



lebensministerium.at

# Überflutungsschutz urbaner Siedlungsgebiete

Erstellt im Rahmen des Forschungsprojekts





## **Nachhaltig für Natur und Mensch / *Sustainable for nature and mankind***

### **Lebensqualität / *Quality of life***

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich / *We create and we assure the requirements for a high quality of life in Austria*

### **Lebensgrundlagen / *Bases of life***

Wir stehen für versorgende Verwaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt. / *We stand for a preventive conservation as well as responsible use soil, water, air, energy and biodiversity*

### **Lebensraum / *Living environment***

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein. / *We support an environmentally friendly development and the protection of living environments in urban and rural areas.*

### **Lebensmittel / *Food***

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe. / *We ensure sustainable production in particular of safe and high-quality food as well as renewable resources*

#### **Impressum**

##### **Medieninhaber, Herausgeber, Copyright:**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,  
Sektion VII Wasser  
Marxergasse 2, 1030 Wien

Alle Rechte vorbehalten

##### **Gesamtkoordination:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla (TU Graz)  
Ass.-Prof. DI Dr. Günter Gruber (TU Graz)

##### **AutorInnen:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla (TU Graz)  
Ass.-Prof. DI Dr. Günter Gruber (TU Graz)  
DI Rosa Maria Sulzbacher (TU Graz)  
DI Robert Scheucher (TU Graz)

##### **Danksagungen:**

Besonderer Dank für die Unterstützung zur Realisierung dieses Projekts ergeht neben dem Hauptfördergeber, dem BMFLFUW und der KPC als Förderabwicklungsstelle auch an die übrigen Projektpartner bzw. Co-Fördergeber:

Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Fachabteilung A 14, Wasserwirtschaft,  
Ressourcen und Nachhaltigkeit

Holding Graz Services Wasserwirtschaft und Straße

Wien, Mai 2013

##### **Layout:**

ZS communication + art GmbH

##### **Bildnachweis, Produktion und Druck:**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMFLFUW)

**Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit Pflanzenfarben.**

# Handbuch

## Überflutungsschutz urbaner Siedlungsgebiete

Erstellt im Rahmen des Forschungsprojekts



Schutz- und Siedlungswasserwirtschaftliche Modellstudie Bründlbach (Graz-West)

# Projektpartner und Fördergeber

## Projektpartner und Co-Fördergeber

Holding Graz Services  
Wasserwirtschaft  
Wasserwerksgasse 5  
8045 Graz



Holding Graz Services  
Straße  
Floßlendstraße 2  
8020 Graz

Magistrat der Stadt Graz  
Abteilung für Grünraum und Gewässer  
Tummelplatz 9  
8010 Graz



## Fördergeber

Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Fachabteilung A 14  
Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit  
– Wasserwirtschaftliche Planung  
– Hochwasserschutz  
Wartingergasse 43  
8010 Graz



Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,  
Umwelt und Wasserwirtschaft  
– Abteilung VII/5 – Schutzwasserwirtschaft  
– Abteilung VII/6 – Siedlungswasserwirtschaft  
Stubenring 1  
1012 Wien



[lebensministerium.at](http://lebensministerium.at)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>Begriffe und Definitionen</b> .....	<b>2</b>
<b>Rechtlicher Rahmen</b> .....	<b>4</b>
<b>Analyse von Überflutungen</b> .....	<b>6</b>
Grundlagenerhebung .....	8
Topographische Daten .....	8
Flächenwidmungs- und Katasterdaten.....	10
Naturdaten.....	11
Fotogrammetrische Daten.....	11
Kanalkataster und Einzugsgebiete.....	12
Foto- und Video-Dokumentationen .....	13
Bestandsdaten im Bereich privater Grundstücke.....	13
Unterlagen vorhandener Projekte .....	13
Messdaten .....	13
Systembeschreibung.....	14
Analysemethoden .....	16
Computergestützte Überflutungsberechnungen .....	16
Defizitanalyse im Untersuchungsgebiet.....	25
Ursachenanalyse für Überflutungsproblematik.....	26
Maßnahmenauswahl und -bewertung.....	27
Identifikation von möglichen Maßnahmen.....	27
Modelltechnische Abbildung von möglichen Maßnahmen.....	27
Bewertung von möglichen Maßnahmen.....	28
Möglichkeit der Bewertung von Maßnahmen mit Hilfe einer Kriterien-Matrix.....	30
<b>Maßnahmen in urbanen Siedlungsgebieten</b> .....	<b>33</b>
Maßnahmen an Gewässern.....	33
Versickerungsmaßnahmen im Einzugsgebiet des Gewässers.....	34
Rückhaltebecken und Geschiebesperren .....	34
Versickerungsmaßnahmen im Gewässerverlauf .....	34
Naturnahe Gewässergestaltung und Flutmulden.....	35
Maßnahmen im Bereich privater Grundstücke .....	35
Regenwasserbewirtschaftung .....	36
Selbstschutzmaßnahmen.....	37
Maßnahmen im Bereich öffentlicher Flächen .....	41
Flächenvorsorge.....	41

Entsiegelungsmaßnahmen.....	41
Versickerungsmaßnahmen .....	42
Straßenquerschnitte .....	42
Maßnahmen in der Kanalisation .....	42
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>45</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>49</b>

# Einleitung

Überflutungsereignisse infolge von Starkregen richten in urbanen Gebieten vermehrt größere Schäden an. In den vergangenen Jahren konnte eine Häufung von Überflutungsereignissen infolge von Starkregen festgestellt werden, was einen Paradigmenwechsel mit deren Umgang erfordert (Schmitt 2011). Dabei erschwert die zunehmende Flächenversiegelung auch in städtischen Randgebieten den Überflutungsschutz. Zusätzlich hat sich in den letzten Dekaden die Lebensweise vieler Menschen verändert. So werden beispielsweise Keller vermehrt nicht mehr nur ausschließlich als Lagerraum, sondern vielmehr als Nutzfläche (z.B. als Wellnessbereich, Büro, etc.) genutzt.

Die Erhebung, Bewertung und Minimierung von Überflutungsrisiken in urbanen Gebieten stellt eine gemeinsame Aufgabe der Schutzwasserwirtschaft und der Siedlungswasserwirtschaft dar. Eine sichere Abfuhr von Hochwasserabflüssen ist ein Auftrag für die Schutzwasserwirtschaft auf Ebene des Landes und der Kommunen. Im städtischen Bereich muss dies jedoch als Gemeinschaftsaufgabe der Schutzwasserwirtschaft mit der Raumplanung und Stadtentwicklung, der Abwasserableitung und des Straßenwesens gesehen werden. Diese vernetzte Betrachtung bietet die Möglichkeit, Maßnahmen in den Teilbereichen synergetisch zu bündeln. Wasserwirtschaftliches Ziel bei Starkniederschlägen muss es sein, für das anfallende Wasser eine geordnete Abfuhr über Bäche und das Entwässerungsnetz in urbanen Gebieten sicherzustellen und gegebenenfalls das Wasser zurückzuhalten sowie vor Ort zu versickern.

Die umfassende Analyse der Ursachen der Überflutungen ist in dicht besiedelten urbanen Gebieten unerlässlich. In jüngerer Zeit haben sich die Randbedingungen von Überflutungen geändert. Flüsse wurden begradigt, was eine Zunahme der Fließgeschwindigkeit zur Folge hat. Retentionsräume wurden verkleinert, um eine möglichst große Fläche für Siedlungen freigegeben zu können. Flächen, wie Felder oder Grünräume, welche vormals als Versickerungsflächen für den Niederschlag dienten, werden zunehmend durch Bebauung versiegelt. Die Folge all dieser bekannten Punkte ist ein erhöhter Abfluss in kürzerer Zeit.

Bäche, die in das Kanalsystem eingeleitet werden, können bei starken Regenereignissen eine Überlastung des Kanalsystems verursachen bzw. forcieren. Aufgrund vernetzter Kanalstränge und bedingt durch mangelnde Sicherungsmaßnahmen ist es möglich, dass Häuser, die nicht direkt dem Hochwasser ausgesetzt sind, Schaden durch das Wasser im Kanalsystem nehmen können. Solche Überflutungen können jedoch nicht nur aufgrund einer Überlastung des Kanalsystems auftreten. Einflussfaktoren wie Verstopfungen oder Engstellen können ebenso Auslöser für das Überlaufen von an das Kanalnetz angeschlossenen Sanitäranlagen sein, wie Rückstau durch Kellergullys. Abgesehen von den dadurch entstehenden Sachschäden sind Verschmutzung und hygienische Verunreinigung Faktoren, die nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Maßnahmen wie Hochwasserrückhaltebecken, Dämme und die Reaktivierung ursprünglicher Retentionsflächen sind unabdingbare Werkzeuge zum Schutz gegen fluviale Überschwemmungen. Mithilfe solcher Bauten ist es möglich, weitläufige Schutzzonen auf Dauer zu errichten. Diese, flächenmäßig meist sehr ausgedehnten Maßnahmen, sind in der Regel in nicht urbanen Gebieten wie Flussufern, Stadträndern usw. anzufinden. In urbanisierten Gebieten, wo es vermehrt zu pluvialen Überschwemmungen kommt, ist es aufgrund von beengten Platzverhältnissen oder aus ästhetischen Gründen oft nicht möglich, Objekte in großer Dimension zu errichten. In solchen Fällen können beispielsweise mobile Hochwasserschutzsysteme zum Einsatz kommen, deren Fokus je nach System auf Mobilität oder Flexibilität liegen. Naturnahe Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen im Bereich öffentlicher und privater Grundstücke können darüber hinaus gezielt die Niederschlagswassermengen reduzieren, da sie vor Ort in den lokalen Wasserhaushalt zurückgeführt werden.

# Begriffe und Definitionen

## **Abflusssimulation (DWA-A 118)**

Modellierung von Abflüssen in Entwässerungssystemen

## **Abflusswirksame befestigte Fläche (ÖWAV Regelblatt 19)**

Befestigte Fläche, von der die Regenabflüsse nach Abzug der Anfangsverluste (Benetzungs- und Muldenverluste) vollständig in das Entwässerungssystem gelangen;

## **Befestigte Fläche (ÖWAV Regelblatt 19)**

Befestigte Fläche, unabhängig davon, wohin die Regenabflüsse gelangen

## **Einzugsgebiet (ÖNORM EN 752)**

Gebiet mit Abfluss zu einer Abwasserleitung, einem Abwasserkanal oder einem Gewässer

## **Fließzeit (DWA-A 118)**

Zeit, die der Regenabfluss vom hydraulisch maßgebenden Punkt des Einzugsgebietes bis zu einem festgelegten Punkt des Entwässerungssystems benötigt

## **Kanalisation (ÖNORM EN 752)**

Netz von Rohrleitungen und zugehörigen Bauwerken, das Abwasser von Abwasserleitungen zu Kläranlagen oder an anderen Entsorgungsstellen ableitet

## **Mischsystem (ÖNORM EN 752)**

Entwässerungssystem zur gemeinsamen Ableitung von Schmutz- und Niederschlagswasser im gleichen Leitungs-/Kanalnetz

## **Mischwasserabfluss (ÖWAV Regelblatt 11)**

Gemeinsamer Abfluss von Schmutz-, Fremd- und Niederschlagswasser in einem Mischsystem

## **Muldenverlust (ÖNORM EN 752)**

In Oberflächenmulden zurückgehaltener Niederschlag, der nicht zum Regenabfluss beiträgt

## **Niederschlagswasser (ÖNORM EN 752)**

Niederschlag, der nicht im Boden versickert ist und von Bodenoberflächen oder von Gebäudeaußenflächen in das Entwässerungssystem eingeleitet wird

## **Regenintensität oder Regenspende (ÖNORM EN 752)**

Niederschlagshöhe je Zeiteinheit (Regenintensität) oder Quotient aus dem Volumen des Regens und dem Produkt aus Zeit und Fläche (Regenspende)

## **Regenabfluss (ÖNORM EN 752)**

Niederschlagswasser, das auf einer Oberfläche in ein Entwässerungssystem oder einen Vorfluter abfließt

**Regenwasser (ÖNORM EN 752)**

Wasser aus atmosphärischem Niederschlag, das noch keine Stoffe von Oberflächen aufgenommen hat

**Rückstauenebene (ÖNORM B2501 und B2503)**

Höhe, unter der innerhalb der Grundstücksentwässerung besondere Maßnahmen gegen Rückstau zu treffen zu sind

**Schmutzwasserabfluss (ÖWAV Regelblatt 11)**

Summe aus häuslichem Schmutzwasserabfluss und betrieblichem Schmutzwasserabfluss

**Trockenwetterabfluss (ÖNORM EN 752)**

Zufluss, der weder durch Regenereignisse noch durch Tauwetter beeinflusst ist

**Überflutung (ÖNORM EN 752)**

Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen

**Überlastung (ÖNORM EN 752)**

Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser in einem Freispiegelsystem oder in einer Kanalisation unter Druck abfließen, aber nicht an die Oberfläche gelangen und so keine Überflutung verursachen

**Überstau (DWA-A 118)**

Belastungszustand der Kanalisation, bei dem der Wasserstand ein definiertes Bezugsniveau überschreitet

**Undurchlässige (versiegelte) Fläche (ÖWAV Regelblatt 35)**

Befestigte Fläche, von der die Regenabflüsse in das Entwässerungssystem gelangen

**Versickerungsfläche (ÖWAV Regelblatt 35)**

Die für die Versickerung notwendige Fläche

**Wiederkehrzeit, Wiederkehrperiode oder Jährlichkeit (DWA-A 118)**

Mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert erreicht oder überschreitet (Kehrwert der Häufigkeit); Sie nimmt mit selteneren Ereignissen zu

## Rechtlicher Rahmen

Für den Hochwasser- und Überflutungsschutz in Österreich relevante europäische Normen und Richtlinien sind in erster Linie die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL), die EU-Hochwasserrisikorichtlinie (EU-HWRL) – bzw. deren Umsetzungen in österreichisches Recht – und die ÖNORM EN 752 – Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden.

Den rechtlichen Rahmen auf Bundesebene bilden das Wasserrechtsgesetz (WRG 1959), das Wasserbauförderungsgesetz (WBFG 1985) und das Forstgesetz (Forstgesetz 1975).

Darüber hinaus gelten diverse ÖWAV Regelblätter – insbesondere die Regelblätter 9, 11 und 35 – und die technischen Richtlinien der Bundeswasserbauverwaltung RIWA-T.

Die ÖNORM EN 752 beschreibt Entwässerungssysteme als einen Teil des übergeordneten Abwassersystems, die die folgenden Dienste für die Gesellschaft zu erfüllen haben:

- Entfernung des Abwassers von Grundstücken aus Gründen der öffentlichen Gesundheit und der Hygiene;
- Vermeidung von Überflutungen in Siedlungsgebieten;
- Schutz der Umwelt.

Darüber hinaus definiert sie ein Abwassersystem derart, dass es die Aufgabe hat, Wässer zu sammeln und abzuleiten, wobei traditionell nicht nach dem Ursprung unterschieden wird.

Wenn möglich werden heutzutage so genannte modifizierte Kanalsysteme bevorzugt, in welches nur noch behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser eingeleitet werden sollte. Nicht behandlungsbedürftige Niederschlagswässer sollten möglichst rasch wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt werden. Bei Anordnung eines Mischsystems werden jedoch alle Abflüsse gemeinsam gesammelt und zur Abwasserreinigungsanlage weitergeführt.

Die erste Richtlinie der Europäischen Kommission für Oberflächen- und Grundwässer war die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL), die im Jahr 2000 erlassen wurde. Die wesentlichen Ziele der EU-WRRL sind der Schutz der Gewässer, die Vermeidung einer Verschlechterung sowie der Schutz und die Verbesserung des Zustands der direkt von den Gewässern abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt (European-Community 2000). Die EU-HWRL wurde als Ergänzung zur EU-WRRL erlassen, vor allem aus Anlass der Jahrhundert-Hochwässer im Jahr 2002.

Die Forderungen der EU-WRRL sind im Rahmen einer umfassenden Novelle im Jahr 2003 in das österreichische Wasserrechtsgesetz (WRG 1959) übernommen worden. Mit einer Novelle zum WRG im Jahr 2011 sind auch die Forderungen der bereits 2007 erlassenen EU-HWRL in österreichisches Recht übergeführt worden.

Die Europäische Union befasst sich im Rahmen der EU-HWRL mit der Thematik des Hochwasser- und Überflutungsschutzes und hat im Jahr 2007 eine Richtlinie zur Bewertung und dem Management von Hochwasserrisiken (EU-HWRL) herausgegeben. In Umsetzung der EU-HWRL wurde das Hochwasserrisiko flusseinzugsgebietsweise bewertet, Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten erstellt sowie Hochwasserrisikomanagementpläne erarbeitet (Müller 2010). Die EU-HWRL unterscheidet zwischen so genannten fluvialen und pluvialen Hochwässern, also Hochwässern in Flusseinzugsgebieten, ausgelöst durch erhöhte Abflüsse innerhalb der Flüsse selbst und pluviale Überflutungen, die insbesondere durch erhöhten Oberflächenabfluss in verbauten Gebieten nach oder während Starkniederschlagsereignissen auftreten.



In Hinblick auf den Hochwasser- und Überflutungsschutz, gibt es neben Bundesgesetzen, Normen und Richtlinien die Bauordnungen. Der zu erzielende Entwässerungskomfort für urbane Siedlungsbereiche ist in Österreich durch die ÖNORM EN 752 und das ÖWAV Regelblatt 11 (2009) durch die Vorgabe von Überstau- und Überflutungshäufigkeiten je nach Nutzungskategorie vorgegeben. Bauordnungen sind Ländersache und können Vorschriften bezüglich der Bebaubarkeit von Grundstücken betreffen. Die Landesbaugesetze schreiben im Allgemeinen vor, dass ein Grundstück für eine Bebauung nicht geeignet ist, wenn eine Gefährdung durch Lawinen, Hochwasser, Grundwasser, Vermurungen, Steinschlag oder Rutschungen zu erwarten ist. Diese Gefährdungen werden insbesondere in der kommunalen Raumplanung festgelegt und bedürfen regelmäßiger Evaluierungen.

# Analyse von Überflutungen

Die vielschichtigen Problemstellungen im urbanen Überflutungsschutz verlangen nach komplexen Lösungs- und Nachweiswerkzeugen. Die vorgestellte Methodik (siehe Abbildung 1) hat das Ziel, die komplexen Wechselwirkungen zwischen den oberirdischen Abflüssen in urbanen Gebieten und den Abflussvorgängen im Kanalnetz abhängig von der vorhandenen Datengrundlage durch die Erstellung und Koppelung von Simulationsmodellen besser darzustellen und zu untersuchen. Dazu erfolgt im Vorfeld mit Hilfe einer umfassenden Grundlagenerhebung eine Systembeschreibung (Ist-Zustandsanalyse). Auf Basis der Systembeschreibung erfolgt zur detaillierten Betrachtung die Modellerstellung in unterschiedlicher Detailliertheit abhängig von den zur Verfügung stehenden Daten und der Genauigkeit, die zur Defizitanalyse und anschließenden Ursachenanalyse notwendig ist.

