussbereich können 174.874 m² angeschlossen werden. Auf diese Weise wird für jeden Einflussbereich bestimmt, wieviel Fläche an die Mulden-Rigolen-Systeme angeschlossen werden kann. In der Wasserhaushaltsberechnung werden zunächst die Straßen und Zuwegungsflächen angeschlossen. Sollte dann noch weiteres Potenzial zum Anschluss weiterer Fläche vorliegen, so werden zusätzlich die Dachflächen an die Mulden-Rigolen-Systeme angeschlossen.

Wie in der Anmerkung in Abbildung 33 beschrieben, handelt es sich hierbei nicht um eine Dimensionierung gemäß DWA-A 138. Ziel ist es einen begründeten Orientierungswert zur Ermittlung des Flächenbedarfs der Versickerungsanlage herzuleiten.

Basisdaten														
Bruttobauland (m ²) 705650 P (mm/a) 936 ETp (mm/a) 575 kf-Wert (mm/h) 3,600														
Unbebauter Zustand														
a (-) 0,016 g (-) 0,370 v (-) 0,615 RD (mm/a) 15 GWN (mm/a) 346 ETa (mm/a) 576														
Bebauter Zustand														
a (-) 0,221 g (-) 0,372 v (-) 0,406 RD (mm/a) 207 GWN (mm/a) 348 ETa (mm/a) 380														
Variante dez. MR Elemente 4 of 5														
Typ	Name	Element Typ	Parameter	Größe (m ²)	a (-)	g (-)	v (-)	Entnahme (-)	Zufluss (m ³ /a)	RD (m ³ /a)	GWN (m ³ /a)	ETa (m ³ /a)	Entnahme (m ³ /a)	Ziel
Fläche	Dächer	Steildach, alle Deckungsmaterialien		125143	0,919	0,000	0,081	0,000	117133,8	107666,2	0,0	9467,6	0,0	Ableitung
Fläche	unvers.	Garten, Grünflächen		382497	0,100	0,300	0,600	0,000	358017,2	35801,7	107405,2	214810,3	0,0	Ableitung
Fläche	anderw. vers.	Asphalt, fugenloser Beton		174874	0,771	0,000	0,229	0,000	163682,1	126153,5	0,0	37528,6	0,0	dez. MR
Fläche	Fläche	Asphalt, fugenloser Beton		3689	0,771	0,000	0,229	0,000	3452,9	2661,2	0,0	791,7	0,0	Ableitung
Maßnahme	dez. MR	Mulden-Rigolen-System		19446	0,000	0,960	0,040	0,000	144354,9	0,0	138509,1	5845,8	0,0	Ableitung

Abbildung 34: Planvariante Mulden-Rigolen-Systeme im Einflussbereich mit WABILA.

In Abbildung 34 ist die Eingabe der Planvariante des Mulden-Rigolen-Systems im Einflussbereich dargestellt. In der letzten Zeile ist das Mulden-Rigolen-System aufgeführt. Gemäß Spalte „Typ“ ist das System als Maßnahme definiert. Es steht eine Potenzialfläche von 19.446 m² zur Verfügung. In der Modellierung wird angenommen, dass diese Fläche unversiegelt vorliegt und in ein Mulden-Rigolen-System umgebaut werden kann. Damit die Flächenbilanz eingehalten wird, wird die Fläche der Mulden-Rigolen von den unversiegelten Flächen abgezogen. An die Potenzialfläche kann gemäß der durchgeführten Abschätzung, das Niederschlagswasser von 174.874 m² befestigter Fläche angeschlossen werden. In der Wasserhaushaltsmodellierung wird der Großteil des Niederschlagswassers der anderweitig versiegelten Fläche in das Mulden-Rigolen-System geführt. Ersichtlich ist dies an der letzten Spalte „Ziel“ entspricht „dez. MR“.

6.3.5 Dachbegrünung, Entsigelung und Mulden-Rigolen-Systeme (DB + ST + dez. MR)

Die höchste Implementierungsstufe in der durchgeführten Wasserhaushaltsmodellierung stellt die Kombination aus Dachbegrünung, Entsigelung und Mulden-Rigolen-Systemen dar.

