

LEITFADEN MODELLBASIERTE URBANE ÜBERFLUTUNGSVORSORGE

Stefan Reinstaller¹, Roman Maier¹, Cornelia Jöbstl², Rudolf Hornich² und Dirk Muschalla¹

¹Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz

² Amt der Steiermärkischen Landesregierung



Leitfaden

Modellbasierte Urbane Überflutungsvorsorge

Version Mai 2020

Autoren Stefan Leitner¹, Roman Maier¹, Cornelia Jöbstl², Rudolf Hornich² und Dirk Muschalla¹

1) Technische Universität Graz

2) Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Projektpartner

- Stadtvermessungsamt der Stadt Graz



- Abteilung für Grünraum und Gewässer der Stadt Graz



- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 14 Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit



- Technische Universität Graz



Studienergebnisse - keine
rechtliche Relevanz

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	AB-1
TABELLENVERZEICHNIS	T-1
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	A-1
1. EINLEITUNG	1
1.1. Projektinhalt	1
1.2. Motivation und Ziele	1
1.3. Erstellung des vorliegenden Leitfadens	2
1.4. Begriffe	3
1.5. Struktur des Leitfadens	5
2. ARBEITSPAKET 1: VORUNTERSUCHUNG	7
2.1. Datengrundlage	8
2.2. Fließweganalyse	9
2.3. Überstaunachweis	10
2.4. Kritische Infrastruktur und potentiell gefährdete Gebiete	11
2.5. Ortsbegehung	11
2.6. Ergebnis aus Arbeitspaket 1	12
3. ARBEITSPAKET 2: DETAILANALYSE.....	13
3.1. Systemdefinition	14
3.1.1. Teilsysteme	14
3.1.2. Modellvoraussetzung	15
3.2. Nationale Bemessungsrichtlinien	15
3.2.1. Hanglage	15
3.2.2. Urbane Fließgewässer.....	16
3.2.3. Kanalsystem	16
3.3. Integrierte Überflutungsmodellierung	17
3.3.1. Modell-Layer-Konzept.....	17
3.3.2. Hydrologie	18
3.3.2.1. Abflussbildung.....	18
3.3.2.2. Vergleich der Infiltrationsansätze	19
3.3.2.3. Hydrological Response Units (HRU)	19
3.3.3. Hydraulische Berechnung	20
3.3.3.1. 2D-Oberflächenabflusssimulationen	21
3.3.3.2. Gekoppelte 1D-2D Ansätze	21
3.3.3.3. Mindestanforderung für die Teilmodelle des integrierten Überflutungsmodells.....	22
3.4. Wahl der Modellparameter und Sensitivitätsanalyse	23
3.5. Belastungsszenarien	24

3.5.1. Starkregenereignis.....	24
3.5.2. Einfluss des Niederschlagsverteilung auf die Modellierung	25
3.5.3. Bestimmung der maßgeblichen Dauerstufe	26
3.5.4. Empfehlung für die Modellszenarien	27
3.6. Modellüberprüfung	28
3.7. Ergebniss Arbeitspaket 2	28
4. ARBEITSPAKET 3: RISIKOANALYSE	30
4.1. Methodik	31
4.2. Überflutungsrelevante Schadensobjekte	31
4.3. Schadenspotentialanalyse	31
4.3.1. Datengrundlage zur Ermittlung des Schadenspotential	32
4.3.2. Erstellung der Schadenspotentialkarten.....	33
4.4. Gefährdungsanalyse	34
4.4.1. Datengrundlage der Gefährdungsanalyse	34
4.4.2. Erstellung von belastungsabhängigen Gefährdungskarten	35
4.5. Risikoanalyse	37
4.5.1. Berechnungsansätze zur Bestimmung des Risikos.....	37
4.5.2. Aufstellen der Risikomatrix	38
4.5.3. Erstellen der Risikokarten.....	38
4.6. Ergebnisse des Arbeitspaketes 3	40
5. FALLBEISPIEL „ANNABACH“	41
5.1. Voruntersuchung	41
5.1.1. Datengrundlage	41
5.1.1.1. Beschreibung des Projektgebietes	41
5.1.1.2. Notwendige Daten für das Annabach EZG.....	43
5.1.2. Ortsbegehung.....	44
5.1.3. Hot-Spot Analyse	45
5.1.3.1. Fließweganalyse	45
5.1.3.2. Überstaunachweis	46
5.1.3.3. Kritische Infrastruktur und potentiell gefährdete Gebiete	47
5.1.3.4. Ergebnis der Hot Spot Analyse	48
5.2. Detailanalyse	50
5.2.1. Systemdefinition.....	50
5.2.1.1. Teilsysteme.....	50
5.2.2. Integrierte Überflutungsmodellierung	50
5.2.2.1. Modell-Layer-Konzepte	50
5.2.2.2. Integrierter Modellansatz	51
5.2.2.3. Verwendete Modell-Layer.....	51
5.2.2.4. Räumliche Diskretisierung	52
5.2.2.5. Wahl der Modellparameter	52
5.2.2.6. Integriertes Überflutungsmodell des Annabach EZG	54
5.2.3. Belastungsszenarien.....	54
5.2.4. Modelergebnisse	55
5.2.5. Modellüberprüfung	57
5.3. Risikoanalyse	58

5.3.1. Schadenspotentialanalyse.....	58
5.3.2. Gefährdungsanalyse	58
5.3.3. Risikoanalyse	60
5.3.4. Diskussion der Ergebnisse aus der Risikoanalyse	62

LITERATURVERZEICHNIS.....	63
----------------------------------	-----------

ANHANG	AN-1
---------------------	-------------

Anhang A: Checkliste des Leitfadens	AN-1
-------------------------------------	------

Anhang B: Hot-Spot Karte Annabach	AN-1
-----------------------------------	------

Anhang C: Schadenspotentialkarten	AN-1
-----------------------------------	------

Anhang D: Gefährdungskarten	AN-1
-----------------------------	------

Anhang E: Risikokarten	AN-1
------------------------	------

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablaufdiagramm und Checkliste des Leitfadens Modelbasierte Urbane Überflutungsvorsorge	6
Abbildung 2: Auszug aus dem Gesamtablaufdiagramm für das AP 1	7
Abbildung 3: Funktionsweise der D8-Methode (ESRI 2016).....	10
Abbildung 4: Möglichkeit einer Darstellung einer Hot Spot Karte in einem städtischen Untersuchungsgebiet (Kombination aus:, Lokalisierung Kritischer/Sensible Infrastrukturobjekte, Fließweganalyse und Überstauereignisse aus der Kanalisation(DWA, 2013))	12
Abbildung 5: Auszug aus dem Gesamtablaufdiagramm für das zweite Arbeitspaket	13
Abbildung 6: links) Schematische Darstellung der Teilsysteme, rechts) Interaktionen zwischen den Teilsystemen (Leitner 2018).....	14
Abbildung 7: Gefahrenhinweiskarte durch Hangwasser in der Steiermark (Das Land Steiermark, 2018).....	15
Abbildung 8: Ausschnitt der Hochwassergefahrenkarte im Grazer Stadtgebiet (niedrige Wahrscheinlichkeit (orange), mittlere Wahrscheinlichkeit (hellblau) , hohe Wahrscheinlichkeit (dunkelblau)) (Das Land Steiermark, 2018)	16
Abbildung 9: Empfohlene Zielgrößen für den rechnerischen Nachweis für das Kanalsystem (oben: für einfache Verfahren, unten: komplexe Verfahren) (ÖNORM EN 752, 2008)	17
Abbildung 10: Generelles Modell-Layer Konzept für jedes vorhanden Teilsystem im Projektgebiet (Leitner, 2018)	18
Abbildung 11: Landnutzungsklassen (HRUs) der einzelnen Teilsysteme.....	20
Abbildung 12 Beispiel eines Differenzenplot eines Einzugsgebiet in Graz (Wasserstanddifferenz errechnet sich aus Szenario mit Entwässerungssystem und ohne Entwässerungssystem) (Schwingshandl et al. 2020)	21
Abbildung 13: Gekoppelter 1D-2D Modellansatz zwischen 1D Kanalmodell und 2D Oberflächenabflussmodell (DWA-M 119, 2016)	22
Abbildung 14: Beispiel für eine 1D-2D Modellkoppelung eines Fließgewässers (links: Modell, rechts: Modellergebnisse) (Beck, 2016).....	22
Abbildung 15: Vergleich der unterschiedlichen Niederschlagstypen bezogen auf den Oberflächenabfluss (Niederschlagsvolumen ist für jedem Belastungsfall derselbe: P= 70 mm, T = 20a, Dauerstufe = 4h)	26
Abbildung 16: Demonstrationsbeispiel zur Bestimmung der maßgeblichen Dauerstufe für ein Untersuchungsgebiet....	26
Abbildung 17: Ausschnitt eines integrierten Überflutungsmodells zur Bestimmung der Überflutungsfläche aufgrund eines Starkregenereignisses (oben: integriertes Überflutungsmodell, unten: maximalen Wasserstände an der Oberfläche > 0,05 Meter)	29
Abbildung 18: Auszug aus dem Ablaufdiagramm für das Arbeitspaket 3.....	30
Abbildung 19: Grundsätzliche Methodik zur Erstellung von Risikokarten zur urbane Überflutungsvorsorge	31
Abbildung 20: Methodisches Vorgehen bei der Schadenpotentialanalyse (DWA-M 119, 2016)	32
Abbildung 21: Empfehlung bezüglich der Schadenpotentialklassifizierung für Gebäudeschäden (DWA-M 119, 2016)	33
Abbildung 23: Schadenspotentialkarten in Abhängigkeit des Schadensobjektes Gebäudeschaden	34
Abbildung 24: Empfehlungen für die Gefährdungsklasseneinteilung durch fluviale Hochwässer in Österreich) links: Ausweisung von Überflutungsflächen in gelbe und rote Gefahrenzonen (BMLFUW, 2016) ii) rechts: Einteilung von	

Überflutungsbereiche für Verkehrsflächen für ruhenden Verkehr bezüglich Kombination aus Fließgeschwindigkeit und Wasserstand (BMLFUW, 2015)	36
Abbildung 25: Ausschnitt einer Gefahrenhinweiskarten bezogen auf das Objekt Gebäudeschaden basierend auf die Klassifizierung in Deutschland.....	37
Abbildung 26: Risikomatrizen für das Objekt Gebäude mit einer Niederschlagsbelastung auf Basis den empfohlenen Modellregen mit den Wiederkehrzeiten T=30a, T=50a und T=100a (in Anlehnung an DWA-M 119).....	38
Abbildung 27: Beispiel für eine Risikokarte auf Basis des modifizierten Additionsansatzes nach (Scheid, 2018) für eine reale Niederschlagsbelastung mit einer Wiederkehrzeit von 20 Jahren	39
Abbildung 28: EZG Annabach (links: Lage des Einzugsgebiet (rot) innerhalb des Grazer Stadtgebietes, rechts: EG mit dem DGM sowie den Gebäudegrundrissen).....	41
Abbildung 29: Annabach EZG mit dem Entwässerungssystem (Mischwasserkanal (MW) gelb, Regenwasserkanal (RW) blau) sowie der Lage des Fließgewässers	42
Abbildung 30: Einarbeiten der Gehsteig Bordkanten sowie den Zaunsockeln und Mauerwerke (rechts: DGM vor der Bruchkanten Einarbeitung, links: DGM nach der Bearbeitung).....	44
Abbildung 31: Ergebnis aus der topographischen Fließweganalyse (Einteilung in 4 Abflussakkumulationsklassen)	46
Abbildung 32: Ergebnis aus dem Überstaunachweis – Die gekennzeichneten Schächte weisen mindestens einen Überstau für die Langzeitsimulation auf.....	47
Abbildung 33: Kritische Infrastruktur Objekte innerhalb des Annabach EZG	48
Abbildung 34: Hot Spot Analyse als Endergebnis der Voruntersuchung (Kombination aus: Fließweganalyse, Überstaunachweis, vergangener Ereignisse sowie Kritische Infrastruktur Objekte)	49
Abbildung 35: Ablaufdiagramm des Modell Konzeptes für das Annabach EZG (Leitner, 2018).....	51
Abbildung 36: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Modellparameter: Rauigkeit nach Mannig (hydrologisch und hydraulisch), Verlustgrößen (Mulden + Interzeptionsverluste), Fließbreite des hydrologischen Modells	54
Abbildung 37: Ausschnitt aus dem integrierten Überflutungsmodell für das Annabach EZG (HRU-Modell, Kanalmodell, Oberflächenabflussmodell (Urbaner Raum, Urbanes Fließgewässer und Hanglage))	54
Abbildung 38: Modellergebnisse aller Modellszenarien für ein Teilgebiet des Annabach EZG (links: maximalen Wasserstände > 0,01 m , rechts: maximale Fließgeschwindigkeit > 0,1 m/s)	56
Abbildung 39: Modellverifizierung mit Hilfe von Einsatzdaten der Berufsfeuerwehr Graz (links: Ereignis 2009, rechts: Ereignis 2013).....	57
Abbildung 40: Schadenspotentialkarte des Objektes Gebäude für ein Teilgebiet des Annabach EG.....	58
Abbildung 41: Gefahrenkarten für die jeweiligen Modellszenarien eines Teilgebietes des Annabach EZG (Oben: Starkregenereignis 2009 T=25a, Mitte: Modellregen T= 50a, Unten: Modellregen T=100a).....	59
Abbildung 42: Risikokarten für die jeweiligen Modellszenarien eines Teilgebietes des Annabach EZG (Oben: Starkregenereignis 2009 T=25a, Mitte: Modellregen T= 50a, Unten: Modellregen T=100a).....	61
Abbildung 43: Identifiziertes Risikoobjekt am Oberlauf des Annabach Gerinnes, in der Nähe des Regenrückhaltebeckens (links: Szenario 2009, mitte: T=50a, rechts: T=100a).....	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definition der Arbeitspakete mit den jeweiligen Ergebnisse	5
Tabelle 2: Mindestanforderung für die Datengrundlage einer modellbasierenden urbanen Überflutungsvorsorge	9
Tabelle 3: Mindestanforderungen für die Modell-Layer (Hydrologie und Hydraulik)	23
Tabelle 4 Relevante Modellparameter mit ihren Wertebereichen aus der Literatur und den zugehörigen Unsicherheiten	24
Tabelle 5: Empfehlungen der Belastungsszenarien für die urbane Überflutungsvorsorge (markierte rechte Seite stellt die Empfehlung bezüglich Niederschlagsbelastungen dar).....	27
Tabelle 6: Möglichkeiten der Modellverifizierung	28
Tabelle 7: Datengrundlage der objektabhängigen Schadenpotentialanalyse	33
Tabelle 8: Datengrundlage der belastungsabhängigen Gefährdungsanalyse	35
Tabelle 9: Definition der Gefährdungsklassen für das Objekt Gebäudeschaden in Deutschland (DWA-M 119,2016).....	36
Tabelle 10: Empfehlung für die Definition der Gefährdungsklassen mit den Grenzwerten für die Kombination aus Wasserstand und Fließgeschwindigkeit in Australien (Smith et.al., 2014; Ball et.al., 2019)	36
Tabelle 11: Empfehlung für die Einteilung der Gefährdungsklassen in Abhängigkeit des Wasserstandes und Fließgeschwindigkeit für die urbane Überflutungsvorsorge in Nordamerika (CHLwater, 2018).....	37
Tabelle 12: Risikoansätze zur Berechnung des Risikos	38
Tabelle 13 : Anzahl der jeweiligen Gebäudetypen im Annabach EZG.....	42
Tabelle 14: Zusammenfassende Beschreibung des Annabach EG	43
Tabelle 15: Relevante Ereignisse für den Überstaunachweis	46
Tabelle 16: Teilsysteme im Annabach EZG mit den Interaktionen zwischen den Teilsystemen	50
Tabelle 17: Schematische Darstellung der Layer-Konzepte für die Überflutungsmodellierung in den jeweiligen Teilsysteme des Annabach EZG (Leitner, 2018)	51
Tabelle 18: Verwendete Modellansätze für die Erstellung eines integrierten Überflutungsmodell für das Annabach EZG	52
Tabelle 19: Wertebereiche der relevanten Modellparameter aller HRUs mit ihren Sensitivitäten (rot: hoch sensitiv, orange: sensitiv, grün: mittel sensitiv, weiß: gering sensitiv)	53
Tabelle 20: Auswertung der Niederschlagsereignisse im Jahr 2009 und 2013	55
Tabelle 21: Modellszenarien für die modellunterstützte urbane Überflutungsvorsorge	55

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
DGM	Digitale Geländemodell
DKM	Digitale Kataster Mappe (Grundstück)
EZG	Einzugsgebiet
HRU	Hydrological Response Units
HRUs	Hydrologische Landnutzungsklassen
I [mm]	Infiltrationsvolumen
MW	Mischwasserkanal
P [mm]	Niederschlagsvolumen
Peff [mm]	effektiver Niederschlag
R	Risiko
RW	Regenwasserkanal
S	Schadenspotential
Si [mm]	Interzeptionsverlust
So[mm]	Muldenverlust
TB _i	Toolbox

1. Einleitung

1.1. Projektinhalt

Der vorliegende Leitfaden wurde im Zuge des Interreg Central Europe-Projektes RAINMAN erstellt. Innerhalb dieses Projektes beschäftigen sich sechs EU-Mitgliedstaaten (Deutschland, Tschechien, Polen, Ungarn, Kroatien und Österreich) mit der Bewertung von Starkregenrisiken unter verschiedenen vordefinierten Szenarien und Landnutzungen (urbane oder rurale Nutzung) in Zentraleuropa. Als Projektziel werden bis Juni 2020 fünf Werkzeuge ausgearbeitet, die in einer Toolbox (TB) zusammengeführt werden, welche folgende Themen beinhalten:

- TB1: Bewertungs- und Kartierungswerkzeuge für Starkregenrisiken
- TB2: Umsetzungshilfe für risikomindernde Maßnahmen, Warnung und Krisenmanagement
- TB3: Empfehlungen für Hochwasserrisikomanagementpläne
- TB4: Werkzeuge zur Sensibilisierung und Akteursbeteiligung
- TB5: Katalog von guten Maßnahmenbeispielen aus der Praxis

Diese Werkzeuge sollen lokalen und regionalen Behörden, Planerinnen und Planern sowie der Bevölkerung bezüglich des Umweltrisikomanagements unterstützen. Der vorliegende Leitfaden repräsentiert ein Werkzeug für Bewertungs- und Kartierungswerkzeuge für Starkregenrisiken (TB1) und richtet sich sowohl an fachkundigen Planerinnen und Planer als auch an Behörden der städtischen Verwaltung.

1.2. Motivation und Ziele

Aufgrund der Urbanisierung nimmt der Versiegelungsgrad in städtischen Gebieten immer mehr zu, wodurch die Wahrscheinlichkeit von Überflutungsereignissen zunimmt (Krebs, 2016). Dies liegt daran, dass das Niederschlagsvolumen aufgrund eines Starkregenereignisses nur mehr ungenügend in den Untergrund versickern kann, oder auf der Fläche zurückgehalten wird. Daher nimmt der Anteil an Niederschlagswasser, welcher an der Oberfläche zum Abfluss kommt, zu. Diesen Oberflächenabfluss kann das kommunale Entwässerungssystem in den meisten Fällen nicht mehr aufnehmen beziehungsweise abführen, wodurch es zu Überstauereignissen mit Schadensfolge kommen kann (Überflutungsereignis).

Zusätzlich konnte in den letzten Jahren eine Zunahme dieser Überflutungsereignisse infolge lokaler Starkregenereignisse hervorgerufen durch den globalen Klimawandel beobachtet werden (Huong und Pathirana, 2013). Es werden innovative Methoden benötigt, um die überflutungsgefährdete Gebiete im städtischen Bereich lokalisieren zu können.

Ziel dieses Leitfadens ist es eine Grundlage für die modellunterstützte Überflutungsvorsorge in urbanen Raum für Planerinnen und Planern zu schaffen. Das Endprodukt dieses Leitfadens sind Risikokarten, mit deren Hilfe können die überflutungsgefährdeten Gebiete innerhalb eines Einzugsgebietes lokalisiert werden. Diese Karten stellen eine Grundlage dar, um geeignete Maßnahmen für eine Reduktion des Überflutungsrisikos abzuleiten.

Dabei bezieht sich der vorliegende Leitfaden nicht nur auf die alleinige Gefährdung durch pluviale oder fluviale Hochwässer, sondern berücksichtigt auch eine Kombination aus beiden. Da insbesondere in urbanen Gebieten die Überflutungsgefährdung durch mehrere Prozesse beeinflusst wird, ist eine integrierte Methodik in diesem Kontext anzustreben. Daher werden die Ursachen für Überflutungen durch pluviales Hochwasser

(Hangwasser sowie Überstauereignisse aus der Kanalisation) und fluviale Hochwässer (Überflutungen durch Fließgewässern) berücksichtigt.

1.3. Erstellung des vorliegenden Leitfadens

Die Erstellung des vorliegenden Leitfadens zur modellbasierten urbanen Überflutungsvorsorge wird in drei Phasen erfolgen. Innerhalb der Phase 1 wird eine Basisversion erarbeitet, wodurch der Stand der Wissenschaft definiert wird. Dieser Teil beinhaltet auch ein Fallbeispiel als Demonstrationsbeispiel für die Anwendung. Anschließend werden auf Basis dieser Version des Leitfadens zusätzliche Fallbeispiele von Planungsbüros untersucht, um die Umsetzbarkeit in der praktischen Planung zu überprüfen bzw. zu testen. Dies stellt Phase 2 der Erstellung dar. Abschließend werden in Phase 3 die Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen aus Phase 2 übernommen und in die Basisversion eingearbeitet. Nachfolgend sind die drei Phasen zusammenfassend dargestellt:

- Phase 1: Stand der Wissenschaft
- Phase 2: Feedback durch Anwendung auf zusätzliche Fallstudien, welche von Planungsbüros durchgeführt wird
- Phase 3: Evaluierung des Leitfadens

1.4. Begriffe

Für viele Begriffe im Kontext der Urbanen-Überflutungsvorsorge werden in Fachkreisen unterschiedliche Definitionen verwendet. In diesem Abschnitt sollen alle Begriffe erläutert werden, die bezüglich dieser Thematik relevant sind. Alle in diesem Leitfaden angewendeten Begriffe werden auf Grundlage der nachfolgenden Definitionen verwendet. Die Definitionen wurden vorwiegend aus einzelnen nationalen Regelblättern Normen und Leitfäden übernommen (DWA-M 119, 2016; ÖNORM EN 752, 2008; ÖWAV Regelblatt 11, 2009).

- **Einzugsgebiet (ÖWAV Regelblatt 11)**

Gebiet in dem ein Abfluss zu einem Entwässerungssystem oder einem Gewässer generiert wird.

- **Dauerstufe (ÖNORM EN 752)**

Zeitspanne oder Dauer eines realen Regenereignisses oder eines Modellregens

- **Überflutungsgefahr (DWA M 119)**

Methode zur Lokalisierung von Objekten, welche in Abhängigkeit einer bestimmten Auftrittswahrscheinlichkeit von Überflutungsereignissen im urbane Gebiet gefährdet sind

- **Maximale Fließzeit (ÖWAV Regelblatt 11)**

Zeit die der Abfluss an der Oberfläche benötigt, um von einem festen Punkt im Einzugsgebiet zu seinem weitesten entferntesten Punkt zu fließen.

- **Regenintensität (ÖNORM EN 752)**

Niederschlagshöhe (in den meisten Fällen in Millimeter [mm]) pro Zeiteinheit [min, h, d]

- **Überflutungsrisiko (DWA M 119)**

Bestimmung/Berechnung des Überflutungsrisikos auf ein betrachtetes Objekt (Koppelung aus Schadenspotential und Gefährdung).

- **Schadenspotential (DWA M 119)**

Methode zur Bestimmung des objektbezogenen Potential für ein Auftreten eines Schadens. Dabei wird der Schaden differenziert betrachtet (physisch-non human, physisch-human und ökologisch). In einigen Regelblättern wird für das objektbezogene Schadenspotential auch der Begriff Vulnerabilität (Verletzbarkeit) verwendet.

- **Starkregen (DWA M 119)**

Kombination eines Ereignisses aus kurzer Dauerstufe mit gleichzeitig hoher Regenintensität

- **Urbane Sturzfluten (DWA-M 119)**

Kurzfristiger intensiv auftretender Oberflächenabfluss im urbanen Gebiet aufgrund eines lokalen Starkregenereignisses.

- **Überflutung (ÖNORM EN 752)**

Niederschlagswasser und/oder Schmutzwasser tritt entweder aus dem Entwässerungssystem aus, oder kann nicht in das Entwässerungssystem eintreten, wodurch das Wasser an der Oberfläche verweilt und zu einer Schädigung eines Objektes (z.B. Gebäude) führt.

- **Überstau (ÖWAV-Regelblatt 11)**

Zustand des Entwässerungssystems, bei dem der Wasserstand eine vordefinierte Bezugshöhe übersteigt, jedoch noch kein objektbezogener Schaden auftritt.

- **Wiederkehrzeit (ÖWAV-Regelblatt 11)**

Kehrwert der Häufigkeit, oder mittlere Zeitspanne (meistens in Jahren ausgedrückt) in der ein Ereignis einen Wert erreicht oder überschreitet. Diese nimmt mit selten auftretenden Ereignissen zu.

1.5. Struktur des Leitfadens

Der vorliegende Leitfaden wird in sogenannten Arbeitspakete eingeteilt. Welche jeweils einen Ergebnis als Endergebnis haben(siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Definition der Arbeitspakete mit den jeweiligen Ergebnisse

Arbeitspaket (AP)	Ergebnis der Arbeitspakete
AP 1: Voruntersuchung	Hot Spot Karte
AP 2: Detailanalyse	Kalibriertes integriertes Überflutungsmodell
AP 3: Risikoanalyse	Risikokarten für alle Belastungsszenarien

Das **Arbeitspaket 1** stellt eine grobe Voruntersuchung dar. Da sich der Leitfaden mit der Überflutungsproblematik im urbanen Gebieten beschäftigt und die Einzugsgebiete große Flächen aufweisen können, ist die Aufgabe der Voruntersuchung, die potentiell gefährdeten Gebiete innerhalb eines Einzugsgebietes zu lokalisieren. Zusätzlich sind diese Gebiete für die Erstellung des integrierten Überflutungsmodells notwendig, da an diesen Stellen eine Netzverfeinerung zielführend ist. Dadurch kann ein erheblicher und unnötiger Arbeitsaufwand eingespart werden und das Modell liefert an den relevanten Stellen genauere Ergebnisse. Ebenso wird die notwendige Datengrundlage für alle weiteren Arbeitspakete an dieser Stelle definiert.

Der Hauptfokus des **Arbeitspakete 2** liegt auf der modellbasierten Analyse von Überflutungsszenarien durch Starkregenereignisse, welche in weiterer Folge als Grundlage für die Risikoanalyse verwendet wird. Dabei wird auf die Methodik zur Erstellung eines integrierten Überflutungsmodells, die Definition der Belastungsszenarien sowie auf die Modellüberprüfung eingegangen.

Das **Arbeitspaket 3** beschäftigt sich mit der Erstellung von sogenannten Risikokarten aufgrund lokaler urbaner Sturzfluten. Für die Berechnung des Risikos ist eine Verschneidung des objektbezogenen Schadenspotentials mit der Gefährdungsanalyse notwendig. Als Endprodukt werden für die in **Arbeitspaket 2** definierten Belastungsszenarien in Abhängigkeit der gewählten Wiederkehrzeiten die jeweiligen Risikokarten erstellt.

Abschließend wird die im Leitfaden beschriebenen Methodik zur Urbanen Überflutungsvorsorge anhand des **Fallbeispiels ANNABACH** demonstriert. In Abbildung 1 sind alle im Leitfaden enthaltenen Arbeitspakete sowie Zwischenschritte zusammenfassend in einem Ablaufdiagramm dargestellt. Dieses Diagramm ist dem Anhang in Form einer Checkliste beigelegt.

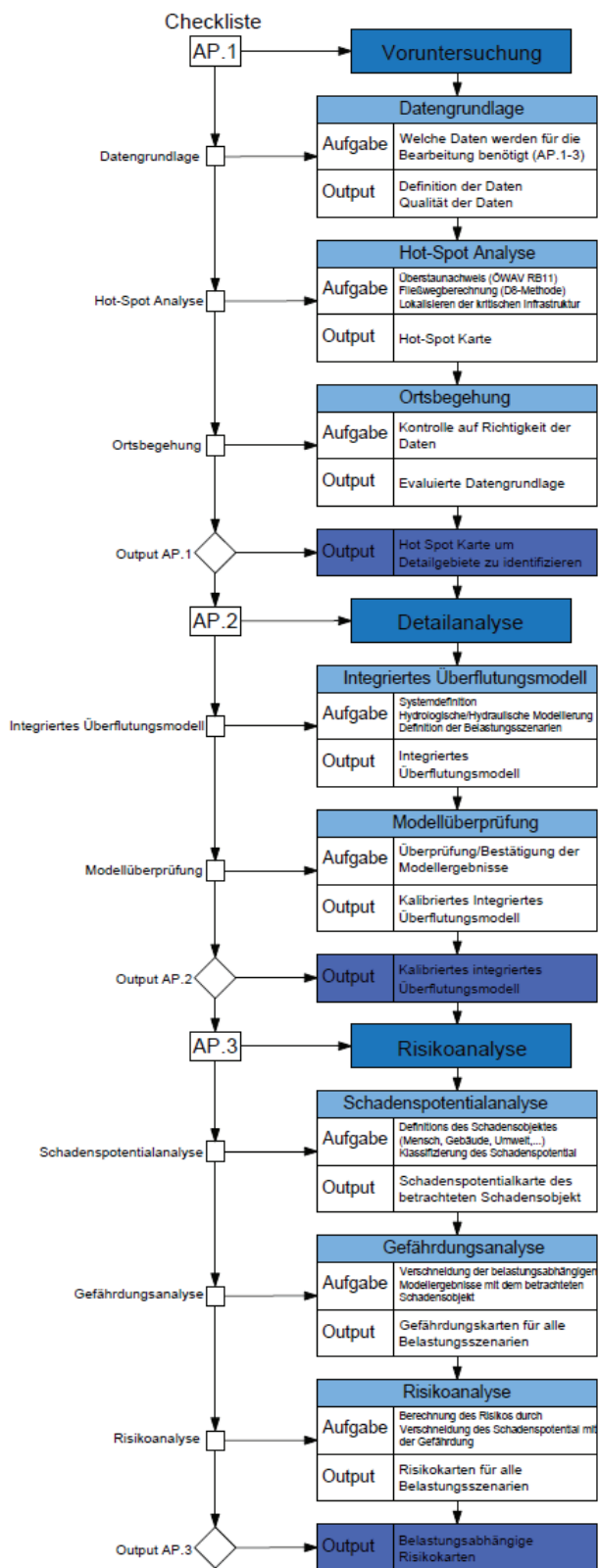


Abbildung 1: Ablaufdiagramm und Checkliste des Leitfadens Modelbasierte Urbane Überflutungsvorsorge

2. Arbeitspaket 1: Voruntersuchung

Dieses erste Arbeitspaket soll die Frage beantworten, welche Gebiete innerhalb eines Einzugsgebietes im Detail bezüglich der Gefährdung durch urbane Überflutungen untersucht werden sollen. Das Ergebnis dieses Arbeitspaketes sind die sogenannten Hot Spot Karten, welche die Problemzonen bezüglich Überflutungen innerhalb einer ganzen Stadt beziehungsweise eines großen Einzugsgebietes identifizieren. Durch diese Hot Spot Karten kann der Aufwand bezüglich Modellerstellung in großen Einzugsgebieten (gesamtes Stadtgebiet) sowie Simulationszeiten deutlich verringert werden, da eine detaillierte Modellierung nur an den lokalisierten Problemzonen durchgeführt wird. Zusätzlich kann bei kleineren Einzugsgebieten mit Hilfe der Hot-Spot Analyse die Modellerstellung in Arbeitspaket 2 an den lokalisierten Stellen verfeinert werden, um genauere Ergebnisse zu erhalten. An diesen Stellen soll auch die Ortsbegehung primär erfolgen, um abflussrelevante Hindernisse (Brücken, Mauer, Durchlässe, Tiefgarageneinfahrten, usw.) in die Modellerstellung miteinfließen zu lassen.