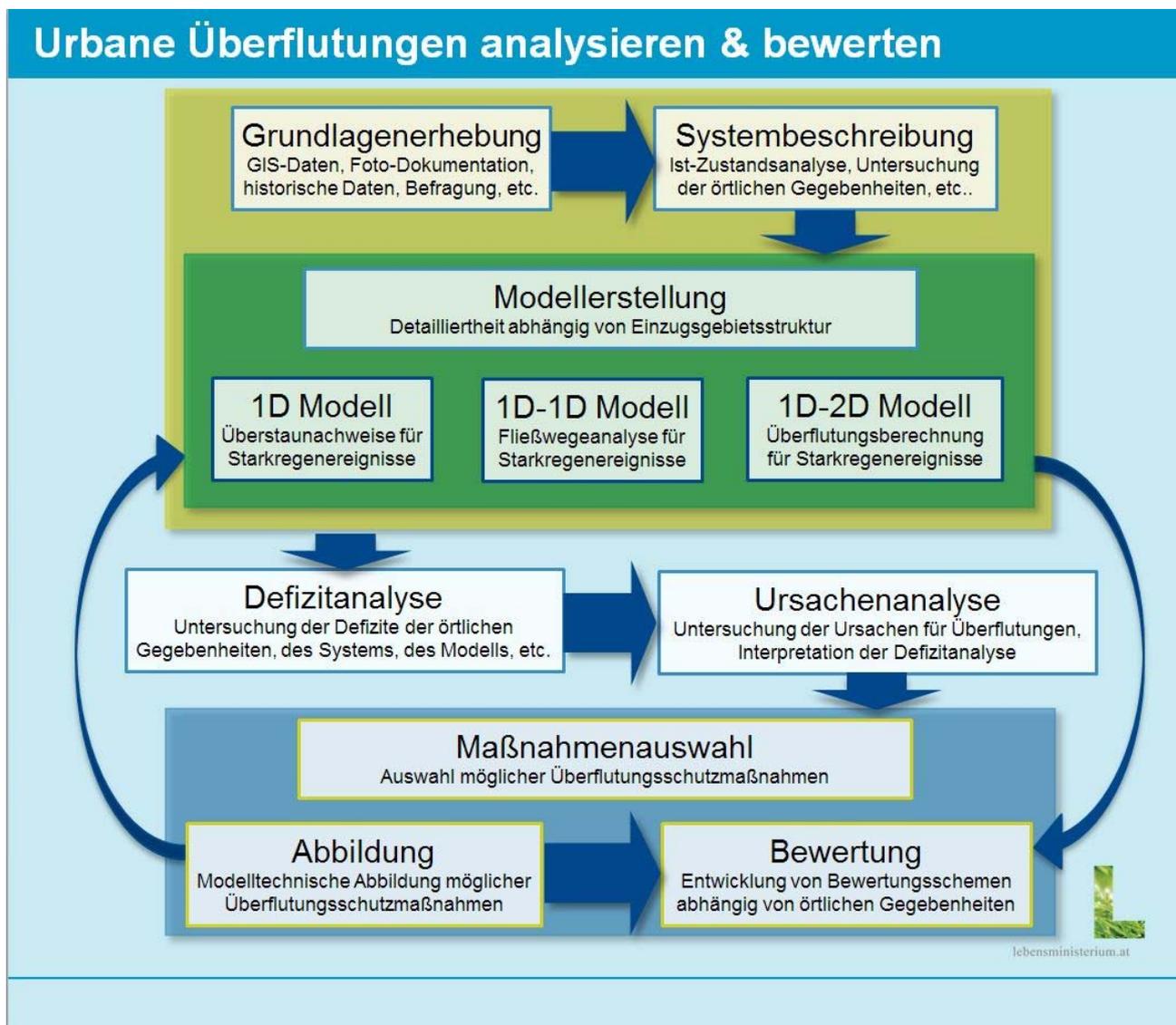


Abbildung 1: Ablauf wie Überflutungsschutzmaßnahmen in urbanen Siedlungsgebieten analysiert und bewertet werden können



Im Rahmen der Grundlagenerhebung müssen umfassende Bestandsdaten, historische Daten, GIS-Daten, etc. gesammelt werden, welche in der Systembeschreibung analysiert werden. Die Detailliertheit der Modellerstellung ist abhängig von der Einzugsgebietsstruktur und den für das Einzugsgebiet verfügbaren Daten. Eine Überflutungsberechnung für Starkregenereignisse ist z.B. nur dann möglich, wenn ein digitales Geländemodell in einer ausreichenden Auflösung (mind. 1 m horizontale Auflösung) für das Untersuchungsgebiet verfügbar ist.

Ein 1D-Modell dient der Abgrenzung gefährdeter Gebiete mit Hilfe von Überstaunachweisen nach ÖWAV Regelblatt 11. Eine Untersuchung der Fließwege auf der Oberfläche kann mit einem gekoppelten hydrodynamischen 1D-1D Modell (Chen et al. 2007, Concha Jopia und Gomez Valentin 2010) erfolgen, um die Abgrenzung gefährdeter Gebiete zu präzisieren. Dies führt zu einem 1D Modell an das abschnittsweise ein hydrodynamisches 2D Oberflächenmodell gekoppelt wird. Im 2D Modell, das folglich nur für die gefährdeten Bereiche erstellt wird, werden die Strömungen meist mittels Flachwassergleichungen berechnet (Fuchs et al. 2013, Kamrath 2010).

Auf Grundlage sämtlicher Bestandsdaten, der Systembeschreibung und der erstellten Modelle erfolgt die Defizitanalyse (Untersuchung der Defizite der örtlichen Gegebenheiten, des Systems, auf Basis der Modellergebnisse, etc.). Die Interpretation der Defizitanalyse erfolgt im Rahmen der Ursachenanalyse. Diese dient als Basis für die Auswahl möglicher Schutzmaßnahmen und deren weitere modelltechnische Abbildung und anschließende Bewertung. Für die Maßnahmenbewertung ist dabei die Entwicklung von Bewertungsschemen abhängig von den örtlichen Gegebenheiten notwendig.

## Grundlagenerhebung

Die Grundlagenerhebung dient der Analyse des Ist-Zustands sowie einer Analyse der Ursachen für die pluviale Überflutungsproblematik im jeweiligen Untersuchungsgebiet. Die Erstellung eines gekoppelten hydrodynamischen 1D-2D Modells bedeutet einen hohen Bedarf an Daten des Untersuchungsgebiets, die erhoben und validiert werden müssen.

Je nach der Verfügbarkeit von Bestandsdaten kann die Grundlagenerhebung zur Analyse und Bewertung von urbanen Überflutungen sehr umfangreich werden. Zielführend ist es zur umfassenden Analyse topographische und Flächenwidmungs- sowie Katasterdaten zur Verfügung zu haben. Darüber hinaus liefern Naturdaten und Fotogrammetrische Auswertungen genauere Informationen zur Oberflächenbeschaffenheit. Bestandsdaten im Bereich privater Grundstücke liefern beispielsweise wichtige Informationen über den Befestigungs- und Anschlussgrad. Foto- und/oder Video-Dokumentationen von Begehungen können während der Analyse gemacht werden und auch von den zuständigen Behörden oder Anrainern erhältlich sein. Zur Modellerstellung sind Kanalkataster und Messdaten unerlässlich.

Tabelle 1 fasst die Daten zusammen, die im Rahmen der Grundlagenerhebung gesammelt und aufbereitet werden.

**Tabelle 1: Daten, die im Rahmen der Grundlagenerhebung erhoben, erstellt und analysiert werden.**

Notwendige Bestandsdaten	
Unterlagen	Informationen über
Katasterplan	Grundstücksgrenzen, Gebäudestruktur
Flächenwidmungsplan	derzeitige und zukünftige Bebauungsstruktur
Naturdaten des öffentlichen Raumes (Straßenflächen, Gehsteige, etc.)	Gehsteigkanten, Zaunmauern, Stiegen, Hauskanten
Photogrammetrische Auswertungen der Dachflächen	Traufenlinien, Dachflächenpolygone
Digitales Höhenmodell - Geländemodell (horizontale Mindestauflösung 1 m)	Geländehöhen, Geländegefälle
Orthophotos	Grundstückscharfe Auswertung der Flächen
Kanalnetzdaten	Dimensionen, Längen, Sonderbauwerke
Einzugsgebietsflächenplan	Versiegelungsgrad, Gefälle
Foto-Dokumentation (historisch & aktuell)	Situation vor Ort
Bestandsdaten im Bereich privater Grundstücke	Angeschlossene Flächen, Befestigungsgrad
Projektunterlagen im Bereich öffentlicher Flächen im UG	Durchgeführte Umbauten, zukünftige Veränderungen
Messkampagnen (Niederschlag, Abfluss im Kanalnetz, etc.)	Abflussverhalten im Kanal zur Modellkalibration
Hydrographische Daten - ehyd.gv.at	Bemessungsniederschläge

## Topographische Daten

Die topographischen Bestandsdaten sollen bestenfalls in digitaler Form als GIS-Daten zur Analyse und Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen.

Zur Analyse der Oberflächenbeschaffenheit (z.B. Geländehöhen, Gefälleverhältnisse, Straßenverlauf, Situierung von Gebäuden) sind Laserscandaten und orthofotometrische Daten notwendig, die im besten Fall in Form von Rasterdaten zur Verfügung stehen.

Die Mindestauflösung für Orthofotos liegt bei 0,5 m, da eine Weiterverarbeitung der Daten bei einer gröberen Auflösung, aufgrund der Ungenauigkeiten z.B. bei Häuserkanten oder befestigten und teilbefestigten Flächen, schwierig ist. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt eines Orthofotos, mit einer Auflösung von rund 0,2 m. Bei einer derartigen Qualität sind GIS-basierte Auswertungen sowie die Weiterverarbeitung der Daten mög-



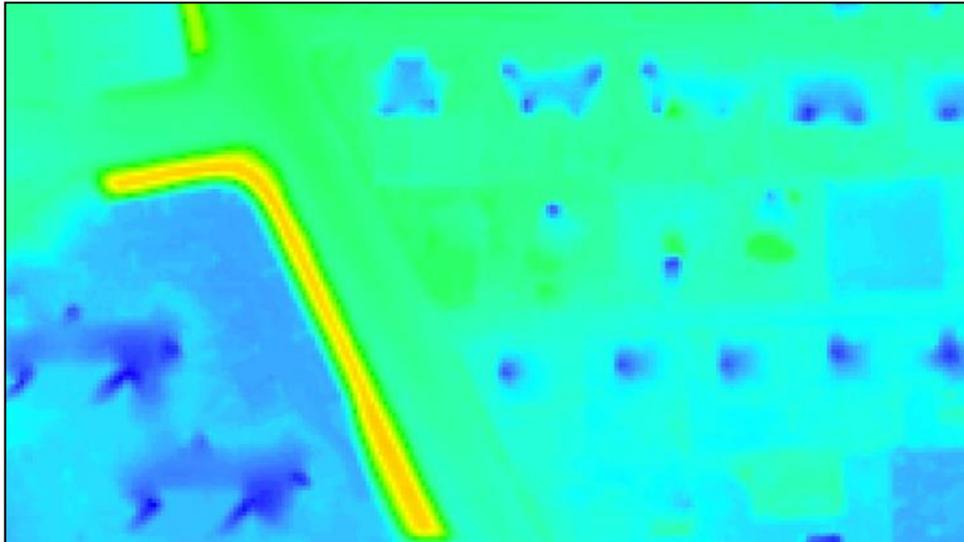
lich. Darunter fällt vor allem die grundstücksscharfe Auswertung von Dachflächen, befestigten und teilbefestigten Flächen, aber auch Auswertungen der vorhandenen Straßenquerschnitte.



**Abbildung 2:** Beispiel für orthofotometrische Daten (Auflösung 0,2 m) als Orthofoto; Man erkennt beispielsweise Häuserkanten, Straßenzüge, untergeordnete Bauwerke, Flächenstruktur (befestigt/unbefestigt)

Ein digitales Höhenmodell in Form von Rasterdaten ist für die Erstellung des Oberflächenmodells unerlässlich. Abbildung 3 zeigt einen beispielhaften Ausschnitt eines digitalen Höhenmodells. Laserscan-Befliegungsdaten stehen meist als digitales Geländemodell, sowie als digitales Oberflächenmodell zur Verfügung. Im Oberflächenmodell sind auch Höheninformationen über Vegetation und Gebäude enthalten, die im digitalen Geländemodell bereinigt sind. Die Höheninformationen über die Vegetation im digitalen Oberflächenmodell beinhalten z.B. Baumkronen und Büsche, die Einfluss auf die Fließwege im Modell haben, der jedoch nicht der Realität entspricht. Aus diesem Grund ist das digitale Geländemodell für die hochaufgelöste Abbildung der Fließwege zu bevorzugen.

Je nach Struktur des Untersuchungsgebiets sollten die digitalen Höhendaten eine horizontale Mindestauflösung von 1 m mit einer Höhengenaugigkeit von mindestens 1 dm haben. Bei einer gröberen Auflösung werden abflussbeeinflussende Strukturen nicht mehr ausreichend abgebildet. Jedoch muss eine höhere Auflösung aufgrund der Höhenungenauigkeiten nicht zwangsläufig zu einer genaueren Abbildung führen, wohl aber führt sie zu einer erheblich höheren Datenmenge. Je nach Einzugsgebietsstruktur muss hier abgewogen werden.



**Abbildung 3:** Beispiel für ein Digitales Geländemodell aus einer Laserscan-Befliegung (horizontale Auflösung 1 m): Die Darstellung der unterschiedlichen Geländehöhen ist von Orange (höchster Bereich) über Grün nach Blau (tiefster Bereich) – in Orange und Gelb erkennt man z.B. einen kleinen Damm, der zwischen einer Straße und den dahinterliegenden Häusern situiert ist.

## Flächenwidmungs- und Katasterdaten

Der Flächenwidmungsplan, wie beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt, beinhaltet Daten zur Bebauungsstruktur (z.B. Wohngebiet, Gewerbegebiet) des Untersuchungsgebiets. Diese werden benötigt, um beispielsweise die Anforderungen an das Entwässerungssystem entsprechend den Nutzungskategorien nach ÖNORM EN 752 festlegen zu können. Darüber hinaus gibt der Flächenwidmungsplan Aufschluss über die derzeitige und zukünftige Bebauungsstruktur im Einzugsgebiet sowie die Lage von Freiflächen für ggf. zusätzliche Entwässerungsmaßnahmen.



**Abbildung 4:** Beispiel für Flächenwidmungsdaten: In Gelb, Orange und Rot sind Wohngebiete bzw. Kerngebiete gekennzeichnet, in Lila Gewerbegebiete und in Grün Freiland.

Zur Analyse der Einzugsgebietsstruktur sind Katasterdaten unerlässlich. Sie beinhalten Grundstücksgrenzen, Straßenflächen und die Situierung von Gebäuden (siehe Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Beispiel für Katasterdaten: In Hellgrau sind die Straßenflächen dargestellt, in Dunkelgrau erkennt man die im Kataster erfassten Gebäude und die grauen Linien sind die Grundstücksgrenzen.

## Naturdaten

Zur Abgrenzung von öffentlichem und privatem Raum dienen Naturdaten des Straßenraumes, der Gehsteige, der Bahnübergänge. Wie Abbildung 6 beispielhaft zeigt, werden hier Gehsteigkanten, Hausmauern, Stiegen und Böschungen als Linien georeferenziert dargestellt.



**Abbildung 6:** Beispiel für die Darstellung von Naturdaten: Zu erkennen sind Gebäudekanten und Zaunmauern im Bereich privater Grundstücke (in Lila) sowie die Abgrenzung der Straßenflächen wie z.B. Gehsteigkanten, Stufen (in Grün).

## Fotogrammetrische Daten

Fotogrammetrische Auswertungen von Laserscandaten und orthofotometrischen Daten geben zusätzlich zu Naturdaten des öffentlichen Raumes Aufschluss über die Oberflächenbeschaffenheit und die Situierung von

Häusern, Carports und weiteren untergeordneten Bauwerken im Bereich privater Grundstücke, die im Katasterplan nicht angeführt sind (siehe Abbildung 7).

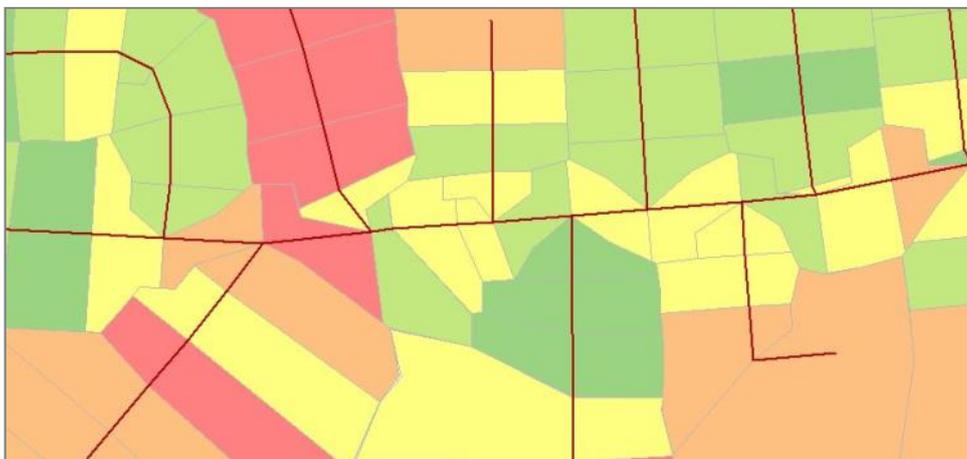


**Abbildung 7:** Beispiel für fotogrammetrische Daten (in den Hintergrund ist das Orthofoto gelegt, auf dessen Grundlage die fotogrammetrischen Daten basieren); Die Dachflächen, sind als Polygone in Beige dargestellt, die Traufenlinien (in Schwarz) geben Aufschluss über Neigungsänderungen im Bereich der Dachflächen.

## Kanalkataster und Einzugsgebiete

Zur Erstellung eines Kanalnetzmodells und Analyse des vorhandenen Kanalnetzes sind Kanalnetzdaten, sowie ein Einzugsgebietsflächenplan notwendig. Für die Einzugsgebietsflächen sind Abschätzungen des Versiegelungsgrades und der Quer- und Längsneigungen der Flächen hilfreich. Die Abschätzung des Versiegelungsgrades kann aus Infrarot-Befliegungen gewonnen werden. Die Quer- und Längsneigungen der Einzugsgebietsflächen können mit Hilfe des digitalen Geländemodells ermittelt werden.

Abbildung 8 zeigt beispielhaft einen Einzugsgebietsflächenplan und den Kanalkataster (Kanalnetzdaten), der Lage, Dimension, Länge, Material sowie Materialzustand des Kanalnetzes beinhaltet.



**Abbildung 8:** Beispiel für Kanalnetzdaten und Einzugsgebietsflächenplan; Das Kanalnetz ist braun dargestellt. Die Einzugsgebietsflächen sind je nach Versiegelungsgrad – gering ist Grün, hoch ist Rot – dargestellt.



## Foto- und Video-Dokumentationen

Umfangreiche Begehungen des Untersuchungsgebiets und das Festhalten des Ist-Zustands in Form von Foto-Dokumentationen und Videos sind unerlässlich. Dadurch können Informationen (z.B. Gehsteigkanten, Zaunfundamente) erhoben werden, welche die Fließwege an der Oberfläche beeinflussen. Darüber hinaus sind auch dokumentierte aktuelle und historische Überflutungsereignisse von Interesse. Daten dazu können beispielsweise bei Begehungen während und nach Regenereignissen, lokalen Medien, den Kommunen, den betroffenen Anrainern erhoben werden. Diese Informationen sind für Systembeschreibung und Analyse der Defizite im Untersuchungsgebiet sehr wichtig und werden für die Validierung der Überflutungsmodelle genutzt.

