



**Hochschule Konstanz**

Technik, Wirtschaft und Gestaltung


## **Bachelorthesis**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
BACHELOR OF ENGINEERING (B. ENG.)

# **Entwicklung von Risikomanagementstrategien für Starkregen in der Bodenseeregion: Untersuchungen zur klimaresilienten Stadtgestaltung**

**Vorgelegt von:** Yaroslav Melnyk  
Holländerstr. 35  
78465 Konstanz

**Studiengang:** Wirtschaftsingenieurwesen Bau

**Matrikelnummer:** 

**Betreuung:** Prof. Dr.-Ing. Michael Bühler

**Abgabedatum:** 09.08.2024

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
Definitionen.....	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Relevanz des Themas .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit .....	2
1.3 Methodisches Vorgehen.....	2
2 Theoretische Grundlagen .....	3
2.1 Klimawandel und Starkregen.....	3
2.2 Risikomanagement im Kontext von Naturgefahren .....	5
2.3 Urbanisierung und Flächennutzung.....	6
3 Die Bodenseeregion: geographische und klimatische Charakteristika .....	7
3.1 Topographie und Hydrologie .....	7
3.1.1 Topographische Merkmale.....	7
3.1.2 Hydrologische Systeme .....	8
3.1.3 Auswirkungen auf das Überflutungsrisiko .....	9
3.2 Klimatische Besonderheiten .....	9
4 Analyse der Starkregenrisiken in der Bodenseeregion .....	11
4.1 Historische Starkregenereignisse und deren Auswirkungen .....	11
4.1.1 Das Rekordhochwasser 1817 .....	11
4.1.2 Das Pfingsthochwasser 1999.....	12
4.1.3 Langfristige Folgen und Lehren.....	13
4.2 Vulnerabilität urbaner Räume.....	13
4.3 Prognosen für zukünftige Starkregenereignisse .....	14
5 Entwicklung von Risikomanagementstrategien .....	16
5.1 Präventive Maßnahmen .....	16
5.1.1 Raumplanerische Ansätze .....	16
5.1.2 Technische Schutzmaßnahmen.....	17
5.1.3 Integration und Koordination .....	18
5.2 Bewältigungsstrategien .....	19
5.2.1 Frühwarnsysteme.....	19
5.2.2 Katastrophenschutz und Notfallplanung.....	21
5.3 Nachsorge und Wiederaufbau.....	23
5.3.1 Schadenserfassung und -bewertung.....	23
5.3.2 Kurzfristige Maßnahmen .....	23
5.3.3 Langfristiger Wiederaufbau .....	24

6	Konzepte zur klimaresilienten Stadtgestaltung .....	25
6.1	Grüne Infrastruktur .....	25
6.2	Wassersensible Stadtentwicklung .....	26
6.3	Innovative Architektur- und Ingenieurskonzepte.....	28
6.3.1	Schwammstadt-Konzept .....	28
6.3.2	Smart-City-Technologien .....	29
6.3.2.1	IoT-basierte Sensoren zur Überwachung von Wasserpegeln .....	29
6.3.2.2	Digitale Zwillinge zur Simulation von Wasserinfrastrukturen.....	31
7	Fallstudien aus der Bodenseeregion .....	32
7.1	Fallstudie 1: Bregenz, Vorarlberg .....	32
7.1.1	Geographische Besonderheiten.....	33
7.1.2	Maßnahmen für Hochwasserschutz und Starkregenmanagement.....	34
7.2	Beispiel 2: Konstanz, Baden-Württemberg.....	35
7.2.1	Das Projekt CoKLIMAx .....	35
7.2.1.1	Modellierungen für Hoch- und Niedrigwasser bis 2100.....	36
7.2.1.2	Advanced Municipal Climate Data Store Toolbox .....	37
7.2.1.3	Bluespot Analyse und Starkregenrisikokarten.....	37
7.2.2	Maßnahmen der Stadt Konstanz.....	40
7.3	Vergleichende Analyse und Best Practices .....	42
7.3.1	Gemeinsamkeiten .....	42
7.3.2	Unterschiede .....	42
7.3.3	Best Practices .....	43
8	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	44
8.1	Handlungsempfehlungen für die Bodenseeregion.....	44
8.1.1	Verstärkte Nutzung naturbasierter Lösungen.....	44
8.1.2	Reduktion versiegelter Flächen.....	45
8.1.3	Verbesserung der Infrastruktur.....	45
8.2	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	46
	Eigenständigkeitserklärung.....	48
	Literaturverzeichnis .....	49

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf Jahresmittelwerte Wassertemperatur Bodensee .....	4
Abbildung 2: Entwicklung der Bevölkerung im Bodenseekreis .....	6
Abbildung 3: Topographische Karte der Bodenseeregion .....	7
Abbildung 4: Zuflüsse des Bodensees .....	8
Abbildung 5: Gemälde der überfluteten Konstanzer Marktstätte 1817 .....	11
Abbildung 6: Bregenz im Jahr 1999, Foto Curt Huber .....	12
Abbildung 7: Aufbau einer Versickerungsmulde .....	16
Abbildung 8: Aufbau einer Rigole .....	18
Abbildung 9: Maßnahmen der Feuerwehr Ochsenhausen, Hochwasser 2024.....	23
Abbildung 10: Grüne Infrastruktur.....	25
Abbildung 11: Einfluss Bodenbelag auf Versickerung .....	27
Abbildung 12: Darstellung Schwammstadt-Konzept.....	28
Abbildung 13: Pegelmessung an Brücken.....	30
Abbildung 14: IoT Bodenfeuchte Sensor .....	30
Abbildung 15: Verlauf der Bregenzerach im Stadtgebiet Bregenz.....	32
Abbildung 16: Verlauf und Einzugsgebiet der Bregenzerach.....	33
Abbildung 17: Untersuchungsgebiet Konstanz .....	35
Abbildung 18: Szenarien der Entwicklung atmosphärischer CO <sub>2</sub> -Äquivalente in Abhängigkeit von RCPs.....	36
Abbildung 19: Bluespot Analyse „Am Pfeiferhölzle“ Konstanz.....	38
Abbildung 20: Starkregenrisiko „Am Pfeiferhölzle“ Konstanz.....	39
Abbildung 21: Übersicht Bluespots Konstanz .....	39
Abbildung 21: Muldenversickerungssystem „Cherisy“ Gelände in Konstanz .....	40
Abbildung 22: Aktion Klimabäume .....	41

## Abkürzungsverzeichnis

<b>UMBW</b>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
<b>IGKB</b>	Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>LfU Bayern</b>	Bayerisches Landesamt für Umwelt
<b>WMO</b>	World Meteorological Organization
<b>DHI</b>	Danish Hydraulic Institute
<b>UNDRR</b>	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
<b>DKKV</b>	Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge
<b>LAWA</b>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
<b>BSI</b>	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
<b>EBK</b>	Entsorgungsbetriebe Konstanz

## Definitionen

<b>Resilienz</b>	Widerstandsfähigkeit gegenüber negativen Einflüssen
<b>Wärmeinseleffekt</b>	höhere Erwärmung von urbanen Gebieten verglichen mit der ländlichen Umgebung
<b>Retention</b>	temporäre Speicherung und verzögerte Ableitung von Wasser, bzw. Regenwasser
<b>Rigole</b>	unterirdisches Auffangbecken, das Regenwasser aufnimmt und verzögert ableitet
<b>Freibord</b>	Abstand zwischen einem Wasserspiegel und einer höher liegenden Kante eines Bauwerks

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung und Relevanz des Themas

In den letzten Jahren haben extreme Wetterereignisse, insbesondere Starkregenfälle, in vielen Regionen Deutschlands zu verheerenden Überschwemmungen und erheblichen Schäden geführt. Der Klimawandel verstärkt die Häufigkeit und Intensität solcher Ereignisse (UMBW 2023: 3), was die Notwendigkeit effektiver Risikomanagementstrategien und einer klimaresilienten Stadtgestaltung unterstreicht. Die Bodenseeregion, bekannt für ihre malerische Landschaft und dicht besiedelten urbanen Räume, steht vor der wachsenden Herausforderung, sich an diese klimabedingten Veränderungen anzupassen und ihre Resilienz gegenüber Starkregen zu erhöhen.

Diese Problematik geht weit über den unmittelbaren Hochwasserschutz hinaus und berührt verschiedene Sektoren der regionalen Entwicklung. Neben den offensichtlichen Gefahren für Menschenleben und Eigentum stellen die zunehmenden extremen Wetterphänomene auch eine Bedrohung für die lokale Infrastruktur, die Wasserversorgung und die landwirtschaftlichen Flächen dar. Eine unzureichende Anpassung an diese Veränderungen könnte nicht nur zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten führen, sondern auch die Lebensqualität der Bevölkerung langfristig negativ beeinflussen.

In der Bodenseeregion sind die Auswirkungen von Starkregenereignissen in den letzten Jahren zunehmend spürbar geworden. Im Jahr 2024 kam es auch hier zu großflächigen Überflutungen, was den dringenden Handlungsbedarf verdeutlicht und zeigt, dass die bisherigen Maßnahmen noch nicht ausreichend sind.

## **1.2 Zielsetzung der Arbeit**

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Entwicklung ganzheitlicher Risikomanagementstrategien für Starkregenereignisse in der Bodenseeregion. Dabei werden sowohl präventive Maßnahmen als auch Bewältigungsstrategien berücksichtigt. Diese sind speziell auf die geographischen und klimatischen Bedingungen der Region abgestimmt und beziehen die Prinzipien der klimaresilienten Stadtgestaltung mit ein. Im Einzelnen werden folgende Ziele angestrebt:

- 1) Analyse der spezifischen Vulnerabilitäten der Bodenseeregion gegenüber Starkregenereignissen.
- 2) Identifikation und Bewertung bestehender Risikomanagementansätze.
- 3) Entwicklung innovativer Konzepte zur klimaresilienten Stadtgestaltung, die auf die besonderen Bedingungen der Bodenseeregion zugeschnitten sind.
- 4) Erarbeitung praxisnaher Handlungsempfehlungen für kommunale Entscheidungsträger zur Implementierung effektiver Risikomanagementstrategien.

## **1.3 Methodisches Vorgehen**

Zur Erreichung der oben genannten Ziele wird ein multimethodischer Ansatz verfolgt. Zum einen erfolgt eine umfassende Literaturrecherche und -analyse zu den Themen Klimawandel, Starkregenrisiken, Risikomanagement und klimaresiliente Stadtgestaltung. Zum anderen werden regionale Klimadaten und Prognosen für die Bodenseeregion ausgewertet. Schließlich werden Fallstudien ausgewählter Kommunen in der Bodenseeregion durchgeführt, um lokale Herausforderungen und Lösungsansätze zu untersuchen.

Durch diesen methodischen Ansatz wird eine fundierte wissenschaftliche Basis für die Entwicklung praxisorientierter Lösungsvorschläge geschaffen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen nicht nur einen Beitrag zur akademischen Diskussion leisten, sondern auch konkrete Ansatzpunkte für Entscheidungsträger in der kommunalen Planung und im Risikomanagement liefern.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Klimawandel und Starkregen

Der Klimawandel zählt zu den bedeutendsten Herausforderungen, mit denen wir heute konfrontiert sind. Er führt zu einer Zunahme von Extremwetterereignissen, darunter auch Starkregen. Die Hauptursache für die Veränderungen des globalen Klimas ist die steigende Emission von Treibhausgasen, insbesondere CO<sub>2</sub>, die durch menschliche Aktivitäten, wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe, verursacht wird (Rahmstorf/ Schellnhuber 2018: 38). Zudem tragen Landnutzungsänderungen, wie großflächige Entwaldung, zur Verstärkung des Klimawandels bei, da sie die natürliche CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität der Erde verringern.

Der Klimawandel hat erhebliche Auswirkungen auf den globalen und lokalen Wasserkreislauf. Die erhöhten Temperaturen führen zu einer verstärkten Verdunstung von Wasser aus Ozeanen, Seen und Landflächen. Dieser Vorgang resultiert in veränderten Niederschlagsmustern, wobei einige Regionen mehr und andere weniger Niederschlag erfahren (Trenberth 2011: 123).

Dadurch treten Wetterphänomene wie Starkregen vermehrt auf, die sich durch besondere Charakteristika auszeichnen. Die Intensität solcher Ereignisse ist oft extrem hoch, wobei in sehr kurzer Zeit große Wassermengen fallen können. Räumlich sind Starkregenereignisse oft begrenzt und können lokal sehr unterschiedlich ausfallen. Dies macht ihre Vorhersage besonders schwierig, da sie oft nicht von großräumigen Wettermodellen erfasst werden können. Die kurze Vorwarnzeit stellt eine zusätzliche Herausforderung für das Risikomanagement dar (Thieken et al., 2016).

Auch für Mitteleuropa prognostizieren Klimamodelle eine Zunahme von Starkregenereignissen. Es wird erwartet, dass sowohl die Häufigkeit als auch die Intensität von Starkregen in den kommenden Jahrzehnten zunehmen werden, was erhebliche Schwierigkeiten für das Wassermanagement und den Hochwasserschutz mit sich bringt.



Die Auswirkungen der globalen Erwärmung machen sich auch am Bodensee bemerkbar und können die Region zukünftig noch stärker beeinflussen. Besonders auffällig wird es wenn man Abbildung 1 betrachtet. Diese zeigt den Verlauf der Jahresmittelwerte der Wassertemperatur am Bodensee und der Lufttemperatur bei Konstanz von 1945 bis 2020. Bereits in dieser relativ kurzen Beobachtungsperiode ist ein klarer Trend erkennbar. Sowohl die Luft, als auch die Wassertemperatur sind im Durchschnitt um ca. 0,4°C pro Jahrzehnt gestiegen (IGKB 2015: 1-2).

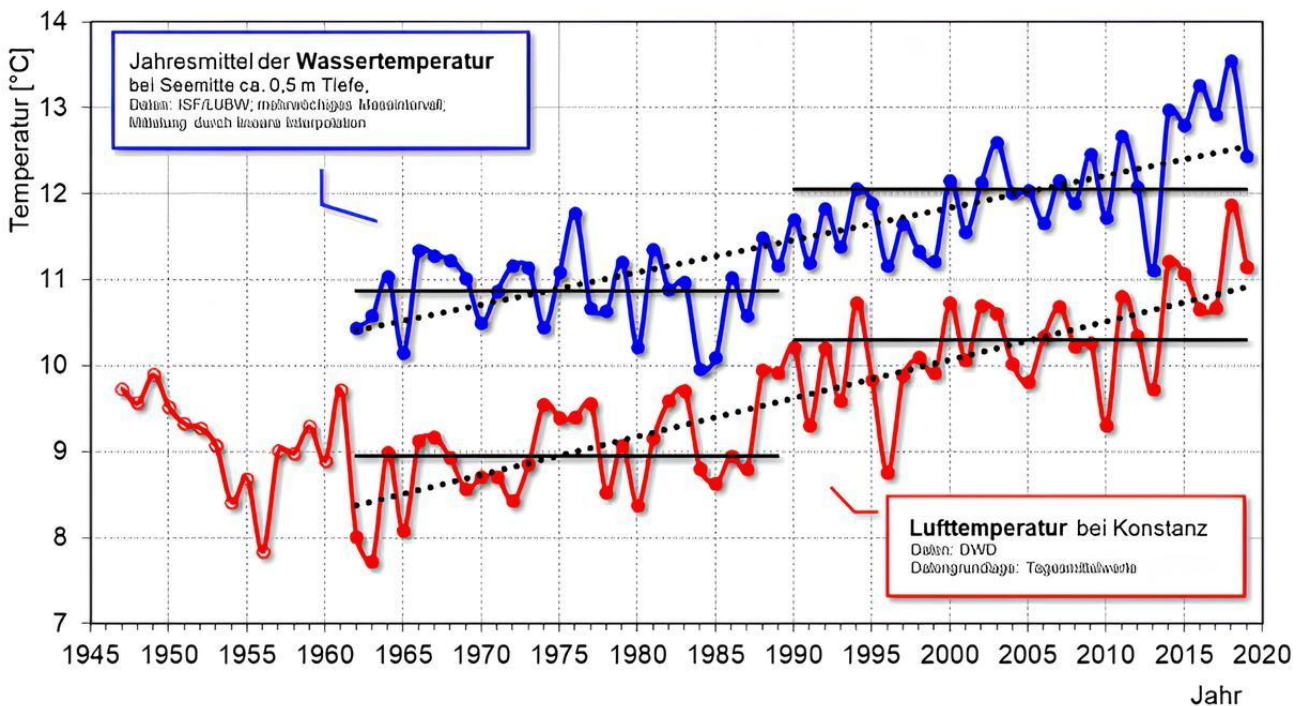


Abbildung 1: Verlauf Jahresmittelwerte Wassertemperatur Bodensee und Lufttemperatur bei Konstanz (IGKB 2015: 14)

## 2.2 Risikomanagement im Kontext von Naturgefahren

Risikomanagement ist ein methodischer Ansatz zur Identifizierung, Bewertung und Steuerung von Risiken. Bei der Risikoidentifikation werden potenzielle Gefahren erkannt, während die Risikoanalyse die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß möglicher Schäden untersucht. Die Risikobewertung priorisiert die identifizierten Risiken und die Risikosteuerung entwickelt und implementiert Maßnahmen zur Risikominderung.