Basisdaten														
Bruttobauland (m ²) 705650 P (mm/a) 936 ETp (mm/a) 575 kf-Wert (mm/h) 3,600														
Unbebauter Zustand														
a (-) 0,016 g (-) 0,370 v (-) 0,615 RD (mm/a) 15 GWN (mm/a) 346 ETa (mm/a) 576														
Bebauter Zustand														
a (-) 0,079 g (-) 0,456 v (-) 0,464 RD (mm/a) 74 GWN (mm/a) 427 ETa (mm/a) 435														
Variante DB+ST+dez. MR Elemente 2 of 7														
Typ	Name	Element Typ	Parameter	Größe (m ²)	a (-)	g (-)	v (-)	Entnahme (-)	Zufluss (m ³ /a)	RD (m ³ /a)	GWN (m ³ /a)	ETa (m ³ /a)	Entnahme (m ³ /a)	Ziel
Fläche	Dächer	Steildach, alle Deckungsmaterialien		35821	0,919	0,000	0,081	0,000	33528,5	30818,4	0,0	2710,0	0,0	dez. MR
Fläche	unvers.	Garten, Grünflächen		382497	0,100	0,300	0,600	0,000	358017,2	35801,7	107405,2	214810,3	0,0	Ableitung
Fläche	anderw. vers.	Asphalt, fugenloser Beton		78730	0,771	0,000	0,229	0,000	73691,3	56795,5	0,0	16895,7	0,0	dez. MR
Fläche	DB dez. MR	Gründach mit Extensivbegrünung		60323	0,605	0,000	0,395	0,000	56462,3	34148,3	0,0	22314,0	0,0	dez. MR
Fläche	DB Ableitung	Gründach mit Extensivbegrünung		28999	0,605	0,000	0,395	0,000	27143,1	16416,1	0,0	10727,0	0,0	Ableitung
Fläche	ST	teildurchlässige Beläge (Porensteine, Sickersteine)		99833	0,003	0,640	0,357	0,000	93443,7	272,3	59800,8	33370,5	0,0	Ableitung
Maßnahme	dez. MR	Mulden-Rigolen-System		19446	0,000	0,959	0,041	0,000	139963,7	0,0	134164,4	5799,3	0,0	Ableitung

ABBILDUNG 35: PLANVARIANTE DACHBEGRÜNUNG, ENTSIEGELUNG UND MULDEN-RIGOLEN-SYSTEME IM EINFLUSSBEREICH MIT WABILA.

Anhand der letzten Spalte „Ziel“ in **ABBILDUNG 35** ist zu erkennen, wohin das Wasser der jeweiligen Flächen geleitet wird. Es wird deutlich, dass die gesamten Steildachflächen und die anderweitig versiegelten Flächen an die Mulden-Rigolen-Systeme angeschlossen werden können. Des Weiteren kann ein Teil der Gründächer in das Mulden-Rigolen-System geleitet werden. Es werden Synergien der verschiedenen Bausteine der grün-blauen-Infrastruktur ausgenutzt (vgl. Abbildung 36).

6.3.6 Multifunktionale Flächen

Bei den Potenzialflächen für multifunktionale Retentionsflächen handelt es sich in erster Linie um öffentliche Grünflächen. Diesen Flächen wird bei Starkregenereignissen das Niederschlagswasser zugeführt und dort zurückgehalten. Bei der Wasserhaushaltsmodellierung wird angenommen, dass es sich bei den multifunktionalen Flächen um Grünflächen handelt, die bereits im Ist-Zustand gemäß INKAS-Daten vorliegen. Es ist somit keine gesonderte Modellierung in Bezug auf den Wasserhaushalt notwendig, da diese Flächen in WABILA bereits als Grünflächen berücksichtigt werden.

6.4 Bewertungskriterien der Wasserhaushaltsmodellierung

Bei der Berechnung der Wasserhaushaltsbilanz werden die Auswirkungen der grün-blauen Maßnahmen im langjährigen Mittel berücksichtigt. Die Bewertung der Wasserhaushaltsmodellierung kann entweder im Vergleich zum potenziellen naturnahen Wasserhaushalt oder in Bezug auf den Ist-Zustand erfolgen. Die Bewertung in Bezug auf den potenziellen naturnahen Wasserhaushalt macht vor allem bei Neubauprojekten Sinn. In dieser Studie wird der Einfluss der grün-blauen Infrastruktur im Bestand untersucht. In diesem Fall ist es sinnvoll zu zeigen, wie sich der Wasserhaushalt durch die grün-blaue Infrastruktur im Vergleich zum Bestand verändert. Aus diesem Grund werden die grün-blauen Planvarianten hauptsächlich mit dem Ist-Zustand verglichen und bewertet. Die Gegenüberstellung der Einflüsse erfolgt anhand der Parameter Direktabfluss, Grundwasserneubildung sowie Verdunstung. Im unbebauten Zustand sind die Flächen unversiegelt. Sobald eine Versiegelung vorliegt, wird der Direktabfluss erhöht und im gleichen Zug werden die Bilanzgrößen Verdunstung (ETa) und Grundwasserneubildung (GWN) reduziert. In Abbildung 36 sind die ermittelten Wasserhaushaltsbilanzen beispielhaft für den Einflussbereich in Form eines Balkendiagramms gegenübergestellt. Die Wirksamkeit von Maßnahmen auf den Wasserhaushalt ist stark von der Flächenverfügbarkeit und den vorhandenen Potenzialflächen abhängig.