## Bestandsdaten im Bereich privater Grundstücke

Bestandsdaten im Bereich privater Grundstücke können in Form einer BürgerInnenbefragung erhoben werden. Eine BürgerInnenbefragung kann flächendeckend oder punktuell durchgeführt werden und kann Aufschluss über Bestandsdaten der vorhandenen Gebäude und vergangene Überflutungsereignisse geben. Der Umfang einer solchen BürgerInnenbefragung ist abhängig vom Datenbedarf. Sie ist darüber hinaus ein Werkzeug zur Feststellung der Bereitschaft von Anrainern, Maßnahmen im Bereich ihrer Grundstücke umzusetzen, sowie sozio-psychologische Aspekte abzuschätzen.

## Unterlagen vorhandener Projekte

Von der Planungsphase bis zur Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen können oft viele Jahre vergehen. Häufig gibt es jedoch bereits projektierte Maßnahmen, die noch nicht oder noch nicht vollständig umgesetzt wurden. Die Projektunterlagen, die bei der zuständigen Abteilung der Landesregierung oder bei den Kommunen ausgehoben werden können, geben Aufschluss über Abflussverhalten, Einzugsgebietsgrenzen und sollten in neuen Projekten berücksichtigt werden.

## Messdaten

Für die modelltechnische Abbildung werden Niederschlagsdaten und korrespondierende Abflussdaten im Kanal benötigt. Die Kalibrierung und Validierung eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells muss auf realen Daten basieren. Sofern im Untersuchungsgebiet Messinstrumente installiert sind, sind deren Daten zu erheben. Nötigenfalls kann eine Messkampagne im Untersuchungsgebiet durchgeführt werden. Es sollten dabei Durchfluss-, Fließgeschwindigkeits- und/oder Höhenstandsdaten im Kanalnetz und der Niederschlag aufgezeichnet werden. Sofern keine Messdaten im Untersuchungsgebiet vorhanden sind und keine Messkampagne durchgeführt werden kann, müssen zumindest Kanalmessdaten und Niederschlagsmessdaten, die in anderen Bereichen des Kanalnetzes (Teilsystemen) aufgezeichnet wurden, erhoben werden. Kalibrierte Parameter anderer Teilsysteme können in das zu untersuchende (unkalibrierte) Teilsystem übertragen werden. Für eine Plausibilitätsprüfung des berechneten und des beobachteten Systemverhaltens können auch Zulaufmengen zur Abwasserreinigungsanlage dienen, die zumindest eine Kontrolle der Gesamtabflussvolumina ermöglichen (HSGSim 2008).

Für die Generierung von Euler-Typ II Modellregen sind Bemessungsniederschlagsdaten notwendig. Diese hydrographischen Daten können dem eHYD ([ehyd.gv.at](http://ehyd.gv.at)) entnommen werden.

## Systembeschreibung

Auf Basis der Grundlagendaten muss eine Systembeschreibung erfolgen, die für die Modellerstellung unerlässlich ist. Um die Modelle in der für das untersuchte Gebiet notwendigen Detailliertheit erstellen zu können, müssen grundlegende Informationen und Daten für das Untersuchungsgebiet vorhanden sein (vergl. Kapitel Grundlagenerhebung). In der Systembeschreibung sollen die wesentlichen Charakteristika des Untersuchungsgebiets aufgeführt werden, wie in Tabelle 2 aufgelistet.

Als allgemeine Informationen zum Untersuchungsgebiet sind dessen Größe und Abgrenzungen festzulegen. Darüber hinaus ist die Charakteristik sowie – im Falle einer flächendeckenden BürgerInnenbefragung – die Anzahl der Grundstücke, die Geländehöhen und -neigungen zu erheben. Anschließend können generelle Aussagen über die Struktur (Gewerbegebiet, Wohngebiet, dicht bebaut) getroffen werden. Sofern natürliche Gewässer bzw. Entwässerungsgräben im Untersuchungsgebiet vorhanden sind, sind deren Charakteristika (Einzugsgebietsgröße, Abflussspitzen) aufzuführen.

Im Bereich öffentlicher Flächen sollte Augenmerk auf deren Struktur, Versiegelungsgrad sowie den Aufbau des Straßenoberbaus gelegt werden. Darüber hinaus müssen die Charakteristika der Straßenquerschnitte, wie beispielsweise Neigungen, Straßenbreiten, Gehsteige (Breiten, Höhen) beschrieben werden.

Private Grundstücke müssen hinsichtlich Gebäudestruktur, Versiegelungsgrad und Aufbau analysiert werden. Eine Abschätzung der an den Kanal angeschlossenen versiegelten Flächen muss getroffen werden. Bestandsdaten im Bereich privater Grundstücke wie beispielsweise vorhandene Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen oder die Anzahl sowie Situierung der Autoabstellflächen können im Zuge einer BürgerInnenbefragung (punktuell oder flächendeckend) erhoben werden und sind im Rahmen der Systembeschreibung anzuführen. Aus den Daten einer BürgerInnenbefragung und beispielsweise aus der Analyse der Orthofotos und der Foto-Dokumentationen können abflussbeeinflussende Strukturen, wie Grundstückseinfriedungen, Hauszufahrten beschrieben werden.

In der Systembeschreibung soll in Bezug auf das Entwässerungssystem darauf eingegangen werden, welche Art von Entwässerungssystem vorliegt. Es soll die generelle Struktur (z.B. Dimensionen, Haltungslängen) des Entwässerungssystems analysiert und Sonderbauwerke im Kanalsystem angeführt werden.



**Tabelle 2: Notwendige Informationen, die aus der Systembeschreibung hervorgehen sollen.**

Notwendige Informationen in der Systembeschreibung	
Allgemeines zum Untersuchungsgebiet	Größe
	Abgrenzungen
	Anzahl der Grundstücke
	Geländehöhen, Geländeneigungen
	Generelle Struktur
Oberflächenwasser in Form von	Entwässerungsgräben
	Bäche
	Flüsse
Öffentliche Flächen	Struktur
	Versiegelungsgrad
	Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung
	Aufbau
	Straßenquerschnitte (Breiten, Gehsteige, etc.)
Private Flächen	Straßenneigungen
	Gebäudestruktur
	Versiegelungsgrad
	Angeschlossene Flächen
	Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung
	Grundstückseinfriedungen
	Autoabstellflächen
	Hauszufahrten
Kanalisation	Art der Entwässerung
	Struktur, Dimensionen
	Sonderbauwerke

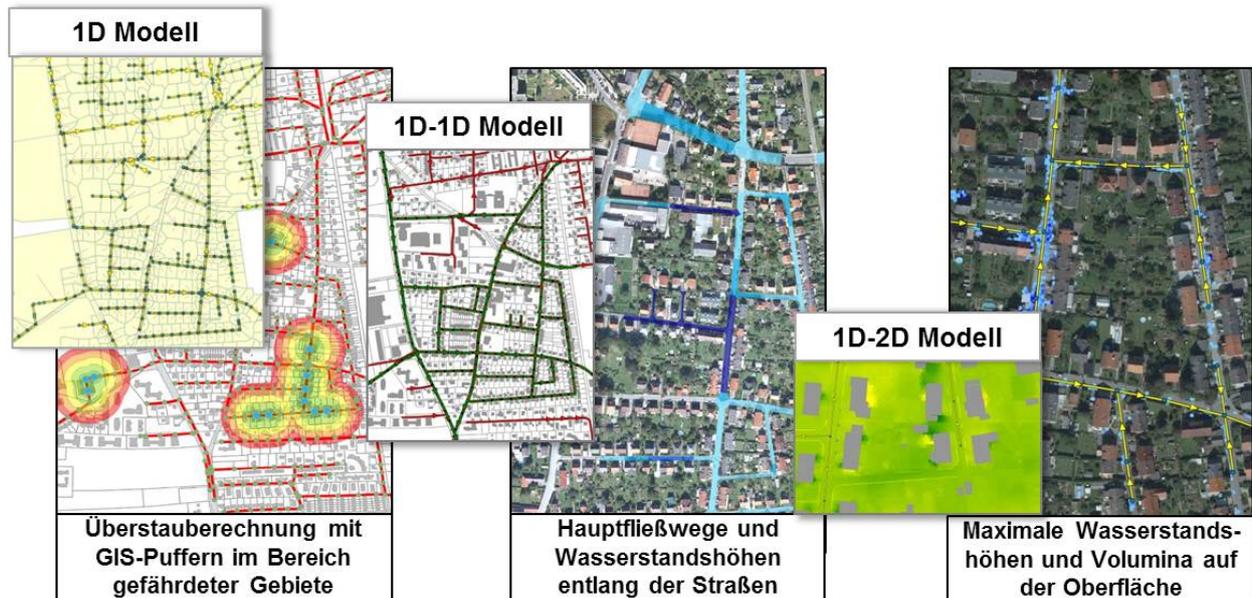
## Analysemethoden

Die Defizit- und Ursachenanalyse kann allein auf Grundlage der erhobenen Daten erfolgen. Die Ursachen für die Überflutungsgefährdung können auf Basis der Geo-Daten abgeschätzt werden. Ohne computergestützte Überflutungsberechnungen ist jedoch keine stichhaltige Aussage zu urbanen Überflutungen möglich und keine weiterführende Abbildung von Schutzmaßnahmen und der Auswirkungen auf das Abflussgeschehen in urbanen Siedlungsgebieten möglich. Es können lediglich prinzipielle Aussagen zu Überflutungsgefährdungen getroffen werden, wie beispielsweise die Gefährdung von Wohnobjekten mit abschüssigen Garagenabfahrten. Ob dies aber tatsächlich zu Überflutungen führt kann nur entweder aus einer modelltechnischen Abbildung und/oder aus Erhebungen bei Starkregenereignissen vor Ort geschlussfolgert werden. Da die Ursachen für die pluviale Überflutungsprobleme meist komplex sind, ist eine computergestützte Überflutungsberechnung zielführend, um Abschätzungen treffen zu können und Schlussfolgerungen ziehen zu können.

## Computergestützte Überflutungsberechnungen

Abhängig von der Struktur des Untersuchungsgebiets sowie der zur Verfügung stehenden Datengrundlage ist die Erstellung eines hydrodynamischen Simulationsmodells in unterschiedlicher Detailliertheit möglich und zielführend. Je höher z.B. die zur Verfügung stehenden digitalen Höhenmodell-Rasterdaten aufgelöst sind, desto eher ist eine detailgetreue Oberflächenmodellierung von gefährdeten Bereichen anzustreben. Je detailgetreuer jedoch die Oberflächenmodellierung ist desto länger werden die Simulationszeiten und desto größer wird die Datenmenge, die zu verwalten ist. Hier ist ein optimaler Kompromiss zwischen der benötigten Detailliertheit, dem Aufwand für die Datenerhebung und die Modellerstellung sowie den resultierenden Rechenzeiten zu finden.

Durch einen stufenweisen Modellaufbau kann ein hydrodynamisches 1D-2D Modell gezielt nur für die gefährdeten Bereiche erstellt werden. Es werden die in der Aufbereitung aufwendigen Oberflächenrechengitter nur in jenen Bereichen erstellt, die aus den vorausgegangenen Überstauberechnungen und nach einer Analyse der Hauptfließwege, als gefährdet hervorgehen. Die Oberflächenrechengitter sollten in ein hydrodynamisches 1D Kanalnetzmodell inkl. Überstauberechnung implementiert werden. Aus dieser Vorgehensweise resultieren wesentliche Vorteile, wie die Erfassung des hydraulischen Gesamtsystems, die (vereinfachte) Berücksichtigung von hydraulischen Überlastungen außerhalb der detaillierten 2D Teile, Wechselwirkungen im System und eine erhebliche Rechenzeiterparnis.



**Abbildung 9:** Hydrodynamische Modelle mit unterschiedlicher Detailliertheit zur Abschätzung von Überflutungen in urbanisierten Gebieten: Links die Darstellung eines 1D Modells mit den Ergebnissen einer Überstauberechnung und GIS-basierten Puffern, die gefährdete Gebiete hervorheben. In der Mitte die Darstellung eines 1D-1D Modells und die daraus ableitbaren Hauptfließwege auf der Straßenoberfläche. Rechts folgt die dritte und detaillierteste Modellstufe, das 1D-2D Modell und die daraus resultierenden Wasserstandshöhen und Volumina auf der Oberfläche.

Die Abgrenzung gefährdeter Gebiete mit Hilfe von Überstaunachweisen in einem hydrodynamischen eindimensionalen Modell (OEWAV 2009) sowie eine genauere Untersuchung der Fließwege auf der Oberfläche mit einem gekoppelten hydrodynamischen 1D-1D Modell (Chen et al. 2007, Concha Jopia und Gomez Valentin 2010) ermöglicht die abschnittsweise, hydraulische Kopplung des hydrodynamischen eindimensionalen Modells an ein hydrodynamisches, zweidimensionales Oberflächenmodell. Im hydrodynamischen zweidimensionalen Modell, das folglich nur für die gefährdeten Bereiche erstellt wird, werden die Strömungen meist mittels Flachwassergleichungen berechnet (Fuchs et al. 2013, Kamrath 2010). Abbildung 9 zeigt den schematischen Ablauf einer solchen stufenweisen Erstellung eines hydraulisch gekoppelten hydrodynamischen 1D-2D Modells.

Ein gekoppeltes, hydrodynamisches 1D-2D Modell, das einerseits das Abflussverhalten in der Kanalisation und andererseits das Abflussgeschehen an der Oberfläche abbildet, wird in die integrierte Modellierung eingestuft. Diese wird oft durch mangelnde Datengrundlage erschwert (HSGSim 2010). Ein solches integriertes Modell bietet jedoch die Möglichkeit Überflutungsereignisse zu analysieren und deren Auswirkungen zu bewerten. Darüber hinaus ermöglicht es die Auswirkungen möglicher Schutzmaßnahmen auf das Abflussgeschehen zu analysieren.

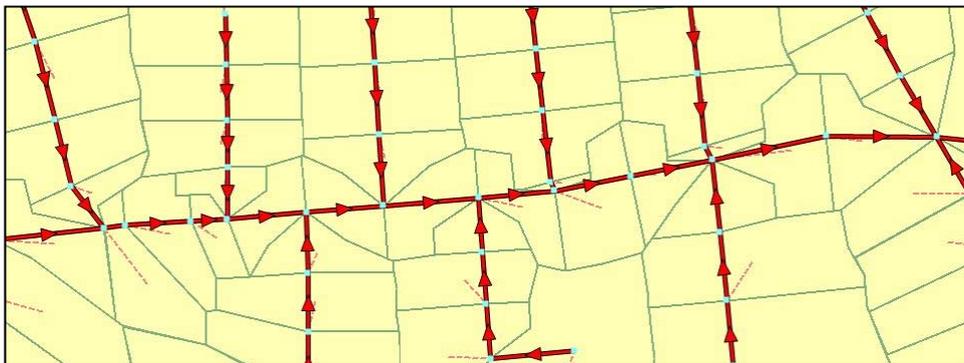
Das aus der stufenweisen Vorgehensweise resultierende 1D-2D Modell liefert Informationen über das Abflussgeschehen mit denen Schadenspotential-Analysen innerhalb der identifizierten gefährdeten Gebiete durchgeführt sowie die Ursachen für Überflutungsschäden erhoben werden können. Darüber hinaus ermöglicht ein hydrodynamisches 1D-2D Modell die Analyse möglicher Verbesserungsmaßnahmen, um die Überflutungsgefahr zu verringern und damit das Schadenspotential zu verringern.

## 1D Modellierung

Die hydrodynamische 1D Modellierung stellt eine eindimensionale Berechnungsmethode dar, die auf den physikalisch-hydraulischen Gesetzmäßigkeiten des Fließvorgangs aufbaut. Die mathematische Beschreibung erfolgt über das *de Saint-Venant'sche Gleichungssystem*. Dieses besteht aus zwei gekoppelten Differentialgleichungen. Die erste beschreibt die Energiebilanz (Bewegungsgleichung), die zweite die Massenbilanz (Kontinuitätsgleichung). Durch die Lösung des vollständigen Gleichungssystems werden Abfluss und Wasserstand permanent verknüpft. Die Lösung dieser Gleichungen ist nur durch numerische Lösungsverfahren möglich. Die numerische Berechnung des vollständigen Gleichungssystems (Dynamische Welle) führt in großen Netzen zu signifikanten Rechenzeiten (DWA 2006, OEWA 2009).

Die Modellvorstellungen, die den Berechnungen eines hydrodynamischen 1D Modells zugrunde liegen, stellen Vereinfachungen der realen Zusammenhänge dar (HSGSim 2008). Hydrodynamische Berechnungsverfahren ermöglichen die realitätsnahe Abbildung der Fließzustände innerhalb eines Kanalnetzes und darüber hinaus die Berücksichtigung von Überlastungszuständen wie Druckabfluss, Rückstau bis hin zur Fließumkehr. Die direkte Einbeziehung von Verzweigungen und Sonderbauwerken bereitet prinzipiell keine Schwierigkeiten. Jedoch führen getroffene Vereinfachungen in der Energiebilanz zu Einschränkungen bei der Genauigkeit und Gültigkeit der Berechnungsergebnisse (DWA 2006).

Hydrodynamische 1D Modelle berücksichtigen den Oberflächenabfluss bei Regenereignissen von definierten Teileinzugsgebieten in das Kanalnetz über hydrologische Niederschlag-Abfluss Modelle, die über verschiedenste Modellparameter charakterisiert werden (OEWA 2009). Abbildung 10 zeigt beispielhaft die modelltechnische Abbildung eines Kanalnetzes in einem eindimensional hydrodynamischen Modell.



**Abbildung 10:** Beispiel für die modelltechnische Abbildung eines großen, verzweigten Kanalnetzes, mit Kanalsträngen, Schächten, Wehrbauwerken und den Teileinzugsgebieten, die den Knotenpunkten zugeordnet sind

Das Simulationsergebnis eines hydrodynamischen 1D Modells inkl. Überstauberechnung lässt die Analyse von Überstauhöhen und -mengen an den Berechnungsknoten (Kanalschächten) zu. Dies ermöglicht die Identifikation von gefährdeten Gebieten hinsichtlich Kanalrückstau und Überflutungen. Die kritische Systembelastung ist der Niederschlag. Bei hydrodynamischen Berechnungsmethoden kommen einerseits intensitätsvariable Modellregen (Einzelmodellregen (beispielsweise Euler Typ II) unterschiedlicher Jährlichkeiten oder Modellregengruppen) und andererseits gemessene Starkregenserien zur Anwendung. Intensitätsvariable Modellregen werden aus Regenspenden- bzw. Regenhöhenlinien statistisch abgeleitet und weisen dadurch eine festgelegte Dauer, Überschreitungshäufigkeit und typisierten zeitlichen Verlauf auf. Bei Einzelmodellregen (z.B. Euler Typ II) soll die Regendauer mindestens dem zweifachen der längsten maßgebenden Fließzeit im Entwässerungsnetz entsprechen (OEWA 2009). Bei großen Einzugsgebieten mit längeren Fließzeiten sollten Modellregengruppen (Modellregen unterschiedlicher Dauerstufen) zur Anwendung

kommen. Den intensitätsvariablen Modellregen stehen die gemessenen Starkregenserien gegenüber. Für deren Erstellung sind Aufzeichnungsdauern von 30 Jahren und mehr wünschenswert (DWA 2006, OEWA 2007a). Unabhängig von der gewählten Niederschlagsbelastung liefern hydrodynamische 1D Modelle Abflüsse und Wasserstände (Maximalwerte, Ganglinien) im abgebildeten Einzugsgebiet (DWA 2006).