Im Zusammenhang mit Naturgefahren, insbesondere Starkregen, ist es von zentraler Bedeutung, um Schäden zu minimieren und die Resilienz zu erhöhen. Das Risiko wird im Allgemeinen als Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß definiert.

Das Risikomanagement bei Starkregen zeichnet sich durch besondere Herausforderungen aus. Dazu gehören die oft schwierige Vorhersagbarkeit von Ereignissen mit potenziell großflächigen Auswirkungen und die Notwendigkeit, verschiedene Akteure und Sektoren in den Managementprozess einzubeziehen. Bei Naturgefahren wie Starkregen muss zusätzlich die Exposition, also die räumliche Verteilung gefährdeter Objekte, berücksichtigt werden (IPCC 2012: 34-36).

Ein integriertes Risikomanagement verknüpft technische, organisatorische und raumplanerische Maßnahmen. Dies kann beispielsweise die Kombination von Hochwasserschutzbauten mit Frühwarnsystemen und angepasster Flächennutzungsplanung umfassen. Auch die Risikokommunikation und Partizipation spielen eine zentrale Rolle im Risikomanagement. Eine effektive Kommunikation zwischen Behörden, Experten und der Öffentlichkeit sowie die aktive Einbindung der Bevölkerung in Entscheidungsprozesse können die Akzeptanz von Maßnahmen erhöhen und zur Stärkung der gesellschaftlichen Resilienz beitragen (Wachinger et al. 2013: 1061).

## 2.3 Urbanisierung und Flächennutzung

Die Bodenseeregion unterliegt einem stetigen Wandel, der sich insbesondere in der zunehmenden Urbanisierung und veränderten Flächennutzung widerspiegelt. Diese Entwicklungen haben signifikante Auswirkungen auf das Ökosystem der Region und verschärfen die Klimawandelproblematik.

Die fortschreitende Urbanisierung in der Region führt zu einer Verdichtung der Bebauung und einer Zunahme versiegelter Flächen. Dies hat direkte Folgen für den Wasserhaushalt und das lokale Mikroklima. Versiegelte Flächen verhindern die natürliche Versickerung von Regenwasser und erhöhen das Risiko von Oberflächenabfluss bei Starkregenereignissen (UMBW 2023: 12). Gleichzeitig tragen urbane Strukturen zur Bildung von Wärmeinseln bei, die die lokale Temperatur zusätzlich erhöhen und die Auswirkungen des Klimawandels in städtischen Gebieten verstärken.

Anhand der Entwicklung der Bevölkerung lässt sich die steigende Urbanisierung der Region darstellen. Abbildung 2 zeigt, sowohl das Wachstum der Bevölkerung als auch das Wachstum der Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten (SV-Beschäftigte) im Bodenseekreis, einer Teilregion der Bodenseeregion. Zwischen 1974 und 2009 stieg die Einwohnerzahl um 28 %. Gleichzeitig erhöhte sich die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten um 44,7 %.

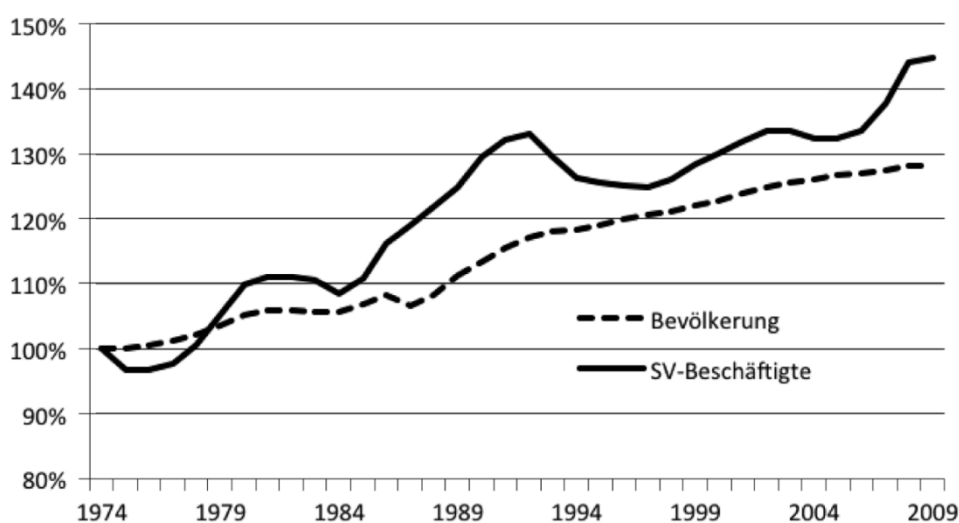


Abbildung 2: Entwicklung der Bevölkerung und Beschäftigung im Bodenseekreis 1974-2009 (1974 = 100%) (Scherer/ Gutjahr 2012: 258)

## 3 Die Bodenseeregion: geographische und klimatische Charakteristika

### 3.1 Topographie und Hydrologie

Die Bodenseeregion zeichnet sich durch eine vielfältige und komplexe Topographie aus, die maßgeblich die hydrologischen Verhältnisse und damit auch die Starkregenproblematik beeinflusst.

#### 3.1.1 Topographische Merkmale

Der Bodensee, als zentrales Element der Region, liegt auf einer Höhe von 395m über dem Meeresspiegel und ist umgeben von verschiedenen Landschaftsformen (Internationale Bodenseekonferenz 2021: 2):

- Im Norden erstreckt sich das Bodenseehügelland mit sanften Erhebungen und Tälern;
- Im Süden erheben sich die Voralpen mit steilen Hängen und tiefen Tälern;
- Im Westen geht die Landschaft in das Schweizer Mittelland über, das durch eine Abfolge von breiten Tälern und sanften Hügelketten gekennzeichnet ist;
- Im Osten schließt sich das Allgäu an, charakterisiert durch ein welliges Hügelland.

Diese topographische Vielfalt führt zu unterschiedlichen Abflussverhalten und Überflutungsrisiken in verschiedenen Teilen der Region.

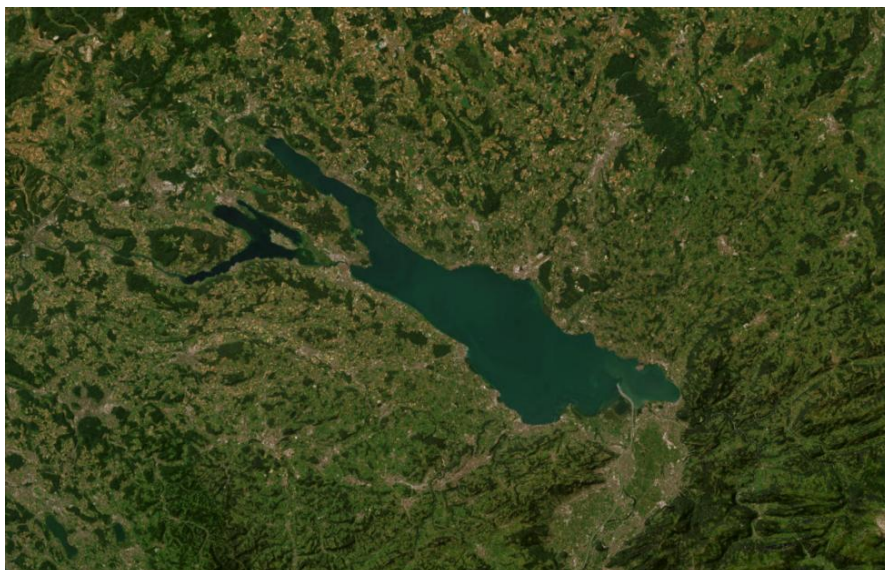


Abbildung 3: Topographische Karte der Bodenseeregion (topographic-map.com, 2024)

### 3.1.2 Hydrologische Systeme

Das hydrologische System der Bodenseeregion ist von einer hohen Komplexität geprägt und umfasst folgende Hauptkomponenten:

- 1) Der Bodensee selbst, der als natürlicher Wasserspeicher fungiert.
- 2) Zuflüsse: Zahlreiche Flüsse und Bäche (siehe Abb. 4) speisen den Bodensee, wobei der Alpenrhein der größte Zufluss ist.
- 3) Grundwassersysteme: Unterirdische Wasserkörper, die den Wasserhaushalt regulieren und entscheidend für die Bodenfeuchte sind.
- 4) Kleinere Seen und Feuchtgebiete, die als natürliche Retentionsräume dienen.



Abbildung 4: Zuflüsse des Bodensees (IGKB, 2024)

### **3.1.3 Auswirkungen auf das Überflutungsrisiko**

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen topographischen und hydrologischen Gegebenheiten haben direkte Auswirkungen auf das Hochwasserrisiko:

- 1) Hanglagen: Steile Hänge in den Voralpen können zu schnellem Oberflächenabfluss und erhöhter Erosionsgefahr führen.
- 2) Tallagen: In engen Tälern kann es zu einer Konzentration des Wasserabflusses und damit zu Sturzfluten kommen.
- 3) Urbane Gebiete: In den flacheren, oft dicht besiedelten Bereichen nahe des Seeufers, besteht die Gefahr von Überflutungen durch überlastete Kanalsysteme und mangelnde natürliche Versickerungsflächen.
- 4) Seeufer: Starkregenereignisse können in Kombination mit hohen Seewasserständen zu Überschwemmung führen.

Die komplexe Topographie und Hydrologie der Bodenseeregion erfordert differenzierte Ansätze im Risikomanagement für Starkregenereignisse. Um bei der Starkregenvorsorge bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, ist es essentiell erforderlich, die Vorsorgemaßnahmen auf die spezifischen Gegebenheiten vor Ort abzustimmen. Eine genaue Kenntnis der topographischen und hydrologischen Verhältnisse ist daher unerlässlich für die Entwicklung geeigneter Strategien zur klimaresilienten Stadtgestaltung in der Region.

## **3.2 Klimatische Besonderheiten**

Die Bodenseeregion weist aufgrund ihrer geografischen Lage und topografischen Beschaffenheit einige klimatische Besonderheiten auf, die für die Analyse von Starkregenrisiken und die Entwicklung von Managementstrategien von großer Bedeutung sind. Als drittgrößter See Mitteleuropas übt der Bodensee einen erheblichen Einfluss auf das lokale Klima aus. Er wirkt als Wärmespeicher und Klimapuffer, was zu einem gemäßigten Seeklima führt (Freizeit Bodensee o.J.). Dieses Klima zeichnet sich durch mildere Winter und kühlere Sommer im Vergleich zum Umland aus. Zudem sind die Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresverlauf geringer, und die Luftfeuchtigkeit in Seenähe ist höher.

Die Niederschlagsverteilung in der Bodenseeregion ist durch spezifische Merkmale gekennzeichnet. Je nach Höhe und Exposition schwankt die mittlere

Jahresniederschlagsmenge in der Region zwischen 800 und 1200 mm (Climate-Data.org 2024). Charakteristisch ist eine Häufung von Niederschlägen im Sommer, insbesondere in Form von Gewittern und Starkregen. An den Alpenausläufern können erhöhte Niederschläge auftreten, verursacht durch Staueffekte. Diese entstehen, wenn feuchte Luftmassen auf die Gebirgshänge treffen und zum Aufsteigen gezwungen werden. Beim Aufstieg kühlen sie ab, was zu Kondensation und folglich zu verstärkter Niederschlagsbildung führt.

Ein weiterer wichtiger Faktor im Klimageschehen der Region ist der Föhn, ein warmer und trockener Fallwind. Der Föhn tritt besonders im Herbst und Frühjahr häufig auf und kann zu schnellen Wetterumschwüngen sowie plötzlichen Temperaturanstiegen führen. Zudem besteht die Möglichkeit, dass Föhnlagen Gewitter und Starkregen verstärken.

In den urbanen Räumen der Bodenseeregion bilden sich spezifische mikroklimatische Bedingungen aus. In dicht bebauten Gebieten können Wärmeinseleffekte auftreten. Des Weiteren resultieren aus der Bebauungsstruktur veränderte Windströmungen, während die erhöhte Oberflächenversiegelung den Wasserabfluss bei Starkregen maßgeblich beeinflusst.

Inzwischen macht sicher der Klimawandel in der Bodenseeregion deutlich bemerkbar. Die durchschnittliche Wassertemperatur des Bodensees auf 0,5m Tiefe ist seit Beginn der Aufzeichnungen um etwa 2°C gestiegen (IGKB 2015: 1-2). Gleichzeitig nehmen die Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen, insbesondere von Starkregen, zu. Dabei zeichnet sich eine Verschiebung der Niederschlagsmuster ab, mit der Tendenz zu trockeneren Sommern und feuchteren Wintern (IGKB 2015: 17).

Bei der Entwicklung von Anpassungsstrategien und Maßnahmen zur klimaresilienten Stadtgestaltung müssen klimatische Einflüsse sorgfältig berücksichtigt werden. Die Kombination aus dem Einfluss des Sees, der topografischen Lage und den Auswirkungen des Klimawandels erfordert maßgeschneiderte Lösungsansätze für die Region.



## 4 Analyse der Starkregenrisiken in der Bodenseeregion

### 4.1 Historische Starkregenereignisse und deren Auswirkungen

Die Bodenseeregion hat in der Vergangenheit mehrere Starkregenereignisse erlebt, die zu erheblichen Überschwemmungen und Schäden führten.

#### 4.1.1 Das Rekordhochwasser 1817

Die Flut von 1817 am Bodensee gilt als die gravierendste in der aufgezeichneten Geschichte der Region. Am 7. Juli 1817 erreichte der Pegel in Konstanz einen Rekordstand von 6,36 Metern über dem Normalpegel (SRF, 2024). Dieses Ereignis resultierte aus einer Verkettung klimatischer Umstände. Zunächst führte der Ausbruch des Vulkans Tambora in Indonesien im Jahr 1815 zu dem sogenannten „Jahr ohne Sommer“ 1816. Dieses klimatische Ereignis führte zu einer Akkumulation von Schnee in den Alpen. Als 1817 dieser angestaute Schnee schmolz und tagelange Gewitterregen ab dem 4. Juli hinzukamen, kam es zum Hochwasser.



Abbildung 5: Gemälde der überfluteten Konstanzer Marktstätte 1817, Maler Nikolaus Hug (SRF, 2024)



Die Auswirkungen waren verheerend: In Konstanz standen weite Teile der Stadt unter Wasser, einschließlich des Tägermooses, des Paradieses und mehr als die Hälfte der Marktstätte (siehe Abb. 5). Es kam in der Bodenseeregion großflächig zu Ernteausschlägen, die eine Hungersnot zur Folge hatten. Diese Hungersnot beeinflusste die Region langfristig und kostete viele Menschenleben.

#### 4.1.2 Das Pfingsthochwasser 1999

Ende Mai 1999 führten anhaltende starke Niederschläge in Kombination mit der Schneeschmelze in den Alpen zu einem dramatischen Anstieg des Bodenseepiegels. Am 24. Mai erreichte der Pegel in Konstanz einen Höchststand von 5,65 Metern - der höchste Wert seit 1890 (SRF, 2024). Die Folgen waren weitreichend und betrafen verschiedene Bereiche des öffentlichen Lebens und der Infrastruktur. Straßen, Plätze und Keller in Ufernähe wurden überflutet, beliebte Ausflugsziele und Campingplätze mussten geschlossen werden. Darüber hinaus kam es zur Schließung von Kläranlagen und zur Verhängung von Badeverboten. Der Schiffsverkehr wurde aufgrund überfluteter Anlegestellen eingeschränkt und es kam zu Beschädigungen an historischen Bauwerken, wie beispielsweise am römischen Bad in Lindau. Insgesamt wurden etwa 33 Quadratkilometer Land überflutet. Die Schäden wurden auf rund 345 Millionen Euro geschätzt (LfU Bayern, 2024).



Abbildung 6: Bregenz im Jahr 1999, Foto Curt Huber

### 4.1.3 Langfristige Folgen und Lehren

Die Erfahrungen mit historischen Starkregenereignissen haben in der Bodenseeregion zu einem verstärkten Bewusstsein für die Risiken geführt. In der Folge wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen:

- Verbesserung der Hochwasserschutzmaßnahmen und Krisenpläne;
- Einrichtung von Frühwarnsystemen;
- Sensibilisierung der Bevölkerung für Eigenvorsorge;
- Anpassungen in der Stadtplanung und beim Bau von Infrastruktur.

Die historischen Ereignisse verdeutlichen die Notwendigkeit eines umfassenden Managements der Starkregenrisiken in der Bodenseeregion. Sie zeigen, dass neben technischen Schutzmaßnahmen auch eine angepasste Stadtplanung erforderlich ist, um die städtische Infrastruktur widerstandsfähiger zu gestalten. Das Schadensausmaß solcher Ereignisse zeigt, dass auch die Bevölkerung besser auf mögliche Gefahren vorbereitet und zur Eigenvorsorge motiviert werden muss.