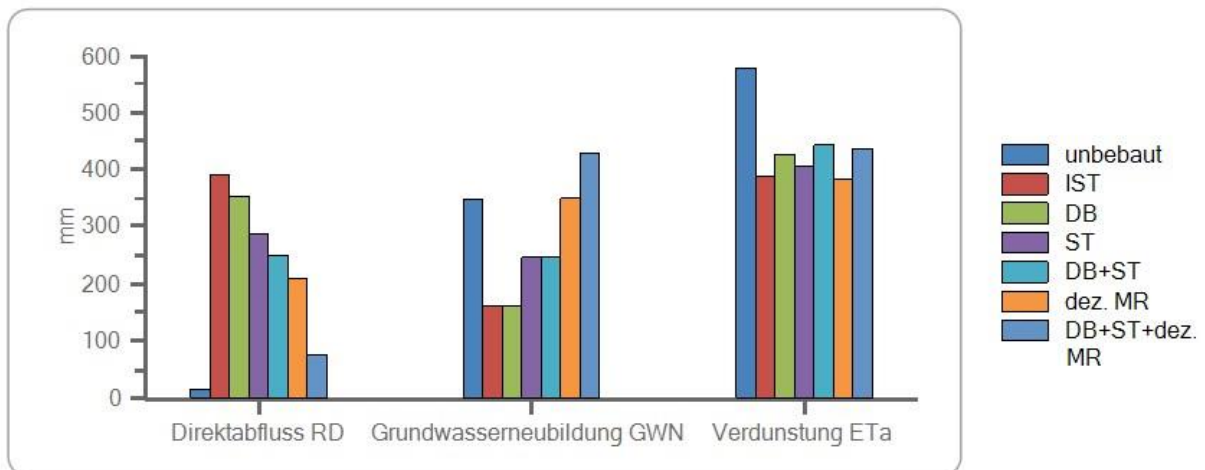


Abbildung 36: Vergleich der Wasserbilanzen im Einflussbereich.

Wie zu erwarten, weicht der Ist-Zustand, unter Berücksichtigung aller Bilanzgrößen, am stärksten vom potenziellen naturnahen Zustand ab. Der Direktabfluss ist stark erhöht. Durch alle grün-blauen-Maßnahmen kann der Direktabfluss gesenkt werden. Im Einflussbereich stehen viele Potenzialflächen für Mulden-Rigolen-Systeme zur Verfügung. Dies spiegelt sich in den Wasserhaushaltbilanzen wider (orangener Balken). Mulden-Rigolen-Systeme haben in diesem Einflussbereich den größten Effekt auf die Bilanzgrößen Direktabfluss und Grundwasserneubildung.

7 Zusammenfassung

In diesem Modellierungsleitfaden wurde eine breite Palette von Themen im Zusammenhang mit GIS-basierter Modellierung im Kontext der Klimaresilienz behandelt. Verschiedene Modellierungsansätze, Datenquellen und Anwendungsempfehlungen wurden gründlich diskutiert, um Leser:innen ein umfassendes Verständnis und nützliche Werkzeuge zur Verfügung zu stellen. Der Leitfaden dient insbesondere als Wegweiser für die Anwendung des GIS-Tools zur Bestimmung von Betroffenheits- und Potenzialräume im Rahmen der Starkregenvorsorge.

Es ist wichtig zu betonen, dass die präsentierten Modelle und Empfehlungen als Ausgangspunkt dienen sollen. Jede städtische Umgebung ist einzigartig, und es ist entscheidend, die spezifischen Gegebenheiten und Bedürfnisse jeder Stadt zu berücksichtigen. Die Anwender:innen werden ermutigt, die hier vorgestellten Ansätze an die individuellen Herausforderungen und Ziele ihrer Gemeinden anzupassen und zu erweitern. Die Arbeit an Umweltthemen ist ein fortlaufender Prozess, und neue Daten, Methoden und Erkenntnisse werden kontinuierlich fortgeschrieben und optimiert. Es ist daher ratsam, auf dem Laufenden zu bleiben und die Modelle und Strategien regelmäßig zu überprüfen und anzupassen.

Vielen Dank für das Interesse an diesem Modellierungsleitfaden, und wir freuen uns auf weitere Fortschritte und Entwicklungen in diesem Bereich. Bei Fragen oder Anmerkungen stehen Ihnen die Autoren des Modellierungsleitfadens gerne zur Verfügung.