Ebenso beinhaltet dieses Arbeitspaketes die Definition der benötigten Datengrundlagen, welche für die Bearbeitung dieses sowie der nachfolgenden Arbeitspakete notwendig sind. In diesem Kontext wird auch auf die notwendige Qualität der Daten eingegangen.

In weiterer Folge werden die möglichen Methoden zur Lokalisierung potentiell gefährdeter Gebiete (Hot Spots) im Kontext der urbanen Überflutung durch Starkregenereignisse beschrieben. Dafür wird das nationale Regelwerke ÖWAV RB11“*Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen*“ sowie der belastungsunabhängigen topographischen Methoden zur Bestimmung des Fließweges (*D8-Methode*) verwendet.

Als Endprodukt werden die sogenannten Hot-Spot Karten generiert, welche durch die Kombination des Überstaunachweis mit der Fließweganalyse und der Lokalisierung der kritischen Infrastruktur Objekte (Krankenhäuser, Kindergärten, Schulen usw.) erstellt werden können.

In Abbildung 2 ist dargestellt, wie dieses erste Arbeitspaket in dem gesamten Ablauf des Leitfadens integriert ist.

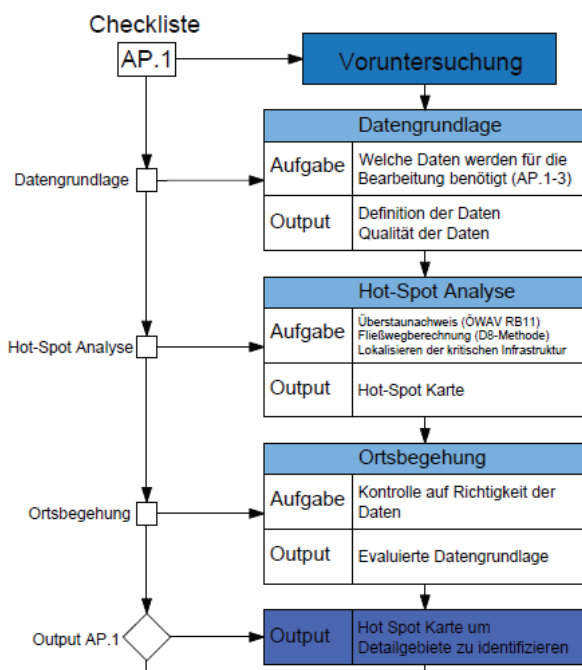


Abbildung 2: Auszug aus dem Gesamtablaufdiagramm für das AP 1

2.1. Datengrundlage

Um eine fundierte, modellbasierte urbane Überflutungsuntersuchung durchführen zu können, werden eine hohe Anzahl an hochqualitativer Daten benötigt. Diese Daten bildet die Grundlage für die in Arbeitspaket 2 und 3 beschriebene Methodik zur modellbasierten urbanen Überflutungsvorsorge.

Bevor die Daten definiert werden, muss eine erste Beschreibung des zu untersuchenden Projektgebietes durchgeführt werden. Dies dient vor allem dazu, die in weiterer Folge benötigten Daten bezüglich der Notwendigkeit und der Qualität besser einschätzen zu können. Hier müssen folgende Punkte geklärt werden:

- Geographie/Struktur des Projektgebietes
- Sind Fließgewässer im Projektgebiet vorhanden?
- Gesamtfläche des Projektgebietes
- Versiegelungsgrad des Projektgebietes
- Sind Hanglagen im Projektgebiet vorhanden?
- Welche Bodenverhältnisse sind im Projektgebiet vorhanden?
- Welche Bebauungsstruktur ist im Projektgebiet vorhanden?

Aus Gründen der Datenverfügbarkeit gewinnen Daten aus „open-source“-Quellen (wie beispielweise der CORINE-Datensatz) immer stärker an Bedeutung. In Tabelle 2 ist die Mindestanforderung an Daten dargestellt, welche für die modellbasierte urbanen Überflutungsvorsorge benötigt werden.

In Fachkreisen wird insbesondere die notwendige Rasterauflösung sowie die notwendige Filterung und Vorglättung des DGM diskutiert. Besonders die Mindestsenkentiefe der Vorglättung stellt einen hochsensitiven Parameter für die Voruntersuchung und die Detailanalyse dar (Scheid, 2018). Die Notwendigkeit von entkoppelten Daten für Bruchkanten und Fließgewässer-Querprofilen ist ebenfalls von der Qualität des verwendeten DGMs abhängig. Zusammenfassend stellt daher ein DGM in hoher Qualität die wichtigste Datengrundlage für die nachfolgenden Arbeitspakete dar.

Wenn ein DGM mit einer Rasterauflösung von kleiner als 0,5 x 0,5 Meter vorhanden ist, kann der Rasterdatensatz für die Bruchkanten entfallen. Es muss allerdings überprüft werden, ob dadurch alle abflussrelevanten Hindernisse (Gehsteig, Garageneinfahrten, Mauern, Zaunsockel usw.) abgebildet werden können. Ab einer Rasterauflösung von größer als 0,5 x 0,5 Meter ist ein eigener Rasterdatensatz für die Bruchkanten erforderlich. Dieser muss in den meisten Fällen aufgrund unzureichender Datengrundlage im Zuge einer Ortsbegehung (siehe Kapitel 2.5) selbstständig generiert werden.

Die Landnutzungsdaten sind vor allem für die Zuweisung der Rauigkeit und den hydrologischen Parametern (Muldenverlust, Interzeptionsverluste, usw.) auf der Oberfläche notwendig. Ebenso werden diese für die Risikoanalyse in Arbeitspaket 3 benötigt, um das objektbezogenen Schadenspotential zu ermitteln.

Da die modellbasierte urbane Überflutungsvorsorge eine belastungsabhängige Methodik darstellt, sind Niederschlagsdaten zwingend notwendig. Diese können (je nach Verfügbarkeit) aus Messungen, oder aus statistischer Auswertungen (online Plattform eHYD (BMNT 2018a)) gewonnen werden.

Tabelle 2: Mindestanforderung für die Datengrundlage einer modellbasierenden urbanen Überflutungsvorsorge

Daten	Anforderung
Digitales Geländemodell (DGM)	mind. 1 x 1 Meter Raster oder genauer
Landnutzungsdaten (CORINE Datensatz)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ versiegelt (Dachflächen, Verkehrsflächen) ▪ unversiegelt (Grünflächen, Wald- und Buschflächen, Ackerflächen)
Hochaufgelöstes Orthophoto	mind. in gleicher Rasterdatenauflösung wie das DGM
Digitaler Grundstückskataster (DKM)	Informationen zum Grundstück (Baujahr, Grundstücksfläche, Grundstücksgrenze, usw.)
Digitaler Kataster zum Entwässerungssystem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Haltungen (Dimension, Länge, Querschnitt) ▪ Knoten (Höhenlage, angeschlossene Flächen) ▪ Sonderbauwerke (Überlaufbauwerke mit allen relevanten Geometrien)
Bruchkanten	Bordsteinkanten (mit Garageneinfahrten und anderen Unterbrechungen), Zaunsockel und Mauern
Fließgewässer	Genaue Lage des Fließgewässers als Linienelement, sowie ev. Querprofile in geeigneter Auflösung (<50 Meter)
Daten zu Überflutungsereignissen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatzdaten von der Feuerwehr ▪ Schadensmeldungen von Versicherungsunternehmen ▪ Videos/Fotos von sozialen Medien (YouTube, Facebook, usw.)
Niederschlagsdaten	Aufzeichnungen von gemessenen oder statistischen Niederschlagsdaten (Zeitintervall mind. 5 min oder genauer)

2.2. Fließweganalyse

In der Steiermark I stehen aktuell auf dem GIS-Portal des Landes Karten zu Verfügung (GIS-Steiermark 2018), die gewässerbedingte Gefahrenzonen für die Hochwässer HQ30, HQ100 und HQ300 für die Einzugsgebiete der Fließgewässer ausweisen. Diese Gefahrenzonen wurden zum Großteil anhand von Fließweganalyse auf Basis der erweiterten D8-Methode in Kombination mit einer 2D-Oberflächensimulationen durchgeführt und beziehen sich lediglich auf fluviale Überflutungen. Die Fließweganalysen anhand der D8-Methode sind flächendeckend für die ganze Steiermark auf dem GIS-Portal verfügbar. Für den Anwendungsfall in diesem Leitfaden sind diese Analysen ein erster Anhaltspunkt, um etwaige kritische Punkte im Einzugsgebiet zu identifizieren. Außerdem ist die D8-Methode Teil der Voruntersuchung des Einzugsgebiets und soll als Grundlage für den Netzaufbau des 2D-Oberflächenabflussmodells dienen.

Die D8-Methode (deterministic eight neighbors - manchmal auch Rolling-Ball-Methode genannt) wurde ursprünglich von O'Callaghan und Mark (1984) entwickelt und wird aktuell hauptsächlich mit den Adaptierungen von Jenson und Domingue (1988) sowie Fairfield und Leymarie (1991) verwendet. Es handelt

sich dabei um einen unidirektionalen Ansatz bei dem der Abfluss immer nur in eine von 8 möglichen Richtungen fließen kann. Laut (Scheid 2018) ist dieser Ansatz hier für eine Voruntersuchung zulässige, da dessen Schwächen lediglich in der Ebene und auf Plateaus liegen, was bei einem Fokus dieses Leitfadens auf Hanglagen dementsprechend hinfällig wird. Beim Algorithmus werden durch Verwendung von vorhandenen Höheninformationen und durch Anwendung mehrerer Rasteroperationen, Entwässerungssystem, Fließrichtung, Abflussakkumulation sowie Einzugsgebiete bestimmt. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Funktionsweise der Methode. Dabei wird angenommen, dass jede Rasterzelle von acht Nachbarzellen umschlossen wird, auf die der Abfluss erfolgen kann. Wird aufgrund der Höhensituation kein Abfluss generiert, wird von einer Senke gesprochen. Dadurch wird für jede Zelle innerhalb des Einzugsgebietsrasters abhängig von Geländehöhe und Gefällesituation die Ausgaberrichtung von anfallendem Oberflächenabfluss bestimmt, womit sich schlussendlich der Oberflächenabfluss akkumulieren lässt. Durch die Kombination der gewonnenen Informationen lässt sich das Oberflächenentwässerungssystem ermitteln (ESRI 2016).

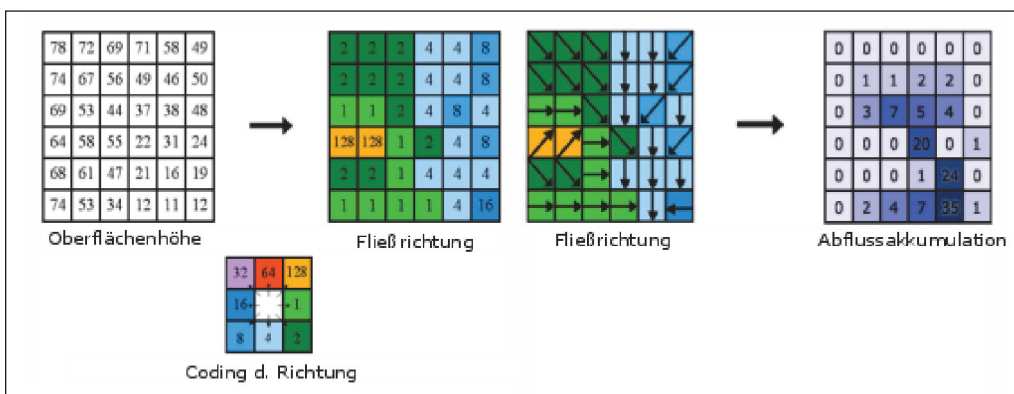


Abbildung 3: Funktionsweise der D8-Methode (ESRI 2016)

Für die Fließweganalyse als Teil der Voruntersuchung in diesem Leitfaden müssen vor der Durchführung der D8-Methode allerdings noch etwaige Senken gefüllt werden, da diese im Hochwasserfall ebenfalls aufgefüllt werden und der Abfluss dahingehend über gefüllte Senken hinwegfließen kann.

2.3. Überstaunachweis

Nachdem mit der Fließweganalyse erste kritische Punkte für die 2D-Analyse auf der Oberfläche gefunden wurden, müssen in einem weiteren Arbeitsschritt auch etwaige Schwachstellen des Kanalsystems aufgezeigt werden. Diese Schwachstellen können anhand eines hydrodynamischen 1D-Modells durch Ausführen eines Überstaunachweises nach ÖWAV Regelblatt 11 (2009) identifiziert werden.

Der Überstaunachweis dient dabei zur Untersuchung der hydraulischen Schwachstellen des Kanalnetzes und sollte bestenfalls mit einem kalibrierten und detaillierten Modell anhand einer mindestens 10 Jahre langen kontinuierlichen Niederschlagsserie durchgeführt werden. Dabei ist es von Vorteil, wenn diese Messserie aus der nächsten Umgebung des Einzugsgebiets, im Idealfall sogar direkt im Einzugsgebiet, gemessen wurde. Leider sind solche Niederschlagsserien bis jetzt noch nicht flächendeckend für Österreich verfügbar, wobei die hydrographischen Dienste der Länder stetig an aktualisierten Messreihen arbeiten und diese frei zugänglich auf ihrem Internetportal zur Verfügung stellen (BMNT 2018b). In Ausnahmefällen kann deswegen mit Modellregen mit den jeweils relevanten Wiederkehrzeiten gearbeitet werden. Bedenken bezüglich des Rechenaufwandes einer Langzeitsimulation eines detaillierten Kanalnetzmodells gehören mittlerweile der Vergangenheit an, da einerseits die Rechenleistung der heutigen Computer ausreicht, um solche Nachweise in vertretbaren Zeiten durchzuführen und andererseits Algorithmen wie von Verworn (1999) und Leimgruber et al. (2018) entwickelt wurden, die den Rechenaufwand zusätzlich um ein Vielfaches reduzieren.

2.4. Kritische Infrastruktur und potentiell gefährdete Gebiete

Als kritische Infrastruktur werden jene Infrastrukturobjekte innerhalb eines Einzugsgebietes definiert, welche eine wesentliche Bedeutung für die Aufrechterhaltung bedeutender Funktionen wie Gesundheit, Sicherheit oder das wirtschaftliche und soziale Wohl innerhalb einer Bevölkerung aufweisen (BMI, 2015). Folgende Objekte werden als Kritische Infrastrukturobjekte deklariert (BBK, 2008):

- Infrastruktur der Energieversorgung (Strom, Mineralöl, Gas)
- Infrastruktur der Informationstechnik und Telekommunikation
- Infrastruktur des Transports- und Verkehrswesen
- Infrastruktur für Gesundheit
- Infrastruktur der Wasserversorgung
- Infrastruktur für Ernährung
- Infrastruktur des Finanz- und Versicherungswesens
- Infrastruktur des Staats und der Verwaltung
- Infrastruktur der Medien und Kultur

Die urbane Überflutungsvorsorge ist eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe, daher sind neben Planungsbüros auch Stadtplaner, Infrastrukturunternehmen, Einsatzkräfte (z.B. Feuerwehr) und Abteilung der städtischen Verwaltung mit involviert. So kann beispielweise das städtische Entwässerungsunternehmen Informationen bezüglich eines problematischen Gebietes dokumentiert haben. Ebenso ist die Feuerwehr ein wichtiger Ansprechpartner bezüglich der Einsatzdaten aufgrund Überflutungen durch lokale Starkregenereignisse. Stadtbäche im bebauten urbanen Gebiet können ebenfalls ein erstes Indiz für eine Problemzone sein. Da neben der Gefährdung aus dem Entwässerungssystem eine Gefährdung durch fluviale Hochwässer besteht. Ebenso können anonymisierte Schadendaten von Versicherungsunternehmen ein gutes Werkzeug sein, um die zu untersuchenden Gebiete zu lokalisieren. Allerdings kann es hier zu Problemen bezüglich des Datenschutzes kommen. Aufgrund dessen ist die Anwendung dieser Daten in vielen Fällen eingeschränkt.

2.5. Ortsbegehung

Die Qualität der Datengrundlage beeinflusst maßgeblich die modellbasierte urbane Überflutungsvorsorge. Die größten Unsicherheiten liegen in der Erhebung der Daten. Die Daten müssen im Zuge einer Ortsbegehung des zu untersuchenden Gebietes evaluiert werden, um diese Unsicherheiten zu minimieren. Eine erste Voruntersuchung kann mittels Street-View über Google Earth erfolgen. Da jedoch in den seltensten Fällen das gesamte Untersuchungsgebiet dadurch erfasst werden kann, ist eine Ortsbegehung zwingend erforderlich. Im Zuge der Ortsbegehung sollen mindestens folgende Punkte überprüft werden:

- Dimension und Lage von Durchlässen (Fließgewässer, Kanalsystem)
- Lage der Bruchkanten (Unterbrechungen durch Garageneinfahrten)
- Lokalisierung von Tiefpunkten (Unterführungen, Tiefgaragen, Keller usw.)
- Lokalisierung von kritischer Infrastruktur (Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser usw.)
- Untersuchung des Fließgewässers (Wasserstand im Trockenwetterfall im Gerinne, Abschätzung Trockenwetterabfluss, Abschätzung Rauigkeiten für Sohle und Böschung).

Als positiven Nebeneffekt im Zuge der Ortsbegehung wird der zuständige Planer das Projektgebiet besser kennenlernen. So entsteht ein besseres Verständnis für etwaige topographische wie auch strukturelle Eigenschaften des Gebietes, wodurch die späteren Rechenergebnisse besser und/oder richtig interpretiert werden. Durch die Verschneidung der topografischen Fließweganalyse, Überstaunachweis und kritischer Infrastrukturen können die potentiell gefährdeten Stellen lokalisiert werden. Diese Stellen sollen im Zuge der Ortsbegehung am detailliertesten auf abflussrelevante Strukturen und Hindernisse untersucht werden.

Einige Einzugsgebiete enthalten auch kleinere Fließgewässer welche im Fall eines Starkregenereignisses hohe Abflussmengen führen können. Da in urbanen Gebieten die Gebäude sehr nahe an den Böschungen des Fließgewässerprofils angeordnet sind, müssen die räumliche Strukturen entlang des Fließgewässers im Zuge der Ortsbegehung ebenso detaillierter aufgenommen werden. Eventuell ist auch eine nachträglich terrestrische Vermessung von Fließgewässerprofilen zielführend, um das Fließgewässer modelltechnisch korrekt abzubilden.

2.6. Ergebnis aus Arbeitspaket 1

Über das Arbeitspaket 1 wurden die Methoden erläutert, über welche potentiell gefährdete Gebiete lokalisiert werden können, sogenannte Hot Spots. Diese Flächen können die Systemgrenzen für die Detailanalyse (Arbeitspaket 2) innerhalb eines großen Projektgebietes darstellen. Ebenso soll die Hot-Spot Analyse auch für kleine Einzugsgebiete durchgeführt werden. In diesem Fall werden mit Hilfe der Hot Spots nicht die Systemgrenzen für die Detailanalyse bestimmt, sondern Problempunkte innerhalb eines Einzugsgebietes identifiziert. Diese Punkte geben einen ersten Hinweis auf erhöhtes Gefährdungspotential durch ein Überflutungsereignis und müssen im Zuge der Detailanalyse besonders genau untersucht und beobachtet werden. In Abbildung 4 sind die Hot-Spots eines Projektgebietes beispielhaft dargestellt.

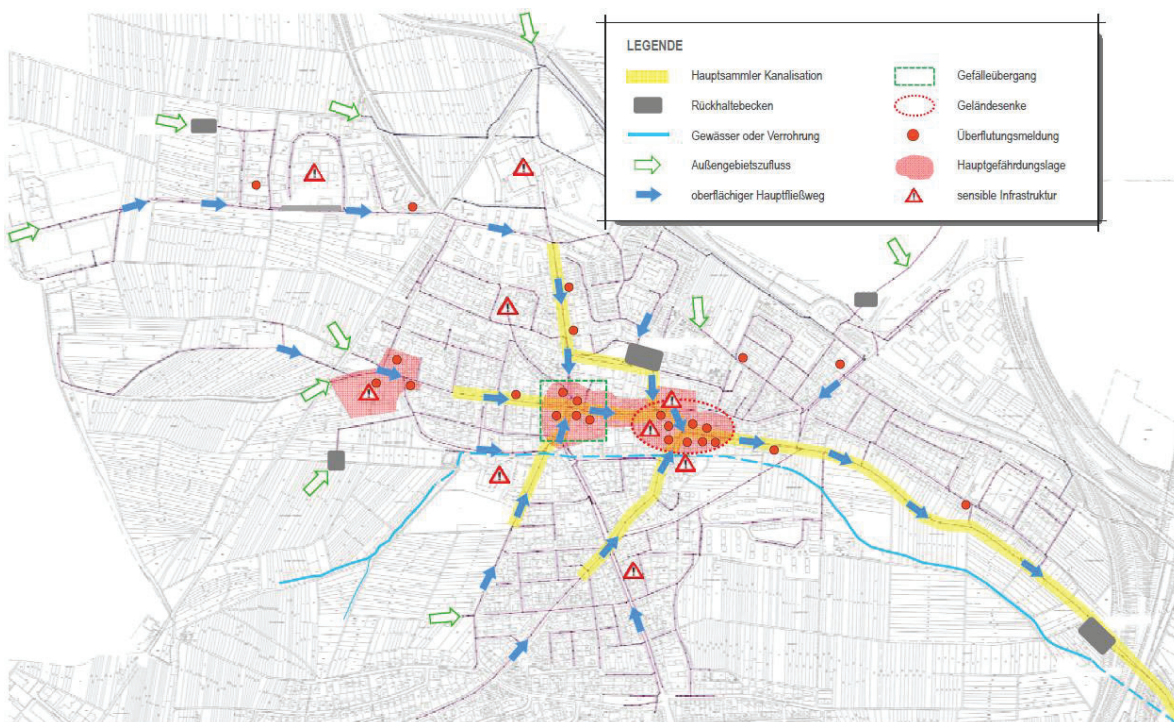


Abbildung 4: Möglichkeit einer Darstellung einer Hot Spot Karte in einem städtischen Untersuchungsgebiet (Kombination aus: Lokalisierung Kritischer/Sensible Infrastrukturobjekte, Fließweganalyse und Überstauereignisse aus der Kanalisation (DWA, 2013))

3. Arbeitspaket 2: Detailanalyse

Die Detailanalyse baut auf den Erkenntnissen der Voruntersuchung auf. Die wesentliche Unterscheidung zu den Inhalten des ersten Arbeitspaketes liegt in der Bestimmung der Fließwege an der Oberfläche in Abhängigkeit von belastungsabhängigen Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten, welche nur mit Hilfe hydrodynamischer Modelle berechnet werden können. In Abbildung 5 ist einsehbar, welche Teilschritt mit welchen Zwischenergebnissen im Arbeitspaket 2 enthalten sind.

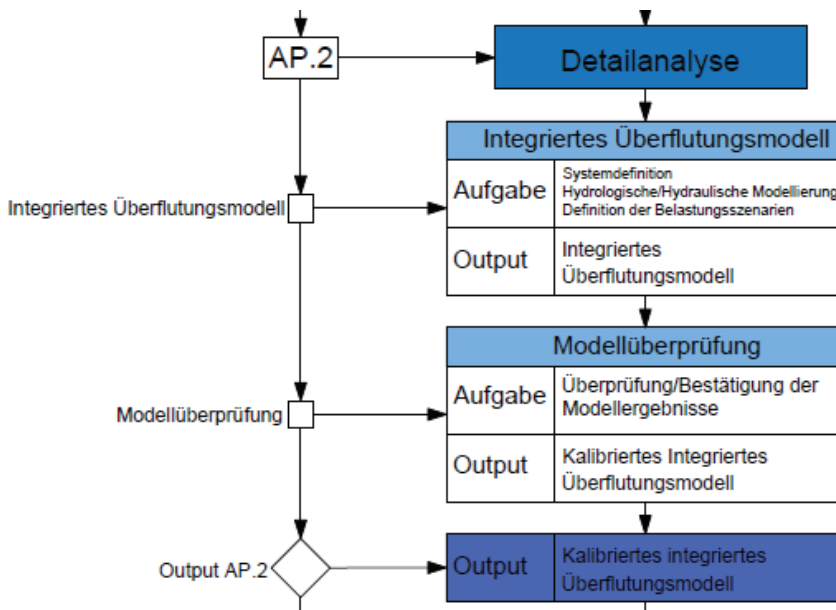


Abbildung 5: Auszug aus dem Gesamtablaufdiagramm für das zweite Arbeitspaket

In einem ersten Teil wird die Frage geklärt, wie das zu erstellende Modell abgegrenzt wird, beziehungsweise welche Prozesse und Teilsysteme in einem urbanen Überflutungsmodell berücksichtigt werden müssen. Diese Systemdefinition ist die Grundlage für die Erstellung eines Überflutungsmodells. In diesem Teil werden Methoden aufgezeigt, wie sich die einzelnen Teilmodelle zu einem Modell integrieren lassen.

Das Endprodukt ist ein integriertes Überflutungsmodell für verschiedene Belastungsszenarien, welches in einem letzten Schritt auf Plausibilität überprüft werden muss. Dabei werden einzelne Methoden der Modellkalibrierung, Modellvalidierung und Modellverifizierung im Kontext der Überflutungsmodellierung aufgezeigt.

3.1. Systemdefinition

3.1.1. Teilsysteme

Speziell in urbanen Gebieten beeinflussen mehrere Prozesse die Abflusstehung infolge eines Starkregenereignisses. Neben dem Abfluss auf der Oberfläche kann auch ein Überstauereignis aus dem Kanal oder einem naheliegenden Fließgewässer maßgeblich zur Abflusstehung beitragen. Aus diesem Grund werden sogenannte Teilsysteme in urbanen Gebieten definiert:

- Teilsystem A: Urbaner Raum (Oberfläche und Kanalsystem)
- Teilsystem B: Urbane Fließgewässer

Mit Urbane Fließgewässer werden vor allem kleiner Fließgewässer bezeichnet, welche direkt an das bebaute Wohngebiet angrenzen.

In Österreich weisen viele Städte an den Randzonen eine hügelige Topographie mit einer heterogenen Bebauungsstruktur auf. Aus diesem Grund wird die Hanglage als weiteres Teilsystem in Zusammenhang mit der Überflutungsproblematik im urbanen Gebieten in Österreich hinzugefügt. Daraus resultieren folgende drei Teilsysteme in urbanen Gebieten (siehe Abbildung 6):

- Teilsystem A: Urbaner Raum (Oberfläche und Kanalsystem)
- Teilsystem B: Urbane Fließgewässer
- Teilsystem C: Hanglage (Oberfläche und eventuell Kanalsystem)

In jedem dieser Teilsysteme wird in weiteren Verlauf ein hydrodynamisches Modell zur Bestimmung der Fließwege erstellt. Dabei müssen auch die Interaktionen zwischen den Teilsystemen berücksichtigt werden, welche sowohl bidirektional als auch unidirektional erfolgen können (siehe Abbildung 6). Durch all diese Zusammenhänge wird deutlich, dass für die Modellierung von Überflutungsereignissen ein integrierter Modellansatz benötigt wird, um die Fließwege realitätsnahe abbilden zu können.

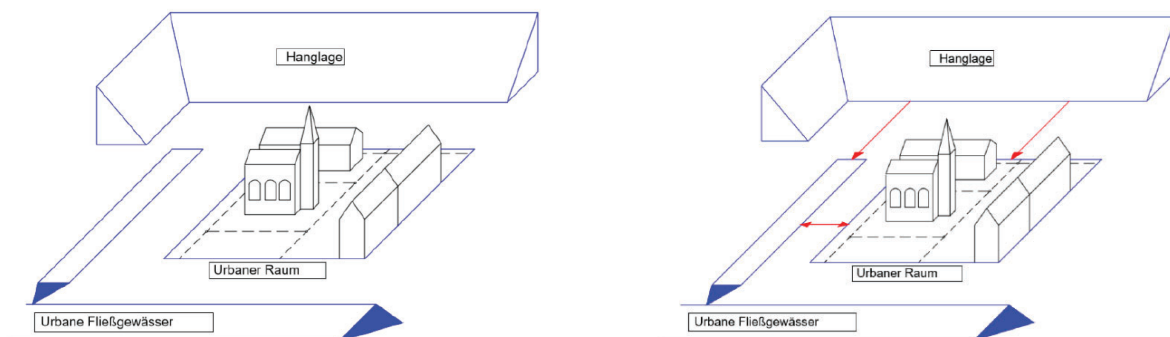


Abbildung 6: (links) Schematische Darstellung der Teilsysteme, (rechts) Interaktionen zwischen den Teilsystemen (Leitner, 2018)

3.1.2. Modellvoraussetzung

Ziel dieses Leitfadens ist es, Gebiete im urbanen Gebiet zu identifizieren welche ein potentiell hohes Überflutungsrisiko aufweisen. Hierfür werden Modellansätze verwendet, welche in der Lage sind, den Wasserstand und die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche zu berechnen. Da die Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche im Falle eines Starkregenereignisses sehr hoch sein können und eine Vielzahl an Interaktionen zwischen den drei Teilsystemen auftreten können, muss das Modell sowohl hydraulisch schießende Strömungszustände als auch Rückstaueffekte und Engstellen (Kanalsystem) berücksichtigen können. Daher ist eine zwingende Voraussetzung für die modellgestützte urbane Überflutungsvorsorge ein hydrodynamischer Berechnungsansatz (1D-2D, quasi-2D und 2D).

3.2. Nationale Bemessungsrichtlinien

Da der zuvor eingeführte integrierte Modellansatz zur Erstellung eines urbanen Überflutungsmodells mehrere Teilsysteme kombiniert, müssen die jeweiligen Bemessungsgrundlagen in den jeweiligen Teilsystemen definiert werden.

3.2.1. Hanglage

Für das Teilsystem Hanglage sind in Österreich keine Regelwerke vorhanden. Vereinzelt existieren Leitfäden, welche sich mit der Problematik des Hangwassers im Zuge pluvialer Überflutungen beschäftigen. In der Steiermark sind Hangwasserkarten über das Online-Portal der GIS Steiermark frei verfügbar. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die Grundlage für diese Karte die belastungsunabhängige topographische D8-Methode ist. Daher liefern diese Karten einen ersten Hinweis für die Gefährdung durch Hangwasser, sind jedoch nicht in der Lage, den komplexen Fließprozesse abzubilden (Scheid, 2018). Hierfür sind hydrodynamische Modellansätze erforderlich. In Abbildung 7 ist beispielhaft eine der erwähnten Hangwasserkarten für einen Teilausschnitt im Grazer Stadtgebiet (Mariatrost EZG) abgebildet.