## 4.2 Vulnerabilität urbaner Räume

Die Vulnerabilität urbaner Räume beschreibt die Anfälligkeit und Empfindlichkeit von städtischen Gebieten gegenüber negativen Einflüssen durch Starkregenereignisse. Diese Anfälligkeit wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst:

- 1) **Bebauungsdichte:** je dichter die Bebauung, desto höher ist das Überflutungsrisiko aufgrund fehlender natürlicher Versickerungsflächen.
- 2) **Kanalisation:** viele städtische Entwässerungssysteme sind nicht für die zunehmende Intensität von Starkregenereignissen ausgelegt.
- 3) **Topographie:** Städte in Tallage oder mit starkem Gefälle sind besonders gefährdet, da sich hier Wassermassen schnell sammeln können.
- 4) **Kritische Infrastruktur:** Stromversorgung, Verkehrswege und öffentliche Einrichtungen in tiefliegenden Gebieten sind oft besonders verwundbar.
- 5) **Klimatische Veränderungen:** zunehmende Häufigkeit und Intensität von Starkregen aufgrund des Klimawandels erhöhen die Vulnerabilität.

- 6) **Sozioökonomische Faktoren:** Gebiete mit hoher Bevölkerungsdichte und niedrigem sozioökonomischem Status sind oft stärker betroffen, da sie weniger Ressourcen zur Bewältigung und Erholung von Katastrophen haben.

Des Weiteren ist zu betonen, dass die zunehmende Urbanisierung der Region und die damit einhergehende Flächenversiegelung die Anfälligkeit für Überflutungen und die damit verbundenen Schäden erhöhen. Dabei sind Städte am Seeufer einem erhöhten Risiko ausgesetzt. Das liegt zum einen an ihrer Nähe zum Gewässer, zum anderen an der oft dichten Bebauung in diesen attraktiven Lagen.

Um die Vulnerabilität urbaner Räume zu reduzieren, empfehlen Experten eine Kombination aus baulichen und planerischen Maßnahmen. Dazu gehören die Schaffung von Retentionsflächen, Entsiegelung von Flächen, Verbesserung der Entwässerungsinfrastruktur und Implementierung von Frühwarnsystemen (Umwelt Bundesamt 2019: 51).

Die Bewertung der Vulnerabilität sollte dabei nicht statisch sein, sondern als kontinuierlicher Prozess verstanden werden. Regelmäßige Risikobewertungen und Anpassungen der Schutzmaßnahmen sind notwendig, um auf die sich verändernden klimatischen Bedingungen und städtebaulichen Entwicklungen zu reagieren.

### **4.3 Prognosen für zukünftige Starkregenereignisse**

Aktuelle Klimaprognosen für die Bodenseeregion deuten auf eine Zunahme von Extremwetterereignissen hin, einschließlich häufigerer und intensiverer Regenfälle. Diese Entwicklung ist Teil eines größeren Trends, der durch den fortschreitenden Klimawandel verursacht wird. Laut dem Bericht der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) schreitet der Klimawandel in der Region schneller voran als bisher angenommen. Die steigenden Temperaturen führen zu einer höheren Luftfeuchtigkeit, was wiederum Extremereignisse wie heftige Unwetter und Starkregen begünstigt (LUBW, 2021). Es wird erwartet, dass diese Veränderungen die hydrologischen Verhältnisse im Bodenseeraum erheblich beeinflussen werden.

Eine beunruhigende Prognose ist, dass Starkregenereignisse, die bisher hauptsächlich im Sommer auftraten, in Zukunft auch im Winter vorkommen können (IGKB 2015: 20). Diese Verschiebung könnte neue Herausforderungen für das Wassermanagement und den Hochwasserschutz in der Region mit sich bringen.

Die Wetterwarte Süd in Bad Schussenried hat bereits Veränderungen im Niederschlagsmuster beobachtet. Obwohl die jährliche Niederschlagsmenge ausreichend war, gab es deutliche Schwankungen zwischen Trockenperioden und intensiven Regenphasen. Besonders auffällig war der November 2023, der als der regenreichste seit mindestens 1906 verzeichnet wurde (SWR, 2023).

Diese Prognosen verdeutlichen die Notwendigkeit, Risikomanagementstrategien für extreme Regenfälle in der Region zu entwickeln und zu implementieren. Dabei müssen sowohl die zunehmende Häufigkeit als auch die potenzielle Intensität dieser Ereignisse beachtet werden. Zudem ist es wichtig, die Planung so anzupassen, dass auch eine mögliche Verschiebung von Starkregenereignissen in die Wintermonate berücksichtigt wird. Dies bedeutet, dass Schutzmaßnahmen und Risikomanagementstrategien so gestaltet werden müssen, dass sie ganzjährig effektiv sind.

## 5 Entwicklung von Risikomanagementstrategien

### 5.1 Präventive Maßnahmen

Präventive Maßnahmen bilden die Grundlage eines effektiven Risikomanagements. Sie zielen darauf ab, potenzielle Schäden zu minimieren, bevor ein Ereignis eintritt. Zwei wesentliche Ansätze in diesem Bereich sind raumplanerische und technische Schutzmaßnahmen.

#### 5.1.1 Raumplanerische Ansätze

Raumplanerische Ansätze sind für die Vermeidung von Schäden durch Starkregenereignisse von zentraler Bedeutung. Sie sind darauf ausgerichtet städtische und ländliche Raumstrukturen so zu gestalten, dass das Risiko von Überschwemmungen und deren Auswirkungen reduziert wird. Wichtige Strategien umfassen:

- **Flächenversiegelung reduzieren.** Durch die Begrenzung der Flächenversiegelung kann die Versickerung von Regenwasser verbessert werden. Vor allem Maßnahmen wie die Schaffung von Grünflächen und Versickerungsmulden (siehe Abb. 7) sind hierbei entscheidend.

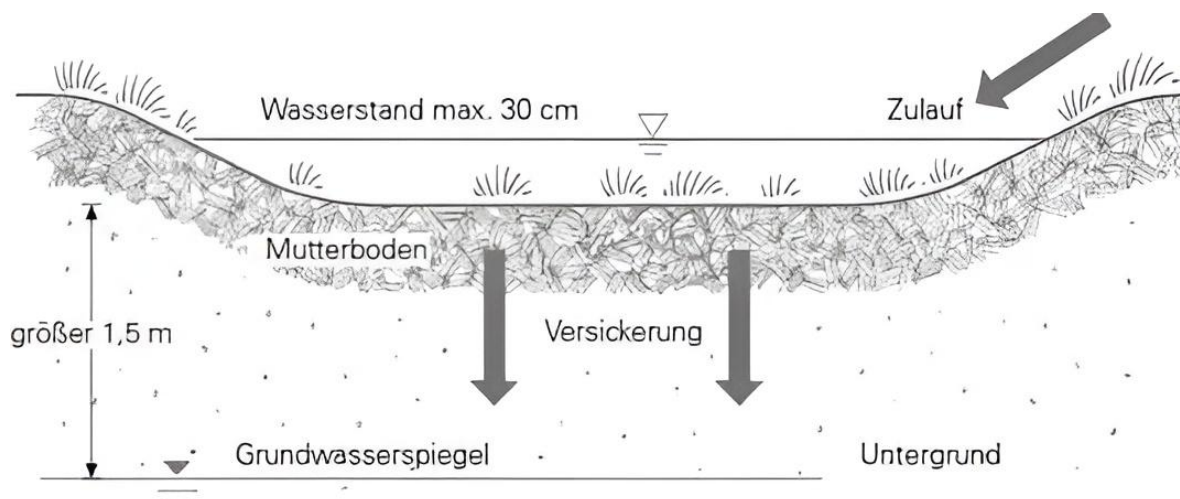


Abbildung 7: Aufbau einer Versickerungsmulde (Baunetz\_Wissen, o.J)

- **Hochwasserschutzgebiete ausweisen.** Durch die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten wird verhindert, dass in hochwassergefährdeten Bereichen gebaut wird. Dies kann durch geeignete Planungsinstrumente und Bauvorschriften unterstützt werden.
- **Grüne Infrastruktur.** Die Integration von Grünflächen, wie Parks, Grünstreifen und Dachbegrünungen, fördert die Aufnahme und Speicherung von Niederschlagswasser. Solche Maßnahmen tragen zur Reduzierung von Oberflächenabfluss bei (Gill et al. 2007: 127-130).
- **Nachhaltige Stadtplanung.** Es werden Konzepte des Wassermanagements in die Stadtentwicklung integriert. Dies umfasst die Berücksichtigung von Wasserläufen und natürlichen Senken bei der Bauplanung.

Die aufgeführten Maßnahmen sollten von Beginn an Teil der städtebaulichen und verkehrstechnischen Konzeption sein. Schließlich ist es wichtig bei der Bebauungsplanung, natürliche Wasserscheiden, mögliche Zuflüsse von angrenzenden Gebieten, Fließwege innerhalb des Plangebietes und natürliche Überflutungsgebiete zu berücksichtigen (Stark gegen Starkregen, 2024).

### 5.1.2 Technische Schutzmaßnahmen

Technische Schutzmaßnahmen bieten eine zusätzliche Ebene der Sicherheit vor Starkregenereignissen und ergänzen die raumplanerischen Ansätze. Sie umfassen bauliche und technische Lösungen, die darauf abzielen Wasser effizient abzuleiten, um Schäden zu minimieren.

- **Regenwasserkanäle und Rückhaltebecken.** Der Ausbau und die Modernisierung der Regenwasserkanalisation sind essentiell, um große Wassermengen schnell und effizient abzuleiten. Rückhaltebecken können überschüssiges Wasser aufnehmen und die Abflussmenge regulieren.
- **Durchlässige Oberflächenmaterialien.** Die Verwendung von durchlässigen Materialien für Straßen und Wege ermöglicht eine bessere Versickerung von Regenwasser. Beispiele sind Pflastersteine mit Zwischenräumen oder spezielle Asphaltmischungen.

- **Retention und Versickerungssysteme.** Systeme wie Rigolen (siehe Abb. 8), Versickerungsmulden und Retentionsdachflächen helfen dabei, Regenwasser vor Ort zu speichern und langsam in den Boden abzugeben. Dies verringert den Oberflächenabfluss und entlastet die Kanalisation.

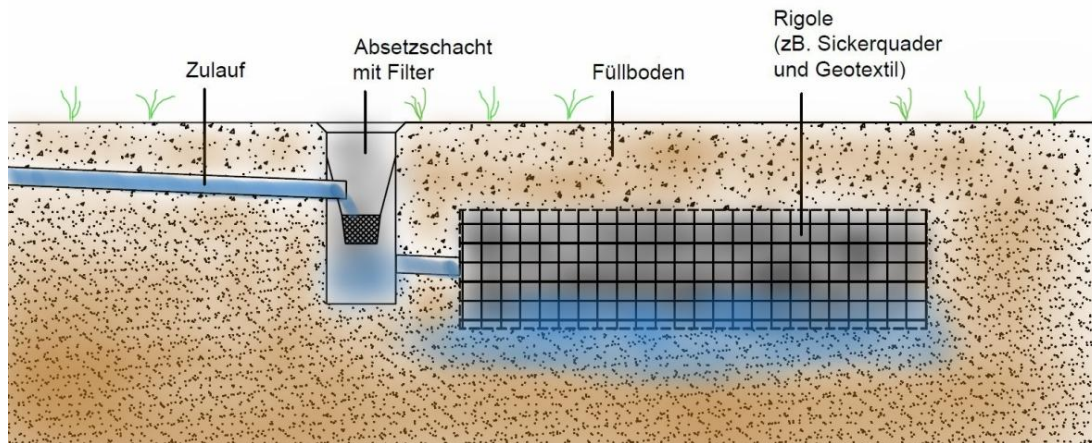


Abbildung 8: Aufbau einer Rigole (GreenLife, 2024)

- **Hochwasserschutzmauern und –deiche.** In besonders gefährdeten Gebieten können Schutzmauern und Deiche errichtet werden, um Überschwemmungen zu verhindern. Solche Bauwerke sind besonders in Regionen mit hohem Schadenspotenzial wichtig.

### 5.1.3 Integration und Koordination

Die Wirksamkeit präventiver Maßnahmen hängt von einer guten Integration und Koordination der verschiedenen Akteure ab. Eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Stadtplanern, Ingenieuren, Klimatologen und der lokalen Bevölkerung ist unerlässlich, um umfassende und nachhaltige Lösungen zu entwickeln. Durch den Austausch von Wissen und die Kombination unterschiedlicher Fachkompetenzen können effektive Strategien und Maßnahmen entstehen, die auf die spezifischen Bedürfnisse und Herausforderungen der Region abgestimmt sind.

Politische Unterstützung und ausreichende finanzielle Mittel sind ebenso von großer Bedeutung für die erfolgreiche Implementierung präventiver Maßnahmen. Ohne die notwendigen Ressourcen sind selbst die besten Pläne und Konzepte kaum umsetzbar. Daher ist es wichtig, dass Entscheidungsträger auf allen Ebenen - von der kommunalen bis zur nationalen Ebene - die Bedeutung von Präventionsmaßnahmen erkennen und entsprechend fördern.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Bewusstseinsbildung und Beteiligung der Bevölkerung. Durch Informationskampagnen und partizipative Planungsprozesse kann die Akzeptanz für präventive Maßnahmen erhöht werden. Wenn die Bevölkerung die Risiken versteht und die Vorteile präventiver Maßnahmen erkennt, steigt die Bereitschaft diese Maßnahmen zu unterstützen und aktiv daran mitzuwirken. Dies kann durch regelmäßige Workshops, öffentliche Diskussionen und die Einbindung von Bürgern in Entscheidungsprozesse erreicht werden.

## 5.2 Bewältigungsstrategien

Für den Umgang mit Starkregenereignissen sind durchdachte Bewältigungsstrategien essenziell. Sie konzentrieren sich auf die unmittelbare Reaktion während und kurz nach solchen Ereignissen, um die Auswirkungen zu minimieren und die Sicherheit der Bevölkerung zu gewährleisten. Dazu gehören Frühwarnsysteme sowie Katastrophenschutz- und Notfallplanungen. Diese Maßnahmen zielen darauf ab die Reaktionsfähigkeit zu verbessern und Schäden zu reduzieren.

### 5.2.1 Frühwarnsysteme

Frühwarnsysteme sind unerlässlich, um die Bevölkerung rechtzeitig über bevorstehende extreme Wetterphänomene zu informieren und entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu ermöglichen. Sie tragen maßgeblich dazu bei die Resilienz von Gemeinden gegenüber Naturgefahren zu erhöhen. Durch rechtzeitige Warnungen können Menschen evakuiert, Eigentum gesichert und Notfallmaßnahmen eingeleitet werden. Laut der Weltorganisation für Meteorologie können effektive Frühwarnsysteme die Verluste an Menschenleben und Sachwerten erheblich reduzieren (WMO 2015: 1). Die Wirksamkeit eines Frühwarnsystems hängt von der Präzision und Zuverlässigkeit der eingesetzten Technologien ab. Hierzu gehören:

- 1) **Meteorologische Vorhersagemodelle.** Moderne Wettervorhersagemodelle, wie das Global Forecast System (GFS) oder das European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), spielen eine zentrale Rolle für präzise Vorhersagen von Starkregenereignissen. Diese Modelle basieren auf umfangreichen Datenanalysen und Simulationen (ECMWF, 2024).



- 2) **Radarsysteme.** Wetterradare erfassen Echtzeit-Daten über Niederschlagsmuster. Sie sind besonders nützlich, um plötzliche Starkregenereignisse zu erkennen. Doppler-Radar-Technologien bieten hierbei eine verbesserte Erkennung und Verfolgung von Regenzellen.
- 3) **Satellitenbeobachtungen.** Satelliten liefern wertvolle Daten zur Überwachung von Wettersystemen und zur Erkennung großräumiger Wetterphänomene. Sie bieten kontinuierliche Beobachtungen der Atmosphäre und unterstützen die Frühwarnung.
- 4) **Hydrologische Modelle.** Diese Modelle berechnen die Auswirkungen von Niederschlägen auf Flusssysteme und Bodenfeuchte. Beispiele sind das Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) und das MIKE SHE Modell (DHI, 2024).
- 5) **Sensor-Netzwerke.** Bodensensoren und automatische Wetterstationen liefern kontinuierlich Daten zu Niederschlagsmengen, Bodenfeuchte und Wasserständen. Diese Daten fließen in die Modelle ein und verbessern die Genauigkeit der Vorhersagen (WMO 2015: 18-19).

Die erfolgreiche Implementierung eines Frühwarnsystems erfordert eine gründliche Planung, den Einsatz modernster Technologien und eine klare Definition der Verantwortlichkeiten. Ein zentraler Schritt ist hier die Datenintegration und Kommunikation, bei der die gesammelten Informationen zentralisiert und in verständliche Warnmeldungen umgewandelt werden. Dies setzt robuste Kommunikationsinfrastrukturen und eine effiziente Datenverarbeitung voraus.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die lokale Anpassung und Schulung. Das beinhaltet die Einweisung der Bevölkerung und der Behörden im Umgang mit Warnmeldungen und Notfallmaßnahmen, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten im Ernstfall angemessen reagieren können.