Als Simulationsergebnisse stehen, abhängig von der verwendeten Modellplattform, z.B. die Dauer eines Überstaus und/oder die Überstauvolumina, zur Verfügung.

Die Darstellung gefährdeter Gebiete innerhalb des analysierten Einzugsgebiets kann mit Hilfe von GIS-Werkzeugen erfolgen. Aus den Simulationsergebnissen eines 1D Modells können Darstellungen des Einzugsgebiets mit den maximal an den Berechnungsknoten ausgetretenen Volumina, oder der maximalen Überstauhöhe bzw. der Dauer des Überstaus (Überstauzeit) erstellt werden. Es können darüber hinaus z.B. Puffer in verschiedenen Abständen um die überstauenden Schächte gelegt werden, um die Gefährdungsgebiete bei Überflutungsereignissen abzuschätzen.

Die Berechnungsergebnisse eines hydrodynamischen Modells werden als prognostizierte Werte bezeichnet, die aufgrund der System-Vereinfachungen, die bei der modelltechnischen Abbildung vorgenommen werden, und wegen der Unsicherheiten mit denen Modellparameter, wie z.B. Versiegelungsgrad, abflusswirksame Fläche und Systembelastung (Niederschlag) behaftet sind, nie exakt mit beobachteten Werten übereinstimmen werden (HSGSim 2008).

Die Modellparameter dienen bei der Kalibrierung als Stellschrauben, um die vom Modell prognostizierten Werte an die beobachteten Werte anzupassen. Ziel der Kalibrierung ist das Erreichen einer hinreichend genauen Übereinstimmung der prognostizierten und der beobachteten Werte. Als die drei wichtigsten Größen bei der Überstauberechnung sind die Zielgrößen Abflussvolumen, Abflussspitze und zeitliches Auftreten der Abflussspitze (Charakteristika der Abflussganglinie) zur Kalibrierung heranzuziehen. Hinzu kommt noch die generelle Übereinstimmung mit der Abflussganglinie. Dabei ist eine vollständige Übereinstimmung nicht möglich.

Geachtet werden soll gemäß ÖWAV Regelblatt 11 auf das Gesamtvolumen des Abflusses bei einem Ereignis, auf den Spitzenabfluss, den Zeitpunkt der Abflussspitze, die Form und den Verlauf der Abflusssummenlinie und z.B. die Standardabweichung der Differenzen pro Zeitschritt als eine mögliche Zielgröße, um Aussagen über die Güte eines Modells zu treffen (OEWA 2009).

Aufgezeichnete Messdaten von Niederschlägen sowie damit korrespondierende Messdaten von Durchfluss, Füllstandshöhe und/oder Fließgeschwindigkeiten innerhalb des Kanalsystems sind Voraussetzung für die Kalibrierung der Modellparameter.

Der Vergleich der beobachteten mit der simulierten Abflussganglinie kann mittels verschiedener Zielgrößen auf drei unterschiedliche Arten erfolgen. Erstens können die beobachteten und berechneten Werte in grafischen Auswertungen gegenübergestellt werden. Am häufigsten kommen hier die Darstellung der Hydrographen und Punktdiagramme zur Anwendung. Hydrographen ermöglichen den Vergleich von Abflussspitzen und Abflussdauern. In einem Punktdiagramm werden z.B. Gesamtabflussvolumina dargestellt und verglichen. Zweitens können statistische Parameter zur Anwendung kommen. Hier werden allen voran Mittelwerte und Standardabweichung herangezogen. Mit Hilfe statistischer Parameter wird der Grad der Übereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Werten beschrieben. Drittens kommen dimensionslose Faktoren zur Anwendung. Aus dem Vergleich in Punktdiagrammen ergibt sich die Darstellung der linearen Regression, in deren Zusammenhang das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  berechnet werden kann. Dieser dimensionslose Faktor liefert einen Anhaltspunkt für die Übereinstimmung von beobachteten und berechneten Abflüssen. Der Nash-Sutcliffe Koeffizient beschreibt die Differenzen zwischen den berechneten und beobachteten Werten direkt und ist damit ein gutes Maß für den Grad der Übereinstimmung (Chiew und McMahon 1993). Darüber hinaus gibt es weitere Zielgrößen für die Kalibrierung, deren Auswahl davon abhängig ist, ob man beispielsweise ein einzelnes Ereignis abbilden will, oder ob die Fließvorgänge über einen Zeitraum abgebildet

werden sollen. Die absoluten Kriterien von Residuen (z.B. mittlere Abweichung, absolute maximale Abweichung) basieren im Allgemeinen auf der Summe der Residuen gemittelt über die Datenmenge (Dawson et al. 2007, Hauduc et al. 2013, James 2005).

Mit Hilfe weiterer beobachteter Regenereignisse können die prognostizierten Werte des kalibrierten hydrodynamischen 1D Modells validiert werden. Die Analyse erfolgt bezüglich der gleichen Zielgröße wie bei der Kalibrierung. Chiew and McMahon 1993

Stehen keine Messdaten zur Verfügung, um eine Kalibrierung des Modells durchzuführen, muss mindestens eine Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse durchgeführt werden. Das Systemverhalten im hydrodynamischen 1D Modell muss in sich schlüssig sein. Zur Plausibilitätskontrolle können Dokumentationen vergangener Überflutungsereignisse herangezogen werden. Die Überprüfung, ob alle Modellparameter innerhalb plausibler Bereiche liegen, erfordert umfangreiche Kenntnisse des Anwenders, stellt aber eine wertvolle Hilfe bei der Kontrolle des Modells dar. Bei einem nicht kalibrierten Modell können die Ergebnisse unter Umständen maßgeblich von den realen Bedingungen abweichen und mit hohen Unsicherheiten behaftet sein.

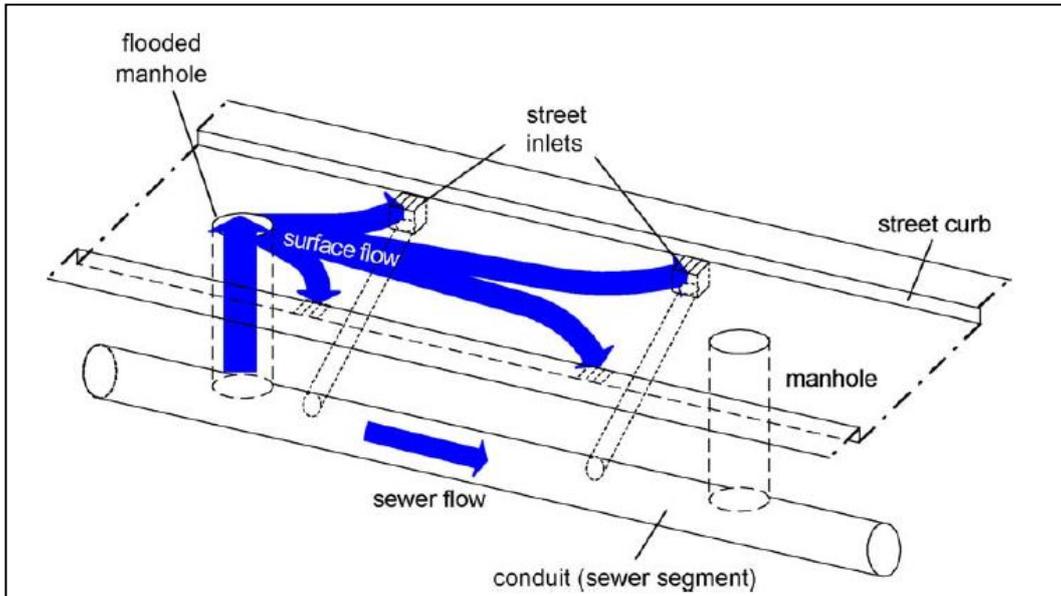
### 1D-1D Modellierung

Bei der Berechnung eines eindimensionalen hydrodynamischen Systems findet der Abfluss in der Kanalisation in einer klar definierten Gerinnegeometrie statt. Die Kombination aus Rohren und Schächten ist dabei rechnerisch relativ einfach zu erfassen. Sobald es jedoch zu einer Überlastung des Kanalnetzes kommt und Wasser im Modell an Schächten austritt, ist die Berechnung signifikant schwieriger.

Um eine Abschätzung der Fließvorgänge von an überstauenden Schächten austretendem Wasser treffen zu können, kann das Relief des über der Kanalisation liegenden Straßennetzes als hydrodynamisches 1D Modell mit offenen Gerinnen abgebildet werden. In diesem Kontext spricht man von 1D-1D Modellen bzw. Dual Drainage Ansätzen. Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit den Aus- und Wiedereintritt von Wasser an unterschiedlichen Schächten zu simulieren. Es kann auf die Hauptfließwege, Volumina und Wasserstände auf der Straßenoberfläche geschlossen werden, wodurch gefährdete Bereiche besser abgegrenzt werden können.

Im hydrodynamischen 1D-1D Modell wird das aus der Kanalisation austretende Wasser also nicht in einem fiktiv auf dem überstauten Schacht angeordneten Speicher gespeichert und von dort aus an der gleichen Stelle in das Kanalnetz rückgeführt. Stattdessen kann das austretende Wasser entlang des offenen Gerinnenmodells des Straßennetzes abfließen und z.B. bei einem Straßeneinlaufgitter oder einem Sinkkasten wieder in das Kanalnetz eintreten (siehe Abbildung 11).

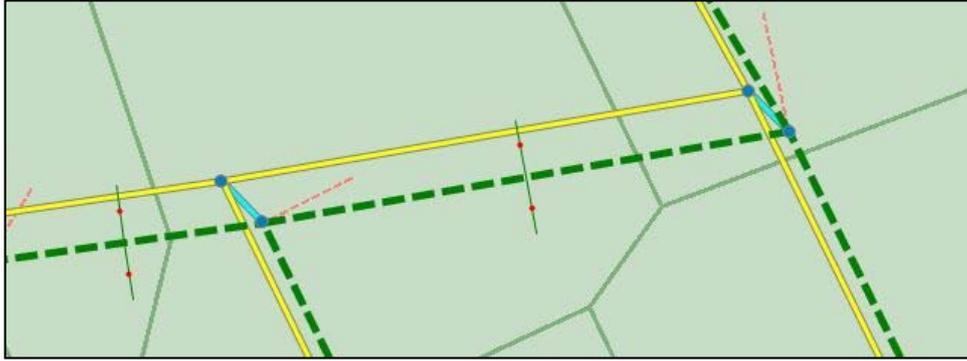
Ein hydrodynamisches 1D-1D Modell gibt darüber hinaus Aufschluss über den oberflächigen Abfluss auf Straßen in denen kein Kanal eingebaut ist. Hierbei können genauere Analysen des Gefährdungspotenzials für Überflutungen durchgeführt werden, da vor allem die Wasserstandshöhen innerhalb des hydrodynamischen 1D Modells des Straßennetzes abgegriffen werden können.



**Abbildung 11: Systemskizze der Wechselwirkungen zwischen Abfluss im Kanal und des Oberflächenabflusses (Schmitt et al. 2004); Wasser tritt an einem Schacht aus und kann nach Abfluss auf der Straßenoberfläche an Straßeneinläufen wieder in das Kanalnetz eintreten, sofern es die hydraulische Kapazität des Kanalnetzes zulässt.**

Im hydrodynamischen 1D-1D Modell müssen das Kanalnetz und die Straßenoberfläche, unter Berücksichtigung der hydraulischen Randbedingungen an den Kanalschächten und Straßeneinläufen, gekoppelt werden. Diese Koppelung kann modelltechnisch mit Hilfe verschiedener Lösungsansätze realisiert werden. Wichtig dabei ist die Berücksichtigung lokaler Energieverluste (Eintritts- und Austrittsverluste). Eine Möglichkeit ist die Koppelung über einfache Rohrleitungen bzw. Drosselelemente. Darüber hinaus kann eine Koppelung auch über ein Wehr oder über zwei gegenläufige Wehre erfolgen. Die gegenläufigen Wehrelemente erlauben über ihre Parameter (Höhe, Breite, Wehrüberfallbeiwert) die Berücksichtigung von Eintritts- und Austrittsverlusten sowie Erkenntnisse zum relativ geringen Schluckvermögen von Straßeneinläufen bei hohen Oberflächenabflüssen (Concha Jopia und Gomez Valentin 2010). Ein Straßeneinlauf (Sinkkasten) nimmt je nach Ausbildung und Straßengefälle maximal 15 l/s auf. Bereits bei einer Straßenlängsneigung von 5 % und einem Zulauf von 15 l/s reduziert sich das Schluckvermögen des Einlaufgitters auf 90 % des Maximalwertes (Nemecek 1979). Die Koppelung der 1D Modelle für Kanal- und Straßennetz kann neben dem beschriebenen Ansatz mit gegenläufigen Auslässen und Durchlässen bzw. Drosseln geschehen, mit deren Parametern ebenfalls die maßgeblichen Effekte (reduziertes Schluckvermögen, notwendige Druckhöhe) abgebildet werden können.

Zur Erstellung eines 1D-1D Modells sind umfangreichere Daten notwendig, als für ein 1D Kanalnetzmodell mit der Berücksichtigung von Überstau an den Schächten. Straßenquerschnitte können in offenen Gerinnestrukturen in unterschiedlichen Genauigkeiten eingepflegt werden. Straßenbreiten, -neigungen, Gehsteighöhen, -breiten und -neigungen sind zur Darstellung der Straßenflächen notwendig. Abbildung 12 zeigt beispielhaft, wie ein hydrodynamisches 1D-1D Modell (Dual Drainage Modell) als modelltechnische Abbildung aussehen kann.



**Abbildung 12:** Beispiel für ein 1D-1D Modell, in dem die Straßenflächen als offene eindimensionale hydrodynamische Gerinne abgebildet werden (CHlwater 2012b); In Gelb ist das Kanalnetz abgebildet und in Grün das Straßennetz mit seinen Querschnitten. In Hellblau ist die Koppelung an den Schächten dargestellt.

Die Darstellung der Simulationsergebnisse eines 1D-1D Modells kann abhängig von verwendeter Modellplattform und vorhandener Datengrundlage mit Hilfe von GIS-Werkzeugen erfolgen. Hierbei können die berechneten Wasserstandshöhen auf den Straßenflächen dargestellt werden, um durch Überflutungen gefährdete Gebiete identifizieren zu können.

### 1D-2D Modellierung

Die erforderliche Datengrundlage für eine Überflutungsberechnung mit einem hydrodynamischen 1D-2D Modell muss wesentlich detaillierter sein, als für einen Überstaunachweis mit Hilfe eines hydrodynamischen 1D-Modell. Zusätzlich zu den für das 1D Modell benötigten Daten hinsichtlich Kanalstruktur und -bauwerken sowie Teileinzugsgebietsflächen sind detaillierte Höhen-Informationsdaten erforderlich (vergl. Fuchs et al. 2013). Fuchs et al. 2013

Ziel ist ein detailgetreues hydrodynamisches 2D Oberflächengitternetzmodell zu erstellen. Dazu sind Rasterdaten mit Höheninformationen notwendig. So genannte digitale Höhenmodelle (DHM) werden auf Grundlage von Laserscan-Befliegungsdaten ausgearbeitet und stehen als digitale Oberflächenmodelle (DOM) oder digitale Geländemodelle (DGM) zur Verfügung. Die horizontale Auflösung solcher Modelle schwankt im Allgemeinen zwischen 1 und 100 m. Für die Erstellung von 2D Oberflächenmodellen in urbanisierten Gebieten ist die Verwendung eines DGM zielführend, da im DOM Hindernisse wie Baumkronen oder Autos erfasst sind, die das Abflussverhalten am Oberflächengitternetz verfälschen. Eine möglichst hohe Auflösung ist erforderlich, abhängig von der Straßen-, Grundstücks- und Gebäudestruktur (vergl. Abbildung 13) im betrachteten Untersuchungsgebiet. Für dicht besiedelte urbane Gebiete mit vielen kleinen Strukturen (Grundstückseinfriedungen, schmalen Straßen, etc.) muss die Auflösung des digitalen Geländemodells höher sein (zwischen 1 und 4 m), während bei Gebieten, die eher grob strukturiert sind (Gebäudekomplexe, breite Straßen), eine Auflösung bis 10 m ausreichend sein kann.



**Abbildung 13:** Beispiel für ein 1D-2D Modell mit einem Orthofoto als Hintergrundbild, um die Strukturen zu zeigen um welche das Oberflächengitternetz auf Grundlage eines DGM generiert wurde; Das Oberflächengitternetz ist nach den maximalen Zellohöhen – Grün sind tiefe Lagen bis Rot sind hohe Lagen – gerendert (CHwater 2012a).

Zur Erstellung eines Oberflächengitternetzes für ein hydrodynamisches 1D-2D Modell sind abhängig von der Struktur des Untersuchungsgebiets und der Auflösung der vorhandenen Daten umfassende Aufbereitungsschritte notwendig, die sich signifikant auf die Datenmenge auswirken. Es müssen kleine Strukturen wie beispielsweise Grundstückseinfriedungen mit Zaunfundamenten manuell in das Oberflächenmodell eingepflegt werden und Gehsteigkanten sowie Hauszufahrten als Bruchkanten abgebildet werden. Je kleiner strukturiert ein Untersuchungsgebiet ist, desto höher muss die Auflösung des generierten Oberflächengitters sein. Die Höhen werden dabei aus den Höheninformationen des DGMs interpoliert.

In 1D-2D Modellen werden die Abflussvorgänge im Kanalnetz und an der Oberfläche parallel berechnet. Die Austauschvorgänge zwischen Kanalnetz und Oberfläche erfolgen dabei durch Wassereintritt und Wasseraustritt durch die Schachtdeckel und Straßeneinläufe. Wie bei der 1D-1D Modellierung sollen lokale Energieverluste (Eintritts- und Austrittsverluste) auch hier berücksichtigt werden. Die verfügbaren Modellplattformen gehen mit der modelltechnischen Abbildung der Verbindung zwischen Kanalnetz und Oberfläche auf verschiedene Arten um. Die Anbindung von Straßeneinläufen über Leitungen an den Kanal ist hierbei eine sehr realitätsnahe Abbildung. Es besteht aber auch hier die Möglichkeit, den Ansatz der gegenläufigen Wehre anzuwenden.

Die Berechnung der Fließwege an der Oberfläche erfolgt mit Hilfe der numerischen Auflösung der Flachwassergleichungen. Diese beschreiben die zweidimensionalen Strömungen innerhalb des Oberflächengitternetzes. Im hydraulisch gekoppelten 1D-2D Modell erfolgt die gleichzeitige Berechnung des eindimensionalen Abflussgeschehens im Kanalnetz und des zweidimensionalen Abflussgeschehens an der Oberfläche (Fuchs et al. 2013).

Dies ermöglicht einerseits die in der ÖNORM EN 752 geforderten Überflutungsprüfungen und andererseits die Analyse des Schadenspotenzials sowie die Klassifizierung von Auswirkungen möglicher Schutzmaßnahmen.

Es ist zielführend ein Oberflächenmodell nicht flächendeckend über dem gesamten hydrodynamischen 1D Modell aufzubauen, sondern sich dabei auf die Problembereiche (gefährdete Gebiete bzw. Gebiete mit hohem Schadenspotenzial) zu beschränken.