Abbildung 7: Gefahrenhinweiskarte durch Hangwasser in der Steiermark (Das Land Steiermark, 2018)

3.2.2. Urbane Fließgewässer

Im Teilsystem Urbane Fließgewässer wird im Zuge der Überflutungsproblematik auf den § 55k Abs. 2 WRG (1959) verwiesen, welcher aussagt, dass für das betrachtete Einzugsgebiet charakteristische Hochwasserprozesse für Hochwasser a) niedriger, b) mittlerer und c) hoher Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen sind (BMLFUW, 2016).

- a) Niedriger Wahrscheinlichkeit: Wiederkehrintervall von **300 Jahren** (Extremereignis)
- b) Mittlerer Wahrscheinlichkeit: Wiederkehrintervall von **100 Jahren**
- c) Hoher Wahrscheinlichkeit: Wiederkehrintervall von **30 Jahren**

Daraus abgeleitet wurden die sogenannten Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten für fluviale Ereignisse generiert, welche über das frei verfügbare GIS Portal des jeweiligen Bundeslandes öffentlich zugänglich sind (siehe Abbildung 8).

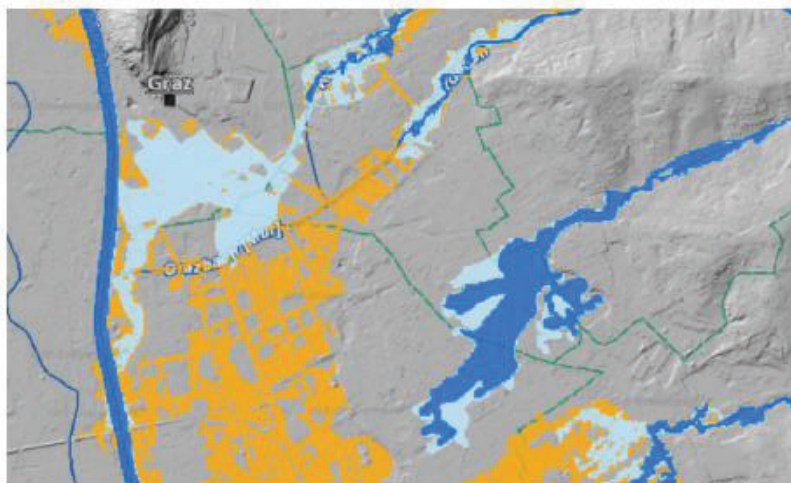


Abbildung 8: Ausschnitt der Hochwassergefahrenkarte im Grazer Stadtgebiet (niedrige Wahrscheinlichkeit (orange), mittlere Wahrscheinlichkeit (hellblau), hohe Wahrscheinlichkeit (dunkelblau)) (Das Land Steiermark, 2018)

3.2.3. Kanalsystem

Die Überflutungshäufigkeit und Bemessungsregen­häufigkeit stellt nach ÖNORM EN 752 das Nachweiskriterium für das Kanalsystem dar, wodurch diese als Zielgröße definiert werden (DWA-A 118, 2006). In diesem Kontext soll auf die Unterscheidung zwischen Überstau und Überflutung in Abschnitt 1.4 hingewiesen werden. Die empfohlenen Zielgrößen bezüglich einfacher und komplexen (Kanalmodell) Bemessungsverfahren nach ÖNORM EN 752 sind in Abbildung 9 dargestellt.

Ort	Bemessungsregenhäufigkeiten ^a	
	Jährlichkeit (1-mal in „n“ Jahren)	Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr
Ländliche Gebiete	1 in 1	100 %
Wohngebiete	1 in 2	50 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 5	20 %
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 10	10 %

^a Für diese Bemessungsregen dürfen keine Überlastungen auftreten.

Ort	Überflutungshäufigkeiten	
	Jährlichkeit (1-mal in „n“ Jahren)	Wahrscheinlichkeit für eine Überschreitung in 1 Jahr
Ländliche Gebiete	1 in 10	10 %
Wohngebiete	1 in 20	5 %
Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebiete	1 in 30	3 %
Unterirdische Bahnanlagen, Unterführungen	1 in 50	2 %

Abbildung 9: Empfohlene Zielgrößen für den rechnerischen Nachweis für das Kanalsystem (oben: für einfache Verfahren, unten: komplexe Verfahren) (ÖNORM EN 752, 2008)

3.3. Integrierte Überflutungsmodellierung

3.3.1. Modell-Layer-Konzept

Das integrierte Überflutungsmodell beinhaltet sowohl hydrologische Modellansätze (Abflussbildung) sowie hydraulische Modellansätze (Oberflächenabfluss). Diese einzelnen Modellansätze werden in diesem Leitfaden als Modell-Layer bezeichnet. In jedem Teilsystem muss definiert werden, welche Modell-Layer zur Anwendung kommen und wie die Modelle integriert werden (gekoppelt). In jedem Teilsystem wird daher ein sogenanntes Modell-Layer Konzept erstellt. Diese zeigen auf, welche Prozesse innerhalb eines Teilsystems die Berechnung des Oberflächenabflusses beeinflussen. In Abbildung 10 ist die allgemeine Methodik des Modell-Layer Konzeptes dargestellt.

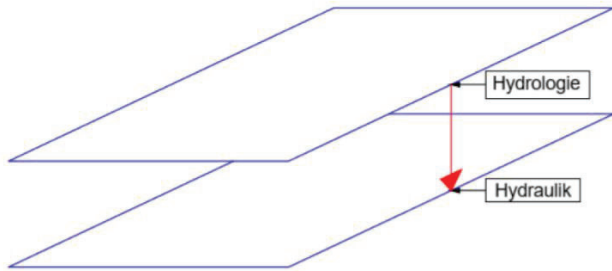


Abbildung 10: Generelles Modell-Layer Konzept für jedes vorhanden Teilsystem im Projektgebiet (Leitner, 2018)

3.3.2. Hydrologie

3.3.2.1. Abflussbildung

Im Zuge der Überflutungsmodellierung stellt der Abflussbildungsprozess in jedem Teilsystem den wichtigsten hydrologischen Prozess dar. Das Ergebnis aus der Abflussbildung ist der Effektivniederschlag (P_{eff}) als jener Anteil des Niederschlags, welcher tatsächlich zum Abfluss kommt. Die allgemeine Wasserbilanz stellt dabei die zuverlässigste Berechnungsmethode zur Bestimmung des Effektivniederschlags dar (siehe Gl. (1))

$$P_{eff} = P - (S_i + S_o + ET + I) [mm] \quad \text{Gl. (1)}$$

P_{eff} = Effektivniederschlag [mm], P = Niederschlag [mm], S_i = Interzeptionsspeicher [mm], S_o = Muldenspeicher [mm],
 ET = Evapotranspiration [mm], I = Infiltration [mm]

Einige Teilprozesse können aufgrund der Charakteristik eines Starkregenereignisses (kurze Dauerstufen mit gleichzeitig hohen Niederschlagsintensitäten) vernachlässigt werden. Aus diesem Grund kann die allgemeine Wasserbilanz für die Überflutungsmodellierung durch Starkregenereignisse folgendermaßen modifiziert werden:

$$P_{eff} = P - (S_i + S_o + I) [mm] \quad \text{Gl. (2)}$$

P_{eff} = Effektivniederschlag [mm], P = Niederschlag [mm], S_o = Muldenspeicher [mm], S_i = Interzeptionsspeicher [mm],
 I = Infiltration [mm]

Durch diesen Zusammenhang wird ersichtlich, dass neben dem Niederschlag (P), die Wahl eines geeigneten Infiltrationsmodells (I), die Muldenspeicher (S_o)-sowie die Interzeptionsspeicher (S_i) die wichtigsten Größen des Abflussbildungsprozesses darstellen. In vielen in der Praxis angewandten Modellen werden folgende empirische Infiltrationsansätze verwendet:

- Ansatz nach Horton
- Ansatz nach Green Ampt
- Curved Number Ansatz (SCS-Verfahren)

Im Teilsystem Hanglage und Urbaner Raum wird derselbe Ansatz für die Bestimmung des Effektivniederschlags verwendet (siehe Gl. (2)). Nur im Teilsystem Urbanes Fließgewässer wird eine weitere Vereinfachung durchgeführt, da in einem Fließgewässer die Infiltrierung innerhalb eines Starkregenereignisses vernachlässigbar klein ist, sowie keine Verluste durch Muldenspeicher und Interzeptionspeicher auftreten. Aus diesem Grund ist im Teilsystem Urbane Fließgewässer Peff mit dem gefallen Niederschlag (P) gleichzusetzen.

Eine weitere Vereinfachung ist die Annahme, dass alle lateralen Prozesse die unterirdisch vorkommen, wie beispielsweise der Interflow, in den vorliegenden Ansätzen **NICHT** berücksichtigt werden. Diese Annahme kann aus dem zeitlichen Versatz der Abflussganglinienspitzen im Falle eines Starkregenereignisses hergeleitet werden (Maniak, 2016). Da die Filtergeschwindigkeit im Vergleich zu der Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche um ein Vielfaches kleiner ist, kommt es zum zeitlichen Versatz der einzelnen Spitzen der Abflussganglinien (Basisabfluss, Zwischenabfluss und Oberflächenabfluss).

Dies hat vor allem im Teilsystem Hanglage eine große Auswirkung, da aufgrund dessen derselbe Abflussbildungsansatz für die Hanglage verwendet werden kann wie im Teilsystem Urbaner Raum. Diese Annahme ist jedoch abhängig vom Einzugsgebiet, daher muss für jedes Einzugsgebiet geklärt werden, ob der Interflow einen maßgeblichen Einfluss auf die Abflussentstehung hat oder nicht.

3.3.2.2. Vergleich der Infiltrationsansätze

Eine Empfehlung bei der Wahl des Infiltrationsmodells ist schwer zu begründen, da das Infiltrationsvolumen von der Niederschlagsdauer, der Niederschlagsart (Modellregen bzw. Reales Starkregenereignis) und der Vorgeschichte (z.B. Dürreperiode) abhängig ist. Besonders für reale Starkregenereignisse können keine generellen Aussagen bezüglich des maximalen Infiltrierung getätigt werden, da jedes Starkregenereignis eine eigene Charakterisierung aufweist. Aus diesem Grund ist eine Sensitivitätsanalyse der verschiedenen Infiltrierungsansätze und eine Auswertung bezüglich des Gesamtvolumens der Infiltrierung durchaus sinnvoll. Jedenfalls muss der gewählte Infiltrationsansatz fachlich begründet sein.

Ebenso soll auf die Wahl der richtigen hydrologischen und hydraulischen Randbedingungen hingewiesen werden. Da im Kanalsystem (Mischsystem und Niederschlagswasserkanal) als auch in einem urbanen Fließgewässer immer ein Basisabfluss vorliegt, muss dieser Abfluss als Startbedingung berücksichtigt sein. Ebenso müssen die hydrologischen Randbedingungen (gesättigte Bodenverhältnisse, trockene Bodenverhältnisse) mitberücksichtigt werden, da dies alle weiteren Schritte der Modellierung beeinflusst (maximale Fließzeit, Wahl der Dauerstufe, Abflussverhalten, etc.).

3.3.2.3. Hydrological Response Units (HRU)

Dieser Modellansatz teilt ein hydrologisches System in hydrologisch sich gleich verhaltende Flächen ein. Da die Landnutzung einen maßgeblichen Einfluss auf die Abflussbildung an der Oberfläche hat, wird diese für die Klassifizierung innerhalb des Einzugsgebietes herangezogen. Nachfolgend ist die Mindestanforderung für die Klassifizierung mittels des HRU-Ansatzes definiert. Auf deren Grundlage wird ein Landnutzungsdiagramm erstellt, welches in Abbildung 11 dargestellt ist.

- Wasserflächen (versiegelt)
- Dachflächen (versiegelt)
- Verkehrsflächen (versiegelt)
- Ackerflächen (unversiegelt)
- Grünflächen (unversiegelt)
- Baum und Buschflächen (unversiegelt)

Nachdem die Klassen definiert wurden, muss jeder Klasse die jeweiligen hydrologischen Parameter zugewiesen werden. Nachfolgend sind alle notwendigen hydrologischen Parameter aufgezählt, die für die Abflussbildung relevant sind:

- Infiltrationsparameter in Abhängigkeit des gewählten Infiltrationsansatzes (Leitfähigkeit, Porosität, usw.)
- Muldenverlust und Interzeptionsverlust
- Oberflächenrauigkeit
- Neigung der hydrologischen Fläche
- Versiegelungsgrad

Landnutzungsklassen (HRUs)				
Hanglage		Urbanes Fließgewässer	Urbaner Raum	
unversiegelt	versiegelt	versiegelt	unversiegelt	versiegelt
<ul style="list-style-type: none"> • Grünfläche • Ackerfläche • Wald bzw. Buschflächen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen • Verkehrsflächen 	Wasserflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Grünfläche • Ackerfläche • Wald bzw. Buschflächen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dachflächen • Verkehrsflächen

Abbildung 11: Landnutzungsklassen (HRUs) der einzelnen Teilsysteme

3.3.3. Hydraulische Berechnung

Im Gegensatz zu den Methoden der Voruntersuchung (siehe Arbeitspaket 1) berücksichtigen die nachfolgenden Methoden zur Bestimmung des Oberflächenabflusses die hydrodynamische Berechnung der Wassertiefe und Fließgeschwindigkeiten auf der Oberfläche. Diese Methoden bilden daher den Oberflächenabfluss realistischer ab, wie die in Abschnitt 2.2 beschriebene topographische Ermittlung der Fließwege. Allerdings muss mit einem erhöhten Arbeitsaufwand bezüglich der Modellerstellung gerechnet werden. Zusätzlich sind diese Modellansätze aufgrund der numerischen Berechnung rechenintensiver.

Der maximale Wasserstand sowie Fließgeschwindigkeit repräsentieren die gesuchten Zielgrößen. Folgende Modellansätze werden für die Berechnung häufig verwendet:

- 2D und quasi 2D-Simulationen des Oberflächenabflusses (tiefengemittelte Flachwassergleichung, Saint-Venant Gleichung)
- Gekoppelter 1D-2D Ansatz (Kanal-Oberfläche, Oberfläche -Fließgewässer)

3.3.3.1. 2D-Oberflächenabflusssimulationen

Die Basis der 2D-Modelle zur Bestimmung des Oberflächenabflusses bildet die zweidimensionale tiefengemittelte Flachwassergleichung. Die numerische Berechnung wird mit Hilfe des Finiten-Volumina oder Finiten Element Ansatzes durchgeführt. In sehr vielen Modellansätzen wird bei Starkregenereignissen mit hohen Wiederkehrzeiten (> 50 Jahre) der Einfluss des Entwässerungssystems vernachlässigt oder stark vereinfacht (DWA-M 119, 2016). Bei einer integrierten Betrachtung muss das Entwässerungssystem jedoch mitberücksichtigt werden, genauso wie die Möglichkeit einer Fließgewässerüberlastung und der Modellierung des Hangwassers. Besonders kleinere Speicherkanäle sowie die aus der Voruntersuchung identifizierten überstauten Schächte beeinflussen maßgeblich das Fließgeschehen an der Oberfläche. Die Erfahrungen aus vergangenen Projekten haben gezeigt, dass speziell in flachen Einzugsgebieten das Entwässerungssystem nicht vernachlässigt werden kann. Durch Differenzenplots des Wasserstandes kann dieser Einfluss auch planerisch dargestellt werden (Abbildung 12).

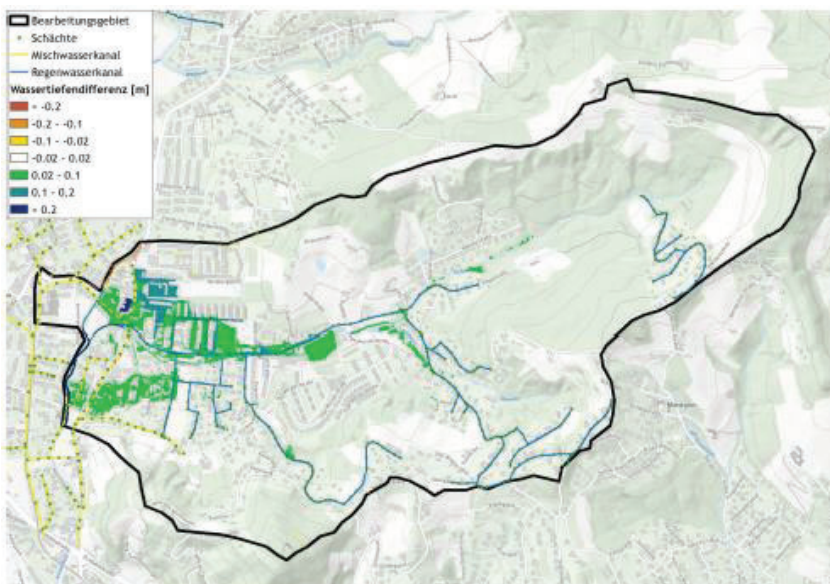


Abbildung 12 Beispiel eines Differenzenplot eines Einzugsgebiet in Graz (Wasserstanddifferenz errechnet sich aus Szenario mit Entwässerungssystem und ohne Entwässerungssystems) (mod. Schwingshandl et al., 2020)

Für die integrierte Modellierung kann zum einem ein Modellansatz zur Anwendung kommen, welcher alle Überflutungsfälle (Oberfläche Hanglage und Oberfläche urbaner Raum inkl. Entwässerungssystem sowie Fließgewässer) integriert berücksichtigt, oder differenzierte Modellansätze mit unterschiedlichen dynamisch parallel und/oder sequenziell koppelbaren Modellen verwendet.

3.3.3.2. Gekoppelte 1D-2D Ansätze

Der gekoppelte 1D-2D Modellansatz kombiniert im Falle eines Überstauereignisses ein 1D Kanalmodell mit einer 2D Oberflächenabflussberechnung. Es erfolgt dabei ein bidirektionaler Austausch zwischen dem Oberflächenabflussmodell und dem Kanalmodell über die Straßeneinläufe und/oder den Kanalschächten. Da eine bidirektionale Kopplung vorliegt, muss sowohl für den Wassereintritt aus dem Kanal als auch für den Wasseraustritt aus dem Kanal ein hydrodynamischer Berechnungsansatz definiert werden. Zum Beispiel kann der Wassereintritt (z.B. über die Straßeneinläufe) über die Überfallformel gelöst werden. Da im Fall eines

Wasseraustritts der Kanal unter Druck steht, müssen andere hydraulische Berechnungsansätze (z.B. auf Basis der Kontinuitäts- und Energiegleichung) gewählt werden. Die Koppelung zwischen Kanal und Oberfläche stellt einen zentralen Punkt für eine integrierte Betrachtung des Überflutungsrisikos dar und muss daher in das Überflutungsmodell integriert werden.

In Abbildung 13 ist ein Beispiel für den gekoppelten Modellansatz zwischen Kanalmodell und Oberflächenabflussmodell dargestellt.



Abbildung 13: Gekoppelter 1D-2D Modellansatz zwischen 1D Kanalmodell und 2D Oberflächenabflussmodell (DWA-M 119, 2016)

In weiterer Folge können auch Fließgewässer als Linienelemente eindimensional dargestellt und der Oberflächenabfluss in diesen berechnet werden. Diese Methodik stellt eine weitere Möglichkeit der gekoppelten 1D-2D Ansatzes dar. Dabei erfolgt wiederum eine bidirektionale Koppelung zwischen den Fließgewässerquerschnitten (1D) und der ufernahen Oberfläche (2D) (siehe Abbildung 14)

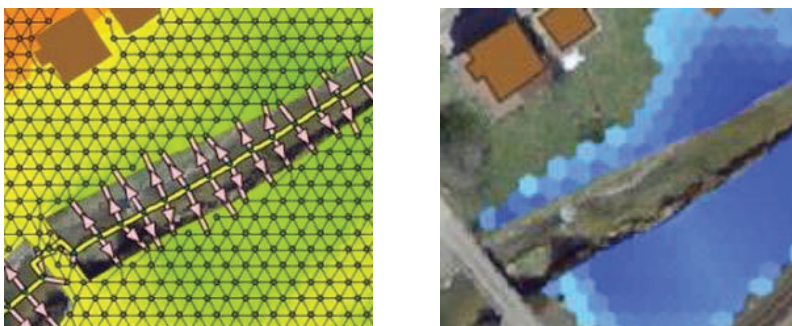


Abbildung 14: Beispiel für eine 1D-2D Modellkoppelung eines Fließgewässers (links: Modell, rechts: Modellergebnisse) (Beck, 2016)

3.3.3.3. Mindestanforderung für die Teilmodelle des integrierten Überflutungsmodells

Abschließend werden die Mindestanforderungen der hydrologischen und hydraulischen Modell-Layer für eine integrierte Überflutungsmodellierung zusammenfassend aufgezählt. Diese sind in Tabelle 3 dargestellt.

Für den Modell-Layer **Hydrologie** ist ein konzeptionelles Niederschlags-Abfluss Modell gefordert. Dieses muss alle maßgeblichen Verlustgrößen (Infiltration, Muldenspeicher und Interzeptionsspeicher) enthalten. Ebenso muss die Abflusskonzentration beinhaltet sein. Das Resultat ist eine Abflussganglinie des Effektiv-Niederschlags, welche als Eingangswert für den Modell-Layer **Hydraulik** verwendet wird.

Da für eine Aussage bezüglich Überflutungsgefährdung Wasserstände, Fließgeschwindigkeit und Durchfluss an der Oberfläche gefordert sind, müssen für den Modell-Layer **Hydraulik** hydrodynamische Modelle verwendet werden. Da nur mit hydrodynamischen Modellansätze (quasi 2D oder 2D) die zeitliche und räumliche Veränderung der Zielgröße (Wasserstand oder Fließgeschwindigkeit) berechnet werden kann.

Da durch die Kopplung der einzelnen Teilsysteme (Hanglage, Urbanes Fließgewässer und Urbaner Raum) ein integriertes Überflutungsmodell gefordert wird, muss der Abflussvorgang im Kanalsystem berücksichtigt werden. Ein hydrodynamisches Modell ist in der Lage sowohl den Rückstau als auch Überstauereignisse abzubilden. Deshalb wird wie an der Oberfläche ein hydrodynamisches Modell für das Kanalmodell gefordert.

Ein wesentlicher Punkt in der integrierten Modellierung stellt die Integration zwischen den einzelnen Teilmodellen dar (hydrologisches Modell - Oberflächenabflussmodell - Kanalmodell). Daher muss begründet sein, wie die Integration der Teilmodelle zu einem integrierten Modell umgesetzt wurde.

Tabelle 3: Mindestanforderungen für die Modell-Layer (Hydrologie und Hydraulik)

Modell-Layer	Mindestanforderung
Hydrologie	Konzeptionelles Niederschlags-Abfluss Modell (Abflussbildung und Abflusskonzentration) (inkl. Infiltrationsansatz, Ansatz für Mulden- und Interzeptionsspeicher)
Hydraulik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hydrodynamisches Oberflächenabflussmodell (quasi 2D oder 2D) ▪ Hydrodynamisches Kanalmodell (1D)

3.4. Wahl der Modellparameter und Sensitivitätsanalyse

Die Variablen Wasserstand und Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche repräsentieren die beiden wichtigsten Zielgrößen eines integrierten Überflutungsmodells. Diese Zielgrößen sind nur sehr schwer quantifizierbar, wodurch „State of the Art“ -Kalibrierungsmethoden nicht anwendbar sind, da diese auf Messwerte beruhen. Aus diesem Grund ist der Auswahl der Modellparameter eine erhöhte Wertigkeit zuzuordnen. Die wichtigsten Modellparameter für ein integriertes Überflutungsmodell sind in Tabelle 4 Relevante Modellparameter mit ihren Wertebereichen aus der Literatur und den zugehörigen Unsicherheiten aufgelistet. Die Werte dieser Parameter müssen innerhalb eines Wertebereichs liegen, welcher durch eine umfassende Literaturstudie definiert sein muss. Der Wertebereich ist auch mit den lokal vorliegenden Erfahrungswerten von Behörden und Planern vergangener Projekte der urbanen Überflutungsvorsorge im Einzugsgebiet abzugleichen. Die Werte in der Tabelle legen nur einer Bandbreite aller gewöhnlichen HRUs (siehe Kapitel 19) fest, repräsentieren daher das Maximum und das Minimum aller HRUs. Für den gesamten Modellaufbau muss der Parameterbereich für alle HRUs definiert werden.

Tabelle 4 Relevante Modellparameter mit ihren Wertebereichen aus der Literatur und den zugehörigen Unsicherheiten

Modellparameter	Wertebereich*	Unsicherheiten
Rauigkeit nach Manning oder nach Strickler	0,001 - 0,8 (Manning Rauigkeit)	10 - 50 [%]
Verluste (Muldenverluste, Interzeption)	0,1 - 16 [mm]	20 - 50 [%]
Parameter des Infiltrationsmodells	Abhängig vom gewählten Infiltrationsmodells (Horton, Curved Number (CN), Green-Ampt)	25 -50 [%] für Green Ampt Parameter
Fließbreite der HRUs für das hydrologische Modell **	Abhängig von der gewählten räumlichen Diskretisierung und dem gewählten hydrologischen Modell	200 [%]

*Wertebereich für alle abflussrelevanten HRUs aus der Literatur (Kidd, 1978; James, 2005; Krebs et.al., 2014; Rossman, 2015)

**Modellparameter Fließbreite ist nur für gewisse hydrologische Modellansätze gefordert (z.B. SWMM5.1)

Eine weitere zielführende Möglichkeit der Modellparameter zu definieren, repräsentiert eine Sensitivitätsanalyse der Modellparameter. Dadurch kann der abflussrelevanteste Modellparameter identifiziert werden. Die Sensitivität eines Modellparameters ist neben der Belastung (Langzeitregenserie, Starkregenereignis, Modellregen) auch vom gewählten Modellansatz und der Charakteristik des Einzugsgebietes abhängig. Wodurch eine generelle Aussage bezüglich sensitivsten Modellparameter nicht getätigt werden kann. Daher ist eine Begründung für die Wahl der Modellparameter für jedes Einzugsgebiet zwingend erforderlich.

3.5. Belastungsszenarien

Da die Detailanalyse ausschließlich belastungsabhängigen Methoden darstellen, muss die Frage geklärt werden, welche Niederschlagsbelastungen generiert werden sollen. Im wesentliche ist abzuklären, welche Wiederkehrzeiten untersucht und welche Niederschlagsverteilung für die Szenarien verwendet werden sollen. Generell soll im Kontext dieses Leitfadens Belastungen jenseits der Bemessungsgrenzen untersucht werden. Folgende Niederschlagsverteilungen als Belastung werden diskutiert:

- Blockregen
- Modelregen nach EULER Typ 2
- Mittenbetonter Modellregen
- Reales Starkregenereignis

3.5.1. Starkregenereignis

Dieser Leitfaden beschäftigt sich mit der Überflutungsproblematik durch lokale Starkregenereignisse. Diese treten meist als konvektive Niederschläge in Kombination mit Gewitterzellen im Sommerhalbjahr auf.

Ein Starkregen wird durch sogenannte Starkregenkriterien definiert. In diesem Kontext existiert eine Vielzahl an unterschiedlichster Definitionen. Nach Wussov wird ein Starkregenereignis in Abhängigkeit der Dauerstufe folgendermaßen definiert (Maniak, 2016):

$$P \geq \sqrt{5D - \left(\frac{D}{24}\right)^2} \quad \text{Gl. (3)}$$

P = Niederschlag [mm], D = Dauerstufe [min]

Diese Bedingung stellt eine essenzielle Grundlage für die Auswahl geeigneter Starkregenereignisse als Eingangsdaten für die Überflutungsmodellierung dar.

3.5.2. Einfluss der Niederschlagsverteilung auf die Modellierung

Aufgrund unzureichender Datengrundlage wird in den meisten Fällen ein Modellregen wie der EULER Typ 2 Modellregen als Niederschlagsbelastung angesetzt. Diese Modellregen wurde insbesondere für die Dimensionierung von Entwässerungssystemen angewendet, da dieser den typischen Verlauf einer Abflussganglinie in einem Kanalstrang sehr gut wiedergibt. Allerdings wird in vereinzelt Regelblätter darauf hingewiesen, dass dieser Niederschlagsverteilung die Belastung überschätzt und daher nur als erste Voruntersuchung herangezogen werden soll (ÖWAV Regelblatt 11 (2009)). Ein Blockregen mit einer konstanten Niederschlagsbelastung unterschätzt hingegen die Auswirkungen eines Starkregenereignisses. Neben dem konstanten Blockregen und dem für Entwässerungssysteme entwickelten Euler Typ 2 Niederschlagsverteilung existieren noch eine Vielzahl an weiteren Modellregen mit unterschiedlichen Niederschlagsverteilungen. In diesem Kontext sollen die mittenbetonte Niederschlagsverteilung in Deutschland sowie die „Chicago Hydrograph method“ erwähnt werden, welche ebenfalls als Niederschlagsverteilung verwendet werden können.

Die Niederschlagsverteilungen sind durch die statistischen Niederschlagsdaten der eHYD-Plattform sehr einfach zu erstellen, allerdings muss die maßgebliche Dauerstufe für das zu untersuchende Projektgebiet bestimmt werden. Diese ist stark von der topographischen Situation sowie der Bebauungsstruktur des Einzugsgebiets abhängig. Daher kann keine allgemeine Empfehlung für die Dauerstufe für die Erstellung der Modell- und Blockregen getätigt werden, da dieser Parameter hochgradig gebietsabhängig ist. Es ist daher eine Sensitivitätsanalyse sowohl für die Auswahl der Niederschlagsverteilung als auch für die Wahl der gebietsabhängigen Dauerstufe notwendig, um die richtige Wahl der Niederschlagsbelastung für ein Einzugsgebiet unter Verwendung von empirischen Niederschlagsbelastungen (Modellregen) zu treffen (Abbildung 15).

Reale Niederschlagsdaten gelten als zuverlässigste Niederschlagsdaten, da diese ein Starkregenereignis realitätsnahe abbilden können. Einzig die Unsicherheit von Messfehlern muss berücksichtigt werden. Allerdings muss für eine solche Niederschlagsbelastung die Frage der maximalen Wiederkehrzeit geklärt werden. Da ein Starkregenereignis mit Schadensfolge erst ab einer Wiederkehrzeit jenseits der Bemessungsgrenze auftritt, sind reale Niederschlagsdaten nicht immer für ein Belastungsszenario geeignet, da diese Ereignisse eine hohe Wiederkehrzeit aufweisen ($T > 20a$). Allerdings kann nur anhand einer realen Niederschlagsbelastung eine Modellverifizierung bzw. Plausibilitätskontrolle mit Hilfe von Schadensdaten durchgeführt werden.