Schließlich ist die regelmäßige Überprüfung und Wartung der Systeme entscheidend, um ihre Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Dazu gehört auch die Simulation von Notfallszenarien, um die Funktionalität der Systeme zu testen und gegebenenfalls Verbesserungen vorzunehmen. Durch diese Maßnahmen kann ein Frühwarnsystem effektiv zur Risikominderung und zum Schutz der Bevölkerung beitragen.

Die Implementierung von Frühwarnsystemen ist mit einer Vielzahl von Hürden verbunden, die überwunden werden müssen, um ihre Effektivität zu gewährleisten. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Faktoren aufgeführt, die bei der Einführung und dem Betrieb solcher Systeme eine zentrale Rolle spielen:

- 1) **Technische und finanzielle Ressourcen.** Der Aufbau und die Wartung von Frühwarnsystemen erfordern erhebliche Investitionen. Finanzierungsmöglichkeiten durch staatliche Mittel und internationale Förderprogramme sind daher essenziell.
- 2) **Datenverfügbarkeit und -qualität.** Die Genauigkeit der Vorhersagen hängt von der Verfügbarkeit und Qualität der Daten ab. Eine Verbesserung der Datenerhebung und -verarbeitung ist notwendig, um präzisere Vorhersagen zu ermöglichen.
- 3) **Bevölkerungsakzeptanz.** Die Bevölkerung muss die Bedeutung von Frühwarnsystemen erkennen und die Warnungen ernst nehmen. Aufklärungskampagnen und regelmäßige Schulungen können dazu beitragen, das Vertrauen und die Akzeptanz zu erhöhen (UNDRR 2015: 15).

Frühwarnsysteme sind ein unverzichtbares Instrument im Risikomanagement extremer Wetterphänomene. Durch den Einsatz moderner Technologien und die enge Zusammenarbeit verschiedener Akteure können sie maßgeblich dazu beitragen, Schäden zu minimieren und Leben zu retten. Trotz der bestehenden Herausforderungen bieten Frühwarnsysteme eine wirksame Möglichkeit, die Resilienz gegenüber Naturgefahren zu erhöhen.

## 5.2.2 Katastrophenschutz und Notfallplanung

Der Katastrophenschutz und die Notfallplanung bilden das Rückgrat der operativen Maßnahmen zur Schadensbegrenzung und zum Schutz der Bevölkerung bei Starkregenereignissen. Ein effektiver Katastrophenschutz basiert auf einem integrierten Managementansatz, der Prävention, Vorbereitung, Reaktion und Wiederherstellung umfasst. Im Kontext von Starkregenereignissen in der Bodensee-region beinhaltet dies die Implementierung von Hochwasserschutzmaßnahmen, die Verbesserung der Entwässerungsinfrastruktur, die Schulung von Einsatzkräften und die Erstellung von Evakuierungsplänen. Während eines Ereignisses liegt der Fokus

auf der Koordination von Rettungseinsätzen und der Bereitstellung von Notunterkünften. Nach dem Ereignis stehen die Unterstützung beim Wiederaufbau sowie die Evaluierung zur Verbesserung zukünftiger Maßnahmen im Vordergrund.

Die Notfallplanung für Starkregenereignisse erfordert eine detaillierte Ausarbeitung von Handlungsabläufen und Zuständigkeiten. Klar definierte Kommunikationswege und Entscheidungsstrukturen sowie vorab festgelegte Einsatzpläne für verschiedene Szenarien sind wesentliche Elemente einer effektiven Notfallplanung. Regelmäßige Übungen zur Überprüfung und Verbesserung der Abläufe tragen ebenfalls entscheidend zur Wirksamkeit bei. Ein funktionierendes Krisenmanagement setzt zudem auf die Einbindung verschiedener Akteure, darunter lokale Behörden, Rettungsdienste, Feuerwehren und das Technische Hilfswerk.

Ebenso spielen moderne Technologien eine zunehmend wichtige Rolle im Katastrophenschutz. Geografische Informationssysteme (GIS) ermöglichen eine präzise Kartierung von Risikozonen und unterstützen somit die Einsatzplanung (Fekete 2020: 7). Drohnen können für Erkundungsflüge und die Lagebeurteilung eingesetzt werden, während mobile Apps zur schnellen Information und Koordination der Bevölkerung dienen (Kryvasheyeu et al. 2016: 1).

Die Unvorhersehbarkeit von Starkregenereignissen und die oft kurze Vorwarnzeit erfordern flexible und schnell einsetzbare Strukturen. Zudem kann die Überlastung von Kommunikationsnetzen in Krisensituationen die Koordination erschweren. Lösungsansätze umfassen die Entwicklung redundanter Kommunikationssysteme und die Förderung der Selbsthilfefähigkeit der Bevölkerung durch Aufklärung und Training. Zudem wird die Verbesserung der regionalen Zusammenarbeit zur Bündelung von Ressourcen angestrebt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein effektiver Katastrophenschutz und eine fundierte Notfallplanung für die Bewältigung von Starkregenereignissen in der Bodenseeregion unerlässlich sind. Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Anpassung dieser Strategien an sich verändernde klimatische Bedingungen und neue technologische Möglichkeiten bleiben eine zentrale Aufgabe für Kommunen und Katastrophenschutzbehörden. Durch die Integration verschiedener Maßnahmen und die Nutzung moderner Technologien kann die Resilienz der Region gegenüber Starkregen erhöht und potenzielle Schäden minimiert werden.

## 5.3 Nachsorge und Wiederaufbau

### 5.3.1 Schadenserfassung und -bewertung

Der erste Schritt nach einem Starkregenereignis ist eine umfassende Schadenserfassung. Diese Aufnahme und Bewertung bilden die Grundlage für alle weiteren Maßnahmen im Rahmen der Nachsorge und des Wiederaufbaus. Hierbei werden moderne Technologien wie Drohnen und GIS-Systeme eingesetzt, um schnell einen Überblick über das Schadensausmaß zu erhalten. Die genaue Dokumentation der Schäden ist nicht nur für Versicherungszwecke wichtig, sondern auch für die Analyse der Wirksamkeit bestehender Schutzmaßnahmen und die Identifikation von Schwachstellen (Kreibich et al. 2017: 954-957).

### 5.3.2 Kurzfristige Maßnahmen

Unmittelbar nach dem Ereignis stehen die Sicherung der Infrastruktur und die Wiederherstellung der Grundversorgung im Vordergrund. Dazu gehören die Reparatur von Straßen, die Wiederherstellung der Strom- und Trinkwasserversorgung sowie die Bereitstellung von Notunterkünften, Lebensmitteln und medizinischer Versorgung (DKKV 2015: 146-152). Gleichzeitig müssen Sofortmaßnahmen zur Verhinderung von Folgeschäden eingeleitet werden. Zunächst muss das Wasser aus Kellern abgepumpt werden, bevor die Trocknung der Gebäude zur Vermeidung von Schimmelbildung erfolgen kann.

In der Regel werden diese Maßnahmen von lokalen Behörden in Zusammenarbeit mit Hilfsorganisationen wie dem Technischen Hilfswerk (THW), der lokalen Feuerwehr (siehe Abb. 9) und dem Deutschen Roten Kreuz (DRK) koordiniert.



Abbildung 9: Maßnahmen der Feuerwehr Ochsenhausen, Hochwasser 2024 (tagesschau,2024)

### **5.3.3 Langfristiger Wiederaufbau**

Der langfristige Wiederaufbau bietet die Chance, die Resilienz gegenüber bevorstehenden Starkregenereignissen zu erhöhen. Dabei sollte das Konzept des „Build Back Better“ verfolgt werden, das eine Verbesserung der Strukturen und Prozesse im Vergleich zum Zustand vor dem Ereignis vorsieht (UNDRR 2015: 21f).

Die Widerstandsfähigkeit gegen zukünftige Starkregenfälle kann durch die Implementierung verbesserter Entwässerungssysteme, die Schaffung von Retentionsflächen und die Anpassung von Bauvorschriften erhöht werden. Dies umfasst den Einsatz klimaresilienter Baumaterialien, die Förderung von grüner Infrastruktur und die Anpassung der Wassermanagementsysteme, um Überschwemmungen besser zu bewältigen. Durch die Integration solcher nachhaltigen Praktiken wird die Region insgesamt widerstandsfähiger gemacht.

## 6 Konzepte zur klimaresilienten Stadtgestaltung

### 6.1 Grüne Infrastruktur

Die Ansätze der grünen Infrastruktur zielen darauf ab, die natürliche Umwelt in die Stadtplanung zu integrieren, um die negativen Auswirkungen von extremen Wetterereignissen zu mindern und gleichzeitig die Lebensqualität in urbanen Gebieten zu verbessern (Klima-Werk, 2024).

Grüne Infrastruktur umfasst ein Netzwerk aus natürlichen Flächen wie Parks, Grünanlagen, Dach- und Fassadenbegrünungen sowie urbane Wälder. Diese Flächen verbessern die Luftqualität, regulieren die Temperatur und erhöhen die Biodiversität. Abbildung 10 zeigt die verschiedenen Arten der möglichen Begrünung.

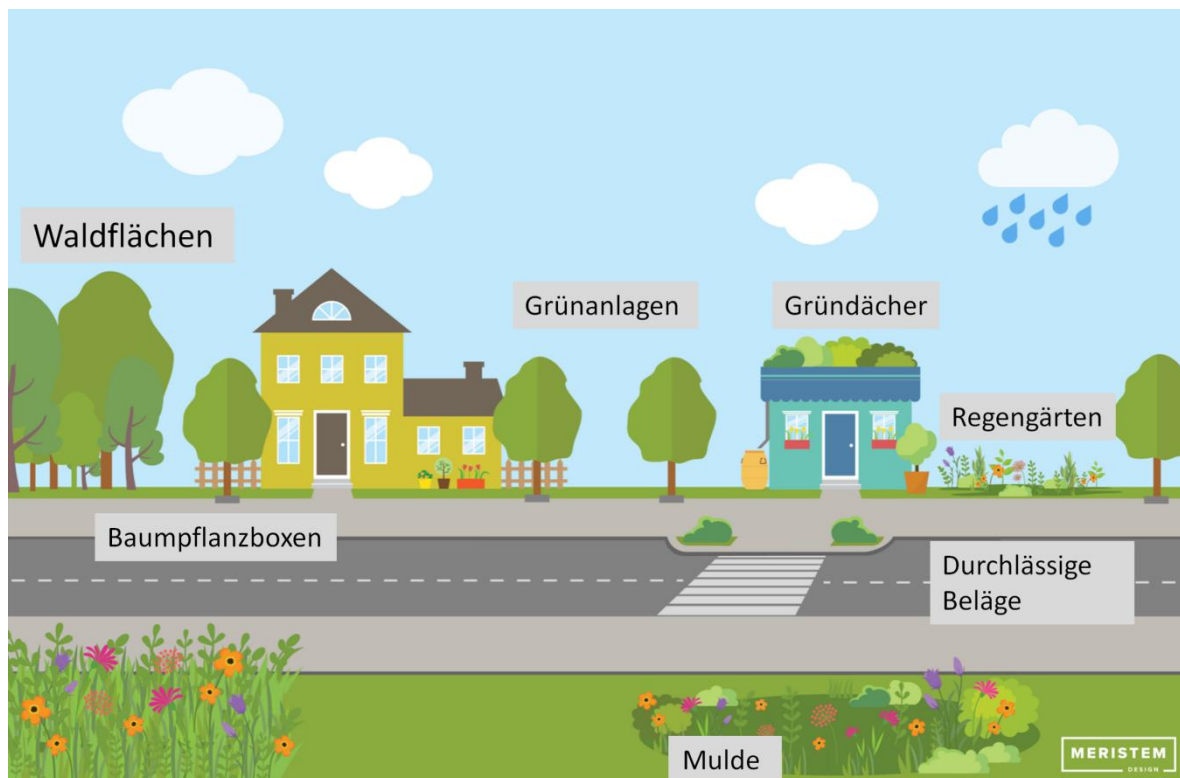


Abbildung 10: Grüne Infrastruktur (Meristem Design, 2024) bearbeitet

Besonders relevant für den Umgang mit Starkregen ist ihre Fähigkeit, große Mengen Niederschlag zu absorbieren und zu speichern, wodurch die Belastung der städtischen Entwässerungssysteme reduziert wird. So können begrünte Dächer und Fassaden als durchaus effektive Maßnahmen zur Wasserrückhaltung und Verdunstungskühlung eingesetzt werden. Sie tragen dazu bei, das Mikroklima zu verbessern und die städtischen Wärmeinseleffekte zu reduzieren (Technische Universität München, 2021).

Ein weiteres Konzept sind die Naturnahen Lösungen, auch bekannt als Nature-Based Solutions (NBS). Diese nutzen natürliche Prozesse und Materialien, um städtische Herausforderungen zu bewältigen. Beispiele hierfür sind die Renaturierung von Flussläufen, die Anlage von Retentionsräumen in Überflutungsgebieten und die Schaffung von Feuchtgebieten. Diese Maßnahmen erhöhen die natürliche Rückhaltefähigkeit von Wasser und schaffen gleichzeitig wertvolle Lebensräume für Flora und Fauna.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass grüne Infrastruktur und naturnahe Lösungen wesentliche Bestandteile einer klimaresilienten Stadtgestaltung sind. Sie bieten effektive Mittel zur Bewältigung von Starkregenereignissen und tragen gleichzeitig zur Schaffung lebenswerter, nachhaltiger urbaner Umgebungen bei. Die erfolgreiche Umsetzung erfordert jedoch eine kontinuierliche Anpassung und Weiterentwicklung der Maßnahmen an die sich verändernden klimatischen Bedingungen.

## 6.2 Wassersensible Stadtentwicklung

Die wassersensible Stadtentwicklung ist ein innovativer Ansatz in der Stadtplanung, der darauf abzielt den natürlichen Wasserkreislauf in urbanen Gebieten zu erhalten und zu fördern. Als Ziele gelten die Minimierung von Überflutungsrisiken und die Sicherung der Wasserversorgung. Zudem soll die Lebensqualität erhöht und die städtische Umwelt widerstandsfähiger gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels gemacht werden (LAWA 2021: 4).

### **Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung:**

- 1) **Reduktion versiegelter Flächen.** Verwendung von durchlässigen Materialien für Straßen, Gehwege und Parkplätze, um die Versickerung von Regenwasser zu fördern und die Belastung der Kanalisation zu verringern (siehe Abb. 11).
- 2) **Multifunktionale Flächennutzung.** Städtische Räume werden so gestaltet, dass sie bei Starkregen als temporäre Wasserspeicher dienen können, z.B. Grünflächen und Sportplätze. Das gesammelte Wasser kann dann für die Bewässerung von Grünflächen oder andere nicht-trinkwasserrelevante Zwecke genutzt werden, was zu einer nachhaltigen Wasserwirtschaft beiträgt.

- 3) **Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung.** Hierbei wird Regenwasser vor Ort zurückgehalten, versickert oder verdunstet, anstatt es schnell abzuleiten. Dies verringert die Belastung der Kanalisation und senkt das Risiko von Überschwemmungen. Desweiteren wird die Grundwasserneubildung unterstützt.
- 4) **Schutz und Wiederherstellung natürlicher Wasserläufe.** Dieser Vorgang schafft nicht nur zusätzlichen Retentionsraum, sondern verbessert auch die ökologische Qualität und den Erholungswert städtischer Gewässer.
- 5) **Partizipative Planung.** Durch die Einbindung der Bevölkerung und relevanter Akteure in den Planungsprozess können lokale Bedürfnisse und Wissen berücksichtigt werden, was die Akzeptanz der Maßnahmen erhöht.