Dies führt zu einem hydrodynamischen 1D Modell, das im Bereich gefährdeter Gebiete mit einem hydrodynamischen 2D Modell hydraulisch gekoppelt ist. Eine solche Vorgehensweise ist einerseits im Modellaufbau und der benötigten Simulationszeit weniger zeitintensiv und verringert andererseits auch die resultierende Datenmenge. Es wird die 2D Modellstruktur nur für die Teile des Systems (Untersuchungsgebiets) aufge-

baut, für die diese benötigt wird. Die übrigen Teile des Systems werden weiterhin als 1D Kanalnetzmodell inkl. Überstau berechnet.

Ein 1D-2D Modell bietet die Möglichkeit Fließvorgänge auf der Oberfläche detailgetreu abzubilden. Die Erhebung von Validierungsdaten ist jedoch schwierig. Für die Validierung von 1D-2D Modellen und die simulierten Fließvorgänge auf der Oberfläche reichen Niederschlagsmessdaten und korrespondierende Kanalabflussdaten nicht aus, da aus diesen Daten keine Aussagen für den Abfluss auf der Oberfläche getroffen werden können. Validierungsdaten für das Abflussgeschehen auf der Oberfläche können im Rahmen von BürgerInnenbefragungen (punktuell oder flächendeckend) im Untersuchungsgebiet erhoben werden, in denen z.B. Wasserstandshöhen, Häufigkeiten lokaler Überflutungen und Schäden bei Starkregen abgefragt werden.

Durch Foto und/oder Film dokumentierte historische Ereignisse liefern weitere wertvolle Informationen zum Abgleich des 1D-2D Modells. Dokumentationen historischer Überflutungsereignisse können einerseits von Anrainern im untersuchten Gebiet stammen oder z.B. von lokalen Medien und Behörden.

Es können Foto- und Video-Dokumentationen aktueller Regenereignisse (während der Projektlaufzeit auftretender Regenereignisse) zur Validierung der Fließwege herangezogen werden.

Mit einem validierten 1D-2D Modell können in der Folge verlässlichere Aussagen über die Wirksamkeit von unterschiedlichen Maßnahmen und Strategien zur Verminderung von Überflutungsereignissen getroffen werden.

## Defizitanalyse im Untersuchungsgebiet

Auf Basis der Grundlagenerhebung und der Systembeschreibung können in Folge mit den Modellen in unterschiedlicher Detailliertheit die Defizite des gesamten Systems erhoben werden, die als Ursachen für Überflutungen in urbanen Untersuchungsgebieten möglich sind.

Vorhandene Oberflächengewässer (Entwässerungsgräben, Bäche, Flüsse) sollten beispielweise hinsichtlich Verbauung, Abflussspitze, Verlauf durch das Einzugsgebiet und eventueller Engstellen (Durchlässe, Einlaufbauwerke) analysiert werden. Die Struktur sowie der Straßenaufbau im Bereich öffentlicher Flächen sind von zusätzlichem Interesse, da diese beispielsweise einen hohen Versiegelungsgrad und schmale Straßenquerschnitte aufweisen können. Die vorhandenen Grünflächen im Bereich der öffentlichen (Straßen-)Flächen müssen erhoben werden. Darüber hinaus müssen die Quer- und Längsneigungen der öffentlichen Flächen analysiert werden.

Im Bereich privater Flächen sind z.B. Gebäudestruktur, Versiegelungsgrad, Ausgestaltung der Hauszufahrten und die Art der Grundstücksabgrenzungen relevant. Die Erhebung über das Vorhandensein von Rückstauklappen in den Hausanschlüssen ist erforderlich. Die Defizitanalyse muss darüber hinaus das Kanalnetz im untersuchten Einzugsgebiet hinsichtlich seiner Dimensionen, Sonderbauwerke (z.B. Stauraumkanäle, Wehrüberfälle), möglicher Engstellen und der generellen Fließvorgänge untersuchen.

Die Defizitanalyse sollte die in Tabelle 3 enthaltenen Punkte umfassen. Abhängig von der Struktur des Untersuchungsgebiets können bei der Defizitanalyse noch weitere Defizite im untersuchten Einzugsgebiet erhoben werden bzw. einige Punkte nicht relevant sein.

**Tabelle 3: Auswahl für mögliche Defizite in urbanen Untersuchungsgebieten mit Überflutungsproblemstellungen**

Mögliche Defizite im Untersuchungsgebiet	
Oberflächenwasser in Form von	Unkontrollierte Entwässerungsgräben
	Hochwasserführende Bäche
	Hochwasserführende Flüsse
	Engstellen (Durchlässe, Einlaufbauwerke, etc.)
Öffentliche Flächen	Struktur (vorhandene Grünflächen, Parkflächen, etc.)
	Versiegelungsgrad
	Straßenaufbau
	Straßenquerschnitte (Breiten, Gehsteige, etc.)
Private Flächen	Straßenneigungen
	Gebäudestruktur
	Versiegelungsgrad
	Grundstücksabgrenzungen (Zaunfundamente, etc.)
Kanalisation	Hauszufahrten
	Rückstauklappen im Hauanschluss
	Dimensionen
	Sonderbauwerke
	Engstellen
	Fließvorgänge

## Ursachenanalyse für Überflutungsproblematik

Eine umfassende Analyse der Ursachen der Überflutungen auf Basis der Defizitanalyse ist unerlässlich. Es können z.B. Bäche, die in das Kanalsystem eingeleitet werden, bei starken Regenereignissen eine Überlastung des Kanalsystems verursachen bzw. forcieren. Aufgrund vernetzter Kanalstränge und bedingt durch mangelnde Sicherungsmaßnahmen ist es möglich, dass auch Häuser, die nicht direkt dem Hochwasser ausgesetzt sind, Schaden durch das Wasser im Kanalsystem nehmen können. Solche Überflutungen können jedoch nicht nur aufgrund einer Überlastung des Kanalsystems entstehen. Einflussfaktoren wie Verstopfungen oder Engstellen können ebenso ein Auslöser für das Überlaufen von Sanitäranlagen, die am Kanalsystem angeschlossen sind, oder einem Rückstau durch Kellergullys sein. Abgesehen von den dadurch entstehenden Sachschäden sind Verschmutzung und hygienische Verunreinigung Faktoren, die nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Die Analyse der Ursachen ist auf Basis der Grundlagenerhebung, Systembeschreibung und Defizitanalyse zielführend, insbesondere müssen hierfür die in Tabelle 4 angeführten Punkte hinterfragt werden.

**Tabelle 4: Übersicht möglicher Ursachen für Überflutungen bei Starkregenereignissen in urbanisierten Gebieten**

Mögliche Ursachen für Überflutungen bei Starkregen	
Oberflächenwasser in Form von	Überlastete Entwässerungsgräben
	Hochwasserführende Bäche und Flüsse
	Hangwässer
Öffentliche Flächen	Schmale/ Enge Strukturen
	Hoher Versiegelungsgrad
	Wasserundurchlässiger Aufbau
	Straßenquerschnitte (Schmale Straßen, keine Gehsteige, etc.)
Private Flächen	Straßenneigungen (in Richtung privater Grundstücke, etc.)
	Gebäudestruktur (viele Wohngebäude, viele Gewerbegebäude, etc.)
	Hoher Versiegelungsgrad (Flächen an Kanal angeschlossen)
	Grundstücksabgrenzungen (Zaunfundamente, etc.)
	Hauszufahrten (steil abfallend)
Kanalisation	Fehlende/ Defekte Rückstauklappen
	Dimensionierung zu gering
	Sonderbauwerke (Stauraumkanäle mit zu geringem Volumen, etc.)
	Fließvorgänge



## Maßnahmenauswahl und -bewertung

Auf Basis der Ursachenanalyse sind mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Überflutungsrisikos bzw. zur Verminderung des Schadenspotenzials auszuwählen und zu bewerten.

Im ersten Schritt werden verschiedene Maßnahmen identifiziert. Ein Katalog möglicher Maßnahmen befindet sich im Kapitel Maßnahmen in urbanen Siedlungsgebieten. Abhängig von den identifizierten Maßnahmen und der Detailliertheit des erstellten hydrodynamischen Modells können Schutzmaßnahmen modelltechnisch abgebildet werden, um deren Auswirkungen analysieren zu können.

Die anschließende Bewertung der möglichen Maßnahmen muss auf Basis der Erkenntnisse der Maßnahmenidentifikation und Maßnahmenabbildung erfolgen und bildet die Grundlage für die Formulierung von Handlungsempfehlungen für das untersuchte Einzugsgebiet.

### Identifikation von möglichen Maßnahmen

Die Auswahl möglicher Schutzmaßnahmen gegen Überflutungen in urbanisierten Gebieten ist wesentlich von den Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet abhängig. Auf Basis der Ursachenanalyse können für das Untersuchungsgebiet geeignete Maßnahmen ausgewählt werden.

Es ist zielführend, Kosten möglicher Maßnahmen und den Platzbedarf in urbanen Untersuchungsgebieten abzuschätzen. Relevant bei der Auswahl von Maßnahmen ist auch der notwendige Wartungsbedarf. In Zusammenhang mit (pluvialen) Überflutungen in urbanen Einzugsgebieten hat die Relevanz der Vorwarnzeit für die Schutzwirkung möglicher Maßnahmen einen großen Einfluss. Der ökologische Nutzen von Maßnahmen kann gering oder hoch sein und hat gleich wie die gesellschaftliche Akzeptanz von Schutzmaßnahmen einen großen Einfluss auf die Umsetzbarkeit von Maßnahmen.

Die Erkenntnisse der Maßnahmenidentifikation bzw. -auswahl können nach der modelltechnischen Abbildung in einer Kriterien-Matrix zusammengefasst werden, die der Bewertung der möglichen Maßnahmen dient.

### Modelltechnische Abbildung von möglichen Maßnahmen

In einem hydraulisch gekoppelten hydrodynamischen 1D-2D Modell können neben der Ist-Situation die Auswirkungen möglicher Schutzmaßnahmen abgebildet werden. Dies kann vor allem durch eine manuelle Veränderung des Oberflächengitternetzes bzw. des Kanalnetzes realisiert werden (siehe Tabelle 5).

Die modelltechnische Abbildung von Veränderungen der Kanalquerschnitte oder Sonderbauwerken ist ebenso möglich, wie die Anpassung von Straßenquerschnitten oder das Aufbauen von mobilen Hochwasserschutzmaßnahmen im Oberflächengitternetz. Darüber hinaus können im Modell auch naturnahe Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen (Versickerungsanlagen, durchlässiger Straßenoberbau, etc.) abgebildet und deren Auswirkungen auf die Abflusssituation analysiert werden (James et al. 2010).

**Tabelle 5: Auswahl an Möglichkeiten zur modelltechnischen Abbildung von Überflutungsschutzmaßnahmen in hydrodynamischen 1D-2D Modellen**

Modelltechnische Abbildung von Überflutungsschutzmaßnahmen in einem hydrodynamischen 1D-2D Modell		
	Maßnahme	Abbildung durch
Maßnahmen an natürlichen Gewässern	Hochwasserrückhaltebecken	Manipulation des Oberflächengitternetzes um die Dammhöhe abzubilden; gedrosselter Abfluss im Bereich des Grundablasses
	Natürlicher Bachausbau	Manipulation des Oberflächengitternetzes gegenüber dem DGM
	Flutmulde	Manipulation des Oberflächengitternetzes entlang des Bachbettes um Flutmulde abzubilden;
Maßnahmen im Bereich öffentlicher Grundstücke	Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung	Verringerung des Versiegelungsgrades der öffentlichen Einzugsgebiete
		Detaillierte Abbildung z.B. von teildurchlässigem Asphaltbelag
	Standardisierte Straßenquerschnitte	Manipulation des Oberflächengitternetzes hinsichtlich standardisierter Straßenquerschnitte mit definierten Gehsteighöhen und -breiten
Maßnahmen im Bereich privater Grundstücke	Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung	Verringerung des Versiegelungsgrades der privaten Einzugsgebiete
		Detaillierte Abbildung z.B. von Versickerungsschächten, Regenwassertonnen, etc.
	Mobile Hochwasserschutzmaßnahmen (z.B. Dammbalken)	Implementieren von zusätzlichen Schutzelementen mit bestimmter Höhe und Breite in das Oberflächengitternetz im Bereich von Hauszufahrten und straßenseitigen Öffnungen von Zaunfundamenten
Maßnahmen im Kanalnetz	Hydraulische Sanierung	Änderung des Kanalprofils, der Dimension, der Rauigkeit
	Zusätzliches Volumen	Implementierung eines Stauraumkanals mit großem Profil und Drossel an geeigneter Stelle

Die Simulationsergebnisse ermöglichen eine Bewertung möglicher Schutzmaßnahmen. Die Bewertung erfolgt dabei hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Abflusssituation auf der Oberfläche und innerhalb des Kanalnetzes. Es können auch die Auswirkungen analysiert werden, die mögliche Schutzmaßnahmen in gefährdeten Gebieten auf Unterlieger haben.

## Bewertung von möglichen Maßnahmen

Die Bewertung für einzelne mögliche Schutzmaßnahmen bzw. Pakete möglicher Maßnahmen bei Überflutungsproblemstellungen im urbanisierten Gebiet soll aufgrund der Erkenntnisse der Maßnahmenidentifikation und der modelltechnischen Abbildung erfolgen. Daraus können die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen bzw. Pakete auf die Überflutungssituation abgeschätzt werden.

Tabelle 6 stellt eine Auswahl an Kriterien für Bewertung von möglichen Schutzmaßnahmen bzw. Paketen zusammenfassend dar. Die Bewertung kann mit Hilfe einer Kriterien-Matrix durchgeführt werden. Es sollen bei der Bewertung möglicher Überflutungsschutzmaßnahmen in urbanen Einzugsgebieten auf die Kosten, den Platzbedarf für die Maßnahmen sowie den notwendigen Wartungsbedarf eingegangen werden. Darüber hinaus ist hinsichtlich der Zuständigkeiten und Kostenträger die gesellschaftliche Akzeptanz für mögliche Maßnahmen einzubeziehen. Die Bewertung der Relevanz der Vorwarnzeit für die volle Schutzwirkung von



Maßnahmen ist in Hinblick auf (pluviale) Überflutungen im urbanen Bereich wichtig. Für die Umsetzbarkeit von Maßnahmen ist außerdem die Bewertung des ökologischen Nutzens von Maßnahmen relevant. Wo modelltechnisch möglich, sind aus den Ergebnissen der modelltechnischen Abbildung von Maßnahmen die Auswirkungen vor Ort und auf Unterlieger abzuschätzen und zu bewerten.

**Tabelle 6: Mögliche Kriterien für die Bewertung von Schutzmaßnahmen in urbanen Einzugsgebieten zur Formulierung von Handlungsempfehlungen**

Bewertung von Schutzmaßnahmen in urbanisierten Gebieten	
Kosten	niedrig
	mittel
	hoch
Platzbedarf	niedrig
	mittel
	hoch
Wartungsbedarf	niedrig
	mittel
	hoch
Akzeptanz	niedrig
	neutral
	hoch
Vorwarnzeit	relevant
	nicht relevant
Ökologischer Nutzen	gering
	hoch
Auswirkungen vor Ort	positiv
	neutral
	negativ
Auswirkungen auf Unterlieger	positiv
	neutral
	negativ

## Möglichkeit der Bewertung von Maßnahmen mit Hilfe einer Kriterien-Matrix

Die Bewertung der Maßnahmen erfolgt anhand von Bewertungskriterien, die auf die örtlichen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet abgestimmt sind. Die Gesamtbewertung erfolgt im Rahmen einer Kriterien-Matrix, in der für die einzelnen Maßnahmen jeweils 1 bis 5 Punkte vergeben werden. Eine Gewichtung der Einzelkriterien ist je nach Ausgangslage im Untersuchungsgebiet möglich. Tabelle 7 zeigt beispielhaft den Aufbau und die Bewertung von Schutzmaßnahmen mit Hilfe einer Kriterien-Matrix.

### Kosten

Wie hoch sind die Kosten für Errichtung und Instandhaltung der Maßnahmen?

Die Kosten für die unterschiedlichen Maßnahmen variieren sehr stark. Außerdem sind für die Maßnahmen verschiedene Kostenträger zuständig. Die Kosten sowie der Kostenträger haben einen großen Einfluss auf die Umsetzbarkeit einer Maßnahme.

Eine kostengünstige Maßnahme erhält 5 Punkte. Eine kostenintensive Maßnahme erhält 1 Punkt. Dazwischen sind Abstufungen möglich (2 bis 4 Punkte).

### Platzbedarf

Wie viel Platz bzw. Fläche beansprucht die Maßnahme?

Der Platz- bzw. Flächenbedarf ist in urbanisierten Gebieten ein wesentliches Kriterium für die Umsetzbarkeit von Maßnahmen. Es muss hier zwischen Maßnahmen im öffentlichen und Maßnahmen im privaten Bereich unterschieden werden. Ist der Platzbedarf gering, dann werden 5 Punkte vergeben und 1 Punkt, wenn der Platzbedarf hoch ist. Dazwischen sind Abstufungen möglich (2 bis 4 Punkte).

### Wartungsbedarf

Wie hoch ist der Wartungsbedarf für die Maßnahme, damit sie volle Schutzwirkung hat?

Das Kriterium Wartungsbedarf umfasst sowohl die notwendige technische Wartung, als auch ob qualifiziertes Personal zum Aufbau der vollständigen Schutzwirkung während einem Starkregenereignis notwendig ist. Generell ist damit der Zeitaufwand und die damit anfallenden Kosten zusammengefasst und bewertet, die für eine Maßnahme notwendig sind, damit sie voll einsatzfähig ist.

5 Punkte erhält eine Maßnahme, für die der Wartungsbedarf, zur Erreichung der vollen Schutzwirkung, gering ist. 1 Punkt erhält eine Maßnahme mit hohem Wartungsaufwand. Dazwischen sind Abstufungen möglich (2 bis 4 Punkte).

### Auswirkungen vor Ort

Gibt es Auswirkungen auf das Überflutungsrisiko bzw. Schadenspotenzial direkt am Ort, wo die Maßnahme errichtet wurde?

Wenn die Auswirkungen auf Überflutungsrisiko und/oder Schadenspotenzial vor Ort positiv sind, dann werden 5 Punkte vergeben, wenn sie negativ sind, wird 1 Punkt vergeben. Sofern keine bzw. wenig Auswirkungen vor Ort zu erwarten sind, werden 2-4 Punkte vergeben.

### Auswirkungen auf Unterlieger

Gibt es Auswirkungen auf das Überflutungsrisiko bzw. Schadenspotenzial auf die Unterlieger, nachdem die Maßnahme errichtet wurde?

Die Bewertungsskala entspricht der Skala zur Bewertung der Auswirkungen vor Ort.



### **Akzeptanz**

Wie hoch ist Akzeptanz der Anrainer bzw. Amtsträger für die Maßnahme?

Dieses Bewertungskriterium ist sehr vielschichtig. Die Bewertungsskala reicht von 1 bis 5 Punkte. Die Akzeptanz, von z.B. unterliegenden Anrainern für große Rückhaltemaßnahmen, die von Kommune, Land und/oder Bund umgesetzt werden, ist im Allgemeinen hoch. Die Umsetzung von Maßnahmen im Bereich privater Grundstück erfährt eine geringere Akzeptanz von den Anrainern, aber dafür eine höhere Akzeptanz von den Amtsträgern. Die Abstufungen zwischen geringer Akzeptanz (1 Punkt) und hoher Akzeptanz (5 Punkte) sind 2 bis 4 Punkte.

### **Vorwarnzeit**

Ist die Maßnahme nur wirksam, wenn sie bei Starkregenereignissen bereitgestellt wird?