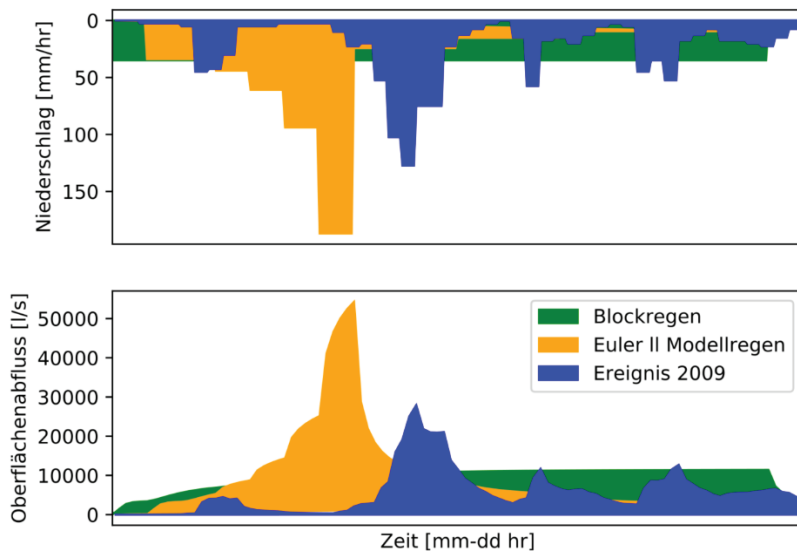


Abbildung 15: Vergleich der unterschiedlichen Niederschlagsstypen bezogen auf den Oberflächenabfluss (Niederschlagsvolumen ist für jedem Belastungsfall derselbe: $P = 70 \text{ mm}$, $T = 20a$, Dauerstufe = 4h)

3.5.3. Bestimmung der maßgeblichen Dauerstufe

Aufgrund der Tatsache, dass in vielen Fällen keine Niederschlagsdaten aus Messungen vorhanden sind, können auch statistische Niederschlagsdaten zur Erstellung von Modellregen für die Niederschlagsbelastung verwendet werden. Dazu ist neben der geforderten Wiederkehrzeit auch eine Dauerstufe notwendig. Deshalb muss die maßgebliche Dauerstufe für das Einzugsgebiet bestimmt werden. Hierfür wird eine Sensitivitätsuntersuchung der Dauerstufen erstellt. Dabei wird untersucht, bei welcher Dauerstufe das gesamte Niederschlagsvolumen im Einzugsgebiet zum Abfluss beiträgt. Hierfür wird die Abflussganglinie des gesamten Einzugsgebietes betrachtet. Stellt sich an dieser Abflussganglinie ein konstanter Wert ein, repräsentiert diese Dauerstufe jene Niederschlagsbelastung mit der maßgeblichen Dauerstufe. Auf deren Basis werden anschließend mit den jeweiligen Wiederkehrzeiten die Belastungszustände aus den statistischen Niederschlagsdaten generiert (Modellregen). In Abbildung 16 ist dieses Vorgehen beispielhaft in Form einer Blockregenserie dargestellt. Neben der Blockregenserie können auch andere Niederschlagsverteilungen für die Sensitivitätsanalyse wie beispielweise mittenbetonte oder Euler Typ 2 Niederschlagsverteilungen angewendet werden. In diesem Fall ist der maximale Abfluss am Punkt mit dem längsten Fließweg als Zielgröße für die Bewertung heranzuziehen.

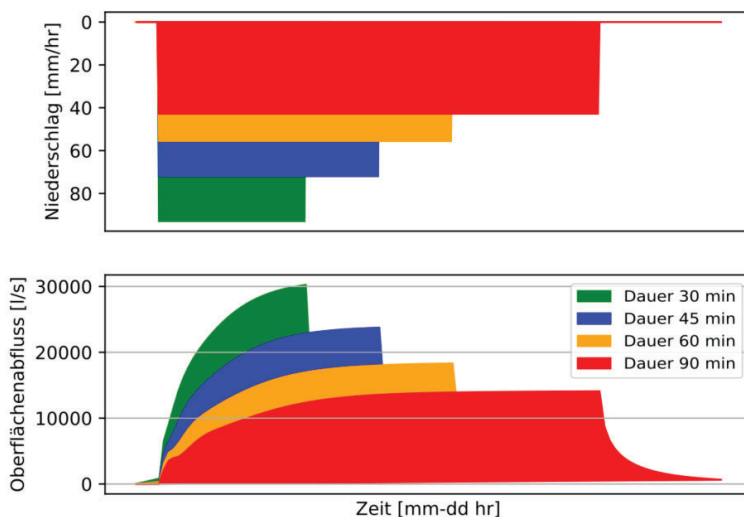


Abbildung 16: Demonstrationsbeispiel zur Bestimmung der maßgeblichen Dauerstufe für ein Untersuchungsgebiet

Aus diesem Beispiel geht hervor, dass die maßgebliche Dauerstufe zwischen 45 und 60 Minuten liegen wird, da sich die Abflussganglinien bei diesen beiden Belastungen an einem konstanten Wert annähern (blaue und orange Abflussganglinie in Abbildung 16). An der grünen Abflussganglinie ist eine Steigung am Ende der Abflussganglinie zu erkennen. Daraus kann geschlossen werden, dass noch nicht das gesamte Niederschlagsvolumen zum Abfluss beiträgt.

3.5.4. Empfehlung für die Modellszenarien

Zusammenfassend soll festgehalten werden, dass mindestens zwei reale Starkregenereignisse mit einer hohen Wiederkehrzeit die Niederschlagsbelastung realitätsnah abbilden. Da in diesen Leitfadens Belastungen jenseits der Bemessungsgrenzen untersucht werden, müssen die beiden realen Starkregenereignisse eine Wiederkehrzeit größer 20 Jahre aufweisen ($T > 20a$). Diese Wiederkehrzeit wurde als Grenze auf Basis der in Abschnitt 3.2.2 eingeführten nationalen Bemessungsgrenzwerte gewählt. Kleinere Wiederkehrperioden werden über den Überstaunachweis (Kapitel 2.3) bereits berücksichtigt. An dieser Stelle soll auch auf die unterschiedlichen Wiederkehrzeiten innerhalb eines realen Ereignisses hingewiesen werden. Daher wird für jede Dauerstufe (5min, 10min, 15min, 30min, etc.) eine eigen Wiederkehrzeit errechnet. Jene Dauerstufe mit der höchsten Wiederkehrzeit wird dem betrachteten Ereignis zugeordnet. Es muss allerdings mitangeführt werden, auf welche Dauerstufe sich dieses Ereignis bezieht, da man durch diese Information auf die Charakteristik des Niederschlagsereignisses rückschließen kann.

Falls keine Niederschlagsdaten vorhanden sind, sollen Modellregen mit einer fachlich begründeten Niederschlagsverteilung mit der gebietsabhängigen maßgeblichen Dauerstufe und den Wiederkehrzeiten $T=30a$, $50a$ und $100a$ für die Erstellung der Modellszenarien herangezogen werden. Die gewählte Dauerstufe muss fachlich begründet sein. Es soll nochmals die Empfehlung der Verwendung von realen Ereignissen unterstrichen werden. Diese realen Niederschlagsdaten sind in größeren Gemeinden oftmals vorhanden. Daher ist die Einbindung von lokalen Behörden und Betreibern im Zuge von Projekten der integralen urbanen Überflutungsvorsorge sehr empfehlenswert. Die Verwendung von Modellregen soll nur dann angewendet werden, wenn mit Sicherheit keine realen Niederschlagsdaten für das Einzugsgebiet vorliegen.

Diese unterschiedlichen Belastungsszenarien sind in Tabelle 5 abschließend zusammenfassend dargestellt. Selbstverständlich sind auch Kombinationen der Belastungsszenarien möglich. So kann Beispielweise zusätzlich zu einem realen Starkregenereignis, drei Modellregen mit höherer Wiederkehrzeit als Niederschlagsbelastung angesetzt werden.

An dieser Stelle wird die Verwendung von mindestens einem realen Niederschlagsereignis empfohlen da ein reales Ereignis die Abflussprozesse an der Oberfläche realitätsnahe abbilden kann. Zum anderen können nur mit realen Belastungsszenarien ein Vergleich der Modellergebnisse mit Einsatzdaten oder Versicherungsdaten durchgeführt werden.

Tabelle 5: Empfehlungen der Belastungsszenarien für die urbane Überflutungsvorsorge (markierte rechte Seite stellt die Empfehlung bezüglich Niederschlagsbelastungen dar)

Belastungsszenarien	
Reales Starkregenereignis	Modellregen
Mind. 2 Ereignisse mit einer Wiederkehrzeit $\geq 20 a$	$T = 30 a$
	$T = 50 a$
	$T = 100 a$

3.6. Modellüberprüfung

Im Zuge der Detailanalyse stellt die Modellkalibrierung bzw. Modellvalidierung der 2D Oberflächenabflusssimulationen eine große Herausforderung dar. Da herkömmliche Methoden auf Basis von Abflussmessungen (Kanalsystem und Fließgewässer) für die Zielgrößen Wasserstand und Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche schwierig umzusetzen sind (DWA M-119, 2016). Aus diesem Grund müssen andere Methoden zur Modellüberprüfung bzw. Plausibilisierung der Rechenergebnisse verwendet werden. Dafür werden vor allem Schadensdaten in Form von Einsatzmeldung von Feuerwehr sowie anonymisierte Versicherungsdaten verwendet. Eine weitere nützliche Methodik für die Modelverifizierung stellen die Foto- und Videodokumentation von Sozialen-Medien (z.B. Facebook, Twitter, usw.) dar. All diese Methoden zur Modellverifizierung sind in Tabelle 5 dargestellt. In diesem Kontext ist es wichtig anzumerken, dass all diese Methoden einen qualitativen Vergleich mit den Modellergebnissen darstellen.

Tabelle 6: Möglichkeiten der Modellverifizierung

Verifizierungsmethode	Datengrundlage	Vergleichswert
Soziale Medien	Facebook, Twitter, Instagram	Fotos- und/oder Videodokumentation
Versicherungsdaten	Versicherungsunternehmen	Adressenvergleich (Schadensmeldungen-Modellergebnisse)
Einsatzmeldungen	Feuerwehr, Polizei	Adressenvergleich (Einsatzmeldungen-Modellergebnisse)

3.7. Ergebnis Arbeitspaket 2

Aus diesem Arbeitspaket resultiert ein verifiziertes Überflutungsmodell im urbanen Raum mit allen Teilsystemen die zum Oberflächenabfluss beitragen können. Solche Modelle bilden die Grundlage für die in Arbeitspaket 3 durchzuführende Gefährdungs- und Risikoanalyse. Die Detailschärfe solcher Modelle ist sehr hoch, und es werden im Vergleich zu den Methoden der Voruntersuchung (Arbeitspaket 1) hohe Rechenzeiten benötigt, um eine Aussage bezüglich der Überflutungsgefahr machen zu können. Insbesondere die Zuweisung der hydrologischen und hydraulischen Abflussparameter muss erhöhter Bedeutung beigemessen werden. Aus diesem Grund ist es sinnvoll eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der Rauigkeiten auf der Oberfläche durchzuführen. Ebenso ist es zwingend erforderlich die Modellergebnisse mit Hilfe geeigneter Methoden (siehe Tabelle 6) zu verifizieren. In Abbildung 17 ist sowohl ein Teilausschnitt eines integrierten Überflutungsmodells sowie ein Modellergebnis (Wasserstand an der Oberfläche) beispielhaft dargestellt. Für die Darstellung der Überflutungsflächen ist der untere Grenzwert mit 10 cm empfohlen, da viele wissenschaftliche Studien ab diesen Wasserstand einen möglichen Schaden prognostizieren (vgl. (Vojinovic und Tutulic, 2009; Haghigatafshar et.al., 2018)).

Sind die maßgeblich Fließwege innerhalb eines Einzugsgebietes gesucht, wird eine Darstellung von den Überflutungsflächen ab 3 cm empfohlen.

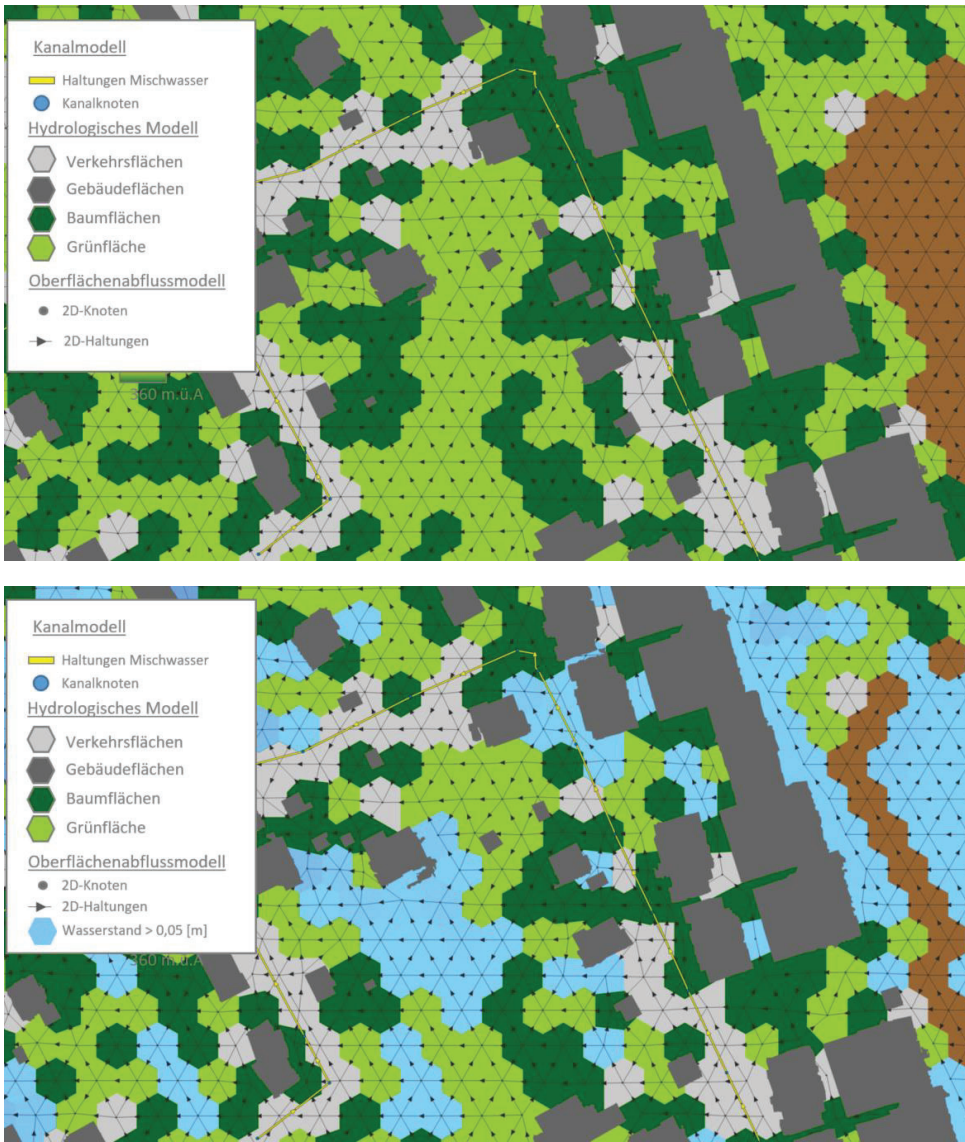


Abbildung 17: Ausschnitt eines integrierten Überflutungsmodells zur Bestimmung der Überflutungsfläche aufgrund eines Starkregenereignisses (oben: integriertes Überflutungsmodell, unten: maximalen Wasserstände an der Oberfläche > 0,05 Meter)

4. Arbeitspaket 3: Risikoanalyse

Aufbauend auf den Ergebnissen der Detailanalyse in Arbeitspaket 2 wird in diesem Arbeitspaket die Methodik zur Erstellung einer Risikokarte aufgrund urbaner Überflutung beschrieben. In einem ersten Schritt wird das Schadenspotential eines Schadensobjektes (Gebäude, Umwelt und Mensch) in einem Einzugsgebiet bestimmt. Dafür werden sogenannte Schadenspotentialkarten generiert.

Anschließend werden die Modellergebnisse aus Arbeitspaket 2 zusammen mit den Schadensobjekten (z.B. Gebäude) verwendet, um die sogenannten Gefährdungskarten zu generieren. Diese Gefährdungskarten werden für jedes definierte Belastungsszenario erstellt.

Als letzter Schritt werden die belastungsabhängigen Risikokarten erstellt. Diese Risikokarten können durch einen mathematischen Zusammenhang der Gefährdung mit dem Schadenspotential generiert werden. Abbildung 18 zeigt wie dieses Arbeitspaket innerhalb dieses Leitfadens integriert ist.

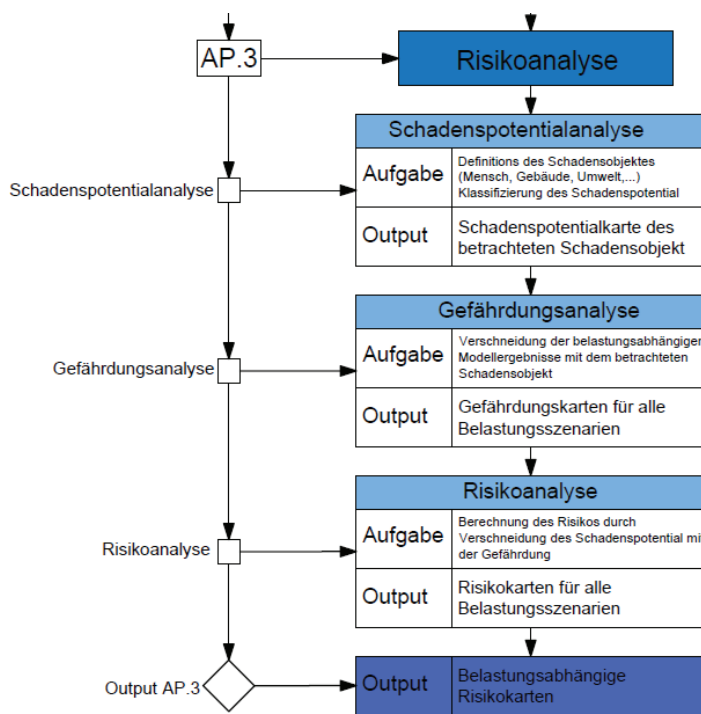


Abbildung 18: Auszug aus dem Ablaufdiagramm für das Arbeitspaket 3

4.1. Methodik

Für die Erstellung der Risikokarten ist eine Verschneidung der belastungsabhängigen Gefährdungsanalyse und des objektabhängigen Schadenspotentials notwendig. Die Auftrittswahrscheinlichkeit wird über die Niederschlagsbelastung in der Gefährdungsanalyse mitberücksichtigt. Die grundsätzliche Methodik zur Erstellung der Risikokarten ist in Abbildung 19 dargestellt. Für die Erstellung der Risikokarten wird anschließend eine Klassifizierung der Gefährdung und des Schadenspotentials vorgenommen, um die sogenannte Risikomatrix aufstellen zu können.

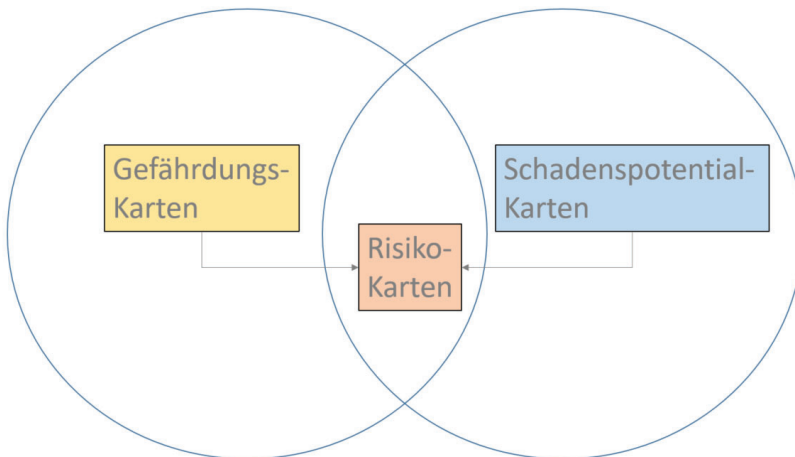


Abbildung 19: Grundsätzliche Methodik zur Erstellung von Risikokarten zur urbane Überflutungsvorsorge

4.2. Überflutungsrelevante Schadensobjekte

Für die Bewertung des Schadenspotentials muss zunächst abgeklärt werden, welche Überflutungsschäden bewertet werden sollen. In diesem stellen die Schutzgüter (**menschliche Gesundheit, Umwelt, Kulturerbe sowie wirtschaftliche Tätigkeit**) der EU Hochwasserrahmenrichtlinie (2007) eine fundamentale Basis dar. Die Schutzgüter werden in weiterer Folge als Schadensobjekte in diesem Leitfaden bezeichnet.

Die beiden Schutzgüter **wirtschaftliche Tätigkeit** und **Kulturerbe** werden zu dem Schadensobjekt **Gebäudeschäden** zusammengefasst. Dieses ortsfeste Schadensobjekt inkludiert alle Gebäude innerhalb eines Projektgebietes und werden im vorliegenden Leitfaden berücksichtigt.

Um eine negative Auswirkung auf das Schutzgut **Umwelt** aufgrund eines Überflutungsereignisses untersuchen zu können, wird ein Schadstoffmodell benötigt. Dies ist nicht Gegenstand dieses Leitfadens. Aus diesem Grund wird das Schutzgut Umwelt in diesem Leitfaden NICHT berücksichtigt. Ebenso fehlen Regelwerke zu der Ausweisung für die Überflutungsgefährdung bezüglich des Schutzgut menschliche Gesundheit. Aus diesem Grund wird das Schutzgut menschliche Gesundheit ebenso NICHT Gegenstand des vorliegenden Leitfadens. Dies soll aber in zukünftigen Überarbeitungen des Leitfadens mitberücksichtigt werden. Eine Möglichkeit wie das Schadenspotential von Personenschäden abgeschätzt werden kann, ist die Verschneidung des Potential für Gebäudeschäden mit der Anzahl an betroffenen Personen über das Melderegister der Gemeinden, wie es bereits in der Bewertung des Risikos für fluviales Hochwasser zur Anwendung kommt.

4.3. Schadenspotentialanalyse

Nach dem Arbeitsblatt DWA M-119 werden zwei grundsätzlichen Methoden zur Ermittlung des Schadenspotentials empfohlen. Zum einen die flächenbezogene Analyse, bei der eine Auswahl an schützenswerter Objekte über die Objektnutzung mittels vereinfachten Darstellungsmethoden (Punkte,

Symbole, usw.) abgebildet wird. Die zweite detaillierte Analyse verschneidet das betrachtete Objekt (z.B. Gebäude) mit der Objektnutzung und der baulichen Gestaltung des Objektes (z.B. Keller und Tiefgarage). In Abbildung 20 sind diese beiden Methoden dargestellt.

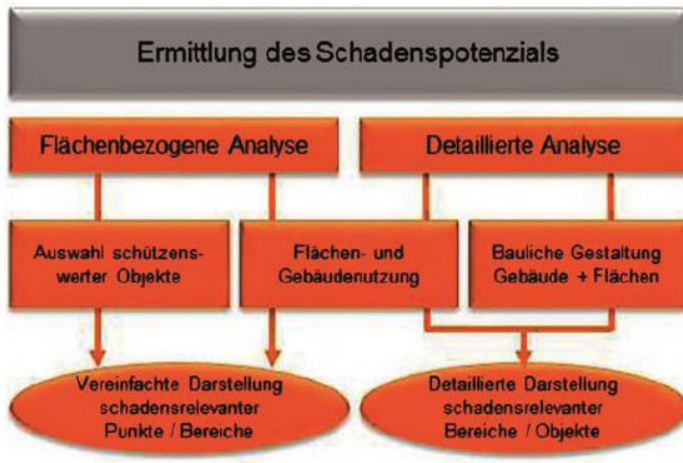


Abbildung 20: Methodisches Vorgehen bei der Schadenpotentialanalyse (DWA-M 119, 2016)

Eine weitere Methode stellt die objektunabhängige Methode zur Ermittlung des Schadenspotenzials dar. Dabei wird beispielweise das Gebäude als Schadensobjekt betrachtet und die unterschiedlichen Möglichkeiten des entstehenden Schadens bewertet (human, non-human, soziokulturelle und ökologische Schäden) (Scheid, 2018). Die Gebäude werden anschließend über Bewertungsklassen nach den möglichen Schadenarten bewertet und schlussendlich das Maximum als Referenzwert bestimmt (siehe Gl. (4)).

$$SG = \max(SG_{PH}; SG_{PM}; SG_{SK}; SG_U) \quad \text{Gl. (4)}$$

SG = Schadenpotential, SG_{PH} = Schaden human, SG_{PM} = Schaden non-human, SG_{SK} = Schaden sozial kulturell, SG_U = Schaden Umwelt(ökologisch)

Empirische Schadensfunktionen in Abhängigkeit der Zielgrößen Wasserstand und Fließgeschwindigkeiten stellen eine weitere Methode zur Ermittlung des Schadenspotential dar. Im Zuge einer Kosten-Nutzen Untersuchung für fluviale Hochwasserschutzmaßnahmen werden solche Schadensfunktionen bereits angewandt (BMLFUW, 2015). Jedoch wird im Zuge dieser Untersuchungen ein Maßnahmenvergleich angestrebt und nicht das Schadenspotential eines Objektes ermittelt. Die Ermittlung des Schadenspotential auf Basis von wasserstandabhängiger Schadensfunktion im Zusammenhang mit der urbanen Überflutung durch lokale Starkregenereignisse ist noch Gegenstand der Forschung (DWA-M 119, 2016).

4.3.1. Datengrundlage zur Ermittlung des Schadenspotential

Für die objektabhängige Schadenpotentialanalyse sind eine hohe Anzahl an georeferenzierte Daten notwendig, welche auf Nachfrage öffentlich zugänglich sind. Die Daten werden anschließend mit Geoinformationssystemen (GIS) weiterverarbeitet, um anschließend die objektabhängige Schadenspotentialkarte erstellen zu können. Dabei sind vor allem objektbezogenen Daten (z.B. Gebäude), Daten über die Landnutzung sowie Katasterinformationen notwendig. Die notwendigen Daten und die mögliche Datenquellen sind in Tabelle 7 dargestellt. Diese Daten müssen auch im Zuge der Ortsbegehung evaluiert werden (siehe Abschnitt 2.5).

Tabelle 7: Datengrundlage der objektabhängigen Schadenpotentialanalyse

Daten	Datenquelle	Datentype
Landnutzung (Wohnen, Grünfläche, Verkehrsflächen, Wald-und Forstflächen, usw.)	CORINE Datensatz, öffentliche Einrichtungen der Stadtverwaltung	Rasterdaten
Digitale Kataster Mappe (DKM)	Öffentliche Einrichtungen der Stadtverwaltung	Vektordaten
Luftbilder	Öffentliche Einrichtungen der Stadtverwaltung	Rasterdaten
Daten zur baulichen Gestaltung (Kellerdaten, Gebäudetyp, Einwohnerdichte, usw.)	Öffentliche Einrichtungen der Stadtverwaltung	Vektordaten
Kritische Infrastruktur (Öffentliche Einrichtungen der Stadtverwaltung, Google Earth/Maps, Openstreetmap	Vektordaten

4.3.2. Erstellung der Schadenspotentialkarten

Die Schadenspotentialkarten sollen im Kontext der urbanen Überflutung durch lokale Starkregenereignisse bezüglich der Schadensobjekte Gebäudeschäden sowie Personenschäden erstellt werden. Dabei ist vor allem zu unterscheiden, dass für die Gebäudeschäden ortsfeste Daten benötigt werden. Für das Schadensobjekt Personenschäden sind ortsfreie Daten erforderlich. Aus diesem Grund muss das Schadensobjekt Personenschäden stärker differenziert werden, da sich eine Person sowohl in einem Gebäude (über die Einwohnerdichte und Gebäudenutzung zu klassifizieren) als auch auf einer Verkehrsfläche (Straße, Gehsteig, Auto, usw.) befinden kann. Nachfolgend sind einzelne Empfehlungen für eine Klassifizierung bezüglich der beiden Schadensobjekte dargestellt:

Schadenpotential-Klassifizierung bezüglich Gebäudeschäden

Es existieren eine Vielzahl an Möglichkeiten diese Klassifizierung durchzuführen. In diesem Leitfaden wird eine Einteilung nach DWA-M 119 (2016) bezüglich des Schadensobjektes Gebäudeschaden empfohlen:

Schadenpotential-klasse	Nutzungsart Gebäude/Fläche	Schadenpotential
1	Kleingartenbebauung	gering
	Parks/Grünflächen	
2	Wohnbebauung ohne Untergeschoss	mäßig
	Einzelhandel/Kleingewerbe	
3	Wohnbebauung mit Untergeschoss (bewohnt)	hoch
	Industrie/Gewerbe	
	Schule/Hochschule	
4	Kindergarten/Krankenhaus/Altenheim	sehr hoch
	Rettungsdienste	
	Energieversorgung/Telekommunikation	
	Tiefgarage	
	U-Bahnzugang Unterführungen	

Abbildung 21: Empfehlung bezüglich der Schadenpotentialklassifizierung für Gebäudeschäden (DWA-M 119, 2016)

Aus diesen beiden Klassifizierungen können Schadenpotentialkarten in Abhängigkeit des jeweils betrachteten Schadensobjektes erstellt werden, indem mit Hilfe von GIS-Operationen den Objekten die jeweiligen Schadenpotentialklassen zugeordnet werden (siehe Abbildung 22).



Abbildung 22: Schadenpotentialkarten in Abhängigkeit des Schadensobjektes Gebäudeschaden

4.4. Gefährdungsanalyse

Den zweiten Teil für die Erstellung der Risikokarten aufgrund urbaner Überflutungen bildet die Gefährdungsanalyse (siehe Abbildung 19). Um die Gefährdungsanalyse durchführen zu können, benötigt es die belastungsabhängigen Zielgrößen aus der Detailanalyse (Arbeitspaket 2). Diese Zielgrößen sind die auf Plausibilität überprüften Modellergebnisse, wie zum Beispiel der Wasserstand oder die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche. Für Gebäudeschäden ist auch eine kombinierte Betrachtung der beiden Zielgrößen Fließgeschwindigkeit und Wasserstand (Viskosität) möglich. Beispielweise wird in Australien eine solche kombinierte Betrachtung empfohlen (Smith et.al., 2014; Ball et.al. 2019), welche allerdings nicht mit den Empfehlungen im nordamerikanischen Raum übereinstimmen (CHI, 2016). In Deutschland wird hingegen nur die Zielgröße Wasserstand betrachtet (DWA, 2016). Wiederum wird in Österreich eine kombinierte Betrachtung für fluviale Hochwässer herangezogen (BMLFUW, 2016).

Aus dieser Betrachtung geht hervor, dass eine allgemein gültige Klassifizierung bezüglich Gefährdungsklasse sehr schwierig möglich ist und daher wird empfohlen, dass die Definition der Zielgrößen sowie der Gefährdungsklassen mit den lokalen Behörden und Entscheidungsträgern gemeinsam abgestimmt werden soll. Die einzelnen Empfehlungen bezüglich der Klassifizierung in den einzelnen Ländern werden im nachfolgenden Kapitel 4.4.2 behandelt.