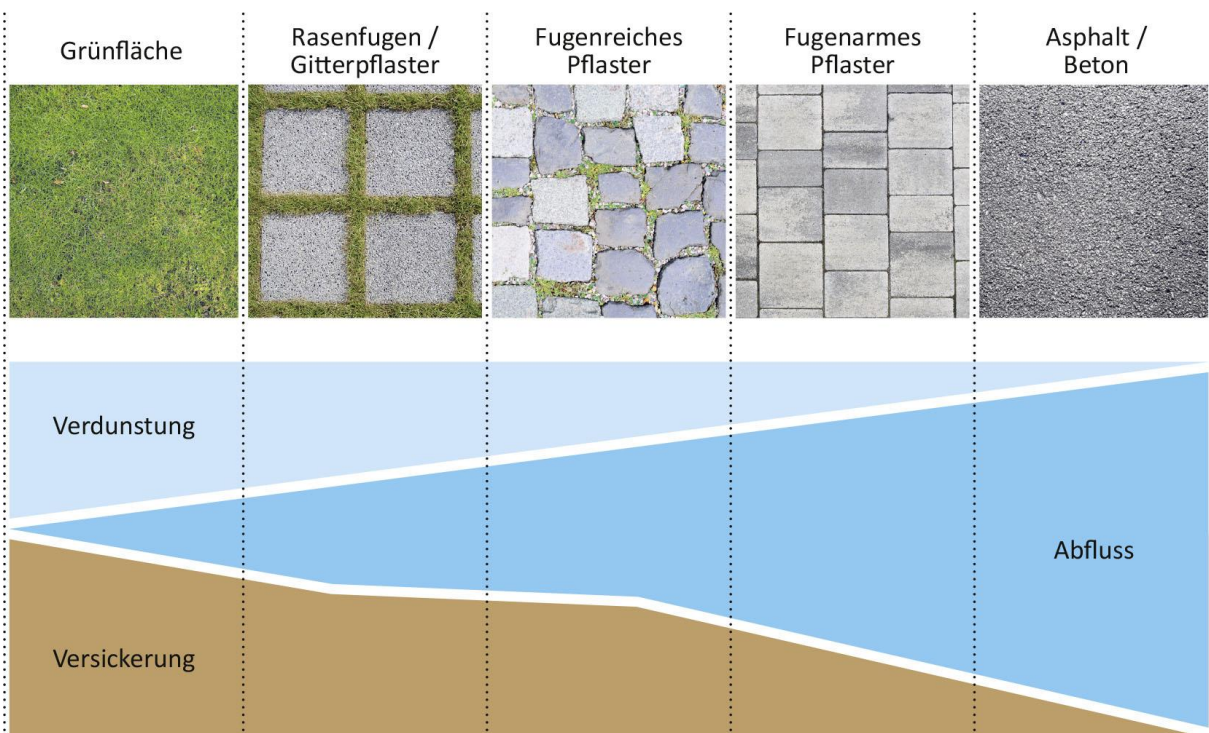


Abbildung 11: Einfluss Bodenbelag auf Versickerung, Verdunstung und Abfluss (SAL Abwasser, 2024)

Die Maßnahmen einer wassersensiblen Stadtplanung haben vielfältige positive Auswirkungen auf städtische Gebiete. Sie tragen erheblich zur Reduzierung des Hochwasserrisikos bei, indem sie den Oberflächenabfluss verringern und die natürliche Versickerung fördern. Gleichzeitig verbessern sie die Wasserqualität durch natürliche Filterprozesse und fördern die Grundwasserneubildung. Insgesamt machen diese Maßnahmen Städte widerstandsfähiger gegen die Auswirkungen des Klimawandels und tragen zu einer nachhaltigen und lebenswerteren urbanen Umgebung bei.



## 6.3 Innovative Architektur- und Ingenieurskonzepte

Die Entwicklung klimaresilienter Methoden erfordert den Einsatz innovativer Architektur- und Ingenieurskonzepte. Diese Konzepte konzentrieren sich darauf urbane Räume robuster und anpassungsfähiger gegenüber extremen Wetterereignissen und sich verändernden Umweltbedingungen zu gestalten. Im Folgenden werden einige zukunftsweisende Ansätze vorgestellt.

### 6.3.1 Schwammstadt-Konzept

Das Schwammstadt-Konzept ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Wasserbewirtschaftung in Städten. Das Kernprinzip fokussiert sich auf den Umgang mit Regenwasser direkt am Ort des Niederschlags. Anstatt das Wasser schnell in die Kanalisation zu leiten, wird es vor Ort aufgefangen und gespeichert. Dies wird durch die Schaffung von Flächen erreicht, die große Mengen Wasser aufnehmen und zeitverzögert wieder abgeben können (Umwelt Bundesamt, 2024). Abbildung 12 zeigt eine Zusammenstellung der verschiedenen Möglichkeiten, wie das Schwammstadt-Konzept eingesetzt werden kann.

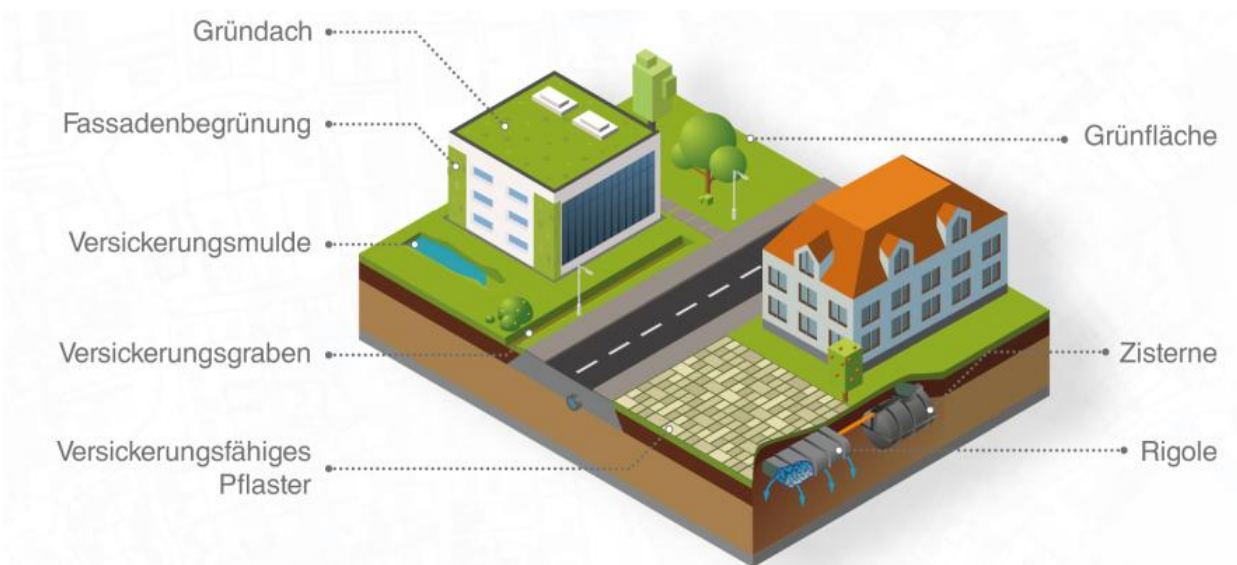


Abbildung 12: Darstellung Schwammstadt-Konzept (Hydrotec, 2021)

Dabei kommen folgende Maßnahmen zum Einsatz:

- 1) **Grüne Infrastruktur:** dazu zählen Grünflächen, Baumrigolen und begrünte Dächer und Fassaden;

- 2) **Wassersensible Stadtplanung:** tiefergelegte, wannenförmige Grünflächen und speziell angelegte Straßen zur oberirdischen Wasserableitung;
- 3) **Entsiegelung:** Reduzierung versiegelter Flächen zugunsten wasser-durchlässiger Materialien;
- 4) **Versickerungsmulden:** oft in Kombination mit Baumpflanzungen, die Stau-nässe vertragen;
- 5) **Nachhaltige Bewässerungssysteme:** Nutzung von gesammeltem Regen-wasser für die Bewässerung von Grünflächen und für andere nicht-trinkwasserrelevante Zwecke.

### 6.3.2 Smart-City-Technologien

In der modernen Stadtplanung spielen Smart-City-Technologien eine immer wichtigere Rolle. Diese Technologien nutzen das Internet der Dinge (IoT), Künstliche Intelligenz und digitale Simulationen, um städtische Prozesse zu optimieren und die Lebensqualität der Bewohner zu verbessern (BSI, 2022). Insbesondere im Bereich des Wassermanagements können Smart-City-Technologien erhebliche Vorteile bieten, indem sie die Effizienz durch Automatisierung steigern, die Reaktionszeiten verkürzen und die Ressourcennutzung optimieren. Im Weiteren wird der Einsatz moderner Technologien zur Optimierung des Wassermanagements in Städten betrachtet.

#### 6.3.2.1 IoT-basierte Sensoren zur Überwachung von Wasserpegeln

Das Internet der Dinge ermöglicht die Vernetzung von physischen Geräten, die Daten sammeln und miteinander austauschen können (Bundesnetzagentur, 2024). Im Kontext des Wassermanagements können diese Sensoren an kritischen Stellen installiert werden, um in der städtischen Infrastruktur kontinuierlich Daten über Wasserpegel, Durchflussmengen und Wasserqualität zu erfassen.

##### ***Anwendung und Vorteile:***

- 1) **Hochwasserschutz.** Sensoren entlang von Flüssen (siehe Abb. 13) und Kanälen messen den Wasserpegel in Echtzeit und warnen vor möglichen

Überschwemmungen. Diese Informationen werden direkt an die zuständigen Behörden weitergeleitet, die dann präventive Maßnahmen ergreifen können.



Abbildung 13: Pegelmessung an Brücken (IoT-Shop, 2024)

2) **Überwachung der Bodenfeuchte von Grünanlagen.** Während längerer Trockenperioden können Sensoren (siehe Abb. 14) die Bodenfeuchte messen und somit anzeigen, wo zusätzliche Bewässerung notwendig ist, um Schäden an Grünanlagen zu vermeiden.



Abbildung 14: IoT Bodenfeuchte Sensor (IoT-Shop, 2024)

3) **Regenwassermanagement:** In städtischen Gebieten können Sensoren den Füllstand von Regenwasserspeichern und Zisternen überwachen, um eine optimale Nutzung des gesammelten Wassers sicherzustellen.

### 6.3.2.2 Digitale Zwillinge zur Simulation und Optimierung von Wasserinfrastrukturen

Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Abbild eines physischen Systems, das dessen Verhalten simulieren und analysieren kann (IBM, 2024). Im Wassermanagement werden digitale Zwillinge eingesetzt, um die Leistung und Effizienz von Wasserinfrastrukturen zu überwachen und zu optimieren. Außerdem ermöglichen sie Szenarien durchzuspielen, um präventive Maßnahmen zu planen.

#### ***Anwendung und Vorteile:***

- 1) **Katastrophenmanagement.** Im Falle von Hochwasser- oder Starkregenereignissen können digitale Zwillinge genutzt werden, um die besten Maßnahmen zur Schadensbegrenzung zu identifizieren (Ford/ Wolf 2020: 4).
- 2) **Betriebsoptimierung.** Durch die Integration von Echtzeitdaten aus IoT-Sensoren können digitale Zwillinge den aktuellen Zustand der Wasserinfrastruktur genau abbilden und Optimierungspotenziale aufzeigen. Dies ermöglicht eine präzisere Steuerung und Wartung der Systeme.
- 3) **Infrastrukturanalyse.** Digitale Zwillinge ermöglichen es verschiedene Szenarien und ihre Auswirkungen auf die Wasserinfrastruktur zu simulieren. Dies ist besonders nützlich für die Planung neuer Projekte und die Bewertung der Leistungsfähigkeit bestehender Systeme.

## 7 Fallstudien aus der Bodenseeregion

In diesem Kapitel werden zwei unterschiedliche Ansätze zur Bewältigung der Herausforderungen durch Starkregen und Hochwasser aus der Bodenseeregion detailliert untersucht. Anhand der Fallstudien werden die jeweils umgesetzten Maßnahmen und Strategien vorgestellt und analysiert. Anschließend erfolgt eine vergleichende Analyse, die Best Practices identifiziert. Dabei werden übertragbare Ansätze herausgearbeitet, die auch in anderen Städten der Region angewendet werden können.

### 7.1 Fallstudie 1: Bregenz, Vorarlberg

Die Stadt Bregenz (siehe Abb. 15) am östlichen Ufer des Bodensees bietet ein ausgezeichnetes Beispiel für die Entwicklung, Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Bewältigung von Starkregenrisiken. Diese Fallstudie untersucht die Strategien, die Bregenz implementiert hat, um den Risiken von Starkregenereignissen zu begegnen.

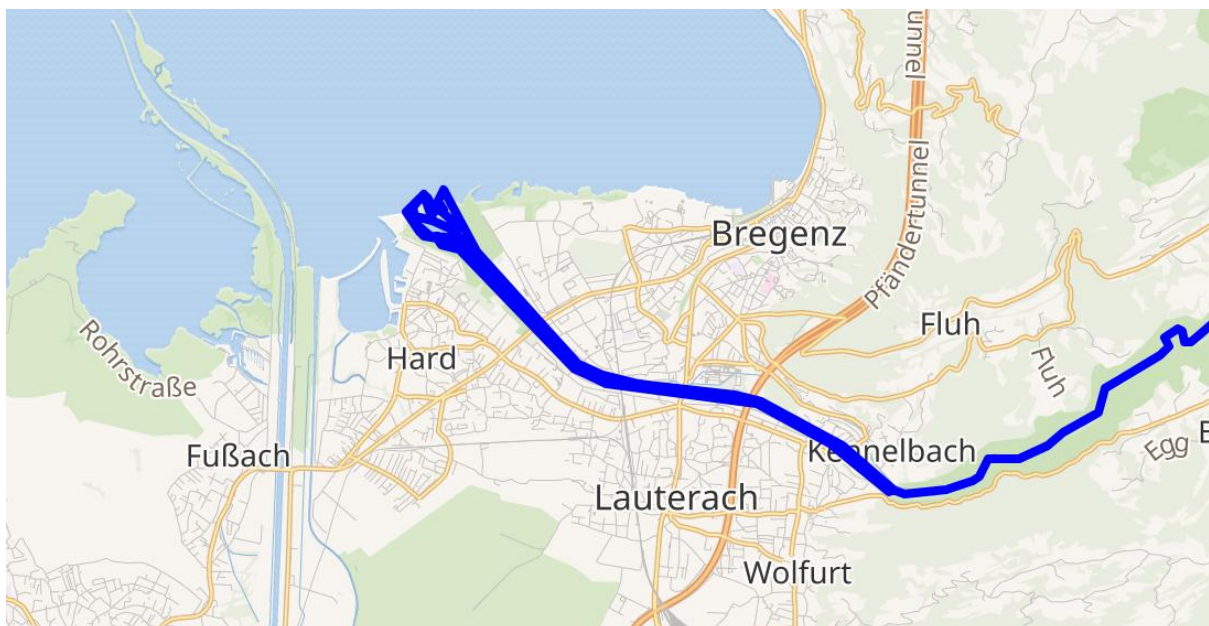


Abbildung 15: Verlauf der Bregenzenerach (blau markiert) im Stadtgebiet Bregenz (Wikipedia, 2024)



### 7.1.1 Geographische Besonderheiten

Bregenz befindet sich auf etwa 400 Metern über dem Meeresspiegel und ist von hügeligem bis bergigem Gelände umgeben. Eine wichtige Rolle spielt die Bregenzerach, ein Fluss, der von den Bergen durch die Stadt in den Bodensee fließt. Abbildung 16 zeigt den Verlauf der Bregenzerach (rot markiert) und deren Einzugsgebiet (türkis markiert). Aufgrund ihrer topographischen Beschaffenheit und der Größe des Einzugsgebietes neigt die Bregenzerach dazu, bei Starkregen schnell anzuschwellen und über die Ufer zu treten. Dies kann in den tiefer gelegenen Stadtteilen zu großflächigen Überflutungen führen. Historische Daten belegen, dass die Bregenzerach in der Vergangenheit wiederholt für Überschwemmungen in der Stadt verantwortlich war. Daher ist das Wassermanagement dieses Flusses ein zentraler Bestandteil des Hochwasserschutzes in Bregenz.