Mobile Hochwasserschutzsysteme müssen im Fall von Überflutungen bereitgestellt werden, weil sie sonst keine Schutzwirkung haben. Die Bewertungsskala reicht von 1 bis 5 Punkte. 5 Punkte erhält die Maßnahme, die nicht eigens bereitgestellt werden muss. Mit 1 Punkt wird eine Maßnahme bewertet, wenn sie erst bereitgestellt werden muss und keine Schutzwirkung ab dem ersten Element aufweist. Dazwischen sind Abstufungen möglich (2 bis 4 Punkte).

### **Ökologischer Nutzen**

Hat die Maßnahme ökologischen Nutzen?

Der ökologische Nutzen der einzelnen Maßnahmen variiert sehr stark, wobei keine Maßnahme negative Auswirkungen auf die Ökologie hat. Die Bewertungsskala reicht von 1 bis 5 Punkte. Die Maßnahmen die sehr hohen ökologischen Nutzen haben werden mit 5 Punkten bewertet. Ist der ökologische Nutzen einer Maßnahme gering, so wird sie mit 1 Punkt bewertet. Dazwischen gibt es Abstufungen (2 bis 4 Punkte).

Tabelle 7: Beispiel für den Aufbau einer Kriterien-Matrix zur Bewertung von Überflutungsschutzmaßnahmen

Kriterien-Matrix zur Bewertung Schutzmaßnahmen		Kosten	Platzbedarf	Wartungsbedarf	Auswirkungen vor Ort	Auswirkungen auf Unterlieger	Akzeptanz	Vorwarnzeit	Ökologischer Nutzen	Gesamtpunktzahl
Maßnahmen am Gewässer	Versickerungsmaßnahmen entlang des Bachlaufs	3	2	4	3	5	3	5	5	30
	Hochwasserrückhaltebecken	1	1	2	5	5	5	5	3	27
	Naturnaher Bachausbau	4	4	3	5	5	5	5	5	36
	Rückhaltebecken mit Versickerungsfunktion	1	1	1	3	5	4	5	5	25
Maßnahmen im Bereich privater Grundstücke	Abdichtung von Fenstern und Türen	3	5	4	5	3	3	5	1	29
	Schachtverschlüsse bzw. -erhöhungen bei Lichtschächten	3	5	3	5	3	3	3	1	26
	Rückstauklappe im Hausanschluss	4	5	3	5	3	5	5	1	31
	planmäßige mobile Hochwasserschutzsysteme	2	5	3	5	2	3	5	1	26
	notfallmäßige mobile Hochwasserschutzsysteme	5	3	2	5	2	3	1	1	22
	naturnahe Regenwasserbewirtschaftung	2	3	4	3	5	2	5	5	29
	Bewusstseinsbildung - Risikovorsorge	5	5	4	5	3	4	5	3	34
Maßnahmen im Bereich öffentlicher Grundstücke	Flächenvorsorge	5	1	5	5	5	3	5	5	34
	Entsiegelungsmaßnahmen	2	4	4	3	4	3	5	4	29
	Versickerungsmaßnahmen (naturnahe Regenwasserbewirtschaftung)	2	4	4	3	4	4	5	4	30
	standardisierte Straßenquerschnitte	1	5	5	5	4	4	5	1	30
Maßnahmen in der Kanalisation	Erweiterung der Kanalquerschnitte	1	4	4	1	2	3	5	1	21
	Mischwasserrückhalteinrichtungen	1	1	1	3	5	2	5	3	21



## Maßnahmen in urbanen Siedlungsgebieten

Die wasserwirtschaftlichen Maßnahmen für urbane Siedlungsgebiete lassen sich grob in landschaftswasserbauliche bzw. schutzwasserwirtschaftliche und siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahmen unterteilen. Mögliche Einzelmaßnahmen können, wie in der folgenden Tabelle 8 aufgelistet, eingeteilt werden.

**Tabelle 8: Einteilung möglicher landschaftswasserbaulicher bzw. schutzwasserwirtschaftlicher und siedlungswasserwirtschaftlicher Einzelmaßnahmen**

Einteilung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen
Maßnahmen im Einzugsgebiet von Gewässern
Maßnahmen am Gewässer inkl. Hochwasserrückhalt und Versickerungsmaßnahmen
Maßnahmen im Bereich privater Grundstücke inkl. Selbstschutzmaßnahmen
Maßnahmen im Bereich öffentlicher Flächen
Maßnahmen in der Kanalisation

### Maßnahmen an Gewässern

Die möglichen Maßnahmen an natürlichen Gewässern sind vielfältig und stark von der Struktur des Gewässers und seinem Einzugsgebiet abhängig. Einflussfaktoren wie Geschiebehaushalt und Morphologie spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle.

Hochwasserschutz- und Rückhaltmaßnahmen in Stadtnähe werden heute als wichtige Naherholungsgebiete genutzt und haben nicht nur wasserwirtschaftlichen Nutzen. Als Naherholungsgebiet dienen die Flächen, in denen solche Maßnahmen angelegt sind, der Bevölkerung. Es gibt vielfältige Möglichkeiten durch solche Maßnahmen auch die Bevölkerung auf die Gefahr von Hochwasser aufmerksam zu machen und damit die Sensibilität der Anrainer zu erhöhen. Technische Hochwasserschutzmaßnahmen sind zumeist auf ein 100-jährliches Hochwasser ausgelegt. Es bleibt ein Restrisiko, auf das man die Bevölkerung durch Informationen an solchen Maßnahmen aufmerksam machen kann.

Der ökologische Nutzen einer naturnahen Ausgestaltung von technischen Hochwasserschutzmaßnahmen ist gerade in Stadtnähe umso größer. Es können wichtige Biotope geschaffen werden und der natürliche Wasserkreislauf wieder hergestellt werden.

Im Bereich von Fließgewässern spricht man von fluvialem Überflutungsrisiko, das mit Hilfe von schutzwasserwirtschaftlichen Maßnahmen verringert werden kann (European Community 2007). Um solche Maßnahmen umsetzen zu können, müssen die dafür benötigten Flächen in öffentlicher Hand sein. Diese müssen zumeist zugekauft werden, weshalb diese Maßnahmen zusätzlich höhere Kosten zur Folge haben.

Im Folgenden werden mögliche schutzwasserwirtschaftliche Maßnahmen kurz angeführt.

## Versickerungsmaßnahmen im Einzugsgebiet des Gewässers

Dem Wasserkreislauf folgend bietet das Einzugsgebiet eines natürlichen Gewässers die erste Möglichkeit Maßnahmen anzusetzen. Hier können durch Flächenvorsorge Versickerungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet geschaffen werden, die eine Abflussminderung im Gewässer zur Folge haben. Diese Maßnahmen sind jedoch stark von der Struktur und Topographie des Einzugsgebiets abhängig.

Vor allem in städtischen Randgebieten ist jedoch die Erhaltung bzw. Wiederherstellung einer ursprünglichen Einzugsgebietsstruktur oftmals nicht möglich.

Strategisch können im Einzugsgebiet eines Gewässers kleine Retentionsräume geschaffen werden, die den Abfluss im Gewässer selbst abmindern.

Die Flächenvorsorge im Einzugsgebiet von Gewässern zur Schaffung von Versickerungsflächen und einer damit verbundenen Abflussminderung ist im wesentlichen Aufgabe der Raum- und Flächenwidmungsplanung.

## Rückhaltebecken und Geschiebesperren

Hochwasserrückhaltebecken dienen der Schaffung von Speichervolumen. Sie haben daher einen erhöhten Platzbedarf. Rückhaltebecken dienen dem Wasserrückhalt und Geschiebesperren dem Geschieberückhalt. Der Rückhalt von Geschiebe ist vor allem bei Wildbächen notwendig und im oberen Einzugsgebiet des Gewässers situiert. Das von Wildbächen mitgeführte Geschiebe kann zu Verklausungen von Engstellen führen, wodurch die Überflutungsgefahr verschärft wird.

Hochwasserrückhaltbecken dienen der Dämpfung der Hochwasserwelle, in dem der Abfluss aus dem Becken gedrosselt erfolgt. Die Ausführung und Anordnung solcher Becken ist von Gewässer zu Gewässer individuell verschieden. Einflussfaktoren können die Abflussspitze, das Platzangebot, die Struktur, die Topologie und die Bebauung des Einzugsgebiets sein.

Diese beiden schutzwasserwirtschaftlichen Maßnahmen sind sehr kosten- und platzintensiv. Die Umsetzung solcher Maßnahmen an Interessentengewässern obliegt den Kommunen (als Interessenten), der Landesregierung und dem BMLFUW.

Von den ersten Planungen bis zur Umsetzung können oft Jahre vergehen, um die notwendigen Grundstücke sichern zu können. Zur Umsetzung solcher Maßnahmen ist auch die Raumplanung gefordert, eine entsprechende Flächenvorsorge zu betreiben.

## Versickerungsmaßnahmen im Gewässerverlauf

Wenn ein natürliches Gewässer keine natürliche Vorflut hat, so muss es einerseits die Möglichkeit haben, dass es wie in seiner ursprünglichen Form versickern kann oder andererseits die Möglichkeit, dass es sicher abgeleitet wird.

Die sicherere und vor allem die ressourcenschonendste Form wäre jedenfalls, die Möglichkeit der Versickerung und damit die natürliche Rückführung in den Wasserkreislauf. Versickerungsmaßnahmen können in Form von Versickerungsbecken ausgeführt sein. Diese Becken dienen letztlich nicht nur der Versickerung des Wassers durch eine Bodenpassage in den Grundwasserkörper, sondern auch dem Rückhalt des Wassers abhängig vom Beckenvolumen.

Die Umsetzung einer solchen Maßnahme ist abhängig davon, wie tief der Grundwasserkörper liegt und ob die Sickerfähigkeit des anstehenden Bodens ausreichend ist. Um eine solche Maßnahme zielführend umsetzen zu können, ist häufig ein Bodenaustausch unumgänglich. In einem Versickerungsbecken muss eine

ausreichende Versickerung möglich sein. Durchlässigkeiten von  $10^{-5}$  m/s und besser können für Versickerungsbecken ohne Rigolensysteme notwendig sein.

Die Anordnung eines Versickerungsbeckens an Gewässern, die keine natürliche Vorflut haben, ist ökologisch und wasserwirtschaftlich sinnvoll und nützlich. Auch eine solche Maßnahme ist kosten- und platzintensiv.

## Naturnahe Gewässergestaltung und Flutmulden

Die meisten Gewässer haben im Laufe der Zeit aufgrund von anthropogenen Einflüssen ihre ursprüngliche Gestalt und das natürliche Abflussregime eingebüßt.

Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes, wie z.B. Rückhaltebecken, können die Abflussspitze dämpfen. Eine naturnahe Ausgestaltung des Bachbettes sowie die Anordnung zusätzlicher Flutmulden bieten einen zusätzlichen Retentionsraum und haben darüber hinaus großen ökologischen Nutzen. Zusätzliche Begleitdämme im Vorland können ebenfalls als Maßnahmen der naturnahen Gewässergestaltung eingestuft werden.

Naturnahe Gewässergestaltungsmaßnahmen sind abhängig davon, wie stark das Gewässer anthropogen verändert ist. Je nachdem, wie weit der aktuelle Gewässerzustand von seinem ursprünglichen Gewässerzustand abweicht, können Maßnahmen zur naturnahen Gewässergestaltung kosten- und platzintensiv oder günstig und einfach umsetzbar sein.

Die Ausgestaltung eines natürlichen Gewässerbettes, also einem ursprünglichen morphologischen Zustand des Gewässers, kann zu einer Verringerung der Abflussgeschwindigkeiten führen, die sowohl wasserwirtschaftlichen als auch ökologischen Nutzen haben.

Durch die Errichtung zusätzlicher Flutmulden können darüber hinaus wichtige Feuchtbiotope geschaffen werden, die gerade in Stadtnähe zumeist gänzlich verschwunden sind.

## Maßnahmen im Bereich privater Grundstücke

Im Bereich privater Grundstücke sind vielfältige Maßnahmen möglich. Die Maßnahmen können entweder der Retention des Regenwassers am Grundstück oder dem Freihalten des Grundstücks bzw. des Objekts von Oberflächenwasser sowie rückgestautem Kanalwasser dienen.

Oft sind es hier Kombinationen von Maßnahmen die eine Verringerung des Überflutungsrisikos herbeiführen. Vor allem in urbanen Bereichen mit einem hohen Versiegelungsgrad und damit einhergehend einer Überflutungsgefahr durch Oberflächenwasser spricht man von pluvialen Überflutungen (European Community 2007). Solche pluvialen Überflutungen zeichnen sich durch kurze Vorwarnzeiten aus. Das heißt, sie treten während oder sofort nach Starkregenereignissen auf.

Der Platzbedarf von Schutzmaßnahmen im Bereich privater Grundstücke ist im Allgemeinen gering. Es handelt sich um Maßnahmen die oft unterirdisch angeordnet sind. Jedoch sind Maßnahmen im Bereich privater Grundstücke nicht gänzlich wartungsfrei.

Im Folgenden wird auf die möglichen Maßnahmen im Bereich privater Grundstücke eingegangen und eine Abschätzung über deren Einsetzbarkeit zur Verringerung insbesondere von pluvialen Überflutungsrisiken getroffen.

## Regenwasserbewirtschaftung

Um den Abfluss von Niederschlagswasser in dicht besiedelten Gebieten zu minimieren, können im Bereich privater Grundstücke wasserdurchlässige Befestigungsarten gewählt, Grünflächen für die Versickerung sowie Versickerungsanlagen errichtet werden und darüber hinaus kann Gründächern der Vorzug gegeben werden. Eine Dachbegrünung hat einen wesentlichen Einfluss auf den Wasserrückhalt. Über ein extensiv begrüntes Dach (Aufbaudicke von 2° bis 20 cm) kann im Jahresmittel beispielsweise 40 bis 60 %, über ein intensiv begrüntes Dach (Aufbaudicke 15 cm bis über 50 cm) sogar 60 bis 90 % des Niederschlags verdunstet.

Der Rückbau von befestigten Flächen in teilbefestigte bzw. unbefestigte Flächen hat einen positiven Einfluss auf das Abflussgeschehen des Niederschlagswassers.

Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen im Bereich privater Grundstücke umfassen z.B. die Flächen-, die Mulden- sowie die Rigolenversickerung und Kombinationen daraus.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten der Flächenversickerung. Oberflächenwässer werden je nach vorhandener Flächenverfügbarkeit zur Versickerung gebracht. Grundsätzlich sollten Oberflächenwässer über eine begrünte Oberbodenpassage versickern, da das Durchlaufen dieser bewachsenen Schicht Schadstoffe bindet. Der Sickerraum (Sohle des Versickerungsbauwerks) bis zum Grundwasserspiegel sollte hierbei mind. 1,50 m betragen (ÖWAV 2003). Bei der Flächenversickerung wird der Abflussraum neben befestigten Flächen genutzt. Mittels durchlässiger Bodenbeläge (z.B. Rasengittersteine oder Rasenfugenpflaster) kann das Niederschlagswasser aber auch an Ort und Stelle zur Versickerung gebracht werden. Für eine Flächenversickerung sollte ein durchlässiger, bewachsener Oberboden mit einer guten Durchlässigkeit ( $k_f > 10^{-5}$  m/s), wie z.B. bei einer Grasnarbe oder einem Schotterrasen, verwendet werden (Sieker et al. 2006).

Bei der Muldenversickerung wird durch das Ausheben einer bewachsenen Erdmulde eine zeitweise Speicherung des Niederschlagswassers hervorgerufen. Die max. Einstauhöhe sollte hierbei 30 cm nicht überschreiten, da lt. ÖWAV Regelblatt 35 (2003) ein längeres Einstauen des Wassers zu einer Verschlickung der Mulde führen könnte und somit eine Versickerung nur mehr eingeschränkt möglich wäre.

Bei Rigolen oder Sickerrohren erfolgt die Versickerung linienförmig. Hierbei wird ein Graben ausgehoben, der mit Kies wieder aufgefüllt wird. Zur rascheren Versickerung kann zusätzlich ein perforiertes Sickerrohr in den Kieskörper eingelegt werden. Zu diesem typischen Anwendungsbereich zählen gering mächtige Deckschichten mit einer darunter liegenden durchlässigen Schicht mit einer Durchlässigkeit von mehr als  $10^{-6}$  m/s (Geiger et al. 2009).

Die Mulden-Rigolenversickerung ist ein kombiniertes Regenwasserbewirtschaftungssystem. Hierbei wird das Wasser durch die Mulde selbst sowie durch ein darunterliegendes Dränrohr an der Sohle der Rigole abgeleitet. Es findet eine gedrosselte Ableitung der Regenwässer in den Untergrund statt. Dieses System wird dann angewendet, wenn die Durchlässigkeit ( $k_f < 10^{-6}$  m/s) des Bodens durch Mulden alleine nicht gegeben ist.

Eine weitere Variante ist die Errichtung eines Sickerschachts. Bei der Schachtversickerung wird das Niederschlagswasser in einen Schacht eingeleitet und an dessen Sohle und Seitenwände zur Versickerung gebracht. Der Schadstoffrückhalt ist bei diesem System durch Fehlen der humosen Oberbodenpassage nicht im selben Ausmaß wie bei einer Oberflächenversickerung gegeben. Ein Vorteil gegenüber den anderen Versickerungsarten ist der geringe Platzbedarf der Anlage. Durch das geringe Speichervolumen wird die Schachtversickerung am Häufigsten für kleinere Entwässerungsflächen verwendet. Der Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens sollte  $10^{-5}$  m/s oder besser sein (Sieker 2003).

Die Kosten für die Errichtung solcher Regenwasserbewirtschaftungsanlagen variieren abhängig vom Platzangebot und der Bodenbeschaffenheit stark.

In Kombination mit diesen Maßnahmen können auch Regentonnen aufgestellt werden und damit das Regenwasser zur Gartenbewässerung genutzt werden. Diese gibt es in unterschiedlichen Ausführungen mit Schlauchanschlüssen, als Tonnen und als Säulen. Regentonnen können entweder in Kombination mit anderen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen aufgestellt werden oder als Einzelmaßnahme Retentionsvolumen für Niederschlagswasser am eigenen Grundstück schaffen.

## Selbstschutzmaßnahmen

Im Folgenden wird auf Selbstschutzmaßnahmen im Bereich privater Grundstücke eingegangen. Diese umfassen Maßnahmen zur Gebäudeabdichtung bzw. der Abdichtung von Gebäudeöffnungen. Hier gibt es einerseits Maßnahmen des technisch-konstruktiven Objektschutzes und andererseits Maßnahmen, die in den mobilen Hochwasserschutz (mobile HWS-Systeme) hineinfallen.

### Technisch-konstruktiver Objektschutz

Der technisch-konstruktive Objektschutz umfasst die Abdichtung des Gebäudes im Bereich des Fundaments, z.B. Auftriebssicherung, aber auch die wasserdichte Ausführung von Fenstern und Türen, die Abdichtung von Lichtschächten. Diese Maßnahmen sind je nach Öffnungsgröße und Ausführung sowie dem notwendigen Umbauaufwand monetär zu bewerten.

- Fenster mit integriertem Hochwasserschutz:  
Spezielle Fugen zwischen Rahmen und Fenster ermöglichen Schutz vor eindringendem Wasser bis zu einem Druck von zwei Metern Wassersäule.
- Nachträgliche Abdichtung von Fenstern
- Wasserdichte Türen:  
Diese gibt es in unterschiedlichen Ausführungen, z.B. mit einem im Türblatt integrierten Luftschlauch, der sich bei Bedarf aufblasen lässt und den Durchgang so wasserdicht abschließt.
- Schiebetore:  
Diese werden parallel entlang der Hauswand geschoben, mit abgedichteten Führungsschienen oben und unten.
- Schachterhöhung von Lichtschächten im Keller
- Schachtverschluss für Lichtschächte:  
Diese können permanent mit Scharnieren montiert sein oder Deckel besitzen, die im Bedarfsfall eingesetzt werden und den Lichtschacht wasserdicht abschließen.