4.4.1. Datengrundlage der Gefährdungsanalyse

Die erforderliche Datengrundlage für die belastungsabhängige Gefährdungsanalyse sind zum einen die Ergebnisse aus der Detailanalyse (Wasserstand und Fließgeschwindigkeit) und zum anderen objektspezifische Daten wie zum Beispiel Landnutzungsdaten und Grundstücksdaten. Die notwendige Datengrundlage ist in Tabelle 8 dargestellt:

Tabelle 8: Datengrundlage der belastungsabhängigen Gefährdungsanalyse

Daten	Datenquelle	Datentyp
Landnutzungsdaten	CORINE Datensatz, öffentliche Einrichtungen (Stadtverwaltung)	Rasterdaten
Wasserstand und/oder Fließgeschwindigkeit	aus verifizierten 1D/2D , 2D, quasi-2D Überflutungsmodell	Vektordaten
Digitaler Grundstückskataster (Grundstücks-,Gebäude und Verkehrsflächen)	öffentliche Einrichtungen (Stadtverwaltung)	Vektordaten

4.4.2. Erstellung von belastungsabhängigen Gefährdungskarten

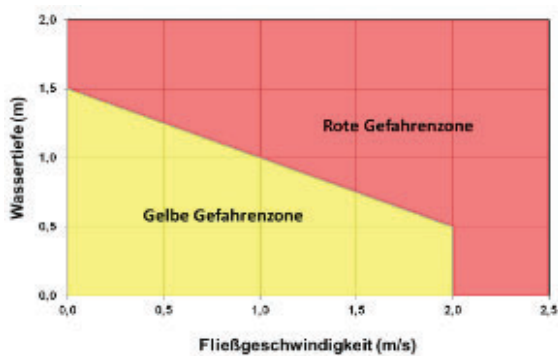
Für die Erstellung der objektbezogenen belastungsabhängigen Gefährdungskarten werden die Ergebnisse aus der Detailanalyse in sogenannte Gefährdungsklassen eingeteilt. So kann für die Klassifizierung bezüglich des Gebäudeschadens der Wasserstand an der Oberfläche, die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche oder eine Kombination von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit als Zielgröße herangezogen werden. Innovative Modellansätze, welche auch den Wasserstand im Innenbereich (Keller, Erdgeschoss, usw.) mitberücksichtigen, sind noch Gegenstand der Forschung. Daher wird für die Gefährdungsanalyse bezüglich des Gebäudeschadens nur der Wasserstand im Außenbereich berücksichtigt. Eine Empfehlung für die Definition der Gefährdungsklassen für Gebäudeschäden in den einzelnen Ländern ist nachfolgend dargestellt:

Tabelle 9: Definition der Gefährdungsklassen für das Objekt Gebäudeschaden in Deutschland (DWA-M 119,2016)

Gefahrenklassen	Überflutungsgefahr	Wasserstand
G1	gering	< 0,1 [m]
G2	mäßig	0,1 - 0,3 [m]
G3	hoch	0,3 -0,5 [m]
G4	sehr hoch	>0,5 [m]

Tabelle 10: Empfehlung für die Definition der Gefährdungsklassen mit den Grenzwerten für die Kombination aus Wasserstand und Fließgeschwindigkeit in Australien (Smith et.al., 2014; Ball et.al., 2019)

Gefährdungsklassen	kombinierter Grenzwert ($d \cdot v$ [m ² /s])	Grenzwert Wasserstand (d [m])	Grenzwert Geschwindigkeit (v [m/s])
G1	≤ 0,3	0,3	2,0
G2	≤ 0,6	0,5	2,0
G3	≤ 0,6	1,2	2,0
G4	≤ 1,0	2,0	2,0
G5	≤ 4,0	4,0	4,0
G6	≥ 4,0	-	-



Gefahrenklassen	Wasserstand	Geschwindigkeit
Bereich 1	>0,5 [m]	≤ 1 [m/s]
Bereich 2	>0,5 [m]	≥ 1 [m/s]

Abbildung 23: Empfehlungen für die Gefährdungsklasseneinteilung durch fluviale Hochwässer in Österreich (links: Ausweisung von Überflutungsflächen in gelbe und rote Gefahrenzonen (BMLFUW, 2016) ii) rechts: Einteilung von Überflutungsbereiche für Verkehrsflächen für ruhenden Verkehr bezüglich Kombination aus Fließgeschwindigkeit und Wasserstand (BMLFUW, 2015))

Tabelle 11: Empfehlung für die Einteilung der Gefährdungsklassen in Abhängigkeit des Wasserstandes und Fließgeschwindigkeit für die urbane Überflutungsvorsorge in Nordamerika (CHWater, 2018)

Gefahrenklassen	Überflutungsgefahr	Wasserstand	Fließgeschwindigkeit
G1	gering	0 - 1 [m]	0 - 0,5 [m/s]
G2	mäßig	> 1 [m]	< 0,5[m/s]
G3	hoch	0 - 1 [m]	> 0,5[m/s]
G4	sehr hoch	> 1 [m]	> 0,5 [m/s]

In Folge dieser Einteilungen können die belastungs-und objektabhängigen Gefährdungsklassen generiert werden. In nachfolgender Abbildung 24 ist ein Beispiel für eine solche Karte für Gebäudeschäden dargestellt. Dabei werden den objektspezifischen Flächen (Gebäudegrundriss) den jeweiligen Gefährdungsklassen nach der Definition aus Deutschland zugewiesen (siehe Tabelle 9).

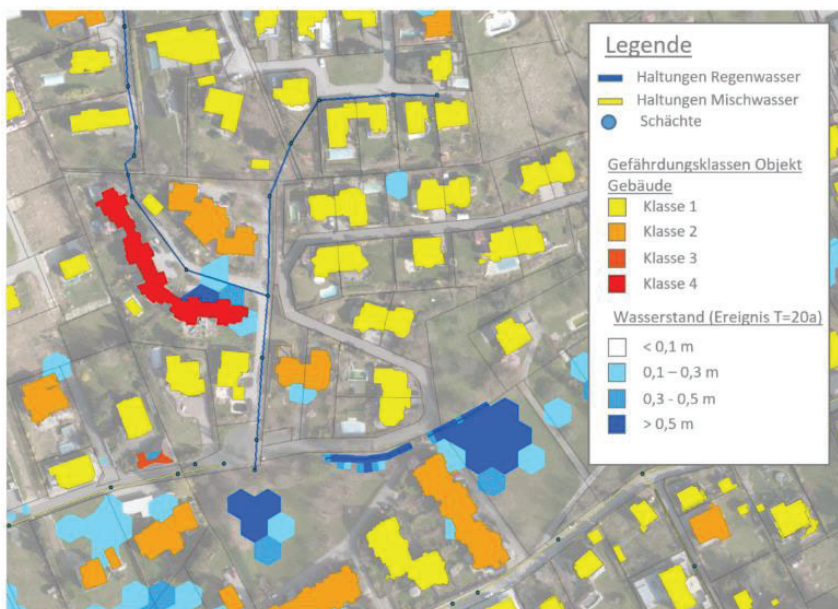


Abbildung 24: Ausschnitt einer Gefahrenhinweiskarten bezogen auf das Objekt Gebäudeschaden basierend auf die Klassifizierung in Deutschland

4.5. Risikoanalyse

4.5.1. Berechnungsansätze zur Bestimmung des Risikos

Der Risikobegriff ist ein funktioneller Zusammenhang von Gefahr und Vulnerabilität (Scheid, 2018), welcher mathematisch unterschiedlich ausgedrückt werden kann. Im Falle der urbanen Überflutungsvorsorge werden das Schadenpotential mit der Gefährdung in Abhängigkeit des betrachteten Objektes verschnitten. Das Risiko kann über verschiedenen Ansätze bestimmt werden, welche in Tabelle 12 dargestellt sind. Dabei wird vor allem zwischen dem Additionsansatz und dem Multiplikationsansatz unterschieden. Da der Multiplikationsansatz das Risiko tendenziell überschätzt und der Additionsansatz das Risiko tendenziell unterschätzt, wurde ein modifizierter Ansatz zur Bestimmung des Risikos entwickelt (Scheid, 2018), welcher den Additionsansatz mit einer Signum Funktion kombiniert und zusätzlich Skalierungsfaktoren für die Eingangsparameter des Schadenspotentials und der Gefährdung berücksichtigt. Durch die Skalierungsfaktoren ist eine differenzierte Beurteilung des Risikos möglich, daher wird dieser Ansatz für die Aufstellung der Risikomatrix verwendet. Es wird empfohlen das Schadenpotential mittels des

Skalierungsfaktors höher zu gewichten, da dem Schadensausmaß (z.B. Vergleich bei der Wahl des Verkehrsmittels, Auto oder Flugzeug) von Betroffenen höhere Bedeutung beigemessen wird, als die Frage nach der Gefährdungsursache (Wasserstand, Fließgeschwindigkeit) (Scheid, 2018).

Tabelle 12: Risikoansätze zur Berechnung des Risikos

Additionsansatz	Multiplikationsansatz	Modifizierter Additionsansatz
$R = G + S$	$R = G * S$	$R = (G * a_G + S * a_S) * \text{sign}(G)$
R = Risiko G = Gefährdung S = Schadenspotential	R = Risiko G = Gefährdung S = Schadenspotential	R = Risiko G = Gefährdung S = Schadenspotential a_G = Skalierungsfaktor Gefährdung a_S = Skalierungsfaktor Schadenspotential sign() = Signum Funktion

4.5.2. Aufstellen der Risikomatrix

Für die Erstellung der Risikokarten wird wie in den vorangegangenen Schadenspotentialanalysen und Gefährdungsanalysen eine Definition für die sogenannten Risikoklassen benötigt. Die Klassifizierung wird über sogenannte Risikomatrizen durchgeführt. Da die Gefährdungsanalyse eine belastungsabhängige Methodik darstellt, muss für die Klassifizierung die Auftretswahrscheinlichkeit mitberücksichtigt werden. Das Arbeitsblatt DWA-M 119 empfiehlt diesbezüglich eine abgestufte Klassifizierung der Risikoklassen, da dadurch die Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses in der Risikoanalyse mitberücksichtigt wird. Je nach Datenverfügbarkeit sind zwei oder mehrere Niederschlagsbelastungen für die Bewertung des Risikos im Untersuchungsgebiet anzusetzen (siehe Tabelle 5). Beispielweise wird für eine Klassifizierung für drei Niederschlagsbelastungen durch Verwendung eines Bemessungsniederschlags folgende Risikomatrizen empfohlen:

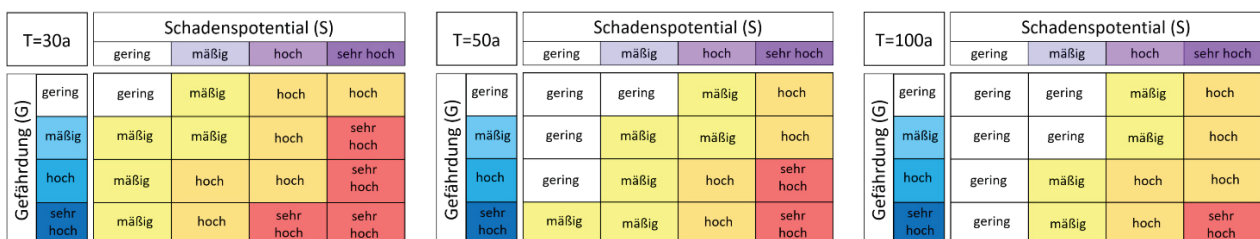


Abbildung 25: Risikomatrizen für das Objekt Gebäude mit einer Niederschlagsbelastung auf Basis den empfohlenen Modellregen mit den Wiederkehrzeiten T=30a, T=50a und T=100a (in Anlehnung an DWA-M 119)

4.5.3. Erstellen der Risikokarten

Da für das Erstellen der Risikokarten eine hohe Anzahl an georeferenzierte Daten verarbeitet werden müssen, sind Geoinformationssysteme (GIS) ein hilfreiches Werkzeug, um Risikokarten generieren zu können. Diese Risikokarten müssen neben der Darstellung der Risikoklassen auf das Schadensobjekt, auch Informationen bezüglich der Belastung und der verwendeten Modellergebnisse beinhalten. Zusätzlich muss ersichtlich sein, welche Teilsysteme (z.B. Urbane Fließgewässer und/oder Kanalsystem) berücksichtigt wurden. In weiterer Folge werden alle geforderten Inhalte bezüglich der Risikokarten aufgezählt:

- Hoch aufgelöstes Orthofoto
- Verwendete Modellergebnisse (inkl. Klassifizierung der Modellergebnisse)
- Verwendetes Schadensobjekt für die Risikoberechnung (z.B. Gebäude für Gebäudeschaden)
- Kanalhaltungen (Unterscheidung in Regenwasserkanal und Mischwasserkanal)
- Kanalschächte
- Klassifizierung des Risikos inkl. verwendeter Risikomatrix
- Eventuelle Darstellung von Daten, welche für die Plausibilitätsüberprüfung verwendet wurden (Abhängig vom verwendeten Belastungsszenario und Datenverfügbarkeit)

In Abbildung 26 ist ein Auszug einer Risikokarte mit allen relevanten Inhalten dargestellt. Die farbliche Darstellung soll dabei so gewählt werden, dass alle relevanten Inhalte klar zu unterscheiden und zu erkennen sind. Es muss für jedes Belastungsszenario eine eigene Risikokarte erstellt werden, diese Risikokarten stellen das finale Produkt dieses Arbeitspaketes dar.

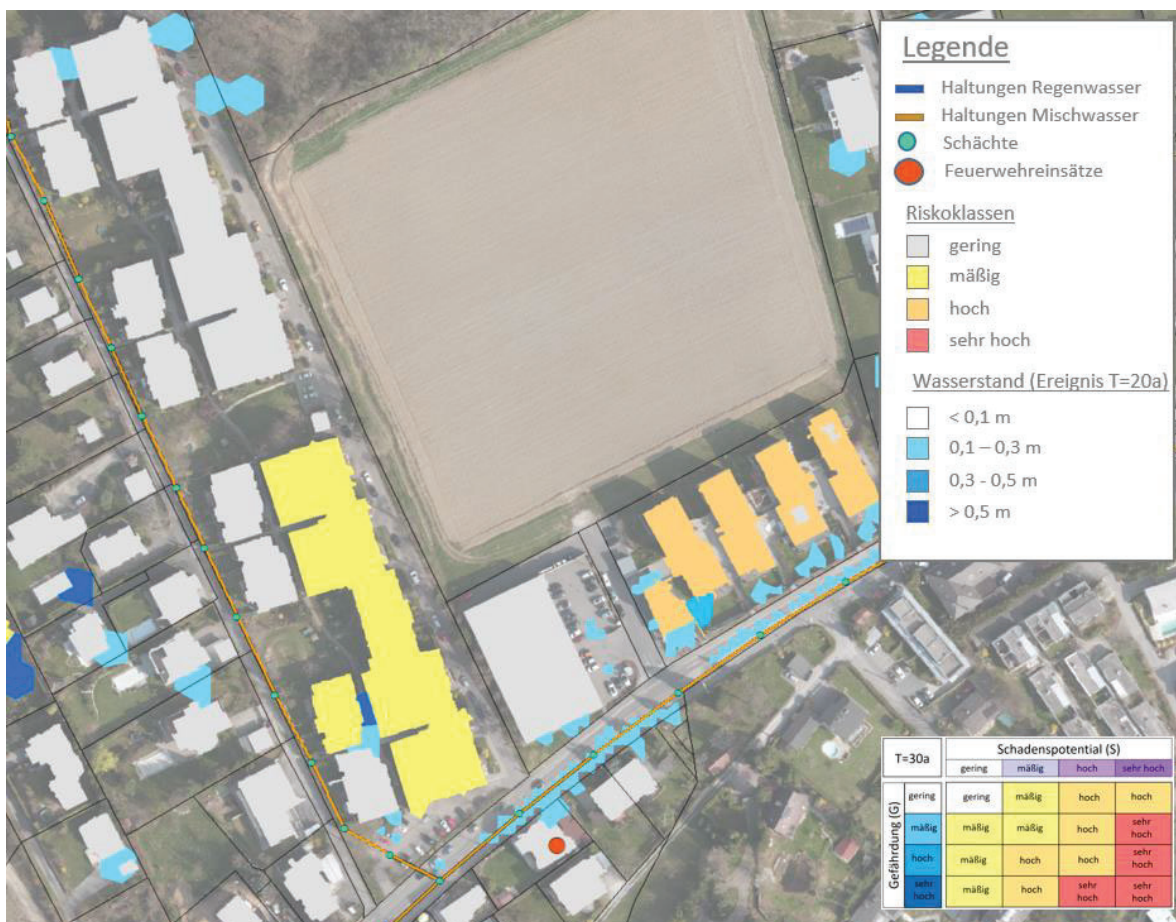


Abbildung 26: Beispiel für eine Risikokarte auf Basis des modifizierten Additionsansatzes nach (Scheid, 2018) für eine reale Niederschlagsbelastung mit einer Wiederkehrzeit von 20 Jahren

4.6. Ergebnisse des Arbeitspaketes 3

Die Risikokarten sind nicht nur das Endergebnis dieses Arbeitspaketes, sondern auch das Endergebnis des gesamten Leitfadens. Mit diesen Karten können Objekte (Grundstücke, Gebäude) identifiziert werden, welche das höchste Risiko bezüglich eines Überflutungsereignisses mit einer definierten Wiederkehrzeit aufweisen.

Neben den Risikokarten stellen auch die Gefährdungskarten für jedes Belastungsszenario und die Schadenspotentialkarten der beiden Schadensobjekte Teilergebnisse des dritten Arbeitspaketes dar. Nachfolgend sind zusammenfassend alle Karten, welche im Zuge dieses Leitfadens erstellt werden müssen, aufgezählt:

- Schadenspotentialkarten für Gebäudeschäden
- Gefährdungskarten für alle Belastungsszenarien
- Risikokarten für alle Belastungsszenarien
- Hot-Spot Karte (Ergebnis der Voruntersuchung (siehe AP 1))

Die Risikokarten als Endergebnis dieses Leitfadens stellen eine Grundlage für nachfolgende Maßnahmenplanungen dar, um das Risiko bezüglich Überflutungsereignisse in urbanen Gebieten zu mindern. Die Definitionen sowie die Auswirkungen dieser Maßnahmen sind jedoch nicht Gegenstand dieses Leitfadens und werden daher nicht thematisiert.

Da die Datengrundlage erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der objektbezogenen Überflutungsrisikoausweisung hat und diese in vielen Fällen unzureichend ist (Fensterschächte, Senken im DGM, vorhandene Drainagen, etc.), müssen die identifizierten Objekte mit erhöhter Risikoklasse im Zuge einer genaueren Analyse detailliert betrachtet und bewertet werden. Die Risikokarten stellen daher einen ersten Hinweis für mögliche Maßnahmen bezüglich Überflutungsschutzes dar. In diesem Kontext soll auf die österreichweit noch nicht definierte Rechtsgrundlage bezüglich urbaner Überflutungsvorsorge beziehungsweise pluvialen Überflutungen hingewiesen werden.

5. Fallbeispiel „Annabach“

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den einzelnen Arbeitspaketen (1 bis 3) werden nachfolgend auf das Einzugsgebiet *Annabach* in Graz angewandt, um die in diesem Leitfaden erstellte Planungsmethodik beispielhaft zu demonstrieren.

5.1. Voruntersuchung

5.1.1. Datengrundlage

5.1.1.1. Beschreibung des Projektgebietes

Im Zuge des RAINMAN Interreg Projektes wurde das Fallbeispiel Annabach in Graz ausgewählt, um für dieses Einzugsgebiet (EZG) die geforderten Risikokarten im Zuge der urbanen Überflutungsvorsorge zu erstellen. Das Annabach EZG liegt im Osten der Stadt Graz und stellt eine typische städtische Randlage dar. In Abbildung 27 ist die Lage innerhalb des Stadtgebietes sowie das Annabach EZG selbst dargestellt.

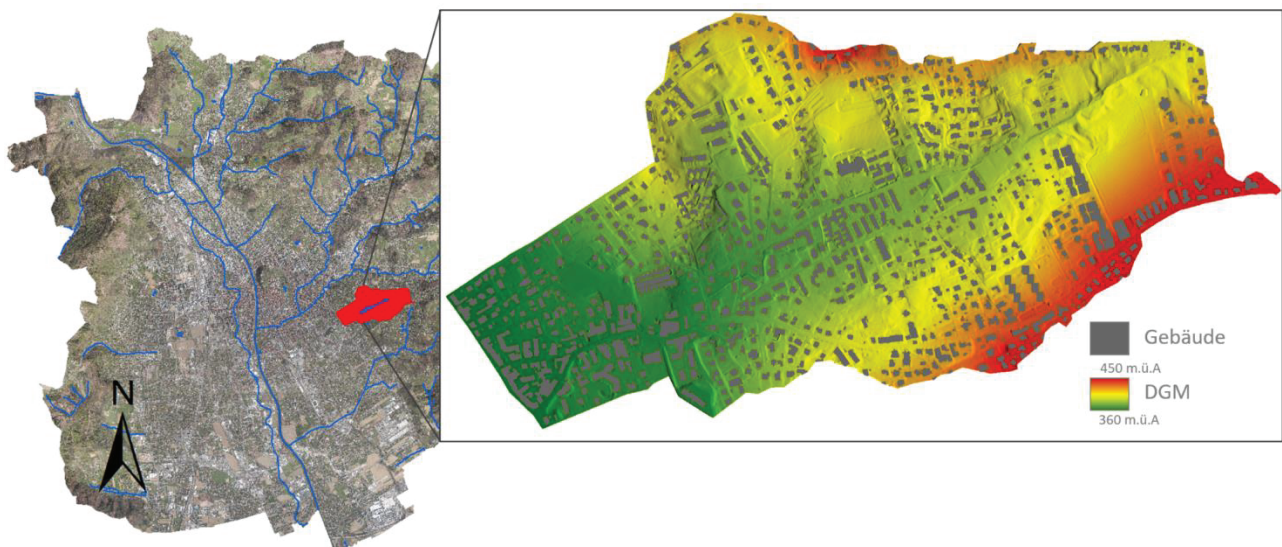


Abbildung 27: EZG Annabach (links: Lage des Einzugsgebiet (rot) innerhalb des Grazer Stadtgebietes, rechts: EG mit dem DGM sowie den Gebäudegrundrissen)

Das Annabach EZG beinhaltet alle drei Teilsysteme (Hanglage (inkl. Kanalsystem), Urbane Fließgewässer sowie Urbaner Raum (inkl. Kanalsystem)). Das Annabach EZG weist eine topografische Talstruktur auf, welche sowohl im Norden als auch im Süden eine Hanglage beinhaltet. Die südliche Hanglage zeigt ein durchschnittliches Oberflächengefälle von 10 Prozent auf und das durchschnittliche Oberflächengefälle der nördlichen Hanglage beträgt 15 Prozent.

Die Bebauungsstruktur im gesamten EZG wird als heterogen eingestuft. Es sind sowohl Einfamilienhaus, Mehrfamilienhäuser, Bungalow und öffentliche Einrichtungen (Schulen, Kindergärten, usw.) im EZG enthalten. In Tabelle 13 ist die Anzahl der jeweiligen Bebauungstypen dargestellt. Der Versiegelungsgrad im gesamten Annabach EZG liegt bei 25 Prozent.

Tabelle 13 : Anzahl der jeweiligen Gebäudetypen im Annabach EZG

Gebäudetyp	Anzahl
Bungalow	47
Einfamilienhaus	498
Mehrfamilienhaus	193
Garage/Gartenhaus	184
Öffentliche Einrichtung	4
Summe	926

Die Hanglage als Teilsysteme des EZG beinhaltet wie das Teilsystem Urbaner Raum ein Entwässerungssystem. Das Entwässerungssystem besitzt an mehreren Stellen im EZG Überlaufbauwerke. Durch diese entsteht eine bidirektionale Interaktion mit dem Annabach als urbanes Fließgewässer. Dieser ist teilweise kanalisiert und nicht direkt im Grazer Gewässernetz integriert, sondern wird über einen Regenwasserkanal in den Leonhardbach eingeleitet. Die Struktur des Entwässerungssystems sowie die genaue Lage des Annabachs ist in Abbildung 28 dargestellt.

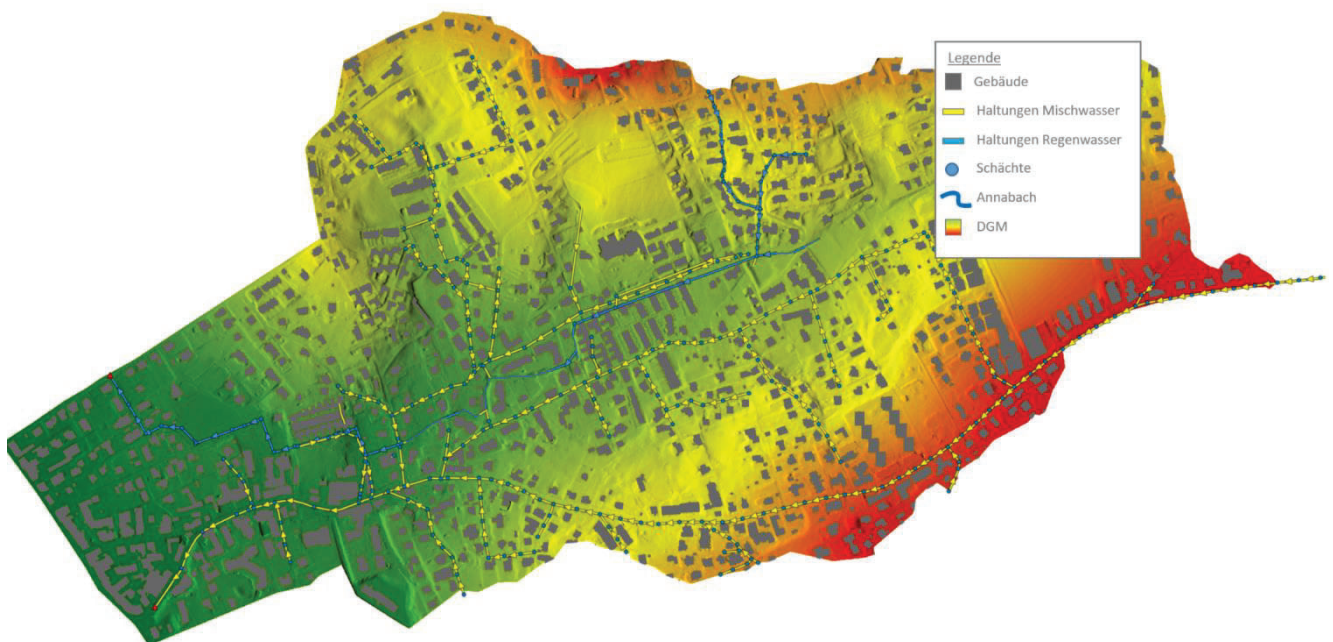


Abbildung 28: Annabach EZG mit dem Entwässerungssystem (Mischwasserkanal (MW) gelb, Regenwasserkanal (RW) blau) sowie der Lage des Fließgewässers

Die Bodenverhältnisse weisen bezüglich des Abflussbildungsprozess ungünstige Bedingungen auf, da aufgrund des schluffig-lehmigen Bodens die Filtergeschwindigkeit sehr gering eingeschätzt wird (10^{-6} - 10^{-8} [m/s]) und daher der Versickerungsanteil in der Abflussbildung sehr klein wird. Aus diesem Grund ist mit erhöhten Oberflächenabfluss besonders an den Hanglagen zu rechnen.

Nachfolgend sind die wichtigsten Eigenschaften des Annabach EZG in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Zusammenfassende Beschreibung des Annabach EG

Eigenschaften	Ausprägung
Geographie	Talstruktur mit nördlicher und südlicher Hanglage
Fließgewässer	Annabach, welcher teilweise kanalisiert ist
Fläche EG	132 [ha]
Versiegelungsgrad	25 Prozent
Hangneigung	nördlich: 15 Prozent, südlich: 10 Prozent
Bodenverhältnisse	schluffig-lehmig ($k_f = 10^{-6} - 10^{-8}$ [m/s])
Bebauungsstruktur	heterogen (Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Öffentliche Einrichtung, usw.)

5.1.1.2. Notwendige Daten für das Annabach EZG

In weiterer Folge werden alle Daten, welche für die modellbasierte urbane Überflutungsvorsorge des Fallbeispiels Annabach notwendig sind aufgezählt. Diese Daten bilden die Grundlage sowohl für die Voruntersuchung (Fließweganalyse und Überstaunachweis) wie auch für die Detailanalyse (2D, quasi 2D Oberflächenabflusssimulationen) und Risikoanalyse.

- Detailliertes hydraulisches Kanalnetzmodell
 - Hydraulisches Kanalnetzmodell inkl. Trockenwetterabfluss (Quelle: Holding Graz Wasserwirtschaft, Stadtermessungsamt Graz)
 - DEM (Auflösung mind. 1 m horizontal und 20 cm vertikal) (Quelle: Stadtvermessungsamt Graz)
 - Orthofoto (Auflösung mind. 1 m) (Quelle: Stadtvermessungsamt Graz)
 - Gewässerkarte (Bäche, Seen, Flüsse) (Quelle: Land Steiermark bzw. Stadtvermessungsamt Graz)
 - Landnutzungskarte (inkl. Gebäudeinformationen) (Quelle: Stadtvermessungsamt Graz, CORINE Datensatz)
 - Informationen zum Anschlussgrad der versiegelten Flächen sowie zu Maßnahmen zur direkten Niederschlagswasserbewirtschaftung (Quelle: Stadtvermessungsamt Graz, Holding Graz Wasserwirtschaft)

- 10 Jahre Niederschlagskontinuum für das Einzugsgebiet (hydrographische Dienste, ZAMG, Kanalnetzbetreiber, Feuerwehr, Kommune)

- Daten zu den Adressen von Feuerwehreinsätzen für die realen Starkregenereignisse im Jahre 2005, 2009 und 2013. Diese Daten werden vor allem für die Modellüberprüfung in der Detailanalyse verwendet, um die Modellergebnisse mit den Schadensmeldungen zu vergleichen.

- Detailliertes DKM mit den Gebäudeflächen und den Dachausmittlungen (Quelle: Stadtvermessungsamt)
 - Für die Risikoanalyse ist die Nutzung der Gebäude- und Verkehrsflächen essenziell. Allerdings konnte über das DKM die Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Bungalow, usw.) nicht den Gebäudeflächen zugeordnet werden. Aus diesem Grund wurde mit Hilfe der Dachausmittlung in Kombination mit Google Earth diese Lücke geschlossen.
- Da das vorliegende DGM eine Auflösung von 1 x 1 Meter aufweist, mussten die Bruchkanten über eine Ortsbegehung sowie Google Street View und einen Naturdatensatz (Quelle: Stadtvermessungsamt) für die Mauern und Zaunsockel manuell erhoben werden und anschließend das DGM über Rasterdatenoperationen im GIS nachbearbeitet werden. Dafür wurden folgende Höhen gewählt:
 - Bordstein: 10 [cm]
 - Mauer: 1 [m]
 - Zaunsockel: 20 [cm]

Für die Risikoanalyse sind neben der Gebäudenutzung auch die Information über ein vorhanden sein von Kellern bzw. Tiefgaragen und anderen Tiefpunkten essenziell. Diese Daten wurden für das Annabach EZG von der zuständigen Behörde (Quelle: Stadt Graz Präsidialabteilung/Statistik) zur Verfügung gestellt.