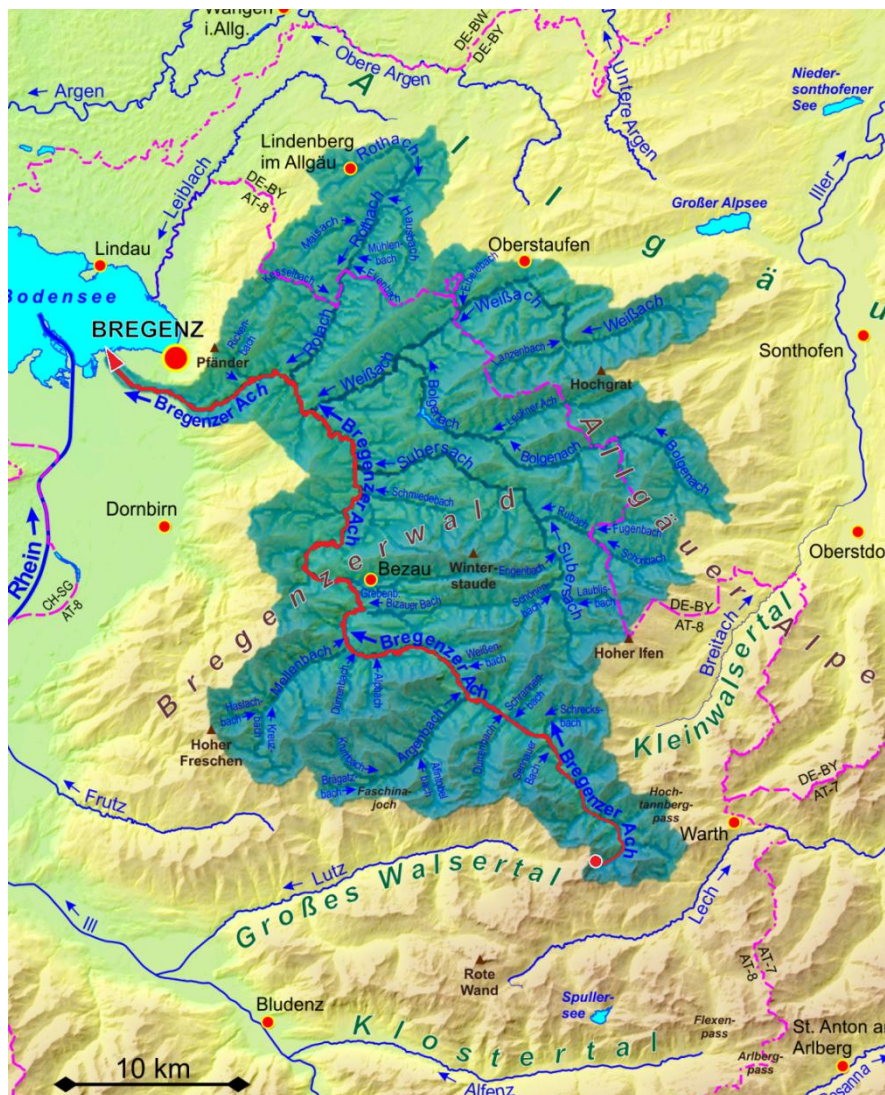


Abbildung 16: Verlauf und Einzugsgebiet der Bregenzerach (Wikipedia, 2024) bearbeitet

## 7.1.2 Maßnahmen für Hochwasserschutz und Starkregenmanagement

Die Stadt Bregenz hat in den letzten Jahren viele Maßnahmen ergriffen, um sich gegen die zunehmenden Risiken von Hochwasser und Starkregen zu schützen. Die Maßnahmen basieren auf detaillierten hydrologischen Studien und berücksichtigen die spezifischen Gegebenheiten der Region. Eine umfangreiche Zusammenfassung der umgesetzten und geplanten Handlungen ist im „Maßnahmen und Aktionsplan 2022-2024“ aufgeführt. Im Einzelnen wurden folgende Maßnahmen implementiert (Stadt Bregenz, 2022):

- **Ausbau der Bregenzerach für 100-jähriges Hochwasser:** Gewährleistung eines 50 cm Freibords;
- **Verlegung des Mischwasserablaufs in die Bregenzerach:** Verbesserung des Abwassermanagements;
- **Erweiterung des Kanalsystems:** Installation von Hochwasserhebwerken in der Kläranlage;
- **Pumpstationen in der Innenstadt:** Drei verschiedene Pumpstationen zur Entwässerung des Gebietes;
- **Schwammstadtprinzip:** Erhöhung der Wasserspeicherung in urbanen Gebieten;
- **Alleekonzept der Stadt Bregenz:** Erhöhung der Begrünung und Kühlung durch Bäume;
- **Überdachung und Begrünung von Bushaltestellen:** Erhöhung der Retention und der Hitzereduktion;
- **Naturnahe und begrünte Friedhöfe:** Beitrag zur urbanen Kühlung und Erhöhung der Biodiversität.

## 7.2 Beispiel 2: Konstanz, Baden-Württemberg

Als zweite Fallstudie werden die Maßnahmen der Stadt Konstanz (Abb. 17) am westlichen Ufer des Bodensees untersucht. Um den Herausforderungen durch den Klimawandel zu begegnen, hat die Stadt ein umfassendes Maßnahmenpaket umgesetzt, das speziell auf die klimatischen und topographischen Gegebenheiten der Region zugeschnitten ist. Im Folgenden werden die Strategien und Initiativen der Stadt Konstanz auf ihre Wirksamkeit untersucht.

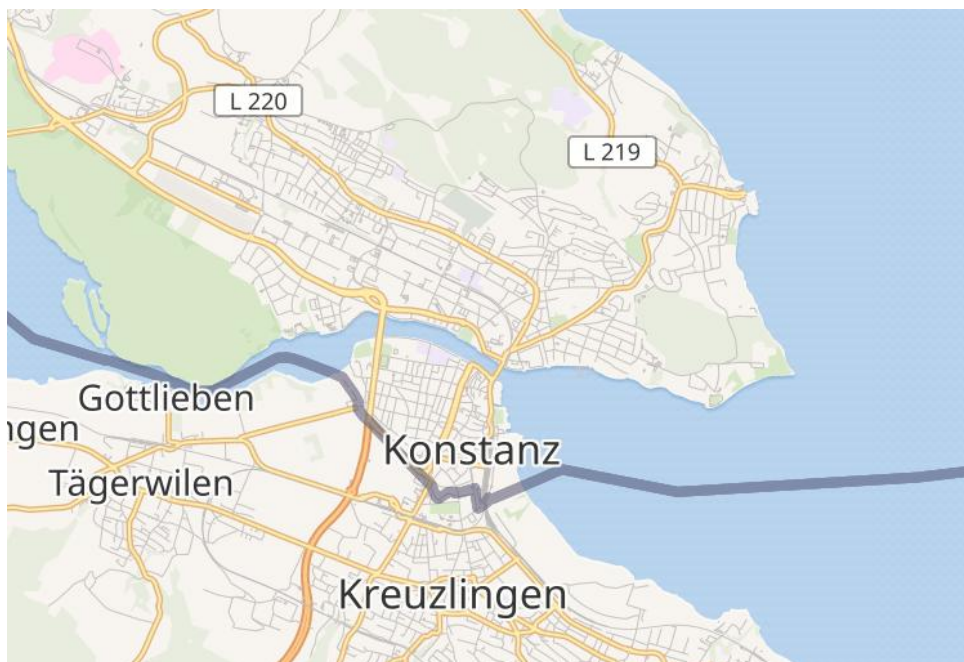


Abbildung 17: Untersuchungsgebiet Konstanz, Quelle OpenStreetMap

### 7.2.1 Das Projekt CoKLIMAx

Das CoKLIMAx-Projekt ist ein kooperatives Forschungsprojekt zwischen mehreren Institutionen, darunter die HTWG-Konstanz, die Stadt Konstanz, die Universität Stuttgart (ILGS), und das Climate Service Center Germany (GERICS).

Ziel des Projekts ist es Copernicus-Satellitendaten sowie lokale Datenquellen zu nutzen, um Klimaresilienz-Maßnahmen für Städte am Beispiel von Konstanz zu entwickeln und umzusetzen. Der Fokus liegt dabei auf den Umweltfaktoren Wasser, Wärme und Vegetation. Durch die Analyse und Verarbeitung dieser Daten sollen Entscheidungsgrundlagen für eine klimaresiliente Stadtplanung geschaffen werden, die auf die spezifischen Auswirkungen des Klimawandels in urbanen Räumen eingehen (CoKLIMAx, 2023).



### 7.2.1.1 Modellierungen für Hoch- und Niedrigwasser am Bodensee bis 2100

Im Zuge des CoKLIMAx Projektes wurde ein umfassender Bericht zur Prognose von Hoch- und Niedrigwasser in der Bodenseeregion erstellt. Verfasst von dem Tajeda Ingenieurbüro, bietet der Bericht eine detaillierte Analyse der Wasserstände bis zum Jahr 2100 unter Berücksichtigung verschiedener Representative Concentration Pathways (RCP) Szenarien.

RCPs sind Szenarien, die mögliche Entwicklungen der Treibhausgaskonzentrationen und deren Auswirkungen auf das Klima bis zum Jahr 2100 beschreiben. Sie bieten verschiedene Zukunftsszenarien, die von sehr niedrigen (RCP 2.6) bis zu sehr hohen (RCP 8.5) Emissionsniveaus reichen. RCP 2.6 repräsentiert ein Szenario mit intensiven Klimaschutzmaßnahmen und niedrigen Treibhausgasemissionen, während RCP 4.5 und RCP 8.5 Szenarien mit moderaten bzw. hohen Emissionen darstellen. In Abbildung 18 sieht man die mögliche Entwicklung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration je nach RCP Szenario.

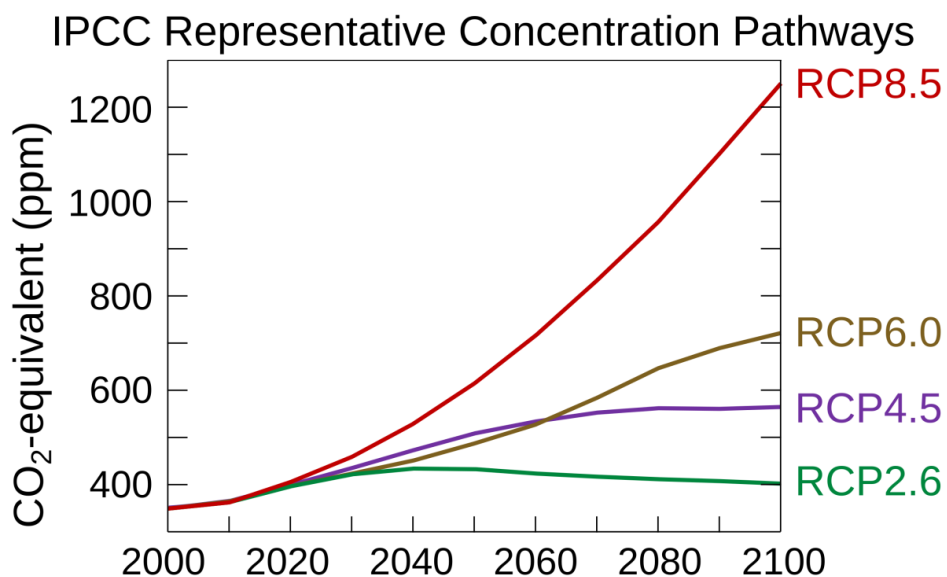


Abbildung 18: Szenarien der Entwicklung atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Äquivalente in Abhängigkeit von RCPs (Wikipedia, 2023)

Ziel des Projektes ist es, fundierte Daten und Modelle bereitzustellen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen und Hochwasserrisiken in der Bodenseeregion besser zu verstehen und geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln.

### **7.2.1.2 Advanced Municipal Climate Data Store Toolbox (AMCDS-Toolbox)**

Im Rahmen des CoKLIMAx-Projekts wurde die Advanced Municipal Climate Data Store Toolbox (AMCDS-Toolbox) entwickelt. Diese Toolbox bietet niedrigschwellige Werkzeuge und effiziente Arbeitsprozesse für den Umgang mit Klimadaten. Das Projekt nutzt gezielt verfügbare Geodaten aus dem Climate Data Store (CDS) von Copernicus sowie Geodaten aus lokalen In-situ-Sensoren.

Mit der AMCDS-Toolbox können Kommunen Klimadaten leichter in ihre Planungsprozesse einbeziehen. Sie bietet eine verständliche Konfiguration und Bereitstellung von Geoinformationen für die alltägliche Arbeit der kommunalen Fachabteilungen. Durch die Analyse und Projektion von Klimadaten unterstützt die Toolbox fundierte Entscheidungen zur klimaresilienten Stadtplanung.

Das Projekt liefert einen Mehrwert indem es einen konkreten Blick auf verständlich aufbereitete Geodaten aus verschiedenen Quellen ermöglicht. Besonders der Copernicus Climate Data Store (CDS) wird dabei zu einem zugänglichen und nützlichen Baustein. Dieser war bisher für viele Kommunen unerreichbar, ungenutzt und meist unbekannt. So wird die kommunale Planung und Entwicklung nachhaltig unterstützt und gefördert.

### **7.2.1.3 Bluespot Analyse und Starkregenerisikokarten**

Die Bluespot-Analyse und die Erstellung von Starkregenerisikokarten sind zentrale Instrumente im Risikomanagement von Starkregenereignissen. Diese Methoden wurden im Rahmen des CoKLIMAx-Projekts speziell auf die Stadt Konstanz angewendet, um urbane Gebiete auf ihre Vulnerabilität zu untersuchen. Die folgenden Bilder (Abb. 19-21) sind aus einer interaktiven Storymap, die verschiedene Starkregenereignisse und Szenarien darstellt (Tewes, 2023).

#### **Bluespot-Analyse**

Bluespots sind natürliche oder künstliche Vertiefungen in der Landschaft, in denen sich Regenwasser sammelt. Diese Stellen sind bei Starkregen besonders gefährdet. Die Bluespot-Analyse identifiziert und bewertet diese kritischen Bereiche systematisch. Für die Modellierung der Bluespots in Konstanz wurde das Arc-Malstrom-Modell genutzt.

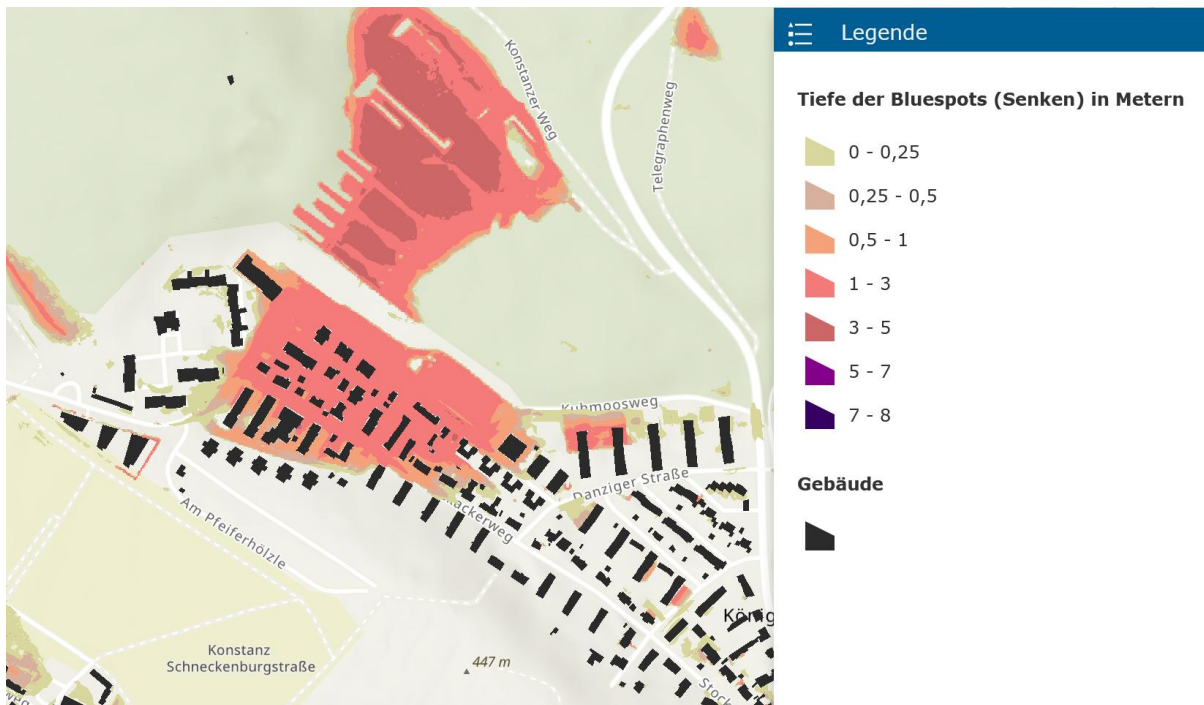


Abbildung 19: Bluespot Analyse „Am Pfeiferhölzle“ Konstanz (Tewes, 2023)

Das Resultat einer Bluespot Analyse (siehe Abb.19) ist eine Karte in der die jeweiligen Vertiefungen in der Landschaft farblich markiert sind. Am Beispiel des Gebietes „Am Pfeiferhölzle“ in Konstanz sieht man, dass es hier ein großes Potential für Überflutungen gibt.

### Starkregenrisikokarten

Aufbauend auf den Ergebnissen der Bluespot-Analyse und weiteren hydrologischen Modellen werden Starkregenrisikokarten erstellt. Diese Karten

- identifizieren gefährdete Gebiete;
- visualisieren potenzielle Auswirkungen von Starkregen;
- sind für kommunale Fachabteilungen verständlich aufbereitet.