Die wasserdichte Ausführung von Hausanschlüssen ist notwendig, um das Wasser am Eindringen durch die Kellerwand zu hindern. Eine solche Abdichtung nachträglich zu verbessern ist möglich. Die Bausubstanz von Gebäuden kann durch häufige Überflutungen empfindlich leiden. Durch nachträgliches Anbringen von Abdichtungen und Trocknung der Wände kann die Bausubstanz verbessert und ein neuerlicher Wassereintritt durch undichte Hausanschlüsse verhindert werden.

Bei Überflutungen durch Rückstau aus Sanitäranlagen und Kellergullys ist der nachträgliche Einbau einer Rückstauklappe in die Hausanschlussleitung sinnvoll. Diese gibt es in unterschiedlichen Ausführungen und Preisklassen. Zu beachten sind dabei die Wartungsintervalle einer Rückstauklappe. Es muss regelmäßig sichergestellt werden, dass die Klappe nicht verpropft ist und einwandfrei funktioniert.

## Mobiler Hochwasserschutz

Es sind vielfältige mobile Hochwasserschutz-Systeme (HWS-Systeme) erhältlich, die generell in planmäßige, das heißt an einen Ort gebundene, und notfallmäßige Systeme untergliedert werden können (BWK 2005).

Planmäßige mobile HWS-Systeme sind Dammbalken- und Dammtafel- sowie Torsysteme, klappbare und aufschwimmbare Systeme sowie Kombinationen daraus. Bei der Beurteilung der Einsetzbarkeit von mobilen HWS-Systemen insbesondere als Selbstschutzmaßnahmen im Bereich privater Grundstücke ist es wichtig, die notwendigen Vorwarnzeiten, sowie die einfache Bedienbarkeit zu beachten. Neben den planmäßigen gibt es die notfallmäßigen HWS-Systeme, wie zum Beispiel Sandsacksysteme.

Tabelle 9 zeigt unterschiedliche mobile HWS-Systeme in einer Matrix nach bestimmten Kriterien bewertet.

Alle Kriterien, mit Ausnahme der Vorwarnzeit, werden mit einer Skala von 1 (schlecht) bis 5 (sehr gut) bewertet. Die notwendige Vorwarnzeit für die Einsatzbereitschaft der Systeme wird besonders berücksichtigt, da diese einen großen Einfluss bei pluvialen Überflutungen in urbanen Gebieten hat (1 bis 10 Punkte).

Die Kriterien werden wie folgt berücksichtigt:

- **Vorwarnzeit:** Welche Vorwarnzeiten sind notwendig um das System aktivieren zu können?  
Die Bereitstellungszeit muss kürzer als die Vorwarnzeit sein. Einige Systeme bieten Schutz ab dem ersten Element. Andere benötigen einen vollständigen Systemaufbau um ihre Schutzwirkung zu erreichen. Je schneller das System seine Schutzwirkung erreicht, desto höher die Bewertung.
- **Aufbau:** Wie gestaltet sich der Aufbau?  
Einige Systeme benötigen für ihren Aufbau Hilfsmittel wie Werkzeug oder Kleingerät. Sind Hilfsmittel beschädigt oder nicht verfügbar, kann dies einen schnellen Systemaufbau beeinträchtigen und sich verlängernd auf die Bereitstellungszeit auswirken. Je weniger Hilfsmittel benötigt werden, desto einfacher gestaltet sich der Systemaufbau und umso höher ist die Bewertung.
- **Systemsicherheit:** Wie empfindlich sind einzelnen Elemente auf Störeinflüsse?  
Je nach Material und Konstruktion sind Systeme unterschiedlich empfindlich gegenüber äußeren Einflüssen. Teil- und Vollversagen der Schutzfunktion können die Folge sein. Je höher die System- und Standsicherheit des Systems sind, desto höher ist die Bewertung.
- **Ersetzbarkeit:** Können beschädigte Teile ersetzt werden?  
Die Schutzfunktion eines Systems kann durch Beschädigung eines Einzelteiles beeinträchtigt werden. Je weniger Eingriffe in die Konstruktion nötig sind, um dieses auszutauschen, desto besser ist das System für den Gebrauch geeignet und desto höher die Bewertung.
- **Vorarbeiten:** Sind Vorarbeiten notwendig um das System aktivieren zu können?  
Sind Arbeiten notwendig, wie das Setzen von Schienen oder das Platzieren von Ankerpunkten. Je weniger Vorarbeiten notwendig sind, desto besser ist die Bewertung.
- **Einzelteile:** Aus wie vielen Einzelteilen besteht das System?  
Besteht das System aus vielen unterschiedlichen Einzelteilen, steigt die Fehleranfälligkeit beim Aufbau. Je weniger Teile für den Aufbau notwendig sind, desto besser ist die Bewertung.
- **Hebezeuge/Transportfahrzeuge:** Sind Hebezeuge/Transportfahrzeuge für den Aufbau notwendig?  
Einige Systeme benötigen Hebezeuge, um sie am Einsatzort aufstellen zu können. Da die Vorlaufzeit möglichst gering gehalten werden soll, können Füllmaterialien nur mithilfe von Transportfahrzeugen zum Einsatzort gebracht werden. Eine manuelle Verfüllung ist möglich jedoch sehr zeitintensiv. Sind für den Systemaufbau keine Hebe- und Transportfahrzeuge nötig, erhält das System eine hohe Bewertung.
- **Personal:** Wie viele Personen sind für den Aufbau nötig?  
Je weniger Personen für den Aufbau notwendig sind, desto besser ist die Bewertung.

- **Qualifizierung:** Welche Qualifizierung des Bedieners wird für den Systemaufbau gefordert?  
Systeme, die aus vielen unterschiedlichen Einzelteilen bestehen und nur mit maschinellem Einsatz aktivierbar sind, erfordern eine spezielle Einschulung der Einsatzkräfte. Je weniger qualifiziertes Personal erforderlich ist, desto besser ist die Bewertung.
- **Lagerung:** Kann das System vor Ort gelagert werden?  
Je näher die Einzelteile des Systems am Einsatzort gelagert werden, umso kürzer sind die Transportwege und die damit verbundenen Bereitstellungszeiten. **Systemhöhe:** Welche Systemhöhe kann erreicht werden?  
Die Systemhöhe ist ein entscheidendes Merkmal bei mobilen HWS - Systemen. Übersteigt die erforderliche Schutzhöhe die maximale Systemhöhe, ist mit einem Szenario ähnlich einem Totalausfall zu rechnen.
- **Gelände:** Welche Voraussetzungen muss das Gelände am Einsatzort haben, um das System problemlos aktivieren zu können?
- **Kosten:** Wie hoch sind die Kosten für Beschaffung und Instandhaltung des Systems?

**Tabelle 9: Kriterien-Matrix zur Bewertung von planmäßigen und notfallmäßigen mobilen HWS-Systemen**

Kriterien-Matrix für mobile HWS für pluviale Überflutungen															
		Vorwamzeit (max. 10 P.)	Aufbau	Systemsicherheit	Ersetzbarkeit	Vorarbeiten	Einzelteile	Hebe-/Transportfzg.	Personal	Qualifizierung	Lagerung	Systemhöhe	Gelände	Kosten	Gesamtpunktezahl
planmäßige Systeme	Damm Balken-/Tafelsysteme	8	1	5	3	2	3	5	5	3	4	4	4	3	<b>50</b>
	Großflächig gewölbte Systeme	8	2	5	3	2	3	5	5	3	4	4	4	3	<b>51</b>
	Torsysteme	8	5	5	1	1	5	5	5	5	5	5	5	3	<b>58</b>
	Klappbare Systeme	10	5	5	1	1	5	5	5	5	5	4	5	1	<b>57</b>
	Aufschwimbare Systeme	10	5	5	1	1	5	5	5	5	5	3	5	1	<b>56</b>
	Schlauchwehrsysteme	10	5	1	1	1	5	5	5	5	5	3	5	3	<b>54</b>
notfallmäßige Systeme	Glaswandsysteme	10	5	5	1	1	5	5	5	5	5	2	5	1	<b>55</b>
	(Tandem)-Sandsäcke	6	4	2	5	5	1	1	1	5	3	3	5	5	<b>46</b>
	Betonelemente	1	4	5	1	5	3	1	3	4	4	3	1	3	<b>38</b>
	Tafelsysteme	2	3	3	2	5	1	3	2	3	4	2	3	4	<b>37</b>
	Stellwandsysteme	2	3	3	2	5	1	3	2	3	3	2	3	4	<b>36</b>
	Winkelwand	3	4	1	4	5	4	4	5	3	3	2	3	4	<b>45</b>
	Dreieckswand	6	4	1	3	5	4	4	2	3	3	2	3	4	<b>44</b>
	Offenes Behältersystem	3	3	3	1	5	3	2	3	2	2	3	2	2	<b>34</b>
	Geschlossenes Behältersystem	3	3	3	1	5	3	2	3	2	2	3	2	2	<b>34</b>
	Klappsystem	6	4	1	2	5	4	3	5	3	3	2	5	4	<b>47</b>
Erdwälle	1	5	5	2	5	4	1	5	1	1	3	5	3	<b>41</b>	
Containersystem	2	3	5	1	5	3	2	5	2	2	3	2	3	<b>38</b>	
Selbstsichernde Systeme	4	3	3	2	5	4	4	5	3	3	2	4	3	<b>45</b>	

Notfallmäßige HWS-Systeme, eine kostengünstige Methode, um sich bis zu einem bestimmten Grad vor Überflutungen zu schützen, erfordern ein hohes Maß an Eigen- bzw. Fremdinitiative. Nicht vernachlässigbar ist die Fehleranfälligkeit bei der Aktivierung von komplizierten Systemen. Diese erfordern geschultes Personal, um den Aufbau korrekt durchführen zu können.

Planmäßig mobile HWS-Systeme sind aufgrund der nötigen Vorarbeiten zwar die teurere Variante, benötigen jedoch für die Aktivierung kürzere Vorwarnzeiten und für den Aufbau weniger Personal. Einige Systeme können sich bei einer Überschwemmung systembedingt automatisch aktivieren. Dies hat besonders in urbanen Gebieten, wo Berufstätige unter Tag möglicherweise nicht zu Hause sind um Schutzmaßnahmen zu treffen, Vorteile.

Der Vergleich der mobilen HWS-Systeme in der Kriterien-Matrix ergab, dass planmäßige mobile Systeme für die Anwendung in dicht besiedelten Gebieten mit hohem Versiegelungsgrad besser geeignet sind als notfallmäßige. Dies ist hauptsächlich auf die kurze Bereitstellungszeit zurückzuführen. Nachteilig ist hingegen der erhöhte Wartungsbedarf der Systeme, was sich wiederum auf die Kosten auswirkt.

Aus der Kriterien-Matrix in Tabelle 9 geht hervor, dass Torsysteme bzw. klappbare Systeme für Überflutungen mit geringen Vorwarnzeiten gut geeignet sind, da die Bereitstellungszeiten sehr kurz sind und die Systeme sofortigen Schutz bieten.

Torsysteme und klappbare Systeme sind massive Konstruktionen. Sie können genau angepasst werden, sind daher grundsätzlich eine individuelle Lösung für verschiedene Arten von Kellereingängen, Toren für Kellerabfahrten.

Je nach Anforderungen und Platzangebot gibt es Schiebetore, Schwenktore oder Senktore.

Für den Selbstschutz bei pluvialen Überflutungen scheinen auch Schlauchwehrsysteme geeignet. Diese können vor Ort in eingerolltem Zustand gelagert werden und müssen im Bedarfsfall mit Wasser aufgepumpt werden. Die Bereitstellungszeit ist dementsprechend länger. Dafür ist keine Vorinstallation von Schienen oder ähnlichem notwendig.

Für Dammbalken- bzw. Dammtafelsysteme sind wie bei den Torsystemen Vorarbeiten notwendig. Sie haben im Bedarfsfall ebenfalls eine kurze Bereitstellungszeit, jedoch ist die Bedienung nicht ganz so einfach und es sind oft mindestens zwei Personen zum Aufbau notwendig. Auch dieses System ist je nach Ausführung, Breite und Höhe eher teuer.

Sandsäcke bzw. Tandemsandsäcke sind von den notfallmäßigen mobilen HWS-Systemen die, die für den Selbstschutz am geeignetsten erscheinen. Sie können vor Ort gelagert werden und es gibt sie in verschiedenen Größen und Ausführungen. Sie sind eine günstige Lösung für eine Selbstschutzmaßnahme, bieten jedoch keinen Schutz, wenn im Falle einer Überflutungen niemand vor Ort ist und sie aufbaut.

### **Bewusstseinsbildung – Risikovorsorge**

Überflutungen treten mit einer gewissen statistischen Wahrscheinlichkeit in gefährdeten Gebieten auf. Im Hochwasserrisikomanagement ist die Bewusstseinsbildung bei Anwohnern gefährdeter Gebiete ein wichtiges Thema. Die Risikovorsorge, das heißt auch das Vorhalten sowie die Wartung von baulichen Anlagen am privaten Grundstück, liegen in der Verantwortung der Anwohner.

Zur Bewusstseinsbildung und Risikovorsorge für die Anwohner von gefährdeten Gebieten gehört auch die Entwicklung von ganz persönlichen *Alarmplänen*. Darunter versteht man z.B. wer im Ernstfall wofür im Haus zuständig ist. Solche *Alarmpläne* sollten von den Anwohnern bewusst erstellt werden. Diese können im Ernstfall ein wichtiges Hilfsmittel sein und die Folgen von Überflutungen deutlich verringern.

Daneben ist es auch wichtig, dass Anwohner sich überlegen, wie sie ihren Keller nutzen. Dies hat einen maßgeblichen Einfluss auf das mögliche Schadenspotenzial.

Die Bewusstseinsbildung kann gezielt mit Hilfe von Informations-Kampagnen unterstützt werden. Solche Kampagnen können im Zuge der Umsetzung von Maßnahmen durchgeführt werden. Hier kann die Unterstützung lokaler Medien sowie Hilfsorganisationen, wie der Feuerwehr, dienlich sein.

Um Selbstschutzmaßnahmen im Bereich privater Grundstücke sinnvoll gestalten und im Ernstfall ihre Einsatzfähigkeit sichern zu können, ist die Bewusstseinsbildung für ein Hochwasser- bzw. Überflutungsrisiko, mit dem das eigene Grundstück behaftet ist, unerlässlich.

## Maßnahmen im Bereich öffentlicher Flächen

Im Bereich öffentlicher Flächen gibt es viele mögliche Maßnahmen zur Abflussminderung. Vor allem in dicht besiedelten Gebieten sind die vorhandenen öffentlichen Flächen zumeist versiegelte Flächen. In öffentlicher Hand sind z.B. Straßen, Fußgänger- und Radwege.

Der Oberflächenabfluss auf solchen Flächen bildet sich schnell und eine schadlose Abfuhr dieses Wassers ist das Ziel. Die Ableitung in die Kanalisation ist bei Starkregenereignissen oft nicht möglich. Wenn ein Kanal überstaut ist, heißt das, dass Wasser aus dem Kanal auf die Oberfläche austritt oder dass Wasser von der Oberfläche nicht mehr in den Kanal eindringen kann (OEWAV 2009).

Im Folgenden wird auf Möglichkeiten der Abflussminderung im Bereich öffentlicher Flächen eingegangen.

### Flächenvorsorge

Im Handlungsbereich der öffentlichen Raumplanung ist es notwendig, dass Flächen zur Minderung und Retention von Überflutungen vorgehalten werden. Diese Flächen können einerseits gezielt mit Versickerungsanlagen für das Niederschlagswasser der öffentlichen Flächen ausgestattet werden oder andererseits als unversiegelte Flächen bewirtschaftet werden, auf denen Niederschlagswasser gezielt zurückgehalten und versickert werden kann.

Das Vorhalten solcher Flächen muss im Flächenwidmungsplan festgeschrieben werden. Solche Retentionsflächen können in Form von Parks ausgestaltet sein und damit von der Bevölkerung genutzt werden. Ein Alarmsystem muss in solchen Fällen jedoch zwingend vorgesehen werden.

Diese Flächen können durch dort installierte Informations-Tafeln einen wichtigen Beitrag zur Bewusstseinsbildung über Restrisiken und zur Risikovorsorge eines jeden Einzelnen leisten.

### Entsiegelungsmaßnahmen

Die Entsiegelung von asphaltierten Flächen kann zu einer Abflussminderung beitragen. Die Nutzung von durchlässigen Belägen bei Straßen bzw. eine Umgestaltung von Geh- oder Radwegen in dicht besiedelten Gebieten vermindert den oberflächigen Abfluss von Niederschlagswasser.

Solche Maßnahmen können im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen umgesetzt werden und liegen im Verantwortungsbereich des Straßenerhaltungsdienstes.

Entsiegelungsmaßnahmen können auch zu einem besseren Kleinraum-Klima beitragen und im architektonischen Bild der Gemeinde verankert werden.

## Versickerungsmaßnahmen

Entlang von öffentlichen Flächen wie Straßen können im Zuge der Straßenerhaltung Versickerungsmaßnahmen eingebaut werden.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, wie z.B. einfache Sickerstreifen am Straßenrand, deren Ausbildung so gestaltet sein sollte, dass man dadurch auch ein gewisses Maß an Speichervolumen schafft.

Die Ausbildung von Grünstreifen mit Bepflanzung und integrierter Versickerung führt zu einer Speicherung und Minderung des Abflusses und hat daneben auch einen positiven Effekt auf das Stadtbild.

Solche Maßnahmen können im Bereich zwischen Straßen und Gehsteigen angelegt werden.

## Straßenquerschnitte

Bei pluvialen Überflutungen spielt der Straßenquerschnitt eine wichtige Rolle. Wenn ein Straßenquerschnitt derart ausgebildet ist, dass links und rechts der Straße ein Gehsteig situiert ist, kann er wichtiges Retentionsvolumen zur Verfügung stellen und das Schadenspotenzial in gefährdeten Gebieten erheblich abmildern.

Auch die Längs- und Querneigungen des Straßenquerschnitts haben Einfluss auf Abflussbildung und -geschwindigkeit sowie das mögliche, nutzbare Speichervolumen, das der Straßenraum bieten kann. Die Situierung von Straßeneinlässen sowie deren Ausbildung im Straßenquerschnitt hat ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf das Abflussgeschehen auf der Straßenoberfläche. Um möglichst viel des abfließenden Wassers aufnehmen zu können, müssen bei der Situierung von Straßeneinläufen gute hydraulische Randbedingungen (beispielsweise Verhältnis von Längs- und Quergefälle der Straße) geschaffen werden. Das Schluckvermögen von Straßeneinläufen selbst bei strömungstechnisch günstig ausgebildeten Einlaufgittern ist bereits bei einer Längsneigung von 5 % und einem Zulauf von 18 l/s auf 90 % vermindert (Nemecek 1979). Je schneller der Abfluss auf der Straßenoberfläche bei größeren Längsneigungen abfließt, desto weniger kann von Straßeneinläufen aufgenommen und im Kanalnetz abgeführt werden.