5.1.2. Ortsbegehung

Im Zuge mehrerer Ortsbegehungen sowie mit Hilfe von Google Street View wurde die bestehende Datengrundlage evaluiert. Zusätzlich wurden Informationen über etwaige Sondermaßnahmen bezüglich des Entwässerungssystems im Zuge mehrerer Personeninterviews in der Abteilung für Grünraum und Gewässer der Stadt Graz eingeholt. Folgende Daten konnten im Zuge der Ortsbegehung evaluiert werden:

- Gehsteigkanten wurden zunächst händisch in einem Umgebungsplan eingezeichnet und anschließend als Polygonflächen im GIS digitalisiert. Als zweiter Schritt wurden diese mittels Rasterdatenoperationen (GIS) in das bestehende DGM eingearbeitet. Im Zuge dieses Arbeitsschrittes wurden auch die Zaunsockel und Mauern (Naturdatensatz) in das DGM eingearbeitet, sodass diese nun Fließhindernisse darstellen. Dieser Vorgang ist in Abbildung 29 dargestellt.

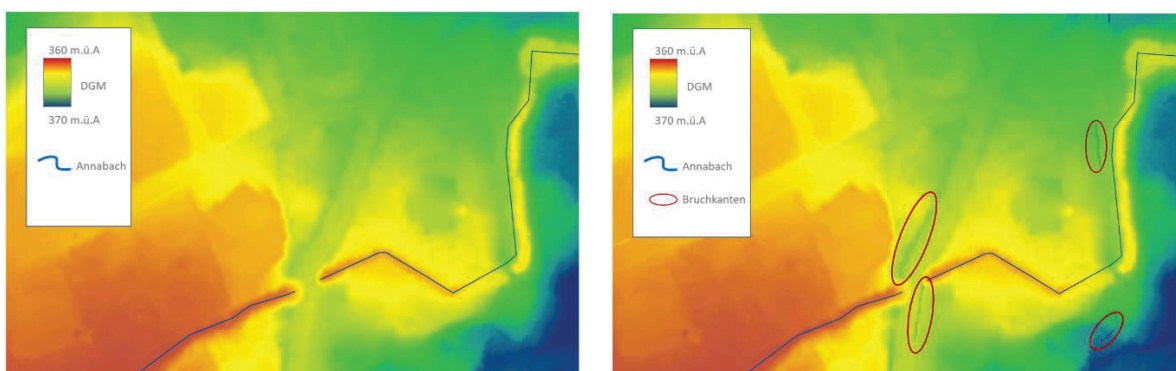


Abbildung 29: Einarbeiten der Gehsteig Bordkanten sowie den Zaunsockeln und Mauerwerke (rechts: DGM vor der Bruchkanten Einarbeitung, links: DGM nach der Bearbeitung)

- Strukturelle Veränderung der Daten aus dem Kanalnetzmodell. Im Zuge der Ortsbegehung wurde einige Besonderheiten im Entwässerungssystem entdeckt. Diese wurde auf Nachfrage bei der Abteilung für Grünraum und Gewässer der Stadt Graz bestätigt. All diese identifizierten Besonderheiten wurden nachträglich in das vorliegende Kanalmodell eingearbeitet.
 - Altes Regenrückhaltebecken am Oberlauf des Annabach Gerinnes
 - Parallel zum Mischwasserkanal verlaufende Straßenentwässerung auf der Oberen Teichstraße. Dies war eine Maßnahme aufgrund einer identifizierten Problemstelle durch vergangene Ereignisse.
 - Speicherbauwerk im Zuge einer neu errichteten Siedlung mit Abschlag in den Regenwasserkanal des Annabaches (Obere Teichstraße)
 - Querschnittsvergrößerungen von einzelnen Durchlässen des Annabach Gerinnes.
 - Zusätzliche Keller und Tiefgaragen wurden entdeckt, welche nicht aus den Kellerdaten ersichtlich waren
- Entlang des Annabach Gerinnes wurden einige Durchlässe entdeckt welche nicht der Dimension aus der Datengrundlage entsprechen. Die Querschnitte dieser Durchlässe wurden daher auf die realistische Dimension angepasst (DN1000 zu Rechteckprofil mit 1,5 x1 Meter)

5.1.3. Hot-Spot Analyse

5.1.3.1. Fließweganalyse

Für die topographische Fließweganalyse wird die D8-Methode mit Füllung der Senken angewendet. Neben den topographischen Fließwegen wird in einem EZG mit Fließgewässer auch das hydrologische EZG mit dieser Methode bestimmt. Als Ergebnis erhält man jene Fläche, welche auf den Abflussprozess des Fließgewässers einen Einfluss hat. Als alleinige Datengrundlage benötigt diese Methode ein hochaufgelöstes oder modifiziertes DGM. Neben dem Fließgewässer werden auch die Haltungen des Entwässerungssystems (MW und RW) in das modifizierte DGM eingebrannt und anschließend die Senken gefüllt. Im Anschluss wird die D8 Methode angewendet und die Abflussakkumulation jeder Rasterfläche berechnet. Dadurch können die rein topographischen Fließwege bestimmt werden indem die Abflussakkumulation klassifiziert wird (>0 ha, >1 ha, >10 ha und > 100 ha). Die Fließwegkarte für das Annabach EZG ist in Abbildung 30 dargestellt.



Abbildung 30: Ergebnis aus der topographischen Fließweganalyse (Einteilung in 4 Abflussakkumulationsklassen)

5.1.3.2. Überstaunachweis

Der Nachweis wurde anhand der Niederschlagsserie der Niederschlagsmessstation Annabach-Lang (südöstlich in Abbildung 31) durchgeführt. Dabei wurden die Jahre 2005 bis 2014 der Serie gewählt, die auch die relevanten Ereignisse für die 2D-Oberflächenüberflutungsmodellierung enthalten. Anhand der Vorgehensweise von Fuchs (1991) und Verworn (1999) wurden die Ereignisse aus Tabelle 15, die für den Überstaunachweis relevant sind, aus der Langzeitserie extrahiert und ausgewertet.

Tabelle 15: Relevante Ereignisse für den Überstaunachweis

Ereignis	Start	Ende	NS-Summe	5-m-Spitze	Dauer in h
01	20.08.2005 15:35	21.08.2005 15:15	119.5	4.2	23.67
02	04.06.2007 14:40	04.06.2007 18:20	36.3	5.7	3.67
03	26.06.2008 22:20	27.06.2008 02:10	72.1	7.6	3.83
04	14.07.2008 14:20	14.07.2008 16:35	38.6	8	2.25
05	15.07.2009 19:35	15.07.2009 20:20	21.8	8.2	0.75
06	18.07.2009 09:00	18.07.2009 12:55	68.4	11	3.92
07	10.08.2009 17:10	10.08.2009 17:55	32.7	10	0.75
08	21.08.2009 20:05	21.08.2009 21:15	30.2	6.5	1.17
09	15.06.2010 19:05	16.06.2010 08:50	69.4	3.9	13.75
10	30.06.2010 13:35	30.06.2010 18:45	29.5	7.3	5.17
11	11.08.2010 19:10	11.08.2010 20:55	44.3	6.2	1.75
12	03.08.2011 21:20	04.08.2011 06:05	54.7	10.6	8.75
13	01.09.2011 16:30	01.09.2011 18:00	51	14	1.50
14	22.05.2012 07:25	22.05.2012 15:55	41.9	2.9	8.50
15	06.05.2013 21:40	07.05.2013 04:00	72.4	7.3	6.33
16	04.06.2014 18:10	04.06.2014 18:50	24.1	5.8	0.67

Abbildung 31 zeigt das Ergebnis der Auswertung. Es fällt auf, dass entlang der Waltendorfer Hauptstraße große Probleme im Kanalsystem auftreten. Nach Absprache mit dem Kanalnetzbetreiber wurde allerdings geklärt, dass es sich dabei um ein Problem in der Datengrundlage handeln muss, welches in naher Zukunft behoben werden soll. Nichtsdestotrotz sollte dieser Bereich in der 2D-Modellierung auf jeden Fall genauer betrachtet werden. Die anderen Punkte decken sich mehr oder weniger mit den Daten der Einsatzleitung der Feuerwehr und den Erfahrungen des Kanalnetzbetreibers und sind damit Indikatoren, wo das 2D-Modell mit einer höheren Auflösung versehen werden sollte.

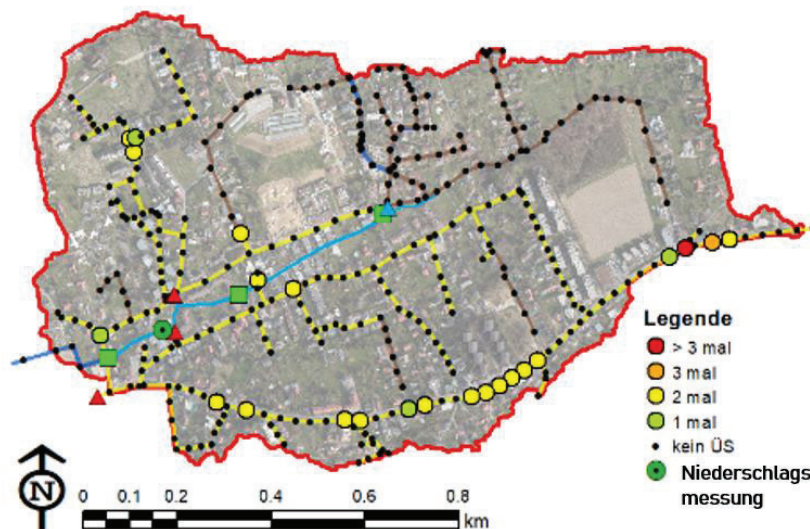


Abbildung 31: Ergebnis aus dem Überstaunachweis - Die gekennzeichneten Schächte weisen mindestens einen Überstau für die Langzeitsimulation auf

5.1.3.3. Kritische Infrastruktur und potentiell gefährdete Gebiete

Die Elemente der kritischen Infrastruktur im Annabach EZG sind vor allem Öffentliche Gebäude der Stadtverwaltung und mehrere öffentliche und private Bildungseinrichtungen. In Abbildung 32 sind alle Gebäude dargestellt, welche als Kritische Infrastruktur im Annabach EZG deklariert wurden.

Legende

 Gebäude

 Fließwege (> 0 ha)

 Kritische Infrastruktur

1. Volksbank Waltendorf
2. Volksschule Waltendorf
3. Magistrat Waltendorf
4. GIP Kindergarten
5. Kindergarten Waltendorf
6. Kinderkrippe Waltendorf



Abbildung 32: Kritische Infrastruktur Objekte innerhalb des Annabach EZG

5.1.3.4. Ergebnis der Hot Spot Analyse

Mit der Kombination aus der topographischen Fließweganalyse, des Überstaunachweises und der Lokalisierung von Kritischer Infrastruktur Objekten können die Hot-Spots des Anabach EZGs identifiziert werden. Diese Bereiche sollen im Zuge der Detailanalyse genauer untersucht werden. Da das Annabach EZG ein sehr kleines EZG darstellt (Gesamtfläche = 132 [ha]), wird für das gesamte EZG eine Detailanalyse durchgeführt. Die identifizierten Hot-Spots stellen in solchen kleinen EZG erste Hinweispunkte für erhöhtes Gefährdungspotential bezüglich Überflutungsereignisse dar. Eventuelle können an den Punkten der Hot Spots eine Netzverdichtung für die 2D Oberflächenabflusssimulationen durchgeführt werden. Auf jeden Fall müssen die identifizierten Hot Spots verstärkt analysiert werden.

In Abbildung 33 ist eine Hot Spot Karte für das Annabach EZG dargestellt. In dieser wird ersichtlich, dass vor allem auf der Waltendorfer Hauptstraße im Süden des EZG (Hot Spot 1,3 und 4) und an der Oberen Teichstraße nördlich des Annabach Gerinnes (Hot Spot 2) Problemzonen bezüglich Überstau aus der Kanalisation beobachtet werden konnten. Dies wurde auch durch vergangenen Einsätzen durch die Feuerwehr bestätigt. Die Hauptfließwege stellen sich im westlichen Teil der Waltendorfer Hauptstraße ein. Ebenso konnte ein Hauptfließweg an der nördlichen Hangle in der unmittelbaren Nähe des Hot Spot 2 identifiziert werden.



Abbildung 33: Hot Spot Analyse als Endergebnis der Voruntersuchung (Kombination aus: Fließweganalyse, Überstaunachweis, vergangener Ereignisse sowie Kritische Infrastruktur Objekte)

5.2. Detailanalyse

Wie in Abschnitt 5.1.3.4 bereits vermerkt wurde, wird für das gesamte Annabach EZG eine Detailanalyse durchgeführt. In den nachfolgenden Abschnitten wird in einem ersten Schritt das System im Annabach EZG definiert. Anschließend wird das integrierte Überflutungsmodell erstellt. Nachdem die Belastungsszenarien definiert und simuliert wurden, werden die Modellergebnisse auf Plausibilität überprüft. Für diese Plausibilitätsüberprüfung werden Einsatzdaten der Berufsfeuerwehr Graz von zwei vergangenen Starkregenereignisse verwendet.

5.2.1. Systemdefinition

5.2.1.1. Teilsysteme

Wie in Abschnitt 5.1.1.1 beschrieben wurde, beinhaltet das Annabach EZG sowohl zwei Hanglagen (nördlich und südlich), ein kleines urbanes Fließgewässer (der Annabach, welcher teilweise kanalisiert und teilweise als natürliches Gerinne vorliegt) und das Teilsystem urbaner Raum mit einer heterogenen Bebauungsstruktur sowie einem Entwässerungssystem. Die Hanglage weist wie das Teilsystem Urbaner Raum bebauten Wohngebiet mit einer geringeren Bebauungsdichte auf. Aus diesem Grund liegt auch im Teilsystem Hanglage ein Entwässerungssystem vor. Es sind folgende Teilsysteme und Interaktionen zwischen den Teilsystemen im Annabach EZG vorhanden, welche in Tabelle 16 ersichtlich sind.

Tabelle 16: Teilsysteme im Annabach EZG mit den Interaktionen zwischen den Teilsystemen

Teilsysteme	Interaktion mit Teilsystem
Hanglage (nördlich und südlich im EG)	<ul style="list-style-type: none">▪ Urbane Fließgewässer (unidirektional)▪ Urbaner Raum (unidirektional)
Urbanes Fließgewässer	<ul style="list-style-type: none">▪ Urbaner Raum (unidirektional)▪ Hanglage (unidirektional)
Urbaner Raum	<ul style="list-style-type: none">▪ Hanglage (unidirektional)▪ Urbanes Fließgewässer (bidirektional)

5.2.2. Integrierte Überflutungsmodellierung

5.2.2.1. Modell-Layer-Konzepte

In jedem einzelnen Teilsystem (Hanglage, Urbane Fließgewässer und Urbaner Raum) werden sogenannte Layer-Konzept (siehe Kapitel 3.3.1) entwickelt, wodurch die benötigten Modelle und die Koppelungen zwischen den Modellen in den einzelnen Teilsystemen im Annabach EZG definiert sind. Die jeweiligen verwendeten Layer-Konzepte sind in Tabelle 17 schematisch dargestellt.

Tabelle 17: Schematische Darstellung der Layer-Konzepte für die Überflutungsmodellierung in den jeweiligen Teilsystemen des Annabach EZG (Leitner, 2018)

Hanglage (inkl. Kanalisation)	Urbane Fließgewässer	Urbane Raum (inkl. Kanalisation)

5.2.2.2. Integrierter Modellansatz

Über die Kombination aus den Interaktionen zwischen den Teilsystemen (Tabelle 16) und den jeweiligen Layer-Konzepten, wird ein integrierter Modellansatz zur Erstellung eines urbanen Überflutungsmodells für das Annabach EZG formuliert. Dieser Ansatz ist Software unabhängig, daher kann jede Software verwendet werden, welches eine dynamische Koppelung der einzelnen Modell-Layer zulässt. Ein Ablaufdiagramm, welches die Interaktionen und die Modellkoppelungen berücksichtigt, ist in Abbildung 34 dargestellt.

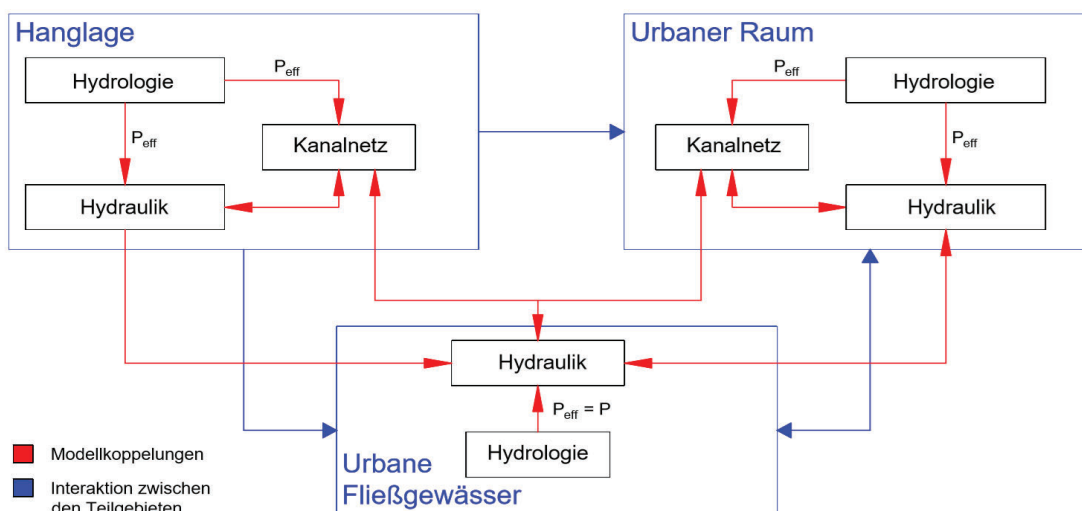


Abbildung 34: Ablaufdiagramm des Modell Konzeptes für das Annabach EZG (Leitner, 2018)

5.2.2.3. Verwendete Modell-Layer

Aus Abschnitt 5.2.2.2 kann geschlossen werden, dass ein integrierter Modellansatz notwendig ist, um das Überflutungsrisikos im Annabach EZG bestimmen zu können. Ein sogenanntes integriertes Überflutungsmodell für das Annabach EZG kann nur erstellt werden, wenn die hydrologischen und hydraulischen (Oberfläche und Kanal) Modell-Layer für diesen Anwendungsfall definiert sind. In nachfolgender Tabelle 18 sind die Modelle, welche für das Fallbeispiel zur Anwendung kommen, ersichtlich.

Tabelle 18: Verwendete Modellansätze für die Erstellung eines integrierten Überflutungsmodell für das Annabach EZG

Modell-Layer	Modellansatz	Modell-Input	Modell-Output
Hydrologisches Modell	Hydrological Response Units (HRU) Einheitsganglinie (Abflusskonzentration)	Starkregenereignis als Zeitserie	Peff, Abflussganglinie
Hydraulische Oberflächenabflussmodell	Quasi-2D Ansatz (integrierter 1D-2D Modellansatz)	Peff, Abflussganglinie	Wasserstand und Fließgeschwindigkeit auf der Oberfläche
Hydraulisches Kanalmodell	1D- Kanalmodell mit SWMM 5 Rechenkern (Rossman, 2007)	Peff, Abflussganglinie	Wasserstand und Überstauvolumen am Knoten (Kanalschacht)

In jedem Teilsystem (Hanglage, Urbanes Fließgewässer und Urbaner Raum) kommen dieselben Modellansätze für zur Anwendung. Aus diesem Grund entfällt die Koppelung zwischen den einzelnen Teilsystemen (Interaktion sind automatisiert gekoppelt). Daher wird in jedem Teilsystem dieselbe zeitliche Diskretisierung (Zeitschritte) für die hydrodynamische Berechnung der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche verwendet. Die Interaktion zwischen Kanalmodell und hydraulischen Oberflächenabflussmodell wird über die Straßeneinläufe an jedem Knoten des Kanalmodells berücksichtigt. Diese Koppelung wird automatisiert durchgeführt. Die hydraulische Formulierung für den Wassereintritt und den Wasseraustritt wird mittels iterativen Prozesses (auf Basis der HardyCross Methode) gelöst. In Kombination mit der Überlauformel nach Torricelli und der Berechnung der Reibungsverluste nach Hazen-Williams oder Darcy-Weisbach wird anschließend der Abfluss im Überstaufall berechnet (Rossman, 2017).

5.2.2.4. Räumliche Diskretisierung

Im Zuge der Modellerstellung wird das gesamte Annabach EZG in Rasterzellen (2D-Zellen) eingeteilt. Die Auflösung dieser Zellen variieren je nach Flächennutzung (Straßenflächen, Fließgewässer Annabach und Grundstücksflächen). In diesem Kontext soll erwähnt werden, dass die gewählte Auflösung einen großen Einfluss auf die numerische Berechnung und die Simulationszeit hat. Dabei wurde folgender Grundsatz angewendet: „Die Auflösung soll so groß wie nötig und so gering als möglich gewählt werden“. Die Auflösung entlang der Hauptverkehrswege (Waltendorfer Hauptstraße, Obere- und Untere Teichstraße) und entlang des Annabach Gerinnes wurde sehr klein gewählt. Da in diesen Bereichen die Hot-Spots lokalisiert wurden.

5.2.2.5. Wahl der Modellparameter

Jeder 2D-Zelle wird im Anschluss an die räumliche Diskretisierung einer Landnutzung Klasse (siehe Abbildung 11) für das hydrologische Modell zugewiesen. In Abhängigkeit der Landnutzungsklassen (Verkehrsflächen, Dachflächen, Grünfläche, Acker oder landwirtschaftliche Flächen, Wasserflächen und Wald- bzw. Buschflächen) werden anschließend jeder 2D-Zelle die hydrologischen Parameter (Rauigkeit, Verlustgrößen (Mulden, Interzeption), usw.) zugewiesen, um Peff nach Gl. (2) berechnen zu können. Als Infiltrationsmodell wird der vereinfachte Modellansatz nach Green-Ampt gewählt, welcher die Saugspannung, die hydraulische Leitfähigkeit und die Anfangsbodenfeuchte berücksichtigt.

Die Interzeptionsverluste werden berücksichtigt, indem die Muldenverluste für das HRU Baumfläche und Grünfläche erhöht wird. Die Muldenverluste im Teilsystem Hanglage werden aufgrund der höheren

Oberflächenneigung um die Hälfte reduziert ((Dyck und Peschke, 1995). Für die Abflusskonzentration wird der Ansatz der Einheitsganglinie verwendet.

Um eine sinnvolle Wahl der hydrologischen und hydraulischen Modellparameter sicherzustellen, wurde nach wie folgt vorgegangen:

- Definition der Wertebereiche über eine Literaturrecherche
- Identifizierung der sensitiven Parameter (über Sensitivitätsanalyse nach Wan und James (2002))
- Kontrolle der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse mit den definierten Wertebereichen der HRUs aus der Literaturrecherche

Als Belastung für die Sensitivitätsanalyse wurde ein reales Belastungsereignis im April 2018 verwendet, welches in einer hohen zeitlichen Auflösung als Zeitreihe (Minutenwerte) über das kooperative Messnetz Graz zu Verfügung gestellt wird. Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Rauigkeit des hydraulischen Modells und die Verlustgrößen (Mulden und Interzeption) des hydraulischen Modells am sensitivsten bezogen auf die Abflusskurve im Regenwasserkanal des Annabachs sind (Abbildung 35). Die Ergebnisse wurden im Anschluss mit den Wertebereichen aus der Literatur verglichen und zufriedenstellende Ergebnisse erzielt. Womit sichergestellt wird, dass die sensitiven Modellparameter innerhalb einer realistischen Bandbreite gewählt wurden. Das Ergebnis ist in Tabelle 19 dargestellt. Da aus der Sensitivitätsanalyse hervorgeht, dass für die Rauigkeit zu glatte Werte gewählt wurden. Wird der Maximalwert des angegebenen Wertebereichs für die Rauigkeit angesetzt.

Tabelle 19: Wertebereiche der relevanten Modellparameter aller HRUs mit ihren Sensitivitäten (rot: hoch sensitiv, orange: sensitiv, grün: mittel sensitiv, weiß: gering sensitiv)

HRUs	Wertebereich der Parameter nach der Sensitivitätsanalyse	
	Rauigkeit nach Manning	Verlustgrößen (Mulden + Interzeptionsverluste)
Straße	0,0073 - 0,013	0,6 - 2,2
Grünfläche	0,13 - 0,52	4,2 - 7,54
Gebäudedächer	0,001 - 0,52 (Gründach)	0,1 - 7,54 (Gründach)
Acker	0,1 - 0,29	2,72 - 12,4 (Abhängig vom Bewuchs der landwirtschaftlichen Fläche)
Baum und Strauch	0,32 - 0,76	7,5 - 14,62 (Nadelbewuchs weißt deutlich höhere Interzeptionsverluste auf)
Gewässersohle	0,025 - 0,1	0
Gewässerböschung	0,05 - 0,14	0

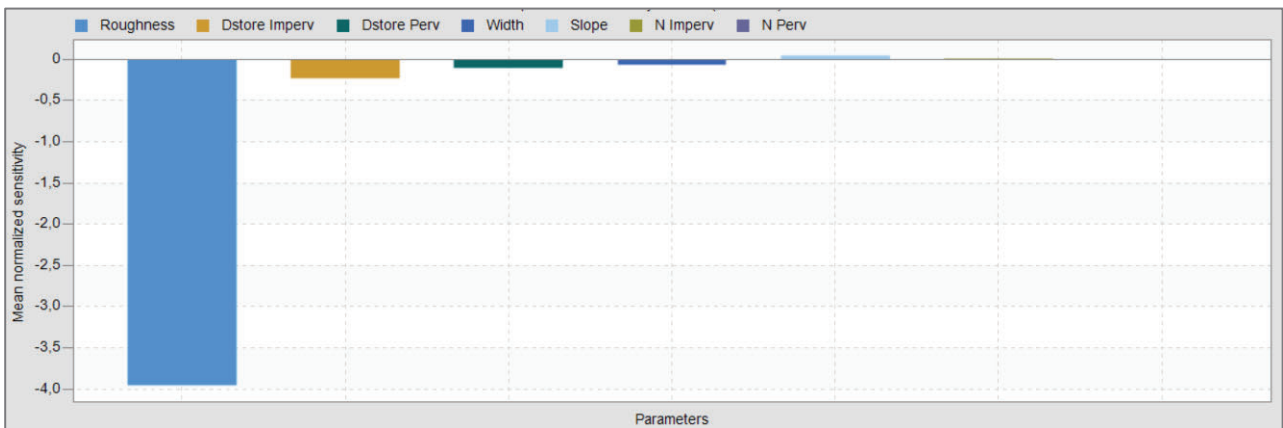


Abbildung 35: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Modellparameter: Rauigkeit nach Manning (hydrologisch und hydraulisch), Verlustgrößen (Mulden + Interzeptionsverluste), Fließbreite des hydrologischen Modells

5.2.2.6. Integriertes Überflutungsmodell des Annabach EZG

Nachdem alle Parameter dem hydrologischen Modell zugewiesen wurden und sowohl das Kanalmodell (1D-Modell) sowie das hydraulische Oberflächenabflussmodell (quasi 2D-Modell) integriert wurde, konnte ein integriertes hydrodynamisches Überflutungsmodell erstellt werden (siehe Abbildung 36).



Abbildung 36: Ausschnitt aus dem integrierten Überflutungsmodell für das Annabach EZG (HRU-Modell, Kanalmodell, Oberflächenabflussmodell (Urbaner Raum, Urbanes Fließgewässer und Hanglage))

5.2.3. Belastungsszenarien

Innerhalb des Annabach EZG ist ein Niederschlagsmessung vorhanden. Durch diese Messungen liegen Niederschlagsdaten in geforderter Auflösung (≤ 5 min) für das EZG vor. Da es sich um eine punktuelle Messung handelt, kann die räumliche Variabilität des Niederschlags nicht abgebildet werden. Aufgrund der kleinen Fläche des EZG wird eine Niederschlagsmessung für ausreichend bewertet.

Innerhalb des Messzeitraums (von 2005 bis 2014) sind 2 Starkregenereignisse (2009 und 2013) bekannt, welche zu Schäden geführt haben (Einsatzprotokolle der Berufsfeuerwehr Graz). Aus diesem Grund wurden diese beiden Ereignisse genauer untersucht, zum einen ob die geforderte Starkregenbedingung erfüllt ist und zum anderen ob die maßgebliche Wiederkehrzeit jenseits der Bemessungsgrenze erreicht wird (siehe Abschnitt 3.5). In Tabelle 20 ist das Ergebnis dieser Niederschlagsuntersuchung abgebildet.

Tabelle 20: Auswertung der Niederschlagsereignisse im Jahr 2009 und 2013

Ereignis	Zeitraum	Starkregenbedingung	Wiederkehrzeit
Ereignis 2009	18.07.2009 10:00:00 18.07.2009 14:00:00	erfüllt	T= 25 a
Ereignis 2013	06.05.2013 22:30:00 07.05.2013 05:00:00	erfüllt	T= 10 a

Daraus wird ersichtlich, dass nur das Ereignis am 18.07.2009 ein Starkregenereignis jenseits der Bemessungsgrenze repräsentiert. Daher werden zusätzlich zu diesem Ereignis noch zwei Modellszenarien auf Basis eines Euler-Modellregens mit der Wiederkehrzeit 50 und 100 Jahren generiert.