Anhand des Beispielgebietes „Am Pfeiferhölzle“ sieht man in der Starkregenrisikokarte (siehe Abb. 20), dass hier die Senken zwischen 10 und 20% ihrer Füllhöhe erreichen. Bei dem hier dargestellten Regenereignis handelt es sich um eine Prognose mit folgenden Parametern:

- **RCP 8.5:** Sehr hohes Emissionsniveau
- **2071 – 2100:** Mittelwert für die Zeitperiode zwischen 2071 und 2100
- **Yearly Maximum:** Extremwert Niederschlagsmenge (95 Perzentil)
- **56mm:** Niederschlagshöhe von 56mm im Untersuchungsgebiet

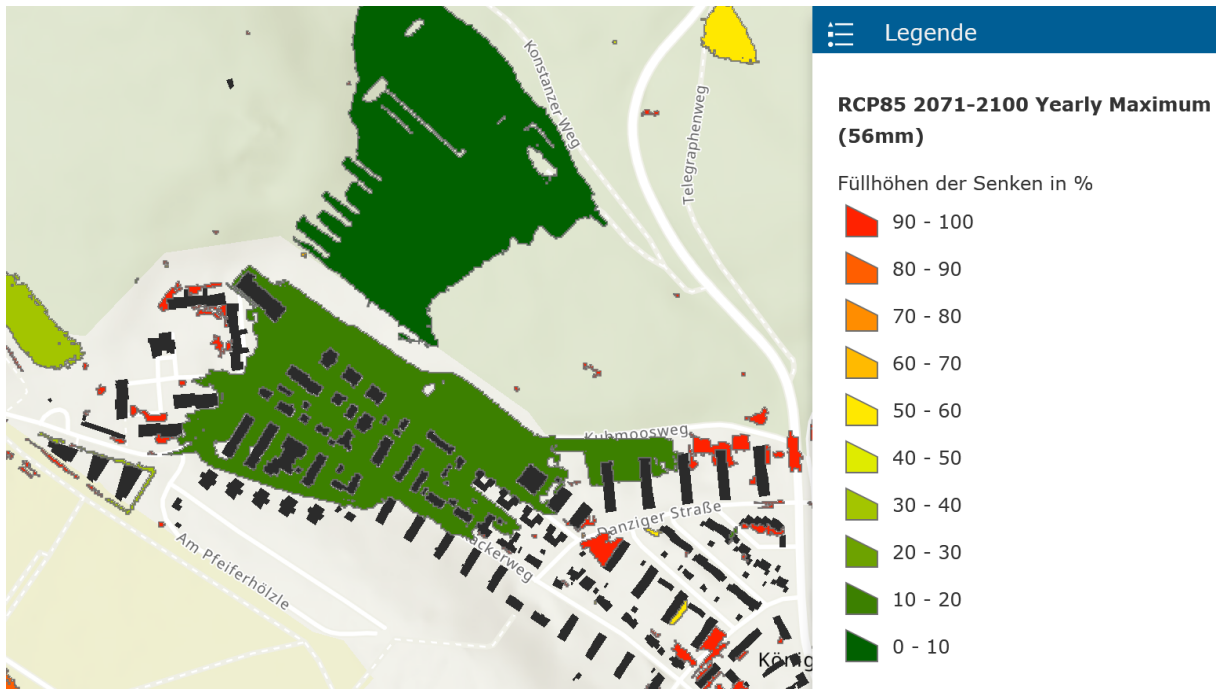


Abbildung 20: Starkregenrisiko „Am Pfeiferhölzle“ Konstanz (Tewes, 2023)

Abbildung 21 zeigt eine Übersicht der Bluespots in Konstanz. Je dunkler die Farbe, desto tiefer der Bluespot (vgl. Legende Abb. 19). Auf Grundlage dieser Karten kann die Stadt Konstanz gezielt präventive Maßnahmen ergreifen, um die Auswirkungen von Überschwemmungen in besonders gefährdeten Gebieten zu minimieren. Des Weiteren bieten Starkregenrisikokarten eine verbesserte Grundlage für die Stadtplanung und das Krisenmanagement.

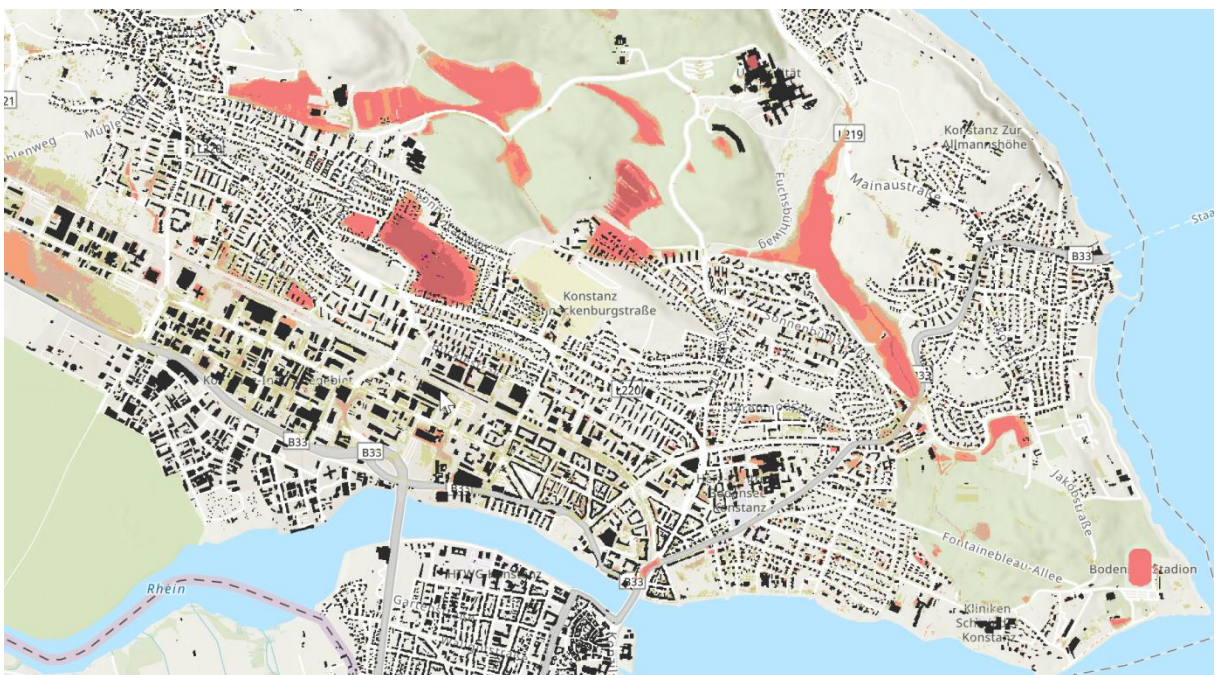


Abbildung 21: Übersicht Bluespots Konstanz (Tewes, 2023)



## 7.2.2 Maßnahmen der Stadt Konstanz

Angesichts der zunehmenden Starkregenereignisse hat Konstanz sein Kanalisationssystem überarbeitet (EBK, 2024). Die Stadt verfügt über eine Mischkanalisation, die sowohl Regen- als auch Schmutzwasser aufnimmt. Um die Belastung dieses Systems bei Starkregen zu reduzieren, wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Anlage von Rückhaltebecken in Wohngebieten wie Schmidtenbühl, die als Pufferflächen für Niederschlagswasser dienen;
- Installation von Muldenversickerungssystemen in verschiedenen Stadtbereichen, beispielsweise auf dem Gelände der „Cherisy-Kaserne“ (Abb. 21);
- Förderung der lokalen Versickerung von Niederschlagswasser durch Entsiegelung versiegelter Flächen.



Abbildung 21: Muldenversickerungssystem „Cherisy“ Gelände in Konstanz (EBK, 2024)

## Renaturierung von Gewässern

Im Rahmen der Gewässerentwicklungsplanung hat die Stadt Konstanz Maßnahmen ergriffen, um die natürliche Wasseraufnahmekapazität zu erhöhen und das Überflutungsrisiko zu reduzieren:

- Schaffung neuer Räume für Gewässer, wie beispielsweise beim „Hockgraben“
- Entfernung von Verdolungen (unterirdischen Wasserläufen)
- Beseitigung von Engstellen

## Aktion Klimabäume

Die Stadt Konstanz startete Anfang 2020 die „Aktion Klimabäume“, eine innovative Initiative zur Förderung des Klimaschutzes und der Stadtbegrünung. Das ursprüngliche Ziel war es 1.000 Jungbäume kostenlos an Eigentümer von Privatgärten zu verschenken (Abb. 22). In den ersten vier Runden wurden bereits über 2.200 Bäume neu gepflanzt (Stadt Konstanz, 2023). Die Aktion hat folgende positive Auswirkungen:

- Erhöhung der Retentionsfläche durch zusätzliche Begrünung;
- Beitrag zur Klimawandelanpassung;
- Sensibilisierung der Bevölkerung für Umweltthemen;
- Verbesserung des Stadtklimas und der Lebensqualität.

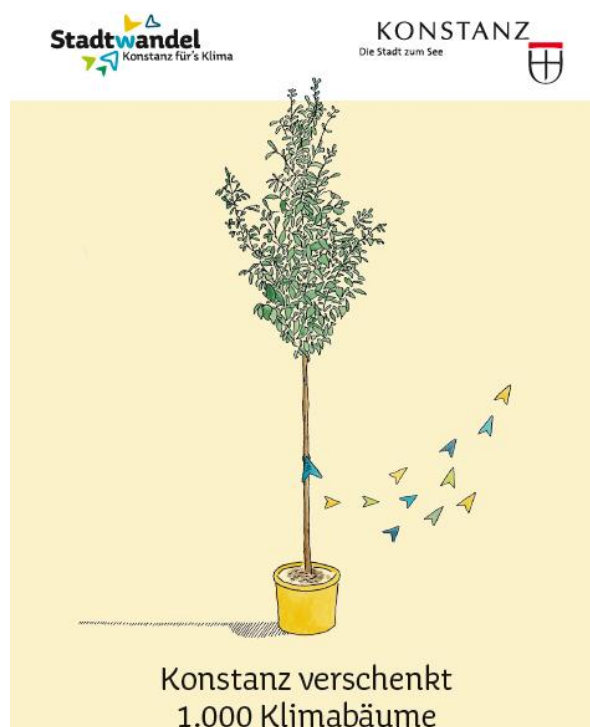


Abbildung 22: Aktion Klimabäume (Stadt Konstanz, 2023)

## 7.3 Vergleichende Analyse und Best Practices

### 7.3.1 Gemeinsamkeiten

Sowohl Bregenz als auch Konstanz haben zahlreiche Maßnahmen ergriffen, um den Auswirkungen von Starkregen und Hochwasser entgegenzuwirken. Hier sind die wichtigsten Gemeinsamkeiten:

- **Naturnahe Lösungen.** Sowohl Bregenz als auch Konstanz integrieren naturnahe Ansätze wie die Erhöhung der Begrünung in ihren Strategien. Diese Maßnahmen tragen zur Erhöhung der Wasserspeicherung und zur Verbesserung des Stadtklimas bei.
- **Proaktive Maßnahmen.** Beide Städte setzen auf präventive Maßnahmen, um die Auswirkungen von Starkregen und Hochwasser zu minimieren.
- **Detaillierte hydrologische Studien.** Sowohl Bregenz als auch Konstanz stützen ihre Maßnahmen auf fundierte hydrologische Analysen, um spezifische Risiken zu identifizieren und gezielte Maßnahmen zu entwickeln.

### 7.3.2 Unterschiede

Trotz der Gemeinsamkeiten gibt es auch signifikante Unterschiede in den Ansätzen der beiden Städte:

- **Projektfokus.** Konstanz verfolgt einen stärker kooperativen und forschungsorientierten Ansatz durch die Zusammenarbeit mit verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen, während Bregenz sich auf praktische Ingenieurmaßnahmen fokussiert.
- **Strategische Dokumentation.** Bregenz hat seine Maßnahmen in einem umfassenden Aktionsplan festgehalten, der als zentrales Dokument für die Planung und Umsetzung von Klimaanpassungsstrategien dient. Konstanz hingegen hat keinen vergleichbaren Plan und setzt stattdessen auf verschiedene, koordinierte Projekte und Initiativen, die nicht in einem zentralen Plan festgehalten sind.

- **Bürgerbeteiligung.** Konstanz fördert aktiv die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger durch Initiativen wie die „Aktion Klimabäume“, während Bregenz die Bevölkerung über die geplanten und umgesetzten Maßnahmen zwar informiert, jedoch aber nicht aktiv daran beteiligt.

### 7.3.3 Best Practices

Aus der Analyse der Maßnahmen beider Städte lassen sich mehrere Best Practices identifizieren, die auch auf andere Städte in der Bodenseeregion übertragbar sind:

**1. Grünflächen und Stadtbegrünung.** Förderung von Begrünungsprojekten zur Verbesserung der Wasserspeicherung und urbanen Kühlung. Maßnahmen wie das Schwammstadtprinzip und die „Aktion Klimabäume“ tragen erheblich zur Klimawandelanpassung bei.

**2. Datenbasierte Entscheidungen.** Für eine fundierte Entscheidungsfindung ist der Einsatz von Geodaten und modernen Analysetools von zentraler Bedeutung. Das Projekt CoKLIMAx demonstriert, welches Potenzial diese Daten für die Entwicklung und Umsetzung klimaresilienter Maßnahmen bieten.

**3. Detaillierte hydrologische Studien.** Diese Studien erfassen und analysieren die Wasserdynamik eines Gebiets, um als Basis für die Entwicklung zielgerichteter Lösungsansätze zu dienen.

**4. Kooperative Projekte.** Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Institutionen und anderen Städten zur Entwicklung und Implementierung innovativer Lösungen.

**5. Anpassungsfähige Infrastruktur.** Erweiterung und Anpassung des Kanalisation- und Abwassersystems zur besseren Bewältigung zukünftiger Starkregenereignisse.

**6. Renaturierung und Entsiegelung.** Maßnahmen zur Renaturierung von Gewässern und Entsiegelung von Flächen erhöhen die natürliche Wasseraufnahmekapazität und reduzieren das Überflutungsrisiko.

**7. Bürgerbeteiligung.** Die Einbindung der Bevölkerung in Klimaschutzmaßnahmen erhöht die Akzeptanz und Wirksamkeit der Maßnahmen. Initiativen wie die „Aktion Klimabäume“ in Konstanz sind hervorragende Beispiele dafür, wie Bürgerbeteiligung gefördert werden kann.



## 8 Schlussfolgerungen und Ausblick

### 8.1 Handlungsempfehlungen für die Bodenseeregion

Die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen gegen Starkregen und Hochwasser hängt stark davon ab, wie gut sie an die spezifischen Bedürfnisse und Gegebenheiten des Anwendungsraums angepasst sind. Jede Region und jede Stadt hat ihre eigenen Herausforderungen und Voraussetzungen, die berücksichtigt werden müssen. Dennoch gibt es eine Reihe von grundlegenden Ansätzen und Maßnahmen, die sich als sinnvoll und effektiv erwiesen haben und nahezu immer angewendet werden können.

Die folgenden Handlungsempfehlungen kombinieren diese bewährten Praktiken mit spezifischen Vorschlägen für die Bodenseeregion.

#### 8.1.1 Verstärkte Nutzung naturbasierter Lösungen

Es wird empfohlen verstärkt auf naturbasierte Lösungen zu setzen. Diese sind kostengünstiger als rein technische Ansätze. Sie erfordern in der Regel geringere Investitionen und sind langfristig kosteneffizient durch ihre nachhaltige Wirkung und niedrigen Wartungskosten. Beispiele für naturbasierte Maßnahmen sind:

- **Grünflächen und Parks.** Diese können als Retentionsflächen für Regenwasser dienen und gleichzeitig Erholungsräume für die Bevölkerung bieten.
- **Dachbegrünungen.** Sie reduzieren den Wasserabfluss und erhöhen die Lebensqualität in urbanen Räumen.
- **Städtische Wälder und Bäume.** Sie verbessern das Mikroklima, speichern CO<sub>2</sub> und absorbieren Niederschlagswasser.

Jede Kommune in der Bodenseeregion sollte daher prüfen, wie sie naturbasierte Lösungen in ihre bestehende Infrastruktur integrieren und bei Neuplanungen von Anfang an berücksichtigen kann.

### **8.1.2 Reduktion versiegelter Flächen**

Eine zentrale Handlungsempfehlung ist die schrittweise Verringerung von versiegelten Flächen. Asphalt- und Betonflächen blockieren das Eindringen von Regenwasser in den Boden und belasten somit die Kanalisation erheblich. Durch die Reduzierung solcher Flächen kann die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens verbessert werden, was das Risiko von Überflutungen bei Starkregen verringert. Asphalt- und Betonflächen werden dann durch wasserdurchlässige Alternativen wie Rasengittersteine, durchlässige Pflastersteine oder Schotterrasen ersetzt.

### **8.1.3 Verbesserung der Infrastruktur**

Die bestehende Infrastruktur sollte an die zunehmenden Häufigkeit und Intensität der Starkregenereignisse angepasst werden. Dies umfasst die Erweiterung und Modernisierung von Kanalisationssystemen, den Bau von Regenrückhaltebecken und die Implementierung von intelligenten Wassermanagementsystemen. Regelmäßige Überprüfung und Wartung bestehender Anlagen ist ebenso wichtig, um ihre Leistungsfähigkeit sicherzustellen.

## 8.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch den fortschreitenden Klimawandel nehmen extreme Wetterereignisse wie Starkregen und Hitzewellen an Häufigkeit und Intensität zu. Diese Entwicklungen stellen insbesondere urbane Räume vor große Herausforderungen, da sie aufgrund ihrer hohen Bevölkerungsdichte und infrastrukturellen Konzentration für die Auswirkungen solcher Wetterphänomene anfällig sind. Enge Bebauung, versiegelte Flächen und unzureichende Entwässerungssysteme führen dazu, dass Starkregenereignisse schnell zu Überschwemmungen und erheblichen Schäden an der Infrastruktur sowie zur Gefährdung der Bevölkerung führen können. Die Stadtplanung und -entwicklung muss daher vermehrt auf diese Risiken reagieren und erforderliche Maßnahmen ergreifen, um die Resilienz zu erhöhen.