## Maßnahmen in der Kanalisation

Die Bemessungsrichtlinien für Kanalsysteme werden im ÖWAV Regelblatt 11 festgehalten. Diese beruht auf den Vorgaben der ÖNORM EN 752, deren vier Ziele lauten:

- Öffentliche Gesundheit und Sicherheit
- Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals
- Umweltschutz
- Nachhaltige Entwicklung



Darüber hinaus setzt die ÖNORM EN 752 dreizehn Funktionalanforderungen fest, die in unterschiedlichem Ausmaß zu den vier Zielen beitragen:

- Schutz vor Überflutung
- Unterhaltbarkeit
- Schutz des Oberflächenvorfluters
- Vermeidung von Gerüchen sowie giftigen, explosiven oder korrosiven Gasen
- Vermeidung von Lärm und Erschütterungen
- Nachhaltige Verwendung von Produkten und Werkstoffen
- Nachhaltige Verwendung von Energie
- Baulicher Zustand und Nutzungsdauer
- Aufrechterhaltung des Abflusses
- Wasserdichtheit
- Angrenzende Bauten sowie Ver- und Entsorgungseinrichtungen nicht gefährden
- Beschaffenheit der Abwassereinleitungen in das System

Für die Berechnung mit komplexen Nachweisverfahren bei Neuplanungen bzw. Sanierungen schreibt das ÖWAV Regelblatt 11 Überstauhäufigkeiten vor. Für ländliche Gebiete wird bei komplexen Nachweisverfahren eine Wiederkehrzeit von einmal in 2 Jahren gefordert, das heißt die Wahrscheinlichkeit eines Überstaus in einem Jahr liegt bei 50 %. Für Wohngebiete ist die Überstauhäufigkeit mit einmal in 3 Jahren vorgeschrieben.

Auf ein solches Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 3 Jahren sind die Kanäle in städtischen Wohngebieten bemessen.

Generell unterscheiden die Regelwerke zwischen Überlastung, Überstau und Überflutung. Diese drei Begriffe können wie folgt definiert werden:

- Überlastung (ÖNORM EN 752):  
Ein Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser in einem Freispiegelsystem oder in einer Kanalisation unter Druck abfließen, aber nicht an die Oberfläche gelangen und so keine Überflutung verursachen (CEN 2008).
- Überstau (DWA-A 118):  
Ein Belastungszustand der Kanalisation, bei dem der Wasserstand ein definiertes Bezugsniveau überschreitet (DWA 2006). Das heißt, Wasser tritt aus dem Kanal aus bzw. kann nicht in den Kanal eintreten, richtet jedoch keinen Schaden an.
- Überflutung (DWA-A 118):  
Ein Zustand, bei dem Schmutzwasser und/oder Niederschlagswasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen (DWA 2006).

Die ÖNORM EN 752 empfiehlt bei komplexen Bemessungsverfahren mit computergestützten Modellen, mit Überflutungshäufigkeiten in Wohngebieten von einmal in 20 Jahren zu rechnen. Für ländliche Gebiete empfiehlt sie eine Jährlichkeit von einmal in 10 Jahren.

Maßnahmen in der Kanalisation umfassen die hydraulische Sanierung (z.B. Überprüfung der Kanaldimensionen, Beseitigung von Engstellen), die Schaffung von Speichervolumen im Kanalnetz, also den hydraulischen Rückhalt mit Hilfe von Speicherkanälen, den Anschluss von Neubaugebieten in modifiziertem Misch- bzw. Trennsystem und Maßnahmen der Mischwasserbewirtschaftung.

Durch die zunehmende Flächenversiegelung in dicht besiedelten Gebieten wird bei Starkregenereignissen die Niederschlagsabflussmenge immer größer, die in Entwässerungssystemen sicher abgeführt werden müssen.

Zusätzliches Speichervolumen innerhalb der Kanalisation kann geschaffen werden, indem die vorhandenen Kanalquerschnitte erweitert werden. Eine Erweiterung der Kanalquerschnitte wäre eine einfache, wenn auch kostenintensive Methode, um das Speichervolumen im Kanal zu erhöhen und die Rückstauenebene zu senken. Dies kann jedoch nur im Zuge einer hydraulischen Sanierung gemäß dem ÖWAV Regelblatt 11 zur abwassertechnischen Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen erfolgen, das für Wohngebiete beispielsweise die Einhaltung einer Überstauhäufigkeit von einmal in 3 Jahren fordert.

Um das anfallende Niederschlagswasser sicher abzuführen, können in der Kanalisation zusätzliche Speicherbauwerke, wie z.B. Stauraumkanäle, errichtet werden. Ein Stauraumkanal dient dem hydraulischen Rückhalt im Kanalsystem und kann in unterschiedlichen Ausführungen und Größenordnungen errichtet werden.

Der Platzbedarf für einen Stauraumkanal ist gering, da es sich um ein unterirdisches Bauwerk handelt. Die Errichtung eines Stauraumkanals zur Speicherung und gedrosselten Weiterleitung des Abflusses in einer Mischkanalisation ins unterliegende Kanalsystem ist jedoch eine kostenintensive Maßnahme. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Schaffung von Speichervolumen im Kanalnetz und der hydraulischen Sanierung hängt von den hydraulischen Randbedingungen ab. Darüber hinaus besteht eine starke Abhängigkeit von der Anzahl der sonstigen Leitungsträger und Medien (beispielsweise Gas, Wasser, Fernwärme), die im Straßenraum verlegt sind.

Modifizierte Trenn- bzw. Mischsysteme sind beim Anschluss von Neubaugebieten an ein bestehendes Entwässerungssystem empfehlenswert. Die getrennte Behandlung von Niederschlags- und Oberflächenwasser in Neubaugebieten ist eine sichere und ressourcenschonende Möglichkeit gering bzw. nicht verunreinigten Oberflächenabfluss vor Ort zu versickern oder diese Wässer in einem eigenen Kanal bis zum nächsten Vorfluter abzuführen. Dies ist, abhängig von der Verunreinigung des Wassers, entweder mit einer vor- oder nachgeschalteten Aufbereitung (beispielsweise Ölabscheider, Sedimentationsanlagen) des Niederschlagsabflusses verbunden oder kann bei nicht oder nur gering verunreinigtem Niederschlagswasser direkt erfolgen (ÖWAV 2003). Solche Anlagen sind gemäß ÖWAV Regelblatt 35 zur Behandlung von Niederschlagswässern auszulegen.

Mischwasserrückhalteinrichtungen sind Maßnahmen der Mischwasserbewirtschaftung und werden zur Reduktion von Abflussspitzen in einem Einzugsgebiet angeordnet. Sie dienen der Entlastung des Vorfluters sowie des Kanals, durch die Schaffung von Speichervolumen. Darüber hinaus sind sie Retentionsraum und können als Absetzbecken verwendet werden und reduzieren somit die stoffliche Maximalbelastung des Gewässers. Mischwasserbewirtschaftung trägt durch die Schaffung von zusätzlichem Speichervolumen zur Einhaltung der im ÖWAV-Regelblatt 19 geforderten Weiterleitungswirkungsgrade bei.

Mischwasserrückhalteinrichtungen werden zur Reduktion von Abflussspitzen in einem Einzugsgebiet angeordnet und zur Entlastung des Vorfluters sowie des Kanals verwendet. Sie dienen als Retentionsraum und können als Absetzbecken verwendet werden und reduzieren somit die stoffliche Maximalbelastung des Gewässers.

In urbanisierten Gebieten ist die Errichtung von Mischwasserrückhalteinrichtungen aufgrund der beengten Platzverhältnisse nur schwer möglich und eine sehr kostenintensive Maßnahme. Im Zuge der Einhaltung der im ÖWAV Regelblatt 19 zur Bemessung von Mischwasserentlastungen geforderten Weiterleitungswirkungsgrade innerhalb eines Mischsystems ist die Schaffung von Mischwasserrückhalteinrichtungen unumgänglichen, um den Eintrag von Schmutzfrachten in den Vorfluter zu verringern.

# Literaturverzeichnis

- BMLFUW (2007) Hochwasserschutz: Ziele - Strategien - Maßnahmen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BWK (2005) Mobile Hochwasserschutzsysteme. Grundlagen für Planung und Einsatz, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau.
- CEN (2008) Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Europäisches Komitee für Normung CEN, Brussels, Belgium.
- Chiew, F.H.S. and McMahon, T.A. (1993) Assessing the Adequacy of Catchment Streamflow Yield Estimates. Australian Journal of Soil Research 31, 665-680.
- CHlwater (2012a) Hands-on exercise: combined 1D-2D urban flood analysis, Computational Hydraulics Int., Guelph.
- CHlwater (2012b) Hands-on exercise: Design of a stormwater dual drainage system, Computational Hydraulics Int., Guelph.
- Dawson, C.W., Abraham, R.J. and See, L.M. (2007) HydroTest: A web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. Environmental Modelling & Software 22, 1034-1052.
- DWA (2006) Arbeitsblatt DWA-A-118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- European-Community (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities 43(L327), 1- 71.
- European-Community (2007) Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Union (L288), 27-34.
- Forstgesetz (1975) Forstgesetz, Republik Österreich, Wien.
- Fuchs, L., Hollenberg, A., Mehler, R., Moche, P., Sartor, J.D., Schardt, V., Scholz, K. and Tränckner, J. (2013) Methoden der Überflutungsberechnung - Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6 "Abfluss- und Schmutzfrachtsimulation". korrespondenz Abwasser, Abfall 60(6), 6.
- Geiger, W.F., Dreiseitl, H. and Stemplewski, J. (2009) Neue Wege für das Regenwasser - Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München.
- Hauduc, H., Neumann, M.B., Muschalla, D., Gamerith, V., Gillot, S. and Vanrolleghem, P.A. (2013) Towards quantitative model quality criteria to evaluate simulation results in wastewater treatment - A critical review. submitted.
- HSGSim (2008) Integrierte Modellierung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer - HSG-Leitfaden der Arbeitsgruppe Integrierte Modellierung. 1.Auflage 2008, Hochschulgruppe "Erfahrungsaustausch Dynamische Simulation in der Siedlungswasserwirtschaft (HSGSim). Arbeitsgruppe Integrierte Modellierung.
- HSGSim (2010) Integrierte Modellierung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer - Leitfaden der Hochschulsimulationsgruppe (HSG\*). korrespondenz Abwasser, Abfall 57(9), 882-889.

- James, W. (2005) Rules for Responsible Modelling, CHI - Computational Hydraulics International, Guelph, Ontario, Canada.
- James, W., Rossmann, L.A. and James, W.R.C. (2010) Users's Guide to SWMM5 - 13th Edition, CHI - Computational Hydraulics International, Guelph, Ontario, Canada.
- Kamrath, P. (2010) Über die gekoppelte 1D- und 2D-Modellierung von Fließgewässern und Überflutungsflächen, Shaker Verlag, Aachen.
- Müller, U. (2010) Hochwasserrisikomanagement, Theorie und Praxis, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Nemecek, E.P. (1979) Strömungstechnisch günstige Einlaufgitter - eine Weiterentwicklung. Österreichische Abwasser-Rundschau International, Wien Sonderdruck(Folge 1), 11.
- OEWAV (2003) ÖWAV - Regelblatt 35 - Behandlung von Niederschlagswässern, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- OEWAV (2007a) ÖWAV - Leitfaden - Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- OEWAV (2007b) ÖWAV - Regelblatt 19 - Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen, p. 47, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- OEWAV (2009) ÖWAV - Regelblatt 11 - Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen, p. 97, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- RIWA-T (2006) Technische Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung - RIWA-T, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna, Austria.
- Schmitt, T.G. (2011) Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen - Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz? Korrespondenz Abwasser (58), 0140 - 0149.
- Schmitt, T.G., Thomas, M. and Etrich, N. (2004) Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. Journal of Hydrology 299(3-4), 300-311.
- Sieker, F. (2003) Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten; Grundlagen und Anwendungsbeispiele - Neue Entwicklungen, Expert Verlag, Renningen.
- Sieker, F., Kaiser, M. and Sieker, H. (2006) Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich, Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB Verlag, Stuttgart.
- WBFZ (1985) Wasserbautenförderungsgesetz, Republik Österreich, Wien.
- WRG (1959) Wasserrechtsgesetz, Republik Österreich, Wien.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablauf wie Überflutungsschutzmaßnahmen in urbanen Siedlungsgebieten analysiert und bewertet werden können .....	6
Abbildung 2: Beispiel für orthofotometrische Daten (Auflösung 0,2 m) als Orthofoto; Man erkennt beispielsweise Häuserkanten, Straßenzüge, untergeordnete Bauwerke, Flächenstruktur (befestigt/unbefestigt) .....	9
Abbildung 3: Beispiel für ein Digitales Geländemodell aus einer Laserscan-Befliegung (horizontale Auflösung 1 m): Die Darstellung der unterschiedlichen Geländehöhen ist von Orange (höchster Bereich) über Grün nach Blau (tiefster Bereich) – in Orange und Gelb erkennt man z.B. einen kleinen Damm, der zwischen einer Straße und den dahinterliegenden Häusern situiert ist. ....	10
Abbildung 4: Beispiel für Flächenwidmungsdaten: In Gelb, Orange und Rot sind Wohngebiete bzw. Kerngebiete gekennzeichnet, in Lila Gewerbegebiete und in Grün Freiland.....	10
Abbildung 5: Beispiel für Katasterdaten: In Hellgrau sind die Straßenflächen dargestellt, in Dunkelgrau erkennt man die im Kataster erfassten Gebäude und die grauen Linien sind die Grundstücksgrenzen. ....	11
Abbildung 6: Beispiel für die Darstellung von Naturdaten: Zu erkennen sind Gebäudekanten und Zaunmauern im Bereich privater Grundstücke (in Lila) sowie die Abgrenzung der Straßenflächen wie z.B. Gehsteigkanten, Stufen (in Grün).....	11
Abbildung 7: Beispiel für fotogrammetrische Daten (in den Hintergrund ist das Orthofoto gelegt, auf dessen Grundlage die fotogrammetrischen Daten basieren); Die Dachflächen, sind als Polygone in Beige dargestellt, die Traufenlinien (in Schwarz) geben Aufschluss über Neigungsänderungen im Bereich der Dachflächen. ....	12
Abbildung 8: Beispiel für Kanalnetzdaten und Einzugsgebietsflächendaten; Das Kanalnetz ist braun dargestellt. Die Einzugsgebietsflächen sind je nach Versiegelungsgrad – gering ist Grün, hoch ist Rot – dargestellt.....	12
Abbildung 9: Hydrodynamische Modelle mit unterschiedlicher Detailliertheit zur Abschätzung von Überflutungen in urbanisierten Gebieten: Links die Darstellung eines 1D Modells mit den Ergebnissen einer Überstauberechnung und GIS-basierten Puffern, die gefährdete Gebiete hervorheben. In der Mitte die Darstellung eines 1D-1D Modells und die daraus ableitbaren Hauptfließwege auf der Straßenoberfläche. Rechts folgt die dritte und detaillierteste Modellstufe, das 1D-2D Modell und die daraus resultierenden Wasserstandshöhen und Volumina auf der Oberfläche. ....	17
Abbildung 10: Beispiel für die modelltechnische Abbildung eines großen, verzweigten Kanalnetzes, mit Kanalsträngen, Schächten, Wehrbauwerken und den Teileinzugsgebietsflächen, die den Knotenpunkten zugeordnet sind .....	18
Abbildung 11: Systemskizze der Wechselwirkungen zwischen Abfluss im Kanal und des Oberflächenabflusses (Schmitt et al. 2004); Wasser tritt an einem Schacht aus und kann nach Abfluss auf der Straßenoberfläche an Straßeneinläufen wieder in das Kanalnetz eintreten, sofern es die hydraulische Kapazität des Kanalnetzes zulässt.....	21

- Abbildung 12: Beispiel für ein 1D-1D Modell, in dem die Straßenflächen als offene eindimensionale hydrodynamische Gerinne abgebildet werden (CHlwater 2012b); In Gelb ist das Kanalnetz abgebildet und in Grün das Straßennetz mit seinen Querschnitten. In Hellblau ist die Koppelung an den Schächten dargestellt..... 22
- Abbildung 13: Beispiel für ein 1D-2D Modell mit einem Orthofoto als Hintergrundbild, um die Strukturen zu zeigen um welche das Oberflächengitternetz auf Grundlage eines DGM generiert wurde; Das Oberflächengitternetz ist nach den maximalen Zellhöhen – Grün sind tiefe Lagen bis Rot sind hohe Lagen – gerendert (CHlwater 2012a). ..... 23



# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Daten, die im Rahmen der Grundlagenerhebung erhoben, erstellt und analysiert werden. ....	8
Tabelle 2:	Notwendige Informationen, die aus der Systembeschreibung hervorgehen sollen. ....	15
Tabelle 3:	Auswahl für mögliche Defizite in urbanen Untersuchungsgebieten mit Überflutungsproblemstellungen.....	25
Tabelle 4:	Übersicht möglicher Ursachen für Überflutungen bei Starkregenereignissen in urbanisierten Gebieten.....	26
Tabelle 5:	Auswahl an Möglichkeiten zur modelltechnischen Abbildung von Überflutungsschutzmaßnahmen in hydrodynamischen 1D-2D Modellen .....	28
Tabelle 6:	Mögliche Kriterien für die Bewertung von Schutzmaßnahmen in urbanen Einzugsgebieten zur Formulierung von Handlungsempfehlungen.....	29
Tabelle 7:	Beispiel für den Aufbau einer Kriterien-Matrix zur Bewertung von Überflutungsschutzmaßnahmen.....	32
Tabelle 8:	Einteilung möglicher landschaftswasserbaulicher bzw. schutzwasserwirtschaftlicher und siedlungswasserwirtschaftlicher Einzelmaßnahmen .....	33
Tabelle 9:	Kriterien-Matrix zur Bewertung von planmäßigen und notfallmäßigen mobilen HWS-Systemen .....	39



Die Initiative GENUSS REGION ÖSTERREICH hebt gezielt die Bedeutung regionaler Spezialitäten hervor.  
[www.genuss-region.at](http://www.genuss-region.at)



Österreichs erstes grünes Karriereportal für umweltfreundliche green jobs.  
[www.green-jobs.at](http://www.green-jobs.at)



[lebensministerium.at](http://lebensministerium.at)

Informationen zu Landwirtschaft, Wald, Umwelt, Wasser und Lebensmittel.  
[www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at)



Das Österreichische Umweltzeichen ist Garant für umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen.  
[www.umweltzeichen.at](http://www.umweltzeichen.at)



Das erste Webportal für nachhaltigen Konsum in Österreich.  
[www.bewusstkaufen.at](http://www.bewusstkaufen.at)



Das Internetportal der Österreichischen Nationalparks.  
[www.nationalparksaustria.at](http://www.nationalparksaustria.at)



Die Klimaschutzinitiative des Lebensministeriums für aktiven Klimaschutz.  
[www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at)



Die Kampagne vielfaltleben trägt bei, dass Österreich bei der Artenvielfalt zu den reichsten Ländern Europas gehört.  
[www.vielfaltleben.at](http://www.vielfaltleben.at)



Die Jugendplattform zur Bewusstseinsbildung rund ums Wasser.  
[www.generationblue.at](http://www.generationblue.at)



[www.mein-fussabdruck.at](http://www.mein-fussabdruck.at)

Der Ökologische Fußabdruck ist die einfachste Möglichkeit, die Zukunftsfähigkeit des eigenen Lebensstils zu testen. Errechnen Sie Ihren persönlichen Footprint.  
[www.mein-fussabdruck.at](http://www.mein-fussabdruck.at)