Um diese Modellregen generieren zu können, werden die maßgebliche Dauerstufe für das Annabach EZG benötigt. Dafür wird eine Blockregenserie angewendet (siehe Abschnitt 3.5.3.). Aus dieser Methode resultiert eine maßgebliche Dauerstufe für das Annabach EZG zwischen 45 und 50 Minuten. Aus diesem Grund wird für die beiden Modellregen eine Dauerstufe von 60 Minuten angesetzt. In der nachfolgenden Tabelle 21 sind alle Modellszenarien mit den Dauerstufen, Wiederkehrzeiten und Gesamtniederschlagsvolumen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 21: Modellszenarien für die modellunterstützte urbane Überflutungsvorsorge

Modellszenario	Dauerstufe [h]	Wiederkehrzeit [a]	Niederschlagsvolumen [mm]
Ereignis 2009	4 h	T = 25a	68 mm
Euler Modellregen T50	1 h	T = 50a	62,9 mm
Euler Modellregen T100	1 h	T = 100a	70,4 mm

5.2.4. Modelsergebnisse

Die Zielgröße für die weiteren Bearbeitungsschritte der modellunterstützten urbanen Überflutungsvorsorge sind die aus der hydrodynamischen Berechnung resultierenden Wasserstände sowie die Fließgeschwindigkeiten innerhalb des Annabach EZG. Nachfolgend sind für jedes Modellszenario die Wasserstände größer als 0,01 Meter sowie Fließgeschwindigkeiten größer 0,1 Meter pro Sekunde dargestellt:

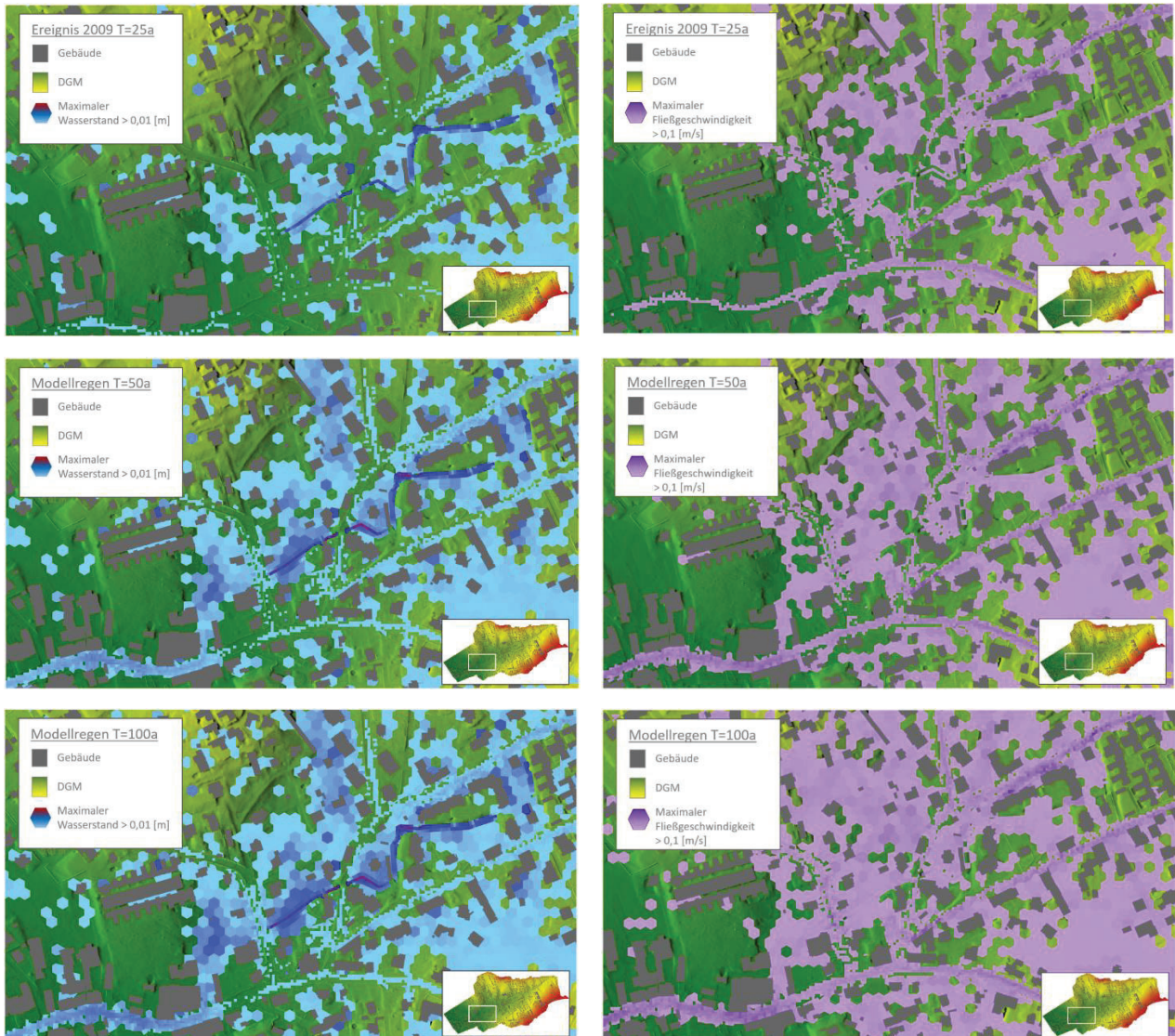


Abbildung 37: Modellergebnisse aller Modellszenarien für ein Teilgebiet des Annabach EZG (links: maximalen Wasserstände > 0,01 m , rechts: maximale Fließgeschwindigkeit > 0,1 m/s)

Aus Abbildung 37 wird ersichtlich, dass sich die größten Wasserstände entlang des Annabach Gerinnes einstellen. Besonders die Szenarien auf Basis des Modellregens weisen hohe Wasserstände sowie Fließgeschwindigkeiten auf der Waltendorfer Hauptstraße auf. Dies liegt zum einen daran, dass kurz nach dem Überlaufbauwerk des Annabach Gerinnes im Regenwasserkanal ein Überstau eintritt. Ein weiterer Grund für die großen Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten in diesem Bereich ist das Hangwasser aus der nördlichen Hanglage, welches den Oberflächenabfluss an der Oberen Teichstraße erhöht. Dieses Ergebnis verdeutlicht die Notwendigkeit einer integrierten Betrachtung der drei Teilsysteme (Hanglage, Urbanes Fließgewässer und Kanalsystem).

Sowohl die Wasserstände als auch die Fließgeschwindigkeiten des Starkregenereignisses im Jahr 2009 weichen deutlich vom Ergebnis der beiden Modellregenszenarien ab. Dies verdeutlicht die Aussage in Abschnitt 3.5.2, dass der Modellregen als Niederschlagsbelastung die resultierenden Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten eher überschätzt.

Anzumerken ist, dass die Darstellung in Abbildung 37 die maximalen Modellergebnisse mit einem gewählten Grenzwert repräsentieren (Wasserstand $> 0,01$ [m] und Fließgeschwindigkeit $> 0,1$ [m/s]). Dadurch können Flächen der maximalen Fließgeschwindigkeiten (rechte Seite Abbildung 37) in der Darstellung der maximalen Wasserstandes (linke Seite Abbildung 37) nicht enthalten sein.

5.2.5. Modellüberprüfung

Um das erstellt integrierte Überflutungsmodell des Annabach EZG kalibrieren bzw. validieren zu können, werden Messdaten sowohl für die Niederschlagsbelastung als auch für die Wasserstände und/oder Fließgeschwindigkeiten an den maßgebenden Stellen im EZG benötigt. Da keine Messdaten bezüglich der Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche im Annabach EZG vorliegen, ist nur eine Plausibilitätsüberprüfung über die Einsatzdaten der Berufsfeuerwehr Graz möglich.

Im Zuge dieser Modellüberprüfung werden die maximalen Wasserständen ($> 0,3$ [m]) der beiden Starkregenereignisse im Jahr 2009 und 2013 mit den Adressen der Einsatzdaten der Berufsfeuerwehr Graz verglichen. Die Ergebnisse dieser Modellüberprüfung sind in Abbildung 38 ersichtlich.

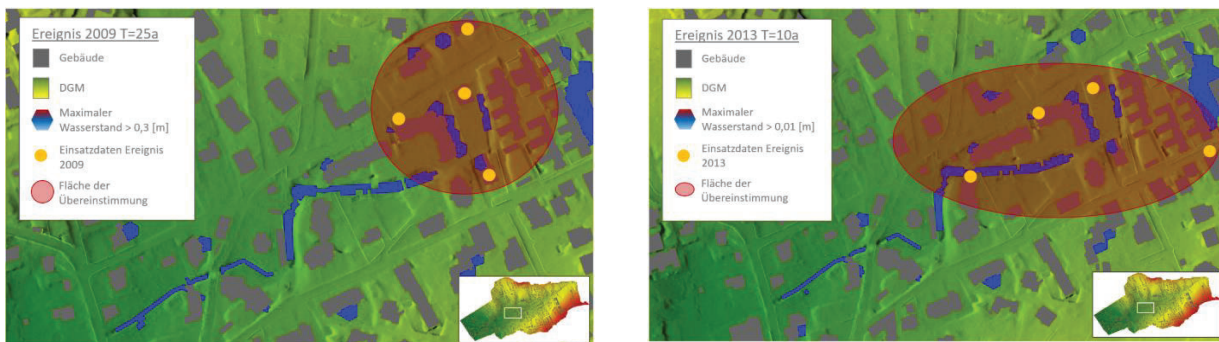


Abbildung 38: Modellverifizierung mit Hilfe von Einsatzdaten der Berufsfeuerwehr Graz (links: Ereignis 2009, rechts: Ereignis 2013)

Die Modellergebnisse wurden aufgrund der Ergebnisse für plausibel bewertet, da die Adressen der Feuerwehreinsätze über den resultierenden maximalen Wasserständen aus dem integrierten Überflutungsmodell identifiziert werden konnten.

5.3. Risikoanalyse

Im Zuge dieses Fallbeispiels wird eine Risikoanalyse für Gebäudeschäden durchgeführt. Als Ergebnisse der Risikoanalyse werden für jedes Modellszenario (siehe Tabelle 21) die Risikokarten anhand einer Verschneidung des objektabhängigen Schadenspotential mit der belastungsabhängigen Gefährdung erstellt.

5.3.1. Schadenspotentialanalyse

Für die Schadenspotentialanalyse wird das gesamte Schadenspotential des jeweils betrachteten Objektes mit Hilfe einer Klassifizierung ermittelt. Für das vorliegende Fallbeispiel wurde das Schadenspotential für das Objekt Gebäudeschäden ermittelt. Dabei werden neben den Landnutzungsdaten und Gebäudenutzungsklassen auch Erkenntnisse aus der Ortsbegehung genutzt, um das Schadenpotential zu klassifizieren. Die Klassen werden wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben definiert (siehe Abbildung 21). Diese Einteilung ist für ein Teilgebiet des Annabach EZG in Abbildung 39 dargestellt. Die Schadenspotentialkarte für das gesamte Projektgebiet kann dem Anhang entnommen werden.



Abbildung 39: Schadenspotentialkarte des Objektes Gebäude für ein Teilgebiet des Annabach EG

5.3.2. Gefährdungsanalyse

Die Eingangsdaten für die Gefährdungsanalyse sind die verifizierten Modellergebnisse des integrierten Überflutungsmodells des Annabach EZG der einzelnen Modellszenarien. Da im Zuge dieses Fallbeispiels das Risiko von Gebäudeschäden durch urbane Überflutungsereignisse bewertet wird, werden nur die Wasserstände als Modellergebnisse für die Gefährdungsanalyse verwendet. In einem ersten Schritt werden die Wasserstände nach Tabelle 11 in Gefährdungsklassen eingeteilt. Diese Gefährdungsklassen werden anschließend mit Hilfe von GIS-Operationen mit den Gebäudedaten des DKM verschnitten. Als Ergebnis wird jedem Gebäude eine Gefährdungsklasse zugewiesen. In Abbildung 40 ist für jedes Modellszenario die Gefährdungskarten in einem Teilgebiet des Annabach EZG dargestellt. Die Gefährdungskarten des gesamten EZG sind dem Anhang zu entnehmen.



Abbildung 40: Gefahrenkarten für die jeweiligen Modellszenarien eines Teilgebietes des Annabach EZG (Oben: Starkregenereignis 2009 T=25a, Mitte: Modellregen T= 50a, Unten: Modellregen T=100a)

5.3.3. Risikoanalyse

Zur Erstellung der Risikoklassen wird das Schadenpotential bezüglich Gebäudeschäden mit den Gefahrenklassen der jeweiligen Modellszenarien überlagert, um das Risiko zu berechnen. Für die Berechnung wird der modifizierte Additionsansatz (siehe Tabelle 12) verwendet. Das Schadenspotential wird mit dem Skalierungsfaktor zwei multipliziert, wodurch das Schadenpotential in der Berechnung höher gewichtet wird, als die Gefährdung.

Durch diese Verschneidung entstehen die Risikomatrizen, welche über die die Risikoklassen definiert werden. Die Einteilungen der Risikoklassen werden wie in Abschnitt 4.5.2 erläutert in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit durchgeführt. Anschließend wird jedem Gebäude die errechneten Risikoklassen zugewiesen und abschließend die Risikokarten für Gebäudeschäden aufgrund eines urbanen Überflutungsereignisses erstellt (siehe Abbildung 41). Dem Anhang sind die Risikokarten für die jeweiligen Modellszenarien des gesamten Annabach EZG beigefügt.

In diesen ist zu erkennen, dass die größten Abweichungen bezüglich des Risikos von Gebäudeschäden zwischen den Modellregen Szenarien (T=50a und T=100a) und dem Szenario mit der realen Belastung im Jahr 2009 entstehen. Dies liegt vor allem daran, dass der Euler II Modellregen die Niederschlagsbelastung nicht realistisch genug abbildet. Da die Niederschlagsbelastung auf Basis von Modellregen das Risiko eher überschätzt, werden diese Ergebnisse als konservativ bewertet. In Kombination mit dem realen Ereignis im Jahr 2009 werden die Ergebnisse als ausreichend bezüglich des Risikos durch urbane Sturzfluten im Annabach EZG befunden.

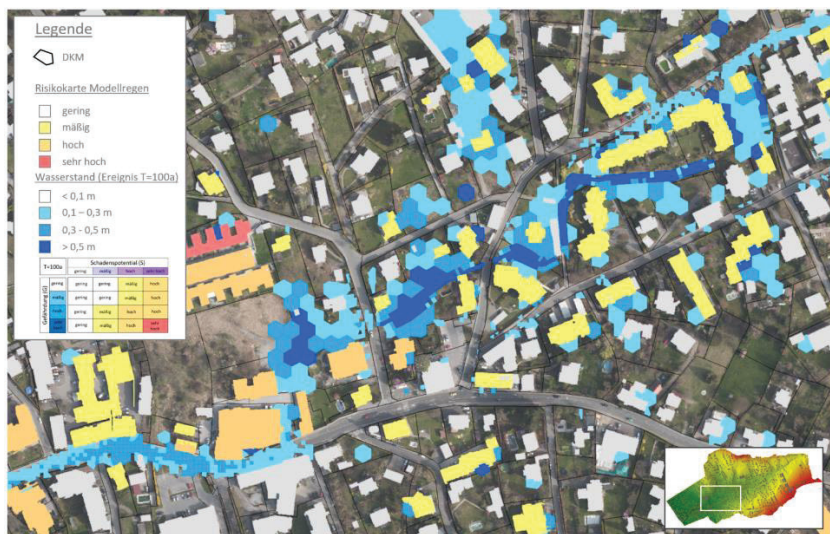


Abbildung 41: Risikokarten für die jeweiligen Modellszenarien eines Teilgebietes des Annabach EZG (Oben: Starkregenereignis 2009 T=25a, Mitte: Modellregen T= 50a, Unten: Modellregen T=100a)

5.3.4. Diskussion der Ergebnisse aus der Risikoanalyse

Die Risikokarten des gesamten Annabach EZG sind dem Anhang zu entnehmen. In diesen Karten ist zu erkennen, dass für das Risiko im gesamten EZG das 2009 Belastungsszenario am höchsten ist (höchste Anzahl an Gebäuden mit Risikoklasse 4). Das liegt vor allem an der Definition der Risikoklassen (Einteilung der Risikoklassen ist vom Belastungsszenario (Wiederkehrzeit) abhängig).

Die Regionen mit den höchsten Wasserständen und dem höchsten Risiko liegen bei allen Belastungsszenarien im oberen und unteren Teil der Waltendorfer Hauptstraße sowie entlang des Annabach Gerinnes. Besonders für das Gebäude unterhalb des Regenrückhaltebeckens im Oberlauf des Annabach Gerinnes wurde in jedem Belastungsszenario die höchste Risikoklasse berechnet (siehe Abbildung 42).

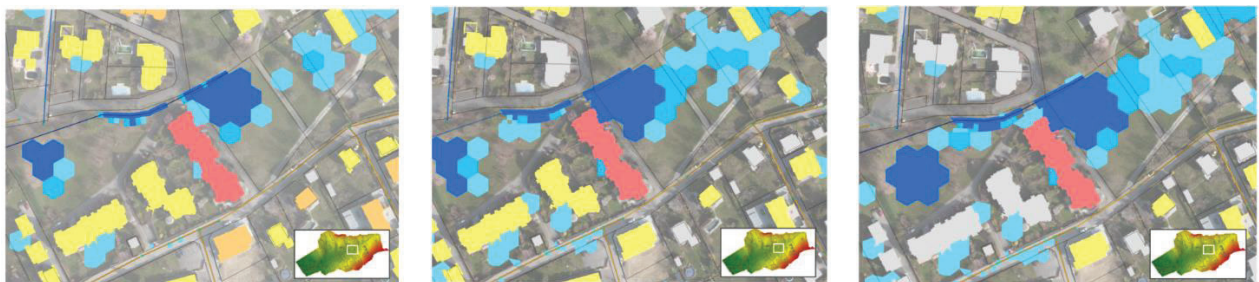


Abbildung 42: Identifiziertes Risikoobjekt am Oberlauf des Annabach Gerinnes, in der Nähe des Regenrückhaltebeckens (links: Szenario 2009, mitte: T=50a, rechts: T=100a)

Folgende mangelnde Datengrundlagen sind der Grund für das hohe Risiko im oberen Teil der Waltendorfer Hauptstraße:

- Daten bezüglich des Anschlussgrades sind nicht vorhanden
- Art der Kanalisation (Mischwasserkanal oder Schmutzwasserkanal)

Es wird vermutet, dass an dieser Stelle ein Schmutzwasserkanal vorliegt, welcher in der Datengrundlage als Mischwasserkanal definiert ist. Dieser Mischwasserkanal kann im Falle eines Starkregenereignisses, die auftretenden Wassermassen nicht aufnehmen, wodurch es zu Überstauereignisse kommt. Dieses Gebiet wurde bereits als Hot-Spot identifiziert. Durch die Risikokarten konnte das Ergebnis aus der Voruntersuchung bestätigt werden.

Ein weiteres Risikogebiet liegt im unteren Teil der Waltendorfer Hauptstraße. Besonders bei Wiederkehrzeiten von 50 und 100 Jahren resultiert in diesem Bereich eine hohe Gebäudeanzahl mit großem bis sehr großem Risiko (Klasse 3 und 4). Diese Ergebnisse werden wiederum durch die identifizierten Hot Spots in der Voruntersuchung bestätigt.

Anzumerken ist, dass bei Gebäuden mit Tiefgaragen oder Kellern besonders hohe Bedeutung in Bezug auf das Überflutungsrisiko beigemessen werden muss. Da das Schadenspotential dieser Objekte am höchsten ist (Klasse 4). Zusätzlich wird das Schadenspotential im Zuge des modifizierten Risikoberechnungsansatzes (siehe Kapitel 4.5.1) mit dem Skalierungsfaktor zwei multipliziert. Dies wird durch die Ergebnisse der Risikoanalyse auch bestätigt. Da die Gebäude mit hohem bis sehr hohem Risiko (Risikoklasse 3 und 4) in vielen Fällen Tiefgaragen und/oder Keller aufweisen.

Literaturverzeichnis

- Ball, J., M. Babister, R. Nathan, W. Weeks, E. Weinmann, M. Retallick, und I. Testoni. 2019. *Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation*. Barton.
- BMLFUW. 2016. „Technische Richtlinie für die Gefahrenzonenplanungen gem. § 42a WRG“. Wien.
- CHI. 2016. „SWMM Knowledge Base“. www.openswmm.org. 2016. <https://www.openswmm.org/Forum>.
- DWA, Hrsg. 2016. *Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen*. November 2016. DWA-Regelwerk, M 119. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- Haghighatafshar, Salar, Beatrice Nordlöf, Maria Roldin, Lars-Göran Gustafsson, Jes la Cour Jansen, und Karin Jönsson. 2018. „Efficiency of Blue-Green Stormwater Retrofits for Flood Mitigation – Conclusions Drawn from a Case Study in Malmö, Sweden“. *Journal of Environmental Management* 207 (Februar): 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.018>.
- James, W. 2005. *Rules for Responsible Modelling*. Guelph, Ontario, Canada: CHI - Computational Hydraulics International.
- Kidd, C. H. R. 1978. „Rainfall-runoff processes over urban surfaces“. In *Proceedings of the International Workshop held at the Institute of Hydrology*. Wallingford, UK.
- Krebs, G., T. Kokkonen, M. Valtanen, und H. Koivusalo. 2014. „Large-scale Urban Hydrological Modelling At High Spatial Resolution: Requirements And Applications“. In *The Sustainable City IX - Urban regeneration and Sustainability*, herausgegeben von N. Marchettini, C. A. Brebbia, R. Pulselli, und S. Bastianoni, 1593–1602. WIT.
- Rossman, L. A. 2015. „Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1“. EPA/600/R-14/413b. Cincinnati, Ohio, USA: US EPA National Risk Management Research Laboratory.
- Schwingshandl, Albert, Thomas Huber, und Jürgen Waser. 2020. „Empfehlung zum Leitfaden Modellbasierte Urbane Überflutungsvorsorge“. RIOCOM-Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft.
- Smith, G.P., E.K. Davey, und R. Cox. 2014. „Flood Hazard“. WRL Technical Report 2014/07. Australia: University of New South Wales.
- Vojinovic, Z., und D. Tutulic. 2009. „On the Use of 1D and Coupled 1D-2D Modelling Approaches for Assessment of Flood Damage in Urban Areas“. *Urban Water Journal* 6 (3): 183–99. <https://doi.org/10.1080/15730620802566877>.
- Wan, Benny, und William James. 2002. „SWMM Calibration using Genetic Algorithms“. *Journal of Water Management Modeling*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.R208-07>.
- BBK. 2008. „Schutz Kritischer Infrastrukturen Risik-und Krisenmanagment“. Berlin: Bundesministerium des Innern.
- Beck, John. 2016. „Comparison of three Methodologies for Quasi-2D River Flood Modeling with SWMM5“. *Journal of Water Management Modeling*.
- BMI, Bundesministerium für Inneres. 2015. „Österreichisches Programm zum Schutz kritischer Infrastruktur (APCIP)“.
- BMLFUW. 2011. eHYD – das Portal für hydrographische Daten Österreichs im Internet. Herausgegeben von Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt. Vienna, Austria. http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten/eHyd2008.html.
- BMLFUW. 2015. „Kosten-Nutzen-Untersuchungen im Schutzwasserbau“. Wien.
- BMLUFUW. 2016. „Technische Richtlinie für die Gefahrenzonenplanungen gem. § 42a WRG“. Wien.
- BMNT. 2018a. „eHYD“. <https://ehyd.gv.at/#>. 2018.
- BMNT. 2018b. „eHYD – der Zugang zu hydrographischen Daten Österreichs“. eHYD - Hydrologischer Dienst in Österreich. 8. Dezember 2018. <https://ehyd.gv.at/>.
- CHIwater. 2018. „Post-processing 1D-2D urban flood analysis“. support.chiwater.com. 2018. <https://support.chiwater.com/492/hands-on-exercise-post-processing-1d-2d-urban-flood-analysis>.

- Das Land Steiermark. 2018. „Digitaler Atlas Steiermark: Gewässer & Wasserinformation“. gis2.stmk.gv.at. 2018. [https://gis.stmk.gv.at/atlas/\(S\(hbq3uletcewxzjxkj0jczrbg\)\)/init.aspx?ks=das&cms=da&Karte=kat](https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(hbq3uletcewxzjxkj0jczrbg))/init.aspx?ks=das&cms=da&Karte=kat).
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. 2013. Starkregen und urbane Sturzfluten: Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. August 2013. DWA-Themen, 2013,1. Hennef: DWA, Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. 2016. Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. November 2016. DWA-Regelwerk, M 119. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- DWA-A 118. 2006. Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Hennef, Germany: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- Dyck, Siegfried, und Gerd Peschke. 1995. Grundlagen der Hydrologie. 3. Berlin: Verlag für Bauwesen.
- ESRI. 2016. „Funktionsweise von ‚Fließrichtung‘—Hilfe | ArcGIS for Desktop“. 2016. <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>.
- Europäische Union. o. J. Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Zugegriffen 12. März 2018.
- Fairfield, John, und Pierre Leymarie. 1991. „Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models“. Water Resources Research Vol.27, No.5, Mai, 709–17.
- Fuchs, L. 1991. „Verfahren zum Überstau-Nachweis“. Zeitschrift für Stadtentwässerung und Gewässerschutz H. 17: S. 39-56.
- GIS-Steiermark. 2018. „Gewässer und Wasserinformationen“. Digitaler Atlas Steiermark. 8. Dezember 2018. [https://gis.stmk.gv.at/atlas/\(S\(ulpyd4lmj0xsn5jyma40vige\)\)/init.aspx?karte=gew&ks=das&cms=da&massstab=800000](https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(ulpyd4lmj0xsn5jyma40vige))/init.aspx?karte=gew&ks=das&cms=da&massstab=800000).
- Huong, H.T.L., und A. Pathirana. 2013. „Urbanization and Climate Change Impacts on Future Urban Flooding in Can Tho City, Vietnam“. Hydrology and Earth System Sciences 17 (1): 379–94. <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>.
- Jenson, S.K., und J.O. Domingue. 1988. „Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis“. Photogrammetric Engineering and remote sensing Vol.54 (No.11): 1593–1600.
- Krebs, Gerald. 2016. „Spatial Resolution and Parameterization of an Urban Hydrological Model: Requirements for the Evaluation of Low Impact Development Strategies at the City Scale“. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/20293>.
- Leimgruber, Johannes, David B. Steffelbauer, Gerald Krebs, Franz Tscheikner-Gratl, und Dirk Muschalla. 2018. „Selecting a series of storm events for a model-based assessment of combined sewer overflows“. Urban Water Journal 15 (5): 453–60. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1508601>.
- Leitner, Stefan. 2018. „Integrierte 2-D Modellierung urbaner Sturzfluten im voralpinen Raum“. Masterarbeit, Graz: Technische Universität Graz - Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau.
- Maniak, Ulrich. 2016. Hydrologie und Wasserwirtschaft: eine Einführung für Ingenieure. 7., neu Bearbeitete Auflage. Lehrbuch. Berlin: Springer Vieweg.
- O’Callaghan, John F., und David M. Mark. 1984. „The extraction of drainage networks from digital elevation data“. Computer Vision, Graphics, and Image Processing 28 (3): 323–44. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0).
- ÖNORM EN 752. 2008. „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“. Austrian Standards Institute.
- ÖWAV. 2009. „ÖWAV-Regelblatt 11: Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen“.
- ÖWAV Regelblatt 11. 2009. Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen. Wien, Österreich: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- Rossman L A. 2017 Storm Water Management Model Reference Manual -Volume II -Hydraulics. Cincinnati, Ohio (USA): EPA - United States Environmental Protection Agency.

- Scheid, Christian. 2018. „Gesamtkonzept einer GIS-basierten Starkregen-Risikoanalyse unter besonderer Berücksichtigung von Datenerfordernissen und methodischen erzielbaren Aussagefähigkeiten“. Kaiserslautern, Deutschland: Technische Universität Kaiserslautern.
- Verworn, H R. 1999. Die Anwendung von Kanalnetzmodellen in der Stadthydrologie. Bd. 18. Hannover, Germany: SuG-Verlagsgesellschaft.

Anhang

Anhang A: Checkliste des Leitfadens

Anhang B: Hot-Spot Karte Annabach

Anhang C: Schadenspotentialkarten

- Schadensobjekt Gebäudeschaden
- Schadensobjekt Personenschaden

Anhang D: Gefährdungskarten

- Belastungsszenario: reales Modellregen (T=10a, D=1h)
- Belastungsszenario: reales Ereignis 2009 (T=25a, D=4h)
- Belastungsszenario: Modellregen (T=50a, D=1h)
- Belastungsszenario: Modellregen (T=100a, D=1h)

Anhang E: Risikokarten

- Belastungsszenario: reales Modellregen (T=10a, D=1h)
- Belastungsszenario: reales Ereignis 2009 (T=25a, D=4h)
- Belastungsszenario: Modellregen (T=50a, D=1h)
- Belastungsszenario: Modellregen (T=100a, D=1h)

RAINMAN Daten

Projektdauer: 07.2017 – 06.2020

Projektbudget: 3,045,287 €

ERDF funding: 2,488,510 €

RAINMAN website &
newsletter registration: www.interreg-central.eu/rainman



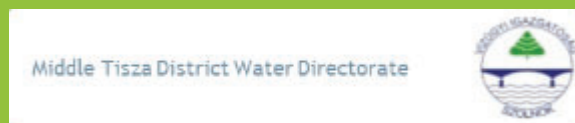
Führungs Partner



Saxon State Office for Environment,
Agriculture and Geology

✉ rainman.lfulg@smul.sachsen.de

Projekt Partner

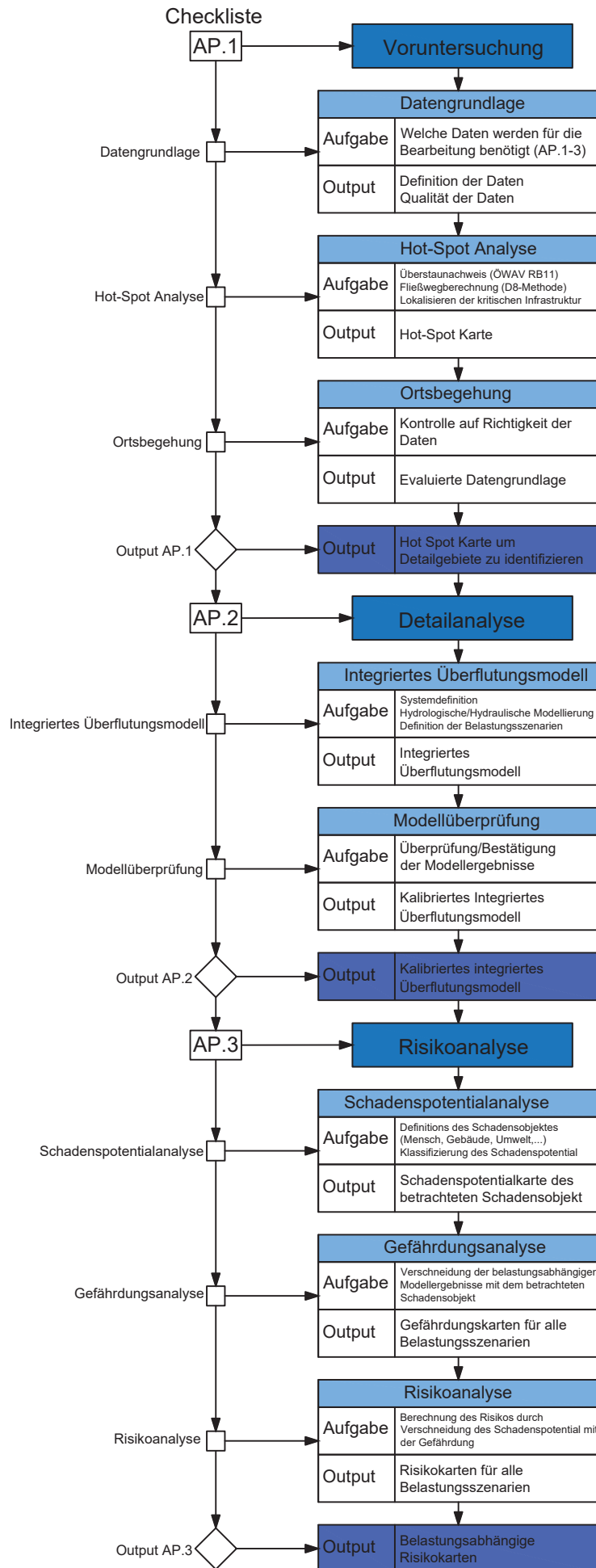


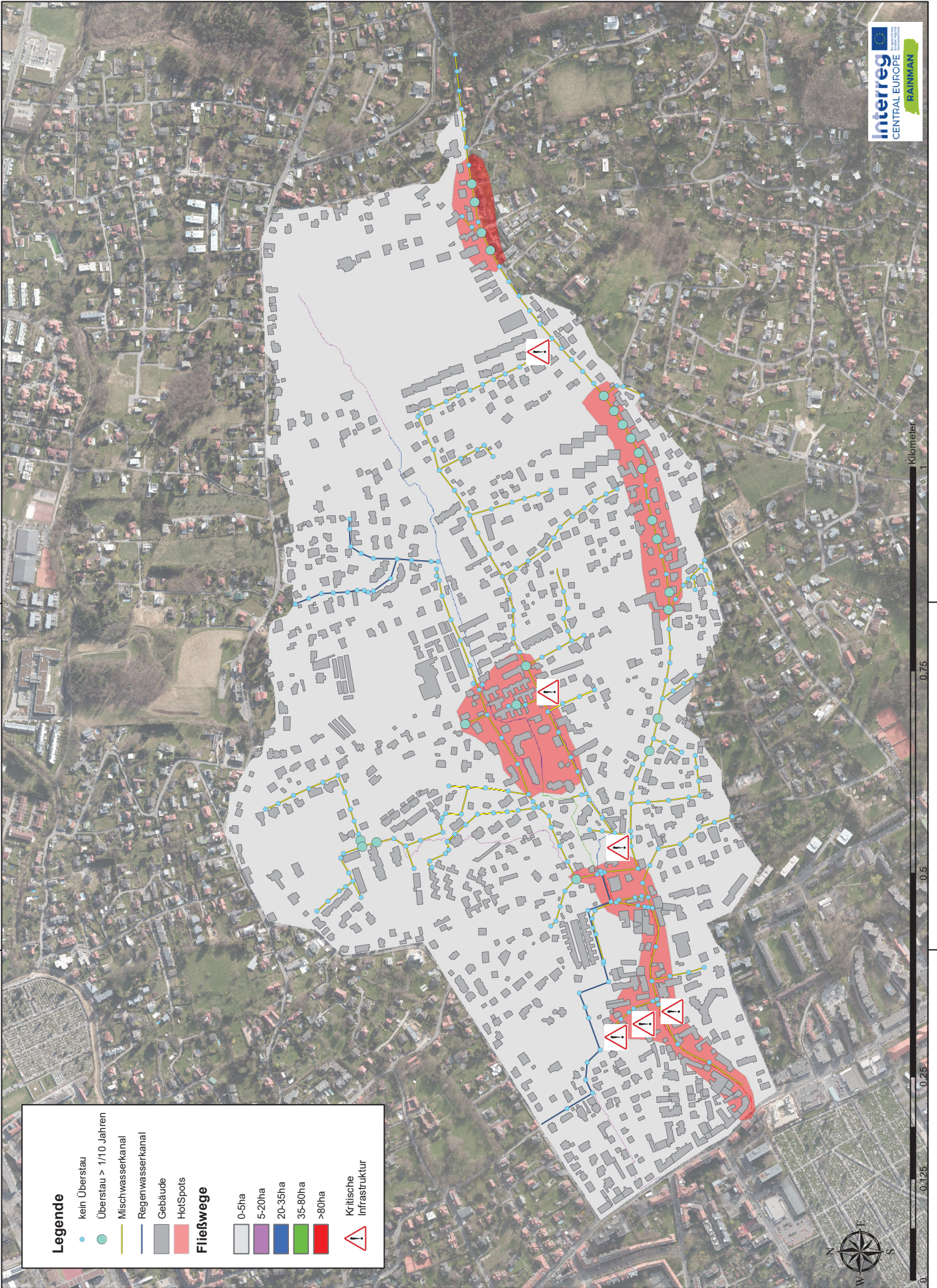
Projekt Supporte



INFRASTRUKTUR & UMWELT
Professor Böhm und Partner

✉ RAINMAN@iu-info.de






Legende

- kein Überstau
- Überstau > 1/10 Jahren
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- Gebäude
- HotSpots

Fließwege

- 0-5ha
- 5-20ha
- 20-35ha
- 35-80ha
- >80ha

Kritische Infrastruktur





Legende

- Schächte
- Annabach
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- DKM EG Annabach
- Klasse 1
- Klasse 2
- Klasse 3
- Klasse 4

Definition der Schadenspotentialklassen

Klasse 1 (gering)	Parks- und Grünflächen, Kleingärten
Klasse 2 (mäßig)	Wohnbau ohne Untergeschoss, Kleingewerbe
Klasse 3 (hoch)	Wohnbau mit Untergeschoss, Industrie, Schulen
Klasse 4 (sehr hoch)	Kindergärten, Krankenhäuser, Heilgärten, Unterführungen





Legende

- Schächte
- Annabach
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal

Schadenspotential Gebäudeflächen

- Klasse 1
- Klasse 2
- Klasse 3

Schadenspotential Verkehrsflächen

- Klasse 1
- Klasse 2
- Klasse 3

Definition der Schadenspotentialklassen (Personenschaden)

Gebäudefläche	Kategorie	Beispiele
Klasse 1 (Gering)	Wohnfläche	Einfamilienhaus, Gewerbetriebe, Industrie, Mehrfamilienhaus, Hotel, Gasthaus, etc.
Klasse 2 (Mittel)	Wohnfläche	Wohnfläche in Keller, Erdgeschoss, Erdgeschoss, etc.
Klasse 3 (Hoch)	Wohnfläche	Wohnfläche in Keller, Erdgeschoss, Erdgeschoss, etc.





Legende

- Schächte
- Annabach
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- DKM EG Annabach

Modellergebnis:

- mäßig (< 0,1 m)
- gering (0,1 - 0,3 m)
- hoch (0,3 - 0,5 m)
- sehr hoch (>0,5 m)

Gefährdungsklasse

Modellregen, T=10a

- gering
- mäßig
- hoch
- sehr hoch





Legende

- Schächte
- Annabach
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- DKM EG Annabach

Modellergebnis:

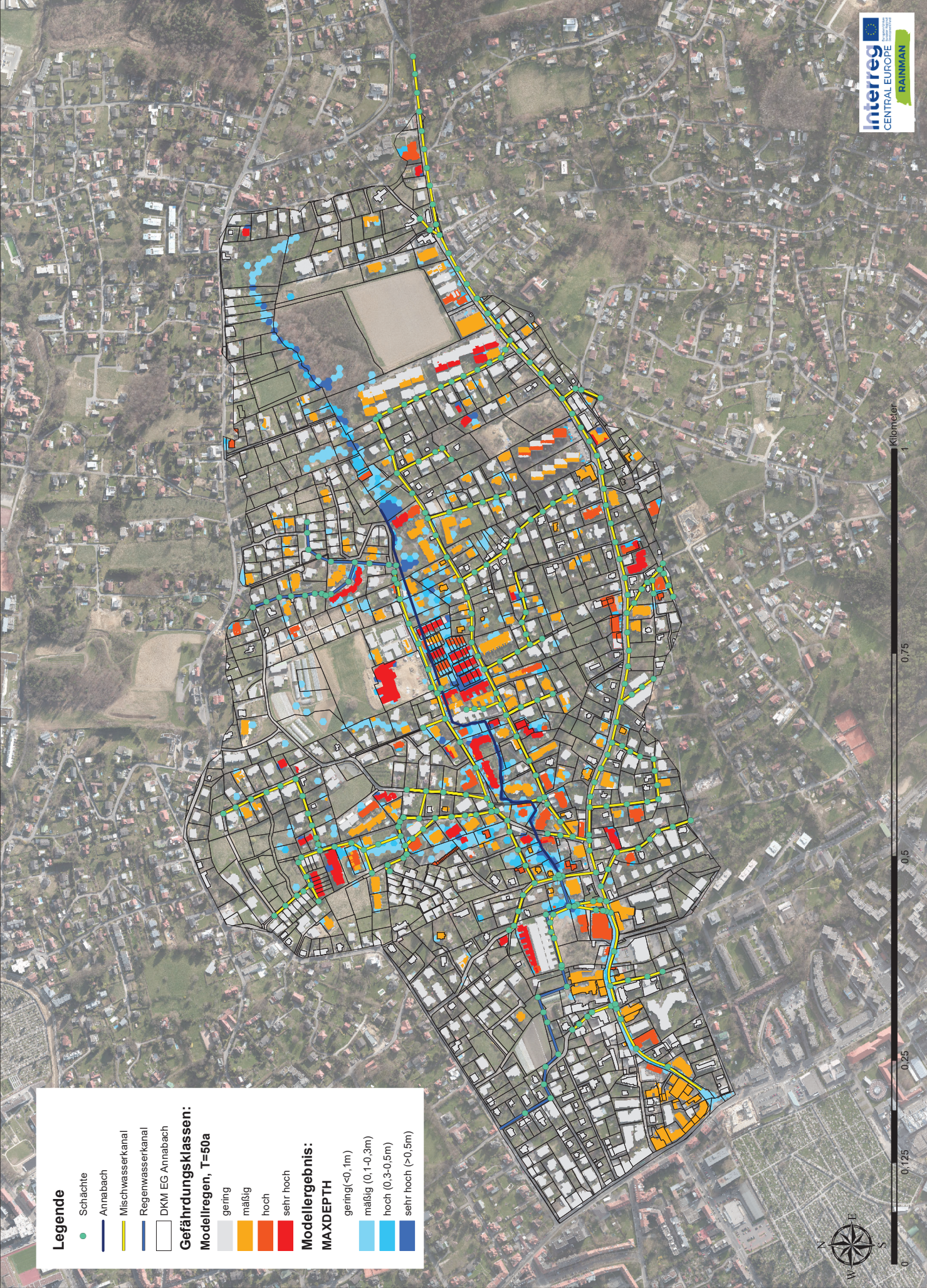
- gering (<0,1m)
- mäßig (0,1-0,3m)
- hoch (0,3-0,5m)
- sehr hoch (>0,5m)

Gefährdungsklasse

Reales Ereignis 2009, T=25a

- gering
- mäßig
- hoch
- sehr hoch





Legende

- Schächte
- Annabach
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- DKM EG Annabach

Gefährdungsklassen:

Modellregen, T=50a

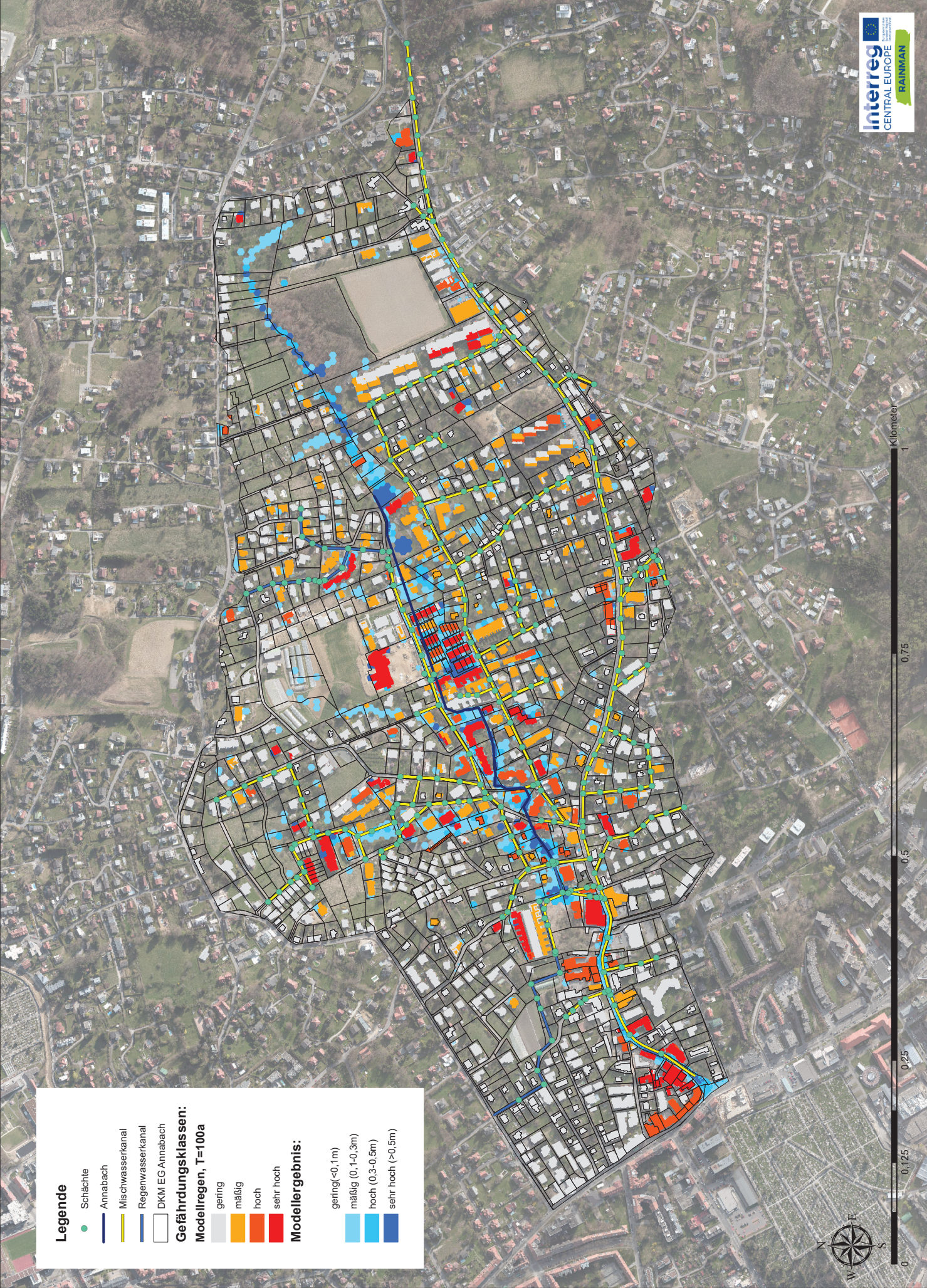
- gering
- mäßig
- hoch
- sehr hoch

Modellergebnis:

MAXDEPTH

- gering (<0,1m)
- mäßig (0,1-0,3m)
- hoch (0,3-0,5m)
- sehr hoch (>0,5m)





Legende

- Schächte
- Annabach
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- DKM EG Annabach

Gefährdungsklassen:

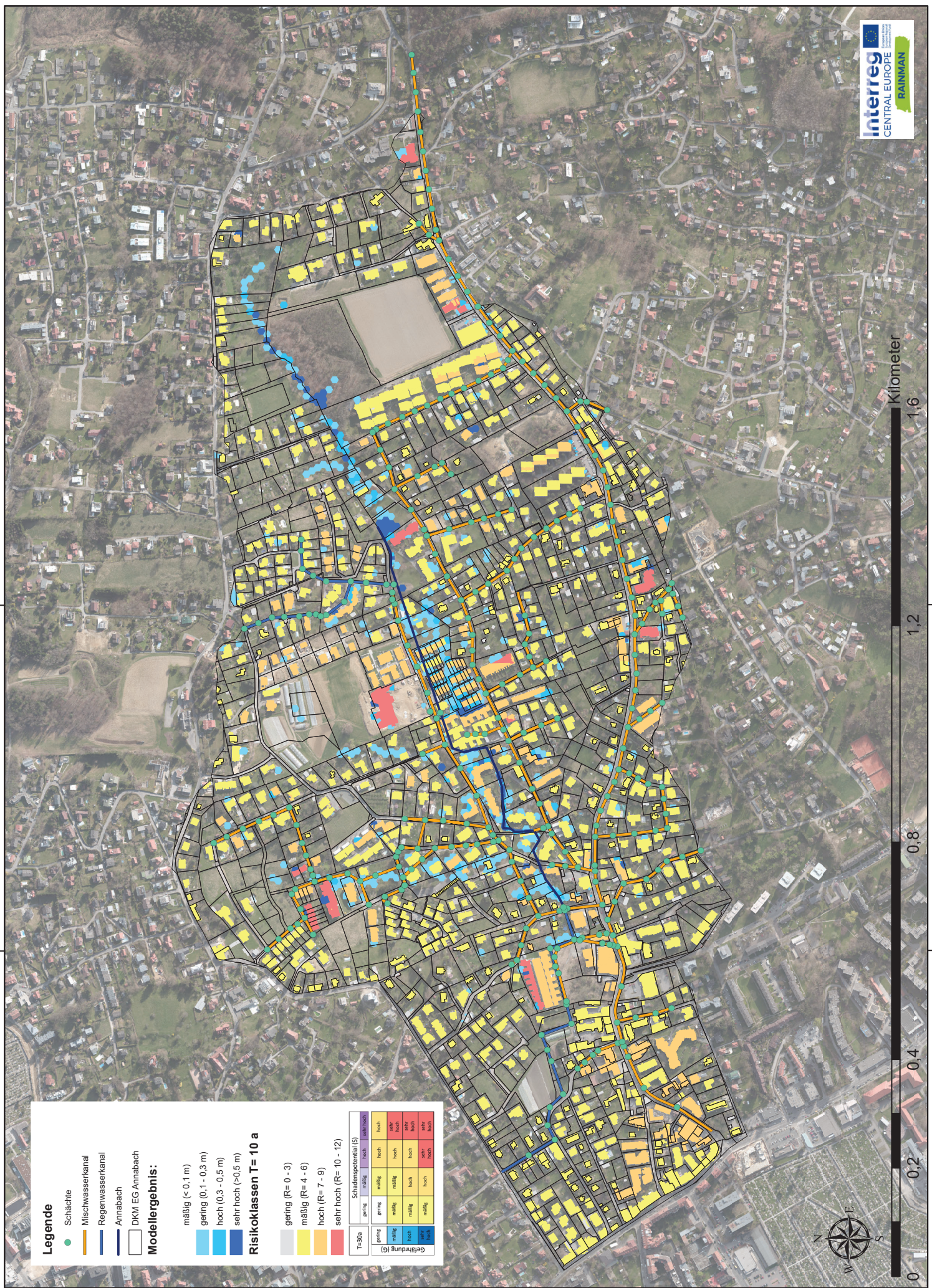
Modellregen, T=100a

- gering
- mäßig
- hoch
- sehr hoch

Modellergebnis:

- gering (<0,1m)
- mäßig (0,1-0,3m)
- hoch (0,3-0,5m)
- sehr hoch (>0,5m)





Legende

- Schächte
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- Annabach
- DKM EG Annabach

Modellergebnis:

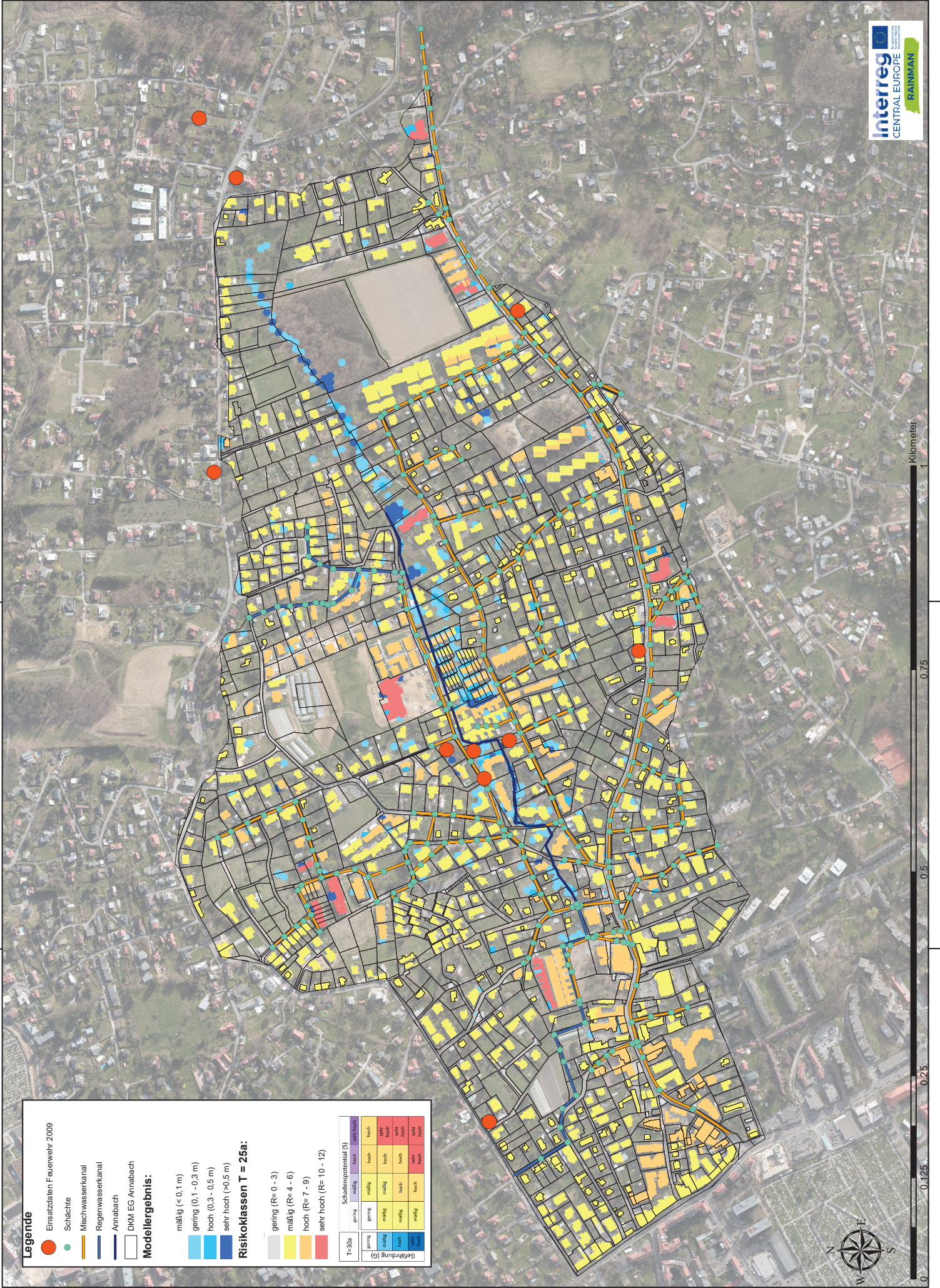
- mäßig (< 0.1 m)
- gering (0.1 - 0.3 m)
- hoch (0.3 - 0.5 m)
- sehr hoch (>0.5 m)

Risikoklassen T= 10 a

- gering (R= 0 - 3)
- mäßig (R= 4 - 6)
- hoch (R= 7 - 9)
- sehr hoch (R= 10 - 12)

	Schadenspotential (S)			
	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
T=30a	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
Gefährdung (G)	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
	mäßig	hoch	sehr hoch	sehr hoch
	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch





Legende

- Einsatzdaten Feuerwehr 2009
- Schächte
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- Annabach
- DKM EG Annabach

Modellergebnis:

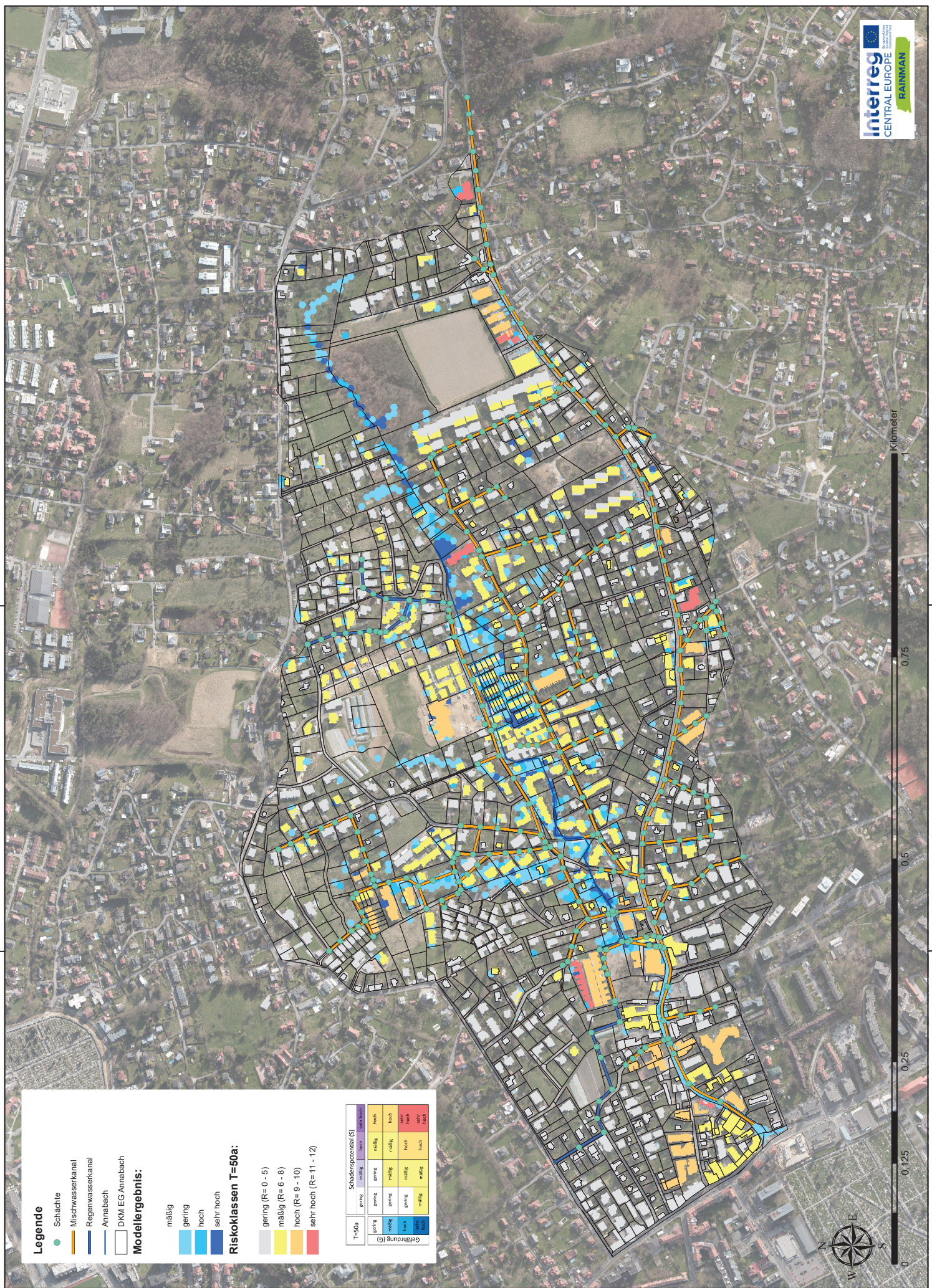
- mäßig (< 0.1 m)
- gering (0.1 - 0.3 m)
- hoch (0.3 - 0.5 m)
- sehr hoch (>0.5 m)

Risikoklassen T = 25a:






- gering (R= 0 - 3)
- mäßig (R= 4 - 6)
- hoch (R= 7 - 9)
- sehr hoch (R= 10 - 12)

	Schadenspotential (S)			
	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
T=30a	gering	mäßig	hoch	hoch
T=30b	gering	mäßig	hoch	hoch
Gefährdung (G)	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
	gering	mäßig	hoch	hoch
	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
	gering	mäßig	hoch	hoch









Legende

-  Schächte
-  Mischwasserkanal
-  Regenwasserkanal
-  Annabach
-  DKM EG Annabach

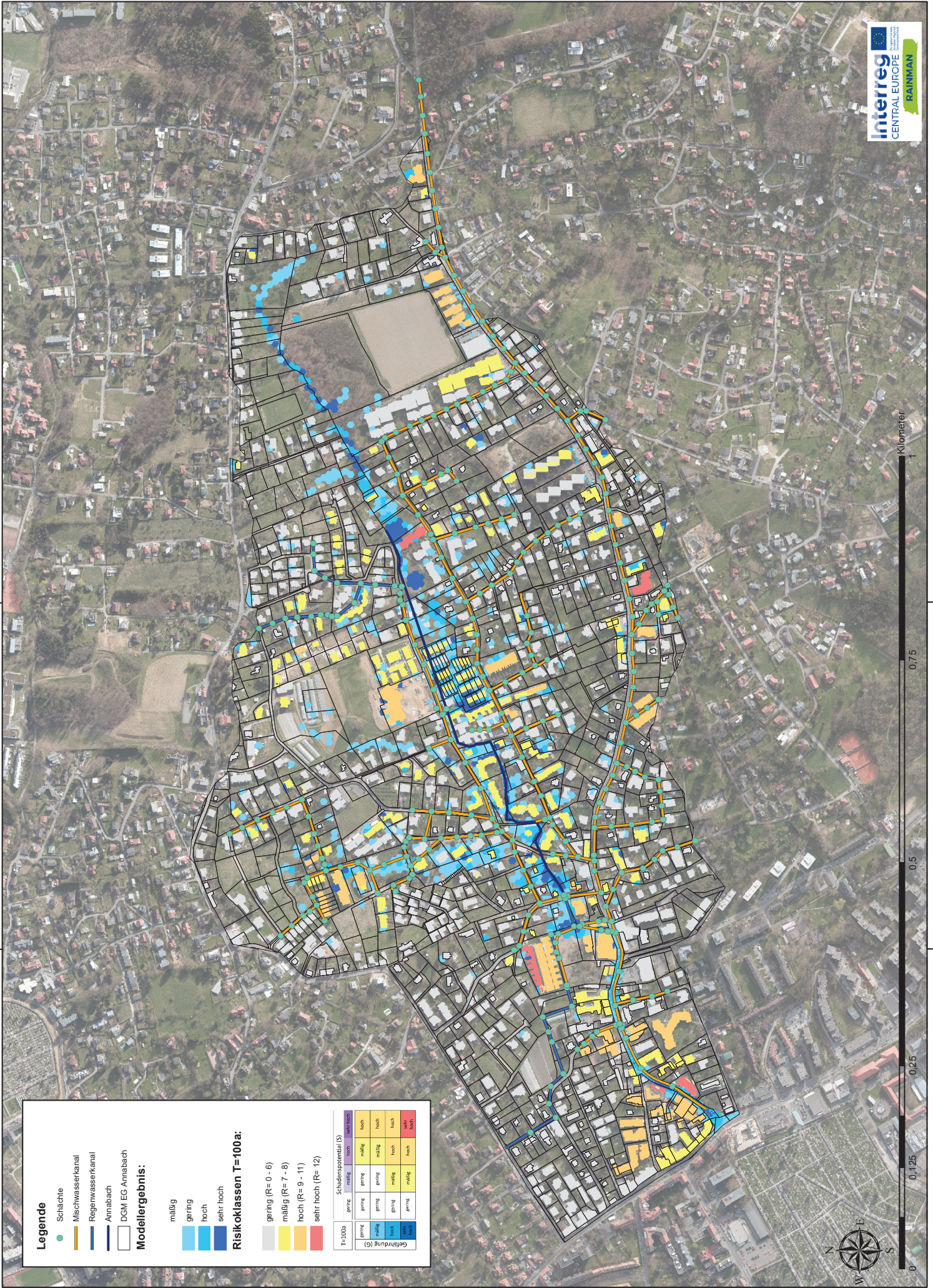
Modelleergebnis:

-  mäßig
-  gering
-  hoch
-  sehr hoch

Risikoklassen T=50a:

-  gering (R= 0 - 5)
-  mäßig (R= 6 - 8)
-  hoch (R= 9 - 10)
-  sehr hoch (R= 11 - 12)

T=50a	Schadenspotential (S)	
	gering	hoch
Gefährdung (G)	gering	gering
	mäßig	mäßig
Gefährdung (G)	gering	hoch
	mäßig	hoch
Gefährdung (G)	hoch	gering
	hoch	mäßig
Gefährdung (G)	hoch	hoch
	hoch	hoch



Legende

- Schächte
- Mischwasserkanal
- Regenwasserkanal
- Annabach
- DGM EG Annabach

Modellergebnis:

- mäßig
- gering
- hoch
- sehr hoch

Risikoklassen T=100a:

- gering (R= 0 - 6)
- mäßig (R= 7 - 8)
- hoch (R= 9 - 11)
- sehr hoch (R= 12)

	Schadenspotential (S)			
	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
T=100a	gering	gering	mäßig	hoch
Gefährdung (G)	gering	gering	gering	hoch
	mäßig	gering	mäßig	hoch
	hoch	gering	mäßig	hoch
	hoch	hoch	hoch	hoch