Um den Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen, ist eine Kombination aus präventiven und reaktiven Maßnahmen unerlässlich. Dies umfasst die Anpassung bestehender Infrastrukturen sowie die Integration naturbasierter Lösungen in die Stadtplanung. Beispiele hierfür sind die Erweiterung von Grünflächen und die Implementierung innovativer Regenwassermanagementsysteme. Reaktive Maßnahmen beziehen sich auf die Entwicklung wirksamer Notfallpläne, die Einrichtung effizienter Frühwarnsysteme und die Schulung von Einsatzkräften für Krisensituationen.

Der Ansatz von CoKLIMAx zeigt, wie moderne Technologien und datenbasierte Entscheidungen zur Verbesserung der Klimaresilienz beitragen können. Durch die Nutzung von Geodaten wird eine fundierte Basis für die Entwicklung effektiver Maßnahmen geschaffen. CoKLIMAx demonstriert die Vorteile interdisziplinärer Zusammenarbeit und innovativer Methoden zur Bewältigung klimatischer Herausforderungen.

Darüber hinaus ist die Einbindung der Bevölkerung von großer Bedeutung. Die Nachhaltigkeit und Akzeptanz der Anpassungsmaßnahmen wird durch ihre aktive Beteiligung verstärkt. Initiativen wie die „Aktion Klimabäume“ zeigen, wie erfolgreiche Bürgerbeteiligung zur Erhöhung der urbanen Resilienz beitragen kann.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass ein ganzheitlicher Ansatz notwendig ist, um die Risiken durch Starkregen und Hochwasser effektiv zu bewältigen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Stadtplanern, Klimatologen, Hydrologen und weiteren Experten erweist sich als ebenso entscheidend wie die aktive Einbindung der Bevölkerung. Durch die Berücksichtigung verschiedener

Perspektiven können nachhaltige Lösungen entwickelt und umgesetzt werden. Diese Erkenntnisse bilden eine solide Grundlage für die Weiterentwicklung von Risikomanagementstrategien und klimaresilienter Stadtgestaltung in der Bodenseeregion.

Die weitreichenden Schäden durch Hochwasser in der Bodenseeregion im Jahr 2024 verdeutlichen, dass die bisherigen Maßnahmen unzureichend waren und unterstreichen die Vulnerabilität der Region sowie die dringende Notwendigkeit einer kontinuierlichen Anpassung an die sich wandelnden Klimabedingungen.

## EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter erbracht und noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegt habe.

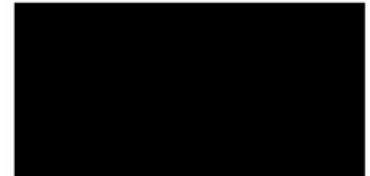
Die in der Arbeit verwendeten Quellen und Hilfsmittel insbesondere auch die verwendeten IT-Werkzeuge und die Art Ihrer Verwendung habe ich mit dem\*der Betreuer\*in und den Prüfer\*innen abgesprochen. Im Literaturverzeichnis bzw. im Verzeichnis der verwendeten Hilfsmittel sind alle verwendeten Quellen und Hilfsmittel (einschließlich IT-Werkzeugen) angegeben und ich habe keine anderen als die dort aufgelisteten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Beim Einsatz von IT-Werkzeugen habe ich durchgehend eigenständig und steuernd gearbeitet.

Die Stellen der Arbeit (einschließlich Tabellen, Karten, Abbildungen etc.), die anderen Werken und Quellen (auch Internetquellen) dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind oder von IT-Werkzeugen generiert wurden, habe ich in jedem einzelnen Fall als Entlehnung mit exakter Quellenangabe kenntlich gemacht.

Mir ist bewusst, dass Täuschungen bzw. schon deren Versuch nach der für mich gültigen Studien- und Prüfungsordnung sanktioniert werden. Diese Sanktionen können neben dem Nichtbestehen der Prüfungsleistung weitreichende Folgen bis hin zur Ungültigkeit der Bachelor- / Masterprüfung für mich haben.

Ort, Datum: Konstanz, 09.08.24

Unterschrift:



## Literaturverzeichnis

- BauNetz\_Wissen: Regenwasserversickerung | Gebäudetechnik | Entwässerung | . In: *BauNetz*. Online verfügbar unter <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/entwaesserung/regenwasserversickerung-160288>, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2021): Auf dem Weg zur wassersensiblen Stadtentwicklung. Online verfügbar unter [https://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/umlauftBericht2022\\_23.pdf](https://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/umlauftBericht2022_23.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2022): Smart City. Online verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Smart-City/smart-city\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Smart-City/smart-city_node.html), zuletzt aktualisiert am 14.01.2022, zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- Bundesnetzagentur (2024): Internet of Things. Online verfügbar unter <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Digitalisierung/Internet/IoT/start.html>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2024, zuletzt geprüft am 08.08.2024.
- Climate-Data.org (2024): Klima Bodensee: Temperaturen, Klimatabellen & Klimadiagramm für Bodensee. Online verfügbar unter <https://de.climate-data.org/europa/deutschland/bodensee-10019/>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2024, zuletzt geprüft am 06.08.2024.
- CoKLIMAx (2023): Über CoKLIMAx. Online verfügbar unter <https://maps.coklimax.net/portal/apps/sites/#/coklimax/pages/%C3%9Cber%20CoKLIMAx>, zuletzt aktualisiert am 07.06.2023, zuletzt geprüft am 08.08.2024.
- DHI (2024): MIKE SHE | Integrated Hydrological Modelling Software. Online verfügbar unter <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-she>, zuletzt aktualisiert am 31.07.2024, zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- DKKV (2015): Das Hochwasser im Juni 2013. Bewährungsprobe für das Hochwasserrisikomanagement in Deutschland. Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge. Bonn: DKKV (Schriftenreihe des DKKV, 53).
- ECMWF (2024): Forecasts. Online verfügbar unter <https://www.ecmwf.int/en/forecasts>, zuletzt aktualisiert am 01.05.2024, zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- Entsorgungsbetriebe Konstanz (EBK) (2024): Planung: Abwasser und Entwässerung. Online verfügbar unter <https://www.konstanz.de/entsorgungsbetriebe/planung/abwasser1>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2024, zuletzt geprüft am 08.08.2024.
- Fekete, Alexander (2020): Critical infrastructure cascading effects. Disaster resilience assessment for floods affecting city of Cologne and Rhein-Erft-Kreis. In: *J Flood Risk Management* 13 (2), Artikel e312600.
- Ford, David N.; Wolf, Charles M. (2020): Smart Cities with Digital Twin Systems for Disaster Management. In: *J. Manage. Eng.* 36 (4), Artikel 04020027.
- freizeit-bodensee.com: Bodensee Klima & Wetter. Online verfügbar unter <https://www.freizeit-bodensee.com/bodensee-klima.html>, zuletzt aktualisiert am 01.08.2021, zuletzt geprüft am 06.08.2024.
- Gill, S.E; Handley, J.F; Ennos, A.R; Pauleit, S. (2007): Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. In: *built environ* 33 (1), S. 115–133.

- GreenLife Onlineshop (2024): Versickerung. Online verfügbar unter <https://shop.greenlife.de/Versickerung/>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Hydrotec (2021): Kommunale Klimaanpassungskonzepte, 08.06.2021. Online verfügbar unter <https://www.hydrotec.de/kommunale-klimaanpassungskonzepte/>, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- IBM (2024): Was ist ein digitaler Zwilling? Online verfügbar unter <https://www.ibm.com/de-de/topics/what-is-a-digital-twin>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2024, zuletzt geprüft am 08.08.2024.
- Internationale Bodenseekonferenz (2021): Die internationale Bodenseeregion in Zahlen 2021. Online verfügbar unter [https://www.statistik-bodensee.org/files/downloads/publikationen/Die%20internationale%20Bodenseeregion%20in%20Zahlen/Die%20internationale%20Bodenseeregion%20in%20Zahlen%202021/TRA\\_StatistikLepo\\_2021\\_WEB\\_gesamt.pdf](https://www.statistik-bodensee.org/files/downloads/publikationen/Die%20internationale%20Bodenseeregion%20in%20Zahlen/Die%20internationale%20Bodenseeregion%20in%20Zahlen%202021/TRA_StatistikLepo_2021_WEB_gesamt.pdf), zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (2015): Klimawandel am Bodensee Bericht Nr. 60. Online verfügbar unter [https://www.igkb.org/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Forschungsprojekte/Klimbo/KlimBo\\_Blauer\\_Bericht\\_60\\_l.pdf](https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/Downloads/Forschungsprojekte/Klimbo/KlimBo_Blauer_Bericht_60_l.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (2024): Seedaten. Online verfügbar unter <https://www.igkb.org/bodensee/seedaten>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- IoT-Shop (2024): Abstandssensoren als IoT-Lösung Pegelstandsmessung. Online verfügbar unter <https://iot-shop.de/pegelstand>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- IoT-Shop (2024): Spezialisierter Bodenfeuchte- und Temperatursensor. Online verfügbar unter <https://iot-shop.de/shop/dl-smtp-001-decentlab-dl-smtp-bodenfeuchte-und-temperatursensor-4755#attr=19355,23577,23578,20790,20795,18337,18338,18339,18340,20796,20794,1263,15957,20791,20792,20793>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Online verfügbar unter [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX\\_Full\\_Report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Klima.Werk (2024): Grüne Infrastruktur gegen den Klimawandel. Online verfügbar unter <https://www.klima-werk.de/visionblau-gruen/stadtgruen.html>, zuletzt aktualisiert am 07.08.2024, zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- Kreibich, Heidi; Di Baldassarre, Giuliano; Vorogushyn, Sergiy; Aerts, Jeroen C. J. H.; Apel, Heiko; Aronica, Giuseppe T. et al. (2017): Adaptation to flood risk: Results of international paired flood event studies. In: *Earth's Future* 5 (10), S. 953–965.
- Kryvasheyev, Yury; Chen, Haohui; Obradovich, Nick; Moro, Esteban; van Hentenryck, Pascal; Fowler, James; Cebrian, Manuel (2016): Rapid assessment of disaster damage using social media activity. In: *Science advances* 2 (3), e1500779.
- LfU Bayern (2024): Pfingsthochwasser 1999. Online verfügbar unter [https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw\\_ereignisse/1999/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ereignisse/1999/index.htm), zuletzt aktualisiert am 06.08.2024, zuletzt geprüft am 06.08.2024.

- LUBW (2021): Klimawandel in Baden-Württemberg schreitet schneller voran. Online verfügbar unter <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/-/klimawandel-in-baden-wuerttemberg-schreitet-schneller-voran>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2024, zuletzt geprüft am 06.08.2024.
- Meristem Design (2024): Green Infrastructure: The Key to Urban Resilience and Well-being, 31.01.2024. Online verfügbar unter <https://www.meristemdesign.co.uk/blog/green-infrastructure-the-key-to-urban-resilience>, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg 2023. Online verfügbar unter [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4\\_Klima/Klimawandel/AnpassungsstrategieBW-2023.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/AnpassungsstrategieBW-2023.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Rahmstorf, Stefan; Schellnhuber, Hans-Joachim (2018): Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie. 8., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, Originalausgabe. München: C.H. Beck (C.H. Beck Wissen, 2366).
- SAL Abwasser (2024): Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen AöR - Die Abwasserberater. Online verfügbar unter <https://abwasser-luenen.de/mein-grundstueck/regenwassernutzung/flaechenentsiegelung/>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Scherer, Roland; Gutjahr, Martin (2012): Die Bodenseeregion: Eine Wachstumsregion im Verborgenen. Hannover: ARL Akad. für Raumforschung und Landesplanung (Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL, 238). Hannover, S. 255-272.
- Schweizer Radio und Fernsehen (SRF) (2024): Bodensee - Als Hochwasser noch über Leben und Tod entschied. Online verfügbar unter <https://www.srf.ch/news/schweiz/bodensee-als-hochwasser-noch-ueber-leben-und-tod-entschied>, zuletzt aktualisiert am 13.06.2024, zuletzt geprüft am 06.08.2024.
- Stadt Bregenz (2022): Klimawandelanpassungsstrategie: Maßnahmen- und Aktionsplan 2022 – 2024. Online verfügbar unter [https://www.bregenz.gv.at/fileadmin/user\\_upload/magazine/epaper-Klimawandelanpassungsstrategie/index.html#0](https://www.bregenz.gv.at/fileadmin/user_upload/magazine/epaper-Klimawandelanpassungsstrategie/index.html#0), zuletzt aktualisiert am 11.05.2022, zuletzt geprüft am 08.08.2024.
- Stadt Konstanz (2023): Klimabäume Herbst 2023. Online verfügbar unter <https://www.konstanz.de/service/presse/pressemitteilungen/klimabaeume+herbst+2023>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2024, zuletzt geprüft am 08.08.2024.
- Stark gegen Starkregen (2024): Das können die Kommunen gegen die Folgen von Starkregen tun – Präventionsmaßnahmen : Online verfügbar unter <https://starkgegenstarkregen.de/was-konnen-kommunen-tun/>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2024, zuletzt geprüft am 06.08.2024.
- SWR Aktuell (2023): Bilanz der Wetterwarte Süd für 2023: Klimawandel trifft Region Bodensee-Oberschwaben besonders hart. Online verfügbar unter <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/friedrichshafen/wetterbilanz-jahr-2023-bodensee-oberschwaben-100.html>, zuletzt aktualisiert am 31.12.2023, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Tagesschau.de (2024): Bilderstrecke: Bilder vom Hochwasser aus der Region Bodensee-Oberschwaben. Tagesschau.de. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/inland/regional/badenwuerttemberg/swr-bilder-vom-hochwasser-aus-der-region-bodensee-oberschwaben-100.html>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.



- Technische Universität München (2021): Potentiale von grüner Infrastruktur für ein nachhaltiges Starkregenmanagement. Online verfügbar unter [https://www.lss.ls.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/FS\\_Starkregen\\_V12\\_Druckversion.pdf](https://www.lss.ls.tum.de/fileadmin/w00bds/lapl/Bilder/Projekte/GrueneStadt/FS_Starkregen_V12_Druckversion.pdf), zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- Tewes, Tim (2023): Überschwemmungsrisiko nach Starkregenereignissen. Online verfügbar unter <https://maps.coklimax.net/portal/apps/storymaps/stories/1d4cec55482b4064b7a821c2d625ced>, zuletzt aktualisiert am 08.08.2024, zuletzt geprüft am 08.08.2024.
- Thieken, Annegret H.; Kienzler, Sarah; Kreibich, Heidi; Kuhlicke, Christian; Kunz, Michael; Mühr, Bernhard et al. (2016): Review of the flood risk management system in Germany after the major flood in 2013. In: *E&S* 21 (2).
- topographic-map.com (2024): Topografische Karte Bodensee, Höhe, Relief. Online verfügbar unter <https://de-de.topographic-map.com/map-f6knx/Bodensee/?center=47.54687%2C9.99756&base=5&overlay=0&zoom=8>, zuletzt aktualisiert am 09.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Trenberth, Kevin E. (2011): Changes in precipitation with climate change. In: *Clim. Res.* 47 (1), S. 123–138.
- Umweltbundesamt (2019): Vorsorge gegen Starkregenereignisse und Maßnahmen zur wassersensiblen Stadtentwicklung. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-29\\_texte\\_55-2019\\_starkregen-stadtentwicklung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-29_texte_55-2019_starkregen-stadtentwicklung.pdf), zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Umweltbundesamt (2024): Städte widerstandsfähig gegen Extremwetterereignisse machen. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/staedte-widerstandsfaehig-gegen>, zuletzt aktualisiert am 07.08.2024, zuletzt geprüft am 07.08.2024.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2015): Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 - 2030. Online verfügbar unter <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Wachinger, Gisela; Renn, Ortwin; Begg, Chloe; Kuhlicke, Christian (2013): The risk perception paradox-implications for governance and communication of natural hazards. In: *Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis* 33 (6), S. 1049–1065
- Wikipedia (Hg.) (2024): Bregenzer Ach. Online verfügbar unter [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bregenzer\\_Ach&oldid=245760714](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bregenzer_Ach&oldid=245760714), zuletzt aktualisiert am 09.06.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- Wikipedia (Hg.) (2024): Repräsentativer Konzentrationspfad. Online verfügbar unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Repr%C3%A4sentativer\\_Konzentrationspfad#/media/Datei:All\\_forcing\\_agents\\_CO2\\_equivalent\\_concentration.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Repr%C3%A4sentativer_Konzentrationspfad#/media/Datei:All_forcing_agents_CO2_equivalent_concentration.svg), zuletzt aktualisiert am 06.08.2024, zuletzt geprüft am 09.08.2024.
- World Meteorological Organization (2015): WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